



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

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. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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 – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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  
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. 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  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
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  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
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 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  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 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. Lilian 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. Me. 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.            Modo de acesso: World Wide Web.            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-169-5            DOI 10.22533/at.ed.695200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil.            I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Em “A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 3” trazemos vinte e um capítulos que trazem estudos com boas contribuições para a Engenharia Civil.

Temos vários estudos a respeito da utilização da simulação numérica e computacional na resolução de problemas no projeto e execução de estruturas.

O estudo sobre o comportamento de estruturas utilizando determinados materiais proporciona sua validação como alternativa construtiva. Trazemos também análises a respeito de estruturas submetidas a calor intenso, o que permite otimizar os projetos, considerando situações de incêndio.

Tendo em vista a crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, torna-se imprescindível os estudos que visem soluções ligadas a otimização na utilização de materiais e desenvolvimento de materiais sustentáveis.

A análise de ferramentas computacionais para o desenvolvimento de projetos de engenharia permite realizar comparativos com a finalidade de subsidiar o projetista a optar por ferramentas mais adequadas e seguras, proporcionando uma melhor qualidade em projetos.

Esperamos que esta coletânea seja útil aos seus estudos. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DA SCHEELITA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	
Manoel Domiciano Dantas Filho Dandara Pereira Moura de Assis Hérculys Guimarães Carvalho Larissa Santana Batista Damião Araújo dos Santos Júnior Jéniffer Paloma da Cruz Leal Nayla Kelly Antunes de Oliveira Adriano Lopes Gualberto Filho Wily Santos Machado Carlos Alexandre da Silva Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO	
Maurel Dreyer Roberto Domingos Rios	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>32</b>
ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS ALTOS DE CONCRETO ARMADO COM ESTRUTURAS DE LAJES PLANAS	
Camila de Melo Tavares André Felipe de Oliveira Lopes Hildo Augusto Santiago Filho Giuliana Furtado Franca Bono Gustavo Bono	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>48</b>
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SÍLICA ATIVA NO DESEMPENHO DO CONCRETO EM SIMULAÇÃO DA AGRESSIVIDADE MARINHA	
André Luiz Louzeiro Carvalho Luciano Carneiro Reis Leandro Almeida Santos Mauricio Cavalcante Cutrim Fonseca Wesley da Cruz Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>60</b>
ANÁLISE DE MODELOS DE CÁLCULO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM PRFC	
Daniel Marlon Rodrigues Guedes Ailín Fernández Pérez Paulo Fernando Matos de Santana Luiz Gustavo Dantas Gonçalves Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo Marcos Honorato de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009075</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>77</b>
ANÁLISE DINÂMICA NA FLAMBAGEM DE UMA COLUNA ESBELTA DE CONCRETO ARMADO COM CRITÉRIOS DA NBR 6118/14	
Alexandre de Macêdo Wahrhaftig Kaique Moreira Matos Magalhães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009076</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>90</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS ESTRUTURAIS DE FIBRAS DE SISAL	
Sande dos Santos Batista Mariana Santos Nunes Adilson Brito de Arruda Filho Paulo Roberto Lopes Lima Ricardo Fernandes Carvalho José Humberto Teixeira dos Santos Sandro Fábio César	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>99</b>
ANÁLISE ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA DA PONTE ESTAIADA DA RODOVIA DO PARQUE – (BR-448)	
Rafael Cariolato Dorneles Paula Manica Lazzari	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>113</b>
ANÁLISE LINEAR E NÃO LINEAR DE UM EDIFÍCIO DE VINTE PAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO	
Fernanda Fonseca Lima Gabriel Rodrigues Gomes Denilda Silva Costa Leonardo Moreira Santana Jaciera Santos Brandão Marcelo Rassy Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6952009079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>125</b>
ANÁLISE LINEAR ELÁSTICA E ANÁLISE NÃO LINEAR FÍSICA DA ESTRUTURA DO EDIFÍCIO DESTINADO À INSTALAÇÃO DE DUAS SEDES ADMINISTRATIVAS DA PREFEITURA DE PARAUAPEBAS APÓS A UTILIZAÇÃO DE REFORÇO PARA REVITALIZAÇÃO DO PRÉDIO	
Denilda Silva Costa Jaciera Santos Brandão Allyson Corrêa Dias Fernanda Fonseca Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69520090710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>138</b>
ANÁLISE NUMÉRICA COMPARATIVA DE MODELOS APLICÁVEIS AO PROJETO DE LAJES DE CONCRETO	
Edmilson Lira Madureira Eduardo Morais de Medeiros Arthur Leandro de Azevedo Silva Gabriel de Bessa Spinola	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69520090711</b>	

**CAPÍTULO 12 ..... 151**

ANÁLISE NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO TERMOMECAÂNICO DE LAJES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Andreia Romero Fanton  
Luiz Carlos de Almeida  
Leandro Mouta Trautwein

**DOI 10.22533/at.ed.69520090712**

**CAPÍTULO 13 ..... 164**

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS APROXIMADOS E MÉTODO GERAL DE CÁLCULO DO EFEITO LOCAL DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE CONCRETO

