

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

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

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de 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

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. Carlos Antonio de Souza Moraes – 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
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
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
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
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. 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
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
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. 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
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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza 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. Ma. 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. 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
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – 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 Alborno – 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/UFPA
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. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

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. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 O desenvolvimento sustentável na engenharia civil 2 /
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-614-0

DOI 10.22533/at.ed.140202511

1. Engenharia civil. 2. Desenvolvimento sustentável. I.
Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João
(Organizador). III. 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.

APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Para isso o mesmo traz temas correlacionados a engenharia civil, apresentando estudos sobre os solos e, bem como de construções e patologias, estando diretamente ligadas ao impacto ambiental causado e ao reaproveitamento dos resíduos da construção.

Destaca-se ainda a abordagem sob meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do estudo aprofundado sob eficiência energética em construções.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO AUTOMATIZADO EM INDÚSTRIA ESPECIALIZADA NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS E PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Andrezzo Julio Dantas Nascimento

Daniel de Jesus Lopes

João Luiz Cardeal Craveiro

Magno Santos Batista

DOI 10.22533/at.ed.1402025111

CAPÍTULO 2..... 14

AGREGADO MIÚDO PROVENIENTE DO RIO DOCE E SUA INFLUÊNCIA NA DURABILIDADE, RESISTÊNCIA E CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Luan Rangel dos Santos

Claudinei Antônio Montebeller

Lucas Soares Milanezi

Adriana Zamprogno

DOI 10.22533/at.ed.1402025112

CAPÍTULO 3..... 30

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO DO RECALQUE DE UM ATERRO SOBRE SOLO MOLE

Talita Menegaz

Gisele Marilha Pereira Reginatto

Narayana Saniele Massocco

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Thaís Ventura Chibiaqui

DOI 10.22533/at.ed.1402025113

CAPÍTULO 4..... 44

ANÁLISE DE RECALQUES EM ESTACAS ESCAVADAS EQUIPADAS COM O SISTEMA *EXPANDER BODY*

Fernando Feitosa Monteiro

Renato Pinto da Cunha

Carlos Medeiros Silva

Marcos Fábio Porto de Aguiar

DOI 10.22533/at.ed.1402025114

CAPÍTULO 5..... 55

ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTO NA VILA COQUEIRAL REGIÃO NOROESTE DE BELO HORIZONTE

Charline Tarcilia Ferreira dos Santos

Lorrany Magescki Faria

Magno André de Oliveira

Eduarda Moreira Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.1402025115

CAPÍTULO 6.....	74
UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS VERTICAIS NA REMEDIAÇÃO AMBIENTAL	
Luciana Regina Cajaseiras de Gusmão	
José Fernando Thomé Jucá	
Karla Salvagni Heineck	
DOI 10.22533/at.ed.1402025116	
CAPÍTULO 7.....	87
ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS UTILIZANDO CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA	
Marlon Hable	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.1402025117	
CAPÍTULO 8.....	106
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM USO DA VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO	
Kleber Marcelo Braz Carvalho	
José Renato de Castro Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.1402025118	
CAPÍTULO 9.....	121
ANÁLISE TENSÃO-DEFORMAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE PLAXIS 2D EM ESTACA HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA	
Arthur Duarte Dias	
Renato Pinto da Cunha	
Moises Antônio da Costa Lemos	
Gabriela de Athayde Duboc Bahia	
DOI 10.22533/at.ed.1402025119	
CAPÍTULO 10.....	133
UMA REVISÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Alex Gomes Pereira	
Benício de Moraes Lacerda	
Cristiano da Silva Vieira	
Emerson Diniz Viriato	
DOI 10.22533/at.ed.14020251110	
CAPÍTULO 11.....	147
ESTUDO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DE RIO VERDE, GO	
Marcel Sousa Marques	
Adriana Antunes Lopes	
Camila Ribeiro Rodrigues	
Katianne Lopes de Paiva	
Marcelo Mendes Pedroza	

Danielma Silva Maia
Enicléia Nunes de Sousa Barros
Daniel Rodrigues Campos
DOI 10.22533/at.ed.14020251111

CAPÍTULO 12..... 153

EVOLUÇÃO DA DIRETIVA EUROPEIA RELATIVA AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS, O SUCESSO DE APLICAÇÃO PORTUGUÊS E OS DESAFIOS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Jaime Francisco de Sousa Resende
Andrea Lucia Teixeira Charbel
Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção

DOI 10.22533/at.ed.14020251112

CAPÍTULO 13..... 164

DESEMPENHO COMERCIAL DE EDIFÍCIOS CORPORATIVOS COM SELO AMBIENTAL NA REGIÃO DO PORTO MARAVILHA – RJ

Gustavo Ezequiel Andrés

DOI 10.22533/at.ed.14020251113

SOBRE OS ORGANIZADORES 178

ÍNDICE REMISSIVO..... 179

CAPÍTULO 2

AGREGADO MIÚDO PROVENIENTE DO RIO DOCE E SUA INFLUÊNCIA NA DURABILIDADE, RESISTÊNCIA E CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 11/09/2020