Wesley de Vasconcelos Rodrigues da Silva  
Maria de Lourdes Teixeira Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.69520090713**

**CAPÍTULO 14 ..... 178**

COMPUTER AIDED DESIGN VERSUS BUILDING INFORMATION MODELING: APLICAÇÃO EM PROJETOS DE SISTEMAS PREDIAIS

Jayron Alves Ribeiro Junior  
Thainá Maria da Costa Oliveira  
Moisés de Araujo Santos Jacinto  
Bruna da Costa Silva  
Mariana de Sousa Prazeres  
Paulo Rafael Nunes e Silva Albuquerque  
Leticia Maria Brito Silva  
Camilla Gomes Arraiz  
Marcos Henrique Costa Coelho Filho  
Yara Lopes Machado

**DOI 10.22533/at.ed.69520090714**

**CAPÍTULO 15 ..... 187**

DESLOCAMENTO VERTICAL DE UMA VIGA DE EULER-BERNOULLI: SIMULAÇÕES NUMÉRICAS SOB A HIPÓTESE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PROBABILÍSTICO

Ana Carolina Carius  
Alex Justen Teixeira  
João Vitor Curioni de Miranda  
Leonardo de Souza Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.69520090715**

**CAPÍTULO 16 ..... 204**

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE ENGESSER-COURBON E MODELOS COMPUTACIONAIS EM PONTES EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Felipe Gomes da Silva  
Maria de Lourdes Teixeira Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.69520090716**

**CAPÍTULO 17 ..... 217**

ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA: EDIFICAÇÃO EM DESACORDO COM NORMAS EXECUTIVAS E DE PROJETO

João da Costa Pantoja  
Bruno Camozzi Fedato Faria  
Nathaly Sarasty Narváez

**DOI 10.22533/at.ed.69520090717**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>235</b>
INFLUÊNCIA DO USO DA TECNOLOGIA BIM NA REDUÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA FASE DE CONCEPÇÃO E PROJETO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	
Rafael Azevedo Lino	
Orieta Soto Izquierdo	
Iutah Cristal Dezidério de Veras Barbosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69520090718</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>251</b>
ENSAIOS DE PROVA DE CARGA EM ACORDO COM A NBR 9607 (ABNT, 2012): ESTUDO DE CASO	
Clayton Reis de Oliveira	
Armando Lopes Moreno Júnior	
Luis Gustavo Simão de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69520090719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>269</b>
PERÍCIA EM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO	
Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69520090720</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>278</b>
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO O MODELO DE DANO PLÁSTICO	
Paulo César de Oliveira Júnior	
Jerfson Moura Lima	
Bruno Rodrigues Amorim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69520090721</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>295</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>296</b>

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SÍLICA ATIVA NO DESEMPENHO DO CONCRETO EM SIMULAÇÃO DA AGRESSIVIDADE MARINHA

*Data de aceite: 01/06/2020*

*Data de submissão: 29/04/2020*

### **André Luiz Louzeiro Carvalho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

<http://lattes.cnpq.br/0241322754791498>

### **Luciano Carneiro Reis**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

<http://lattes.cnpq.br/5924481323285668>

### **Leandro Almeida Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

<http://lattes.cnpq.br/9446087132790444>

### **Mauricio Cavalcante Cutrim Fonseca**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

<http://lattes.cnpq.br/2826555184262576>

### **Wesley da Cruz Gomes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

<http://lattes.cnpq.br/7281757092321941>

**RESUMO:** A atmosfera marinha é o ambiente natural de maior agressividade às estruturas de concreto devido aos complexos processos de deterioração. A utilização de materiais no concreto que melhorem sua durabilidade, a exemplo da sílica ativa, é uma linha de pesquisa promissora, entretanto, a utilização desse resíduo não é totalmente compreendida. Desse modo, o presente estudo visa analisar o comportamento do concreto com substituição parcial de cimento por sílica ativa submetido à simulação da agressividade marinha, por meio de ciclos de imersão e secagem. Para isso, foram produzidas amostras prismáticas (com barras de aço) e cilíndricas com e sem sílica ativa, utilizando teores de 4%, 8% e 10% e relações água/aglomerante de 0,40 e 0,50. Foram analisadas a resistência à compressão axial e o índice de vazios nos exemplares cilíndricos e avaliado o potencial de corrosão das armaduras das amostras prismáticas. Os resultados mostram que o teor de 4% de sílica ativa não promove melhora do desempenho do concreto quando submetido à agressividade marinha, fato este somente observado para os teores de substituição de 8 e 10%.