Luan Rangel dos Santos

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/6750980013574845>

Claudinei Antônio Montebeller

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/2547132665413519>

Lucas Soares Milanezi

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/7615578969927102>

Adriana Zamprogno

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/1071149366430504>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do agregado miúdo extraído do Rio Doce no possível aparecimento de patologias do concreto, uma vez que o rio possui um histórico de contaminação por substâncias provenientes de rejeitos de mineração. A probabilidade de surgimento de patologias no concreto pode ser elevada dependendo das características físicas

e químicas do agregado miúdo utilizado, como a corrosão do concreto e da armadura, colocando em risco a sua durabilidade. Como o Rio Doce é a maior fonte granulométrica da construção civil no município de Colatina, torna-se imprescindível uma melhor análise das características do concreto utilizado nas construções locais. Para a análise, selecionou-se três rios, além do Rio Doce, sendo eles o rio Pancas, Santa Maria e Santa Joana, a fim de levantar parâmetros comparativos e qualitativos entre si. As amostras de concreto foram submetidas aos ensaios de resistência a compressão axial, ensaio de carbonatação e ensaio de potencial de corrosão através de método eletroquímico, sendo possível evidenciar que, entre os rios mencionados, o Rio Doce apresentou valores baixos de velocidade de carbonatação e resultados inferiores no ensaio de potencial de corrosão da armadura. Os resultados obtidos indicam que não existe influência do histórico de contaminação do Rio Doce com os valores apresentados nos ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, carbonatação, patologia, Rio Doce, agregado miúdo.

THE FINE AGGREGATE FROM RIO DOCE AND ITS' INFLUENCE ON DURABILITY, RESISTANCE AND CARBONATATION OF THE CONCRETE

ABSTRACT: This work aims to evaluate the influence of the fine aggregate extracted from Rio Doce on the possible appearance of concrete pathologies, since the river has a history of contamination by substances with mining tailings. The probability of the occurrence of pathologies in concrete may be high depending on the physical

and chemical characteristics of the fine aggregate used, such as corrosion of concrete and reinforcement, putting its' durability at risk. As Rio Doce is the largest granulometric source of construction in the city of Colatina, a better analysis of the characteristics of the concrete used in local constructions is essential. For the analysis, three rivers were chosen: Pancas, Santa Maria and Santa Joana in addition to the Rio Doce, in order to raise comparative and qualitative parameters among themselves. The concrete samples were submitted for an axial compression resistance test, carbonation test and corrosion potential test by electrochemical method, being possible to show that among other rivers, the Rio Doce presented low values of carbonation velocity and the most negative results in the corrosion potential test. Based on statistical analysis, it was possible to verify that there is no influence of the Rio Doce contamination history with the values found in the tests.

KEYWORDS: Concrete, carbonatation, pathology, Rio Doce, fine aggregate.

1 | INTRODUÇÃO

Após o rompimento das barragens da cidade de Mariana (MG), em 2015, reascendeu-se uma discussão a respeito dos impactos ambientais que afetam diretamente e indiretamente a população dependente dos recursos naturais oriundos das áreas contaminadas por rejeitos industriais.

O Rio Doce foi o rio mais afetado pelo desastre ambiental e, conseqüentemente, pelos rejeitos do beneficiamento de minério de ferro que foram depositados às margens e em sua calha principal, em quase toda sua extensão. Como o rio é a principal fonte granulométrica de agregado miúdo da cidade de Colatina, este trabalho pretende analisar a influência que as substâncias granulométricas do Rio Doce exercem sobre o concreto no que tange à carbonatação, corrosão e resistência à compressão, considerando seu histórico de contaminação.

A baixa qualidade do concreto pode provocar o aparecimento de patologias, geradas na etapa de concepção, execução e utilização da estrutura. Uma das principais causas de deterioração das estruturas em concreto são as de origem naturais, definidas por causas químicas, físicas e biológicas. As combinações químicas que ocorrem nos poros do material e as reações internas ao concreto são um dos principais motivos do surgimento de patologias. Considerando que a aderência do concreto é obtida pelas reações químicas resultante da mistura do cimento hidratado com os agregados, é de extrema importância estudar como tais reações ocorrem, bem como fatores que a influenciam (SOUZA e RIPPER, 1998).

Os resultados permitiram levantar parâmetros comparativos de agregados e aferir o potencial de corrosão do concreto comum e armado confeccionado com agregado miúdo do Rio Doce. Tais conclusões auxiliarão nas pesquisas de qualidade do concreto produzido com agregados provenientes de rios contaminados com as

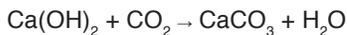
mesmas substâncias e o levantamento de possíveis problemas patológicos futuros das construções de concreto da cidade de Colatina (ES).

2 | RESISTÊNCIA, CARBONATAÇÃO E CORROSÃO DO CONCRETO

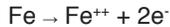
O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil atualmente e de acordo com Gentil (2012), se tratando de concreto armado, a armadura é susceptível a sofrer corrosão se houver contaminação e/ou deterioração do concreto. A presença de substâncias impuras pode elevar as chances de corrosão do concreto e do aço inserido nele, através de reações químicas, e conseqüentemente causar sua deterioração e comprometer a durabilidade de edificações. Essa corrosão é um problema patológico e pode ser definido, em maior parte, como um fenômeno espontâneo de natureza eletroquímica.