**PALAVRAS-CHAVE:** sílica ativa, agressividade marinha, resistência à compressão, potencial de corrosão, vazios.

# ANALYSIS OF SILICA FUME INFLUENCE ON CONCRETE PERFORMANCE SUBJECTED TO MARINE AGGRESSIVENESS SIMULATION

**ABSTRACT:** The marine atmosphere is the most aggressive natural environment to concrete structures due to the complex deterioration processes. Use of alternative materials in concrete that improve its durability, such as silica fume, is a promising line of research. However, use of this residue is not totally understood. Therefore, the aim of this paper is to examine the behavior of concrete with silica fume subject to alternate wetting and drying in sodium chloride solution simulating marine aggressiveness. For this purpose, prismatic (with rebars) and cylindrical specimens with and without silica fume, using 4%, 8% and 10% contents, were made with water/binder ratios of 0,40 and 0,50. The compressive strength and voids tests were carried out in the cylindrical specimens and the corrosion potential of the prismatic specimens was evaluated. The results show that silica fume content of 4% does not improve concrete performance when subjected to marine aggressiveness, behavior only observed in the contents of 8 and 10%.

**KEYWORDS:** silica fume, marine aggressiveness, compressive strength, corrosion potentials, voids.

## 1 | INTRODUÇÃO

O desempenho das estruturas de concreto não se limita à resistência mecânica, compreende ainda a trabalhabilidade, a estética, a integridade, e, sobretudo, a durabilidade (TUTIKIAN *et al.*, 2011). A durabilidade é definida como a capacidade que a estrutura possui em resistir às influências ambientais previstas, ou seja, resistir às ações físicas e químicas, independentemente daquelas previstas no dimensionamento (ABNT, 2014).

As estruturas construídas em ambientes marinhos estão expostas a múltiplos mecanismos físicos e químicos de deterioração, tornando-os meios de alta complexidade para os estudos de durabilidade. A degradação da estrutura geralmente ocorre de modo distinto, visto que os mecanismos de ataque variam conforme o nível da maré. Mesmo aquelas que não estão em contato direto com o mar estão sujeitas à sua agressividade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A zona entremarés é a região mais crítica de ataques, uma vez que os ciclos de molhagem e secagem possibilitam a cristalização de sais nos poros e corrosão do aço, além da presença de processos erosivos devido ao impacto das ondas e/ou partículas sólidas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O ataque químico da água marinha advém da grande quantidade de sais dissolvidos, cerca de 35 g/l, sendo as principais concentrações iônicas de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> (MEHTA e MONTEIRO, 2008). O ingresso dos íons cloreto no concreto, ao alcançar a armadura, na presença de água e oxigênio, causa a destruição da camada passiva, iniciando o processo corrosivo, cujos produtos tendem a ocupar volumes superiores em relação ao aço original,

gerando fissuras e, posteriormente, lascamento. Ocorre ainda redução da área de seção transversal do aço, que reduz a capacidade de carga da estrutura (NEVILLE, 2016).

Adições são materiais utilizados em conjunto com cimento, que aprimoram as propriedades do concreto através de atividade hidráulica e/ou pozolânica; enquanto um material hidráulico reage quimicamente com água para formar compostos cimentícios, as pozolanas, materiais silicosos ou silicoaluminosos finamente divididos, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, na presença de umidade, para esse mesmo fim (KOSMATKA *et al.*, 2011). A sílica presente nos materiais pozolânicos deve ser amorfa, pois a estrutura cristalina apresenta baixa reatividade e, desse modo, o metacaulim, as cinzas volantes e a sílica ativa pertencem a essa classe de materiais (NEVILLE, 2016).

A sílica ativa ou microssílica é um rejeito da elaboração do silício e ligas de ferrosilício por meio do aquecimento de quartzo (fonte de sílica), carvão e pedaços de madeira em fornos a arco elétrico para remoção do oxigênio da sílica. Nesse processo, é gerado óxido de silício (SiO) em estado gasoso, que ao resfriar, condensa-se, formando dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) em estado amorfo, coletado em filtros para remoção de impurezas (KOSMATKA, *et al.*, 2011).

O aprimoramento das propriedades do concreto a partir da adição da sílica ativa não se limita à sua atividade pozolânica. É observada ainda uma interação física, através do depósito das partículas extremamente finas sobre os agregados, reduzindo a porosidade na interface pasta-agregado, conhecido como efeito microfíler (NEVILLE, 2016).

Kosmatka *et al.* (2011) e Neville (2016) apontam que a sílica ativa é usualmente utilizada em teores que variam de 5 a 10% da massa do material cimentício para produção de concretos de alta resistência, enquanto a Silica Fume Association (2005) registra valores entre 4 e 15%. A adição de sílica ativa ao concreto objetiva não apenas a produção de concretos de alta resistência, mas também melhorar seu desempenho (NEVILLE, 2011).

O objetivo do presente trabalho é verificar a influência da sílica ativa nos sistemas à base de cimento quando submetidos à simulação da agressividade marinha e comparar seus resultados ao concreto sem adição, em termos de ensaios mecânicos e de durabilidade.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O estudo foi conduzido utilizando cimento tipo CP I 40, devido à ausência de pozolanas em sua composição, em razão da possibilidade de interferência no processo de hidratação. A sílica ativa não densificada foi doada por uma empresa de concretagem localizada em São Luís. A Tabela 1 mostra sua caracterização fornecida pelo fabricante. Como aditivo plastificante, foi utilizado o Polykem™ 805, fornecido pela Novakem.