Considerando tais problemas patológicos, a carbonatação é uma das principais e mais comuns patologias do concreto. Pode ser definida como um processo físico-químico a partir da reação de gases ácidos, geralmente presentes no ambiente, com produtos alcalinos do concreto, originados da reação de hidratação do cimento que formam produtos com pH de precipitação inferior a 9. As condições em que o material se encontra e às características do concreto são os fatores que determinam a velocidade da ocorrência do processo de carbonatação (CADORE, 2008).

De acordo com Kulakowski (2002), o gás sulfídrico (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2) e o gás carbônico (CO_2) são os principais gases ácidos que induzem o concreto a sofrer carbonatação. Neste processo é consumido, nas reações, os compostos alcalinos da pasta hidratada de cimento como o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), sendo a relação entre o gás carbônico e o hidróxido de cálcio a principal reação da carbonatação, como mostrado a seguir.



No processo de confecção do concreto ocorrem reações químicas que originam excesso de cálcio, no qual é liberado na forma de hidróxido ($Ca(OH)_2$). Após o endurecimento, o material passa a possuir um carácter alcalino no interior do concreto, com pH acima de 12,5. O gás carbônico (CO_2), proveniente do ar atmosférico, pode adentrar o concreto por difusão e chegar até os poros úmidos que contêm hidróxido dissolvido, iniciando assim uma série de reações que transformará o hidróxido em carbonato, diminuindo o pH interno. Se o pH atingir valores inferior a 9, o material fica susceptível a dissolução da película passivadora de óxido de ferro do revestimento das barras de aço presente dentro do concreto, no caso de concreto armado (FUSCO, 2012). Dessa forma, acarreta na reação anódina que origina a solubilização do ferro, representada a seguir.



Para verificar a carbonatação, é possível detectar a presença de cloretos livres sobre a superfície do concreto ou argamassa através de ensaios calorimétricos. Este método qualitativo se dá através da incidência de uma solução contendo indicadores químicos, como por exemplo a fenolftaleína e o nitrato de prata, aplicada sobre a superfície da área da secção perpendicular do interior do concreto. Tais soluções, na presença de cloretos livres, mudam de coloração através de uma reação fotoquímica catalisada pela luz (BOTELHO e SILVA, 2008).

Segundo Cadore (2008) as proporções utilizadas para o preparo da solução a base de fenolftaleína são: 30g de álcool etílico absoluto; 70g de água destilada; 1 grama de fenolftaleína em pó. Ao ser aplicada na superfície do concreto, esta substância permanece incolor em soluções ácidas, com pH inferior a 8,3, e torna-se cor “magenta” quando em contato com soluções básicas, pH superior a 9,5, quando o pH encontra-se entre 8 e 9,5 a cor resultante é variável entre rosa e vermelho. Podendo assim mensurar a área com pH baixo, o que indica provável região carbonatada e mais susceptível a patologias de origem químicas e eletroquímicas.

Segundo Vaghetti (2005), a profundidade dessa corrosão pode variar de acordo com as propriedades do concreto, como índice de porosidade, relação água/cimento utilizada, características do ambiente de cura, concentração de CO_2 , temperatura etc. O modelo de equação clássico para estimar a velocidade de carbonatação provém da integração da Lei de Fick, resultando na equação (1) (TASCA, 2012):

$$X_c = K_c \sqrt{t} \quad (1)$$

em que:

- X_c : profundidade da carbonatação em mm;
- K_c : coeficiente de carbonatação em $\text{mm} / \sqrt{\text{ano}}$;
- t : tempo de exposição ao CO_2 desde a moldagem, em anos.

O valor de K_c representa a velocidade em que o concreto, em condições específicas, sofre carbonatação do ambiente no qual está inserido. No que diz respeito a idade de realização do ensaio, segundo Pauletti (2004), há diversas pesquisas, no âmbito nacional, que utilizaram ensaios naturais e acelerados para verificar a carbonatação, possuindo os mais variados tipos de cura e exposição dos corpos de prova.

Em relação ao concreto armado, o processo de corrosão modifica a estrutura de materiais metálicos, alterando a formação de partículas com carga elétrica na presença de um eletrólito condutor. Dessa forma, uma pilha eletroquímica de corrosão pode ser formada, onde há a presença de um ânodo, um cátodo, uma diferença de

potencial, uma ligação metálica entre o ânodo e o cátodo e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica através do eletrólito. O ânodo é caracterizado pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico (oxidação) e o cátodo pelo consumo de elétrons gerados na região anódica (redução), sendo o ânodo com potencial mais eletronegativo na diferença de potencial entre ambos (GENTIL, 2012).

De acordo com a norma americana ASTM C876 (2009) é possível aferir a diferença de potencial elétrico através do método de teste para potenciais de corrosão de aço de reforço, não revestido, em concreto. O ensaio consiste na utilização de um eletrodo de referência, um dispositivo de junção elétrica, uma solução de contato elétrico, um voltímetro de alta impedância e fios elétricos. A norma indica que pode ser utilizado o eletrodo de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl) para a realização do teste e nesse caso a probabilidade de corrosão encontra-se a 10% quando o valor medido é maior que -119 (mV), incerta quando o valor está entre -119 (mV) e -269 (mV), e probabilidade de 90% quando o valor medido é menor que -269 (mV).