Parâmetros físicos		Parâmetros químicos	
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,22	Equivalente alcalino, em Na <sub>2</sub> O (%)	0,7
		Perda ao fogo (%)	3,7
pH	7,9	SiO <sub>2</sub> (%)	93,0
		Na <sub>2</sub> O (%)	0,2
Umidade (%)	0,1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,5
		CaO (%)	0,5
		MgO (%)	0,4
Retido 45µm (#325) (%)	3,7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,2
		K <sub>2</sub> O (%)	0,9

Tabela 1 – Caracterização física e química da sílica ativa

Os agregados utilizados no estudo incluem areia natural e pedra britada, adquiridos no comércio local. As barras de aço utilizadas para o potencial de corrosão foram do tipo CA-50, com 10 mm de diâmetro e comprimento de 10 cm.

## 2.2 Caracterização dos materiais

A distribuição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a NBR NM 248:2003, enquanto as massas específicas da areia e da brita foram definidas conforme as NM 52:2009 e NM 53:2009, respectivamente. A massa unitária no estado compactado da brita foi estimada segundo a NM 45:2006. A massa específica do cimento foi realizada segundo a NBR 16605:2017.

## 2.3 Programa experimental

O programa experimental foi planejado de modo analisar a influência da substituição parcial de cimento por sílica ativa (SA), em massa, no desempenho do concreto sob simulação da agressividade marinha. Três teores foram selecionados, 4%, 8% e 10%. Amostras contendo apenas cimento Portland foram produzidas como referência. Tais teores se encontram no intervalo que apresenta aprimoramentos em relação a resistência e durabilidade, conforme Kosmatka *et al.* (2011), Neville (2016) e a Silica Fume Association (2005).

Os fatores água/aglomerante (a/ag) foram definidos a partir das especificações da NBR 6118:2014, que recomenda a utilização de valor máximo de 0,45 para concretos sob agressividade marinha. Foram estabelecidos dois fatores, 0,40 e 0,50. O primeiro é inferior ao máximo sugerido, o segundo, entretanto, é superior e sua definição está pautada na tentativa do uso de uma relação acima do recomendado, reduzindo o consumo de cimento para verificar sua potencial aplicação com sílica ativa nesse ambiente.

As amostras foram nomeadas conforme esses dois parâmetros. O número fora dos

parênteses se refere ao fator água/aglomerante, enquanto o valor dentro dos parênteses é o teor de sílica. Por exemplo, a amostra 0,40(4) possui relação a/ag de 0,40 e teor de sílica de 4%.

A dosagem para definição da proporção entre os materiais foi realizada através do método ABCP/ACI, uma vez que este é fundamentado nas propriedades físicas dos constituintes do concreto. O concreto foi moldado em corpos de prova cilíndricos (10x20 cm<sup>2</sup>) e prismáticos (15x15x10 cm<sup>3</sup>) e submetidos a cura saturada por 28 dias. As barras de aço foram dispostas nas amostras prismáticas, com cobrimentos de 25 mm, 30 mm, 40 mm e 50 mm, com 2cm expostos no topo para verificação do potencial de corrosão.

De modo a padronizar o estado inicial do aço, utilizou-se do processo de limpeza química e mecânica normatizado pela ASTM G1:2017. As barras são imersas em 1 litro de solução de ácido clorídrico e água destilada, em proporção de 1:1, acrescido de 3,5 g/l de hexametileno tetramina, por 10 minutos. A próxima etapa consiste na lavagem individual em água corrente com escova de cerdas plásticas e posterior secagem com papel toalha. Os espécimes foram mantidos em estufa até o momento da moldagem. Na Figura 1 é possível comparar uma amostra nos estados inicial e final.



Figura 1 – Comparação visual entre as barras antes e após as etapas de limpeza

Como citado anteriormente, a região mais crítica do ataque pela água do mar se localiza na zona entremarés. Desse modo, após 28 dias de cura saturada, as amostras foram expostas a umidade ambiente por quatro dias e, em seguida, parcialmente imersas em solução de 5% de cloreto de sódio por três dias, constituindo um ciclo. A simulação foi realizada por 28 dias, totalizando quatro ciclos. A metodologia e concentração de NaCl utilizadas foram baseadas em estudos anteriores (LIMA, 2017; SANTOS, 2016).

## 2.4 Análise do desempenho do concreto

O procedimento para determinação da resistência à compressão axial foi realizado conforme orientações da NBR 5739:2015. Os corpos de prova cilíndricos foram testados nas idades de 07 e 28 dias, enquanto aqueles submetidos à ação do cloreto de sódio

foram rompidos nas idades de 49 e 56 dias. O ensaio foi realizado em tréplica, sendo a média adotada como resultado.

De modo a analisar as propriedades físicas das amostras cilíndricas, o índice de vazios foi determinado conforme a NBR 9778:2005 após 28 dias em cura. O ensaio foi realizado em réplica, sendo a média adotada como resultado.