Porém, para se obter resultados mais precisos em um curto período de tempo é necessário acelerar o processo de corrosão, uma vez que esta patologia ocorre de uma forma relativamente lenta. O método consiste em submeter os corpos de prova em ciclos de umectação em solução com 3,5% de NaCl e secagem em ambiente controlado de laboratório, induzindo assim a aceleração de corrosão por íons de cloreto, sendo o potencial de corrosão medido ao fim de cada semiciclo. Esse é um procedimento amplamente empregado no meio acadêmico quando se pretende obter valores do potencial de corrosão em concreto armado (CABRAL, 2000; CASCUDO e HELENE, 2001; DOTTO, 2006; SILVA, 2010).

Além dos ensaios de corrosão e carbonatação, um método largamente utilizado para o controle de qualidade do concreto é o ensaio de compressão axial, que consiste na utilização de corpos de prova cilíndricos padronizados em ensaios laboratoriais. A NBR 5738 (2016) e a NBR 5739 (2007) estabelece todos os procedimentos necessários para a confecção dos corpos de prova de concreto e requisitos necessários para a realização do ensaio de compressão axial. A apresentação dos resultados deve possuir informações como a identificação e idade do corpo de prova e resistência a compressão expressa com aproximação de 0,1 MPa.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 5 amostras de sedimentos, sendo duas provenientes do Rio Doce, coletadas em pontos distintos, uma amostra do rio Pancas, uma do Santa Maria e uma do Santa Joana. Os locais de coleta foram escolhidos dando ênfase em

pontos onde há a extração legal de agregado miúdo para a construção civil. Levando em consideração que três rios (Pancas, Santa Maria e Santa Joana) escolhidos para o ensaio são afluentes do Rio Doce, coletou-se uma amostra extra de agregado do Rio Doce em um ponto estratégico no leito do rio que não possui contato com os efluentes dos demais rios.

Para a confecção dos corpos de prova, houve a realização de ensaios complementares para a caracterização dos agregados a serem utilizados e para a confecção do traço, segundo o método ABCP. Para padronização, utilizou-se cimento de alta resistência inicial (ARI) CP-V, fixando o abatimento de 80-100mm e o mesmo tipo de agregado graúdo para todos os corpos de provas, alterando, assim, apenas o agregado miúdo. Todos os corpos de prova foram curados por 28 dias submersos em água em tanque de cura. A tabela 1 especifica a quantidade de corpos de prova utilizada para cada ensaio realizado.

Tipo de ensaio	Dimensão do corpo de prova (cm)	Quantidade de Corpo de Prova					Total
		Rio Doce A1	Rio Doce A2	Pancas	Santa Maria	Santa Joana	
Potencial a corrosão	(15x15x15)	1	1	1	1	1	5
Carbonatação	(10x15x30)	1	1	1	1	1	5
Resistência à compressão	(10x20)	2	2	2	2	2	10

Tabela 1 - Especificação dos tipos de ensaios realizados, dimensões e quantidade dos corpos de prova confeccionado para cada ensaio.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Na confecção dos corpos de prova para o ensaio de carbonatação foram utilizados moldes de madeira fixados através de parafusos roscáveis para auxiliar no desmolde. O ensaio foi realizado 91 dias após a confecção dos corpos de prova, baseando-se na metodologia utilizada por Cadore (2008), caracterizada pela aplicação de solução contendo fenolftaleína na superfície perpendicular no interior do corpo de prova logo após ser rompido.

Na confecção dos corpos de prova cilíndricos, para o ensaio de compressão axial, foram utilizadas fôrmas de aço, sendo o concreto adensado manualmente de acordo com os procedimentos especificado na NBR 5738 (2016). Sendo o ensaio de compressão do concreto realizado em equipamento laboratorial padrão, EMIC, 28 dias após a confecção dos corpos de prova, de acordo com as especificações da NBR 5739 (2007).

Para a confecção dos corpos de prova para o ensio de potencial de corrosão por técnica eletroquímica, foi utilizado molde de madeira, fixados por meio de parafusos roscáveis para facilitar a desmoldagem e barras CA-50 obtidas por laminação à quente corrugadas, com 10mm de diâmetro nominal e comprimento de 100mm. Foram colocadas quatro barras em cada corpo de prova de forma que deixasse exposta 20mm das mesmas. Antes da confecção do concreto armado, as barras foram limpas através de um processo de abrasão utilizando esponja, escova de aço e lixa a fim de retirar a camada de óxido de ferro (ferrugem) das barras (BOTELHO E SILVA, 2008).

Os cobrimentos de concreto das barras de aço nos corpos de prova seguiram as recomendações prescritas na tabela 7.2 da NBR 6118 (2014), onde especificam-se cobrimentos mínimos para várias classes de agressividade. Dessa forma, foi utilizado 30mm de cobertura de concreto nas laterais dos corpos de prova e cobertura de 70mm de espessura na parte inferior do corpo de prova, baseando-se na metodologia utilizada por Silva (2010).

Na extremidade superior das barras, na parte exposta, foram conectados fios flexíveis para propiciar a conexão elétrica durante o ensaio. Foi usado fita isolante para proteger a conexão entre os fios flexíveis e as barras, e sobre a fita foi aplicada resina epóxi. As faces superior e inferior dos corpos de provas também foram impermeabilizadas com resina epóxi, impedindo a entrada de agentes agressivos e induzindo o processo corrosivo apenas pela parte lateral do mesmo (DOTTO, 2006; SILVA, 2010). Nas barras de cada corpo de prova foram colocados adesivos coloridos para facilitar a medição (Figura 1).



Figura 1 – Impermeabilização com resina epóxi nos corpos de prova cúbicos e medição do ensaio de potencial corrosivo, respectivamente.

Fonte: acervo do autor (2017).

Após a cura, os corpos de prova cúbicos foram induzidos a corrosão através de ciclos de umedecimento por imersão parcial em solução de 3,5% de NaCl durante 2 dias e ciclos de secagem caracterizados pelo armazenamento em estufa a 50°C por 5 dias, sendo os potenciais medidos após cada semiciclo (SILVA, 2010; PEREIRA, 2012). As medições foram realizadas em todas as barras em apenas duas faces do corpo de prova com o auxílio de água destilada, uma esponja, um eletrodo de prata/cloreto de prata e um multímetro. Logo após, obteve-se a média aritmética dos valores de potencial medidos nas 4 barras de cada amostra, com intuito de realizar uma análise global por amostra e não por barras. Devido a uma falha com o eletrodo de prata/cloreto de prata, não foi possível a realização das medições nos primeiros ciclos, sendo a medição iniciada no oitavo ciclo e finalizada 70 dias após o início do ensaio de indução a corrosão.

Em relação às propriedades do agregado miúdo, há uma carência de materiais e pesquisas no meio acadêmico sobre análises químicas dos sedimentos para confecção de concreto, sendo comumente adotadas apenas análises físicas. Diante disto, decidiu-se realizar análise química das substâncias presentes nos sedimentos das amostras, a fim de levantar parâmetros quantitativos de comparação entre os exemplares de cada rio, com a finalidade de estabelecer relações da influência de elementos químicos nas reações patológicas que venham a ocorrer no concreto.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 exibe as imagens dos cinco corpos de prova prismáticos rompidos e submetidos ao ensaio de carbonatação, onde foram coletadas cinco medidas de profundidade com paquímetro digital na superfície de cada corpo de prova.



Figura 2 - Fotografia do ensaio de carbonatação das amostras do Rio Doce A1, Rio Doce A2, Pancas, Santa Maria e Santa Joana, da esquerda para direita, respectivamente.

Fonte: acervo do Autor (2017).

Através dos dados da profundidade de carbonatação, foi possível realizar o cálculo do coeficiente de Kc, que representa a velocidade de carbonatação dos concretos estudados. Os valores das profundidades de carbonatação, juntamente com os respectivos coeficientes Kc e os valores de resistência média do concreto à compressão, em MPa, estão exibidos na Tabela 2.

Amostra	Compressão Axial (Mpa)	Ensaio de carbonatação	
		Valores medidos (cm)	Coeficiente Kc
Rio Doce A1	42,55	0,486	0,973
Rio Doce A2	33,48	0,380	0,761
Pancas	31,24	0,554	1,110
Santa Maria	34,82	0,440	0,881
Santa Joana	32,62	0,760	1,522

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de compressão axial, carbonatação e coeficiente Kc.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

As amostras do Rio Doce A1 e Santa Maria apontam os maiores valores médios de resistência do concreto a compressão (MPa), enquanto as amostras dos rios Pancas e Santa Joana apresentam os menores valores. As amostras provenientes dos rios Santa Joana e Pancas apresentaram valores maiores de profundidade de carbonatação, enquanto Rio Doce A2 e Santa Maria apresentaram os menores valores.

Já para o ensaio de potencial de corrosão, nota-se que a amostra Pancas e Rio Doce A1 foram as que apresentaram valores mais negativos localizados na zona de alta probabilidade de corrosão (>90%). As amostras do rio Santa Maria e Santa Joana exibiram os valores mais positivos e mais padrões no que diz respeito a descontinuidade provocada pelos ciclos de umectação e secagem (Gráfico 1).

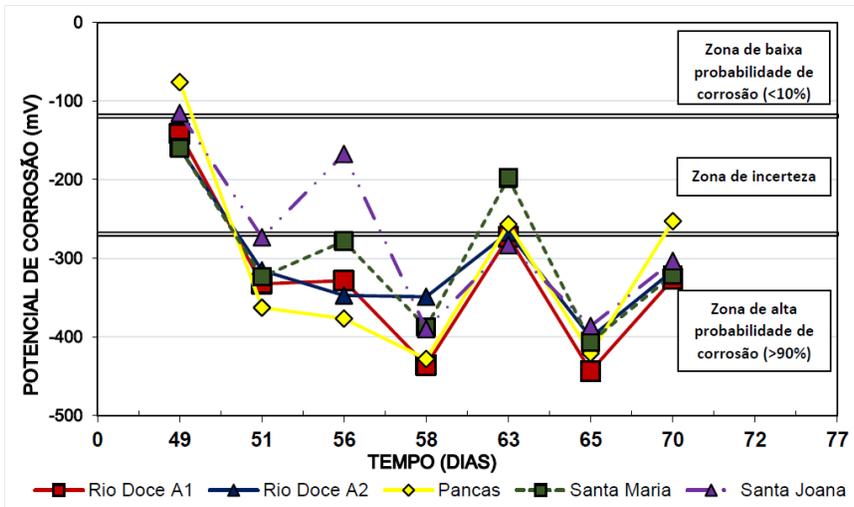


Gráfico 1 – Valores médios de potencial de corrosão de acordo com o número de dias após o início dos ciclos de indução a corrosão das diferentes amostras.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Para a análise química, deu-se prioridade aos parâmetros gerais de análises de sedimentos disponível no mercado, a fim de levantar uma forma quantitativa de comparação entre as amostras. Os resultados das análises são apresentados na Tabela 3.