Para avaliação da deterioração das barras de aço foi escolhido o potencial de corrosão, seguindo as orientações da norma ASTM C876:2015. O eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre descrito pela norma foi confeccionado pelos autores. Compreende um tubo PVC cujo interior dispõe de uma haste de cobre imersa em solução aquosa saturada de sulfato de cobre, com a extremidade inferior é encerrada por um CAP com pequenos furos para proporcionar a continuidade elétrica entre o eletrodo de referência e o aço. A conexão dos eletrodos faz surgir um fluxo de elétrons da armadura em direção ao eletrodo de referência, que, ao passar pelo voltímetro, indica uma diferença de potencial. O valor obtido apenas é considerado válido caso se apresente em uma faixa de  $\pm 0,02V$  por, no mínimo, cinco minutos. Havendo variação, o concreto deve ser umedecido até que haja estabilização. O ensaio de potencial de corrosão foi realizado nas amostras prismáticas, em réplicas, para a idade de 56 dias. Na Figura 2 são mostrados os equipamentos utilizados para o ensaio. A Tabela 2 apresenta a interpretação dos resultados segundo a ASTM C876:2015.



Figura 2 – Eletrodo de referência e voltímetro utilizados no ensaio de potencial de corrosão

Valor	Interpretação
Mais positivo que -0,20V	Baixa probabilidade de corrosão ( $\leq 10\%$ )
No intervalo de -0,20 a -0,35V	Corrosão incerta
Mais negativo que -0,35V	Alta probabilidade de corrosão ( $\geq 90\%$ )

Tabela 2 – Interpretação do potencial de corrosão para eletrodo cobre/sulfato de cobre

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos materiais

A caracterização física dos constituintes do concreto é apresentada na Tabela 3.

A partir do módulo de finura, a areia é classificada com muito fina, de acordo com a NBR 7211:2009, característico das areias da região de São Luís, enquanto a brita é comercialmente denominada tipo 1.

Propriedade	Resultado
Massa específica do cimento	3,06 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura do agregado miúdo	1,40
Massa específica do agregado miúdo	2,66 g/cm <sup>3</sup>
Dimensão máxima característica do agregado graúdo	19 mm
Massa específica do agregado graúdo	2,81 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária no estado compactado do agregado graúdo	1650 kg/m <sup>3</sup>

Tabela 3 – Propriedades físicas dos constituintes do concreto

### 3.2 Dosagem do concreto

A Tabela 4 mostra o traço unitário (cimento:areia:brita). Para cada relação a/ag, foi determinado um traço inicial, no qual o cimento foi substituído por sílica ativa nos teores determinados. Por exemplo, para um teor de 10% de sílica, a massa de aglomerante é formada por 0,90 kg de cimento e 0,10 kg de sílica. O plastificante foi utilizado somente nas misturas com relação a/ag de 0,40.

Relação água/aglomerante	Traço unitário (em massa)
0,40	1,00:0,95:2,44
0,50	1,00:1,40:3,05

Tabela 4 – Traço base obtido por meio da dosagem ABCP/ACI

### 3.3 Resistência à compressão axial simples

Os resultados de resistência à compressão axial simples são apresentados nas Figuras 3 e 4 para as relações água/aglomerante de 0,40 e 0,50, respectivamente, assim como seus desvios padrões.

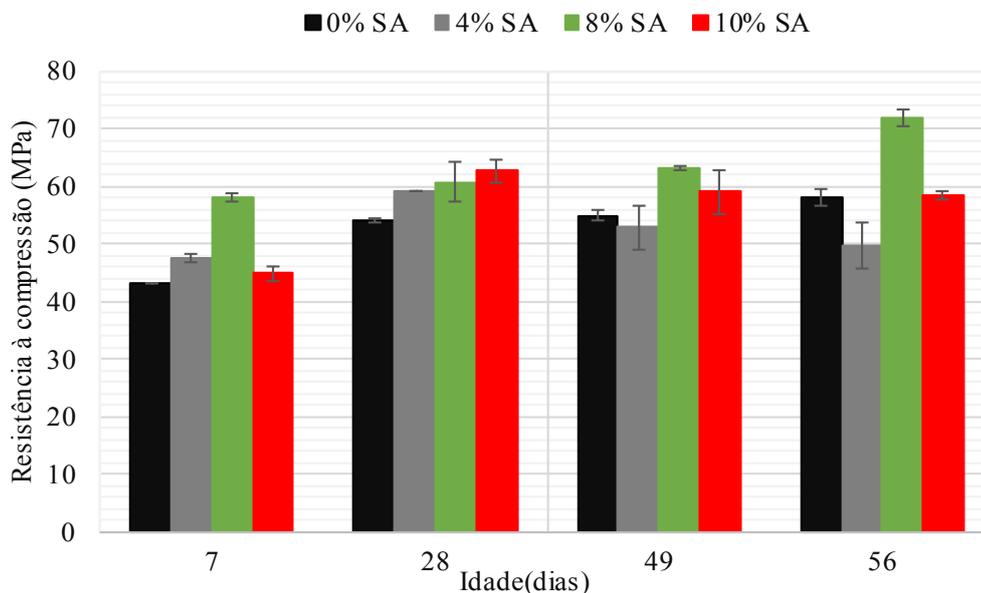


Figura 3 – Resistência à compressão axial das amostras com relação a/ag 0,40

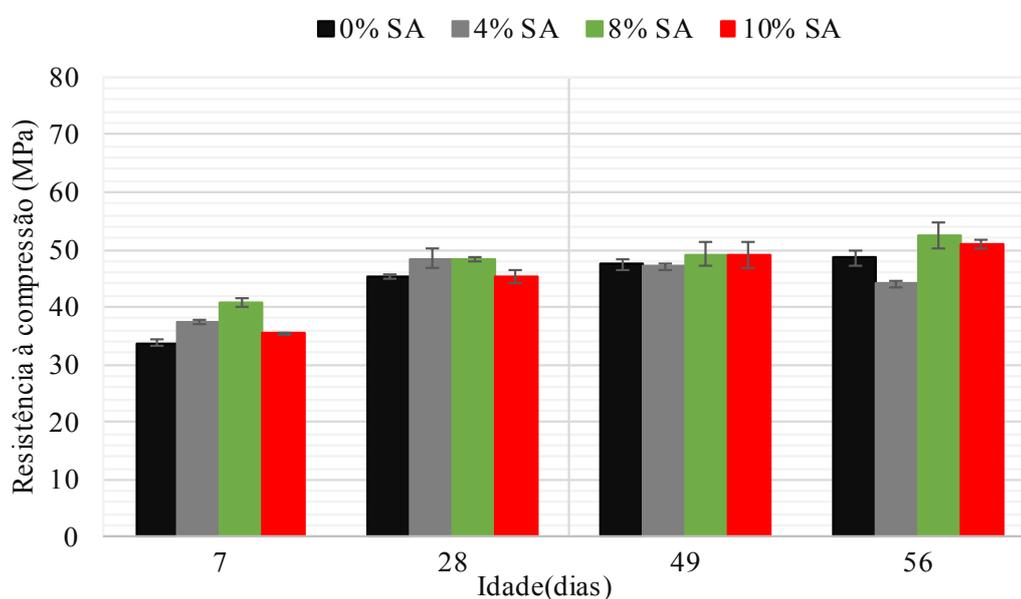


Figura 4 – Resistência à compressão axial das amostras com relação a/ag 0,50

Os resultados do período de cura saturada, referentes a 07 e 28 dias, mostram que a sílica ativa, assim como a relação água/aglomerante, exercem grande influência na resistência à compressão. Nos grupos com razão a/ag de 0,40, aos 07 dias, a maior resistência foi observada nas amostras contendo sílica, fato também observado aos 28 dias. Os teores de 8 e 10% apresentaram melhores resultados, enquanto o teor de 4% apresentou resultados bastante significativos em comparação ao concreto referência.

Esse comportamento resulta da reação pozolânica, uma reação química entre a sílica ativa, a água e o hidróxido de cálcio do cimento, para produzir silicato de cálcio hidratado (C-S-H), principal responsável pela resistência mecânica do concreto. Seu efeito é intensificado pela ação dispersante do aditivo nas partículas de cimento, permitindo um maior grau de hidratação.

Nos grupos com razão a/ag de 0,50, em relação ao período de cura saturada, as amostras com sílica ativa apresentaram comportamento semelhante ao grupo anterior aos 07 dias. No entanto, aos 28 dias, as amostras com teor de 4% exibiram melhores resultados em comparação às demais. A ausência de plastificante poderia explicar esse fato. Segundo Neville (2016), as propriedades mecânicas do concreto podem ser aprimoradas por meio da redução da relação água/cimento; no entanto, esta possui um valor limite, de modo que a hidratação possa ocorrer satisfatoriamente. Assim, quanto maior a substituição do cimento por sílica acima de 4%, menor a resistência à compressão alcançada aos 28 dias, em função da indisponibilidade de água para as reações de hidratação em virtude da não utilização do aditivo redutor de água.

Analisando o período em simulação da agressividade marinha, correspondente a 49 e 56 dias, o concreto referência exibiu ganho de resistência com o tempo nas duas relações a/ag. As amostras com teor de 4%, em ambas relações a/ag e idades, exibiram uma diminuição na resistência à compressão, indo ao encontro de Sugamoto (2007), que propõe que a penetração de cloretos no concreto é reduzida para teores entre 5 e 12 % e, conseqüentemente, eficaz na prevenção do ataque por cristalização de sal. O teor de 8%, para as duas razões a/ag, apresentou ganho de resistência, mesmo em meio agressivo. O teor de 10%, para a razão 0,40, apresentou uma pequena queda na resistência, praticamente insignificante do ponto de vista estatístico, enquanto para a razão 0,50, o concreto apresentou ganho de resistência nas duas idades.