PARÂMETRO	UNIDADE	RIO DOCE A1	RIO DOCE A2	PANCAS	SANTA JOANA	SANTA MARIA
SULFATO TOTAL	L.Q.: 20,0 mg/Kg (SO ₄)	93,0	35,0	66,0	55,0	72,0
FÓSFORO (P) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/DM3	6,0	6,0	10,0	5,0	4,0
SATURAÇÃO DE SÓDIO (NA)	L.Q.: - %	1,0	1,6	0,6	1,3	1,0
SATURAÇÃO DE BASES	L.Q.: - %	58,5	39,6	21,1	40,4	45,7
SATURAÇÃO POR AL (M)	L.Q.: - %	0,0	0,0	48,0	0,0	0,0
CTC (EFETIVA)	L.Q.: - cmolc/dm3	1,3	0,7	1,3	0,5	0,8
SOMA DAS BASES	L.Q.: - cmolc/dm3	1,3	0,7	0,7	0,5	0,8
MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL	L.Q.: - dag/dm3	0,80	0,40	0,70	0,30	0,40
PH EM ÁGUA	L.Q.: -	7,3	6,7	4,9	7,1	5,9

MANGANÊS (MN) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	34,0	38,0	18,0	29,0	20,0
COBRE (CU) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5
ZINCO (ZN) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	2,2	1,4	2,5	0,6	0,9
H + AL	L.Q.: - cmolc/dm ³	0,9	1,0	2,5	0,8	1,0
ALUMÍNIO (AL)	L.Q.: - cmolc/dm ³	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
MAGNÉSIO (MG)	L.Q.: - cmolc/dm ³	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
CÁLCIO (CA)	L.Q.: - cmolc/dm ³	1,1	0,5	0,5	0,4	0,6
SÓDIO (NA) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	5,0	6,0	5,0	4,0	4,0
FERRO (FE) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	117,0	128,0	132,0	144,0	139,0
POTÁSSIO (K) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	18,0	12,0	18,0	10,0	10,0
RELAÇÃO MAGNÉSIO/POTÁSSIO (MG/K)	L.Q.: -	2,2	3,3	2,2	3,9	7,8
RELAÇÃO CÁLCIO/POTÁSSIO (CA/K)	L.Q.: -	23,8	16,3	10,8	15,6	23,4
RELAÇÃO CÁLCIO/MAGNÉSIO (CA/MG)	L.Q.: -	11,0	5,0	5,0	4,0	3,0
BORO (B)	L.Q.: - mg/dm ³	0,57	0,39	0,61	0,39	0,33
ENXOFRE (S)	L.Q.: - mg/dm ³	19,0	18,0	16,0	16,0	19,0
CTC (PH7)	L.Q.: - cmolc/dm ³	2,2	1,7	3,2	1,3	1,8
SATURAÇÃO DE POTÁSSIO (K)	L.Q.: - %	2,2	1,9	1,5	1,9	1,4
SATURAÇÃO DE MAGNÉSIO (MG)	L.Q.: - %	4,7	6,1	3,2	7,5	11,0
SATURAÇÃO DE CÁLCIO (CA)	L.Q.: - %	51,3	30,7	15,9	30,2	32,9
ACIDEZ TOTAL	L.Q.: 25 mg/Kg	<25	<25	97,50	<25	<25
TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO	L.Q.: 6.000 mg/kg	<6000	<6000	<6000	<6000	<6000

Tabela 3 – Relatório analítico da análise química realizada nos sedimentos provenientes de cada amostra coletada.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Os fatores determinantes para se iniciar o processo de carbonatação do concreto ou corrosão da armadura estão relacionados às condições de exposição no qual está inserido e às características do material. Como todos os corpos de provas foram submetidos às mesmas condições ambientais pela mesma quantidade de tempo, pode-se afirmar que os valores mensurados se relacionam apenas com

as características do material estudado.

Ao analisar a Tabela 3, nota-se que as amostras que apresentaram menores valores médios de resistências à compressão (Pancas e Santa Joana) tiveram as maiores velocidades de carbonatação. Entretanto, apenas através da análise estatística é que, de fato, terá a comprovação desses resultados. Dessa forma, aplicou-se o teste de correlação de Pearson entre os valores médios dos ensaios realizados, como mostrado na tabela 4.