### 3.4 Vazios

A Tabela 5 mostra a média dos vazios, que apresenta resultados semelhantes em ambas relações água/aglomerante. Amostras com teores de 8 e 10% de sílica ativa apresentaram redução de vazios em comparação ao concreto de referência, devido às partículas de sílica extremamente finas, que melhoram o empacotamento das partículas. Contudo, o mesmo não é observado para o teor de 4%, o que ocorre porque uma quantidade de sílica abaixo de 5% é inadequada para cobrir a superfície dos agregados (NEVILLE, 2016).

Grupo	Vazios médios (%)
0.40(0)	10,20
0.40(4)	12,78
0.40(8)	9,31
0.40(10)	9,63
0.50(0)	11,62
0.50(4)	13,23
0.50(8)	11,36
0.50(10)	11,53

Tabela 5 – Índice de vazios aos 28 dias

### 3.5 Potencial de corrosão

As Figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, os resultados mais críticos das leituras para o potencial de corrosão das razões água/aglomerante 0,40 e 0,50, respectivamente, para cada cobrimento aos 56 dias. A interpretação dos resultados do potencial de corrosão anteriormente apresentada está sinalizada com linhas de cor amarela e vermelha.

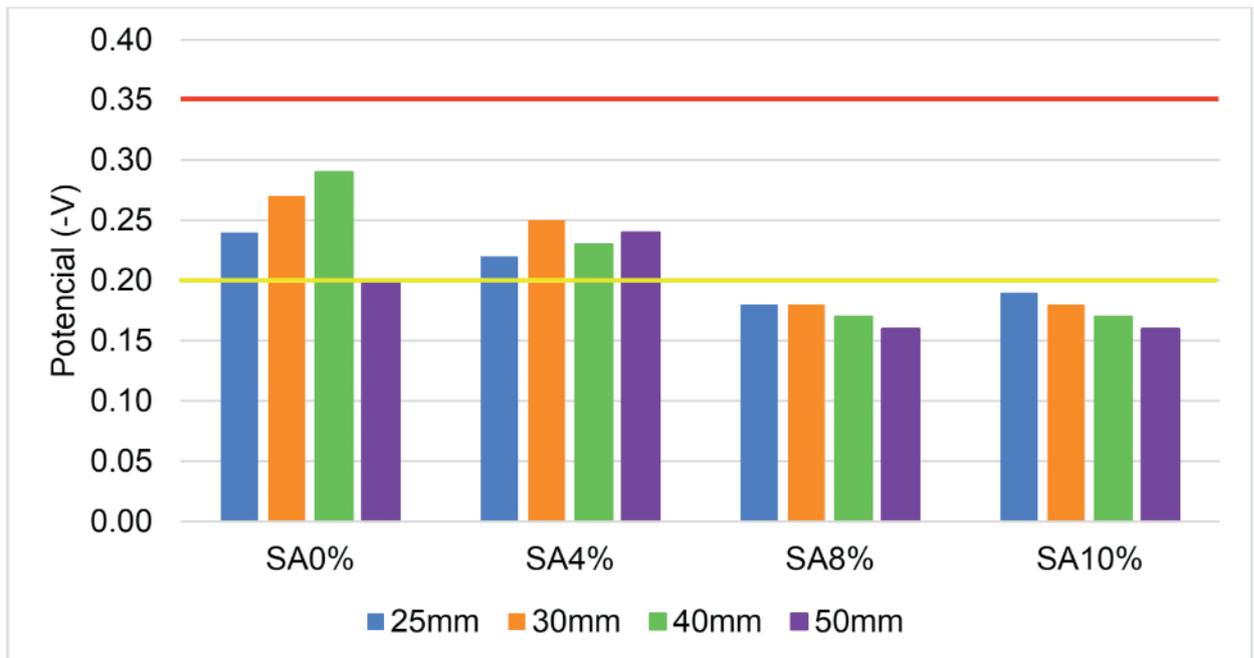


Figura 5 – Potencial de corrosão das amostras com relação a/ag 0,40

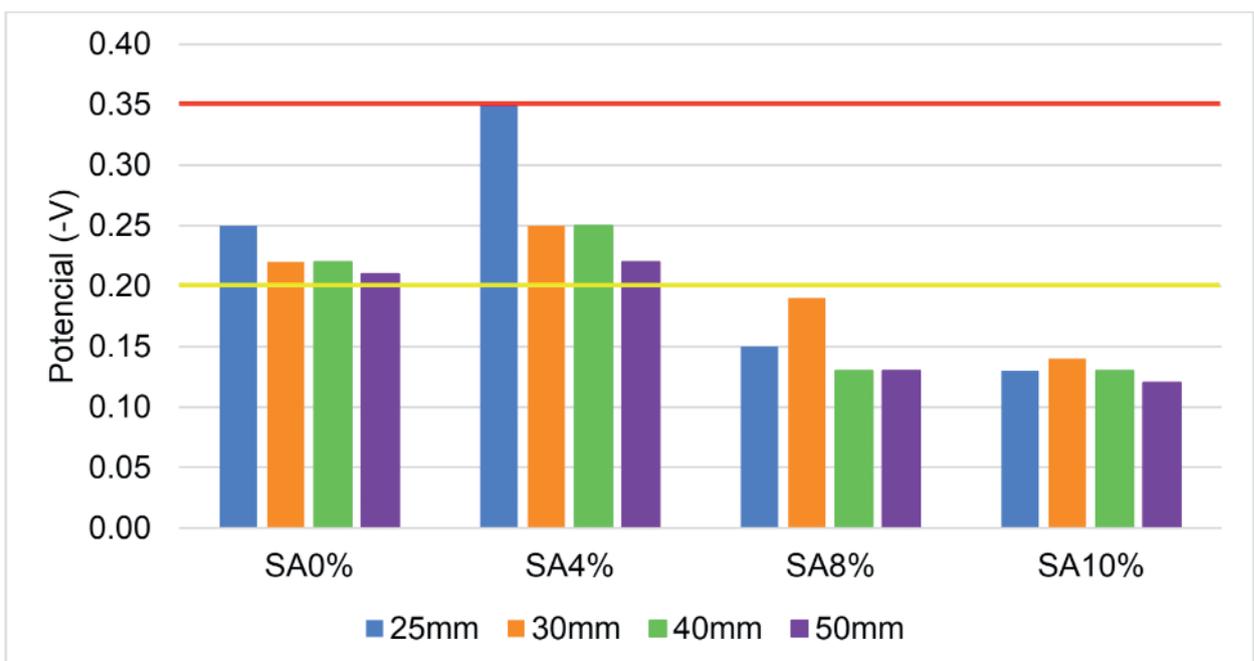


Figura 6 – Potencial de corrosão das amostras com relação a/ag 0,50

Os resultados mostram que os teores de 8 e 10%, independentemente da cobertura e relação a/ag, apresentam baixo risco de corrosão nas condições testadas. No entanto,

a análise das amostras de concreto de referência e com teor de 4% de sílica, em ambas relações a/ag, exibiram valores no intervalo de corrosão incerta, ou seja, pode ou não haver corrosão naquele momento e região analisados. Os resultados obtidos neste procedimento são favoráveis a análise dos vazios, uma vez que os grupos com maiores índices, ou seja, o concreto referência e teor de 4% de sílica apresentaram resultados menos satisfatórios.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que, em um ambiente favorável, a utilização de sílica ativa proporciona ganho de resistência ao concreto. Esse comportamento origina-se da reação pozolânica entre a adição, a água de amassamento e o hidróxido de cálcio, que reduz a zona de transição interfacial, considerada elo fraco do sistema. Há também o efeito microfíler, um melhor empacotamento de partículas devido às dimensões microscópicas da sílica, que se torna mais proeminente a partir do seu uso simultâneo com o aditivo plastificante, devido à sua ação dispersante sobre as partículas do aglomerante.