		Resistência a Compressão	Velocidade de carbonatação	Potencial de Corrosão
Resistência a Compressão	Correlação de Pearson	1	-0,584	-0,603
	Sig. (2 extremidades)		0,301	0,282
	N	5	5	5
Velocidade de carbonatação	Correlação de Pearson	-0,584	1	0,627
	Sig. (2 extremidades)	0,301		0,258
	N	5	5	5
Potencial de Corrosão	Correlação de Pearson	-0,603	0,627	1
	Sig. (2 extremidades)	0,282	0,258	
	N	5	5	5

Tabela 4 - Resultados do teste de correlação de Pearson de acordo os ensaios realizados.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Ao analisar a tabela 4, nota-se que o teste apresentou correlação moderada entre o potencial de corrosão e resistência à compressão, sendo o valor com efeito negativo. Dessa forma, quanto maior a resistência a compressão axil do concreto, maior o potencial de corrosão do material (valores mais negativos), o que vai contra a literatura pelo fato de que materiais que tendem a ter melhor resistência a compressão possuem características como um bom fator água/cimento e menores índices de porosidade, variáveis que vão auxiliar a impedir o aparecimento de corrosão do concreto. Tais características se opõe também na correlação entre potencial de corrosão e velocidade de carbonatação, ou seja, quanto menor o potencial de corrosão (valores mais positivos), maior será a velocidade de carbonatação.

Todavia, ao analisar os valores-p obtidos através do teste de correlação de Pearson não se pode, estatisticamente, afirmar que esse resultado se aplica na sua totalidade, ou seja, numa população. Assim, entre as variáveis estudadas, o teste apresentou que não há correlação entre elas, o que mostra que os resultados apresentados na tabela 4, não podem ser estatisticamente generalizados.

Considerando os resultados de potencial de corrosão, gráfico 1, realizou-se a análise de variâncias (ANOVA) para verificar se existe diferença estatisticamente significativa entre as amostras frente valores mensurados do potencial de corrosão. Dessa forma, de acordo com a tabela 5, através das análises de variância por amostra e considerando que os dados exercem uma característica de distribuição normal, verifica-se que ao nível de confiança de 95% não há diferença estatisticamente significativa entre as amostras de sedimentos frente aos valores mensurados de potenciais de corrosão das barras de aço.

RESULTADOS ANALISE DE VARIÂNCIAS ANOVA							
Amostra	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-p	F crítico
Rio Doce (A1)	Entre grupos	5359,02	3	1786,34	0,139613	0,935301	3,008787
	Dentro dos grupos	307078,9	24	12794,96			
	Total	312438	27				
Rio Doce (A2)	Entre grupos	75840,54	3	25280,18	2,136965	0,12197	3,008787
	Dentro dos grupos	283918,6	24	11829,94			
	Total	359759,2	27				
Pancas	Entre grupos	9175,42	3	3058,47	0,182431	0,907281	3,008787
	Dentro dos grupos	402361,6	24	16765,07			
	Total	411537	27				
Santa Maria	Entre grupos	16657,51	3	5552,50	0,447866	0,721079	3,008787
	Dentro dos grupos	297544,6	24	12397,69			
	Total	314202,1	27				
Santa Joana	Entre grupos	21397,9	3	7132,63	0,558675	0,647415	3,008787
	Dentro dos grupos	306409,4	24	12767,06			
	Total	327807,3	27				

Tabela 5 - Dados da análise de variâncias (ANOVA) de acordo com as amostras estudadas.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Em complementação às análises por corpo de prova, sucedeu-se a análise de correlação entre o histórico dos rios e os valores dos ensaios realizados pelo método de Pearson. Considerando que as amostras Rio Doce A1 e Rio Doce A2 foram coletadas em um rio onde possui um histórico de contaminação por rejeitos de mineração e as amostras Pancas, Santa Maria e Santa Joana não apresentam

histórico de contaminação, verificou-se a relação entre os resultados dos ensaios e o histórico do rio, como mostra a Tabela 6.

		Histórico da fonte	Resistência de Compressão	Velocidade de carbonatação	Potencial de Corrosão
Histórico da fonte	Correlação de Pearson	1	0,631	-0,653	-0,660
	Sig. (2 extremidades)		0,254	0,232	0,225
	N	5	5	5	5

Tabela 6 - Resultados do teste de correlação de Pearson de acordo os ensaios realizado e do histórico de contaminação do rio.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Ao analisar os dados apresentados pela tabela 6, verifica-se que há correlação moderada entre o histórico de contaminação do rio e os valores mensurados nos ensaios realizados. Contudo, os valores-p calculados deram resultados menores que 5%, ou seja, constata-se que a medida de grau de associação entre o histórico de contaminação do rio com os resultados medidos de resistência à compressão, velocidade de carbonatação e potencial de corrosão no interior do concreto não se aplicam generalizadamente.

5 | CONCLUSÃO

Ao considerar todos os ensaios realizados e as condições utilizadas para a verificação da influência do agregado miúdo proveniente do Rio Doce nos possíveis casos de patologias do concreto, pode-se concluir que não há uma relação, estatisticamente comprovada, entre a velocidade de carbonatação do concreto, sua resistência à compressão axial e o potencial de corrosão da barra no interior do mesmo.

O histórico do Rio Doce, contaminado por rejeitos de mineração, não possui associação com a velocidade de carbonatação do concreto, bem como a resistência à compressão e o potencial de corrosão do aço do concreto, quando são utilizados como fonte granulométrica de agregado miúdo. Dessa forma a influência da contaminação do Rio Doce nos resultados de carbonatação, corrosão das barras e resistência do concreto à compressão são desprezíveis.