Contudo, submeter as amostras à simulação da agressividade marinha mostrou que o simples uso de sílica ativa no concreto não melhora seu desempenho em um ambiente agressivo; para tanto, é necessário o uso de teores mínimos. Nesta pesquisa, as quantidades que apresentaram melhor eficácia foram de 8 e 10%. Somado a isso, foi possível observar a possibilidade de utilização da relação água/aglomerante de 0,50 para uma condição de agressividade apresentada pela água do mar, quando utilizado sílica ativa, valor superior ao apresentado na NBR 6118, visto que a resistência à compressão atingiu valores superiores a 40 MPa aos 28 dias, valor mínimo normatizado.

Por fim, os vazios foram notados como fator crucial para o desempenho do concreto, uma vez que a queda da resistência ocorreu em amostras com os maiores índices de vazios, que influenciou significativamente a análise do potencial de corrosão, uma vez que as amostras com vazios mais altos de cada relação água/aglomerante exibiram resultados mais propensos à corrosão.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G1-03**: Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C876-15**: Standard method for half cell potential of uncoated reinforcing steel in concrete. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 versão corrigida de 2009**: Argamassa e concreto endurecidos: determinação absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45**: Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52**: Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

KOSMATKA, S. H.; KERKHOFF, B.; PANARESE, W. C.; **Design and control of concrete mixtures**. 15ª Ed. Skokie: Portland Cement Association, 2011.

LIMA, R. da Silva. **Efeito do ciclo de molhagem e secagem na resistividade elétrica superficial e na resistência à compressão do concreto**: simulação da agressividade marinha. 2017. 115 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

SANTOS, Vito Assis Alencar dos. **Avaliação da durabilidade do concreto utilizado em postes em São Luís**. 2016. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2016.

SILICA FUME ASSOCIATION. **Silica fume user's manual**. Lovettsville, 2005.

SUGAMOSTO, J. **Comparativo entre concretos produzidos com sílica ativa em pó e sílica ativa em forma de lama**. 2007. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

TUTIKIAN, B.; ISAIA, Geraldo C.; HELENE, Paulo. **Concreto de alto e ultra-alto desempenho**. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 2, p. 1283-1325.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agressividade Marinha 48, 50, 51, 56, 58, 59

Análise Geométrica 114

Análise Não Linear