No que tange às análises químicas dos sedimentos, foi possível verificar que as amostras coletadas possuem valores similares das substância analisadas, mostrando que, quimicamente, não uma diferença relevante da composição dos agregados coletados. E devido a escassez de análises químicas de sedimentos

mais abrangentes e de referências acadêmicas, não é possível realizar conclusões definitivas sobre a influência de tais substâncias no aparecimento de patologias do concreto.

Com base no estudo realizado, pode-se apresentar como sugestão de pesquisas futuras, realizar análises químicas mais detalhadas e abrangentes do agregado miúdo proveniente do Rio Doce para verificar pontualmente as substâncias que afetariam diretamente nas reações química que ocorrem nas principais patologias do concreto, bem como avaliar a microestrutura do material.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 48 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT, NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM C876-09**: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete. West Conshohocken: ASTM International, 2009. 7 p.
- BOTELHO, Abílio Pinheiro; SILVA, David da Silva. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado**. 2008. 85 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, 2008.
- CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e a propagação da corrosão do aço induzida por cloretos**. 2000. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- CADORE, William Widmar. **Estudo da carbonatação da camada de revestimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada**. 2008. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- CASCUDO, Oswaldo; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00272.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- DOTTO, Joseanne Maria Rosarola. **Corrosão do aço induzida por íons cloreto – uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto com ou sem pozolana**. 2006. 357 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012. 200 p.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 360 p.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa**. 2002. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PAULETTI, Cristiane. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2009. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PEREIRA, Victor Correia de Oliveira et al. **Avaliação da corrosão em argamassas de cimento Portland utilizando a técnica de potencial de corrosão**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/1586998/Downloads/1692-3408-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 jan 2017.

SILVA, Edvaldo Pereira. **Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da NBR 6118, submetido a ensaio de corrosão acelerado**. 2010. 54 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 250 p.

TASCA, Maisson. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura**. 2012. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. **Estudo da corrosão do aço, induzida por carbonatação, em concretos com adições minerais**. 2005. 286 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adensamento 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 95, 110, 115, 119, 126
Agregado 14, 15, 19, 21, 27, 28, 90, 91, 92, 93, 94, 102, 103, 104, 106, 139, 140, 146, 148
Argilas 30, 36, 39, 40, 42, 60
Aterro sanitário 90, 104, 147, 148
Automação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13

B

Barreiras verticais 74, 76, 85, 86
Bentonita 74, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86
Blocos 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 56, 60, 61, 64, 66, 67, 68, 70, 123, 124, 137

C

Carbonatação 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29
Carga 5, 9, 17, 36, 39, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 54, 88, 121, 122, 123, 126, 128, 129, 130, 131
Casca de arroz 88, 104, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146
Cinzas 93, 134, 137, 138, 140, 143
Compressão 14, 15, 18, 19, 22, 25, 27, 28, 34, 35, 53, 54, 83, 87, 88, 89, 90, 94, 97, 98, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 125, 139
Concreto 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 78, 79, 87, 88, 89, 90, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 125, 127, 128, 131, 134, 137, 138, 139, 140, 144, 146
Construção civil 2, 5, 7, 12, 14, 16, 19, 29, 90, 102, 104, 120, 133, 134, 135, 140, 142, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 171

D

Diretiva Europeia 153, 154
Drenos 30, 36, 37, 38, 41, 42

E

Eficiência energética 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163
Ensaios 13, 14, 17, 18, 19, 22, 25, 26, 27, 29, 32, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 53, 89, 97,

106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 126, 131, 139
Estaca 44, 45, 46, 50, 52, 54, 121, 122, 123, 125, 127, 128, 129, 131
Etiquetagem 153, 154, 158, 159, 160, 161, 162, 163
Expand Body 44, 45, 46, 49, 50, 53, 54

F

Fogo 87, 88, 89, 97, 98, 100, 103

G

Geológica 55, 59

Geotécnica 31, 54, 55, 58, 64, 71, 78, 125, 126

H

Heurístico 55, 57

M

Madeira 19, 20, 87, 91, 93, 134

N

Numérica 32, 121, 122, 124, 126

P

Patologia 14, 18, 29, 119

Pisos 1, 2

Plaxis 2D 121, 122, 124, 127, 130, 131, 132

Pulso ultrassônico 106, 107, 108, 109, 111, 115, 117, 118

R

Recalque 30, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 52, 53, 122, 123, 129, 130, 131

Remediação 74, 75, 76, 77, 84

Resíduos 65, 66, 70, 87, 89, 90, 91, 102, 133, 134, 138, 139, 147, 148, 149, 150, 151, 152

Resistência 14, 15, 16, 18, 19, 22, 25, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 39, 41, 46, 48, 74, 76, 78, 81, 82, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 125, 139

Rio Doce 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27, 28

Risco 7, 10, 14, 55, 56, 57, 58, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 80, 88, 96, 97, 151, 168

S

Segurança 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 88, 107, 122

Simulação 97, 121, 124, 126, 128

U

Urbel 55, 56, 57, 58, 67, 70, 71

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

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

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

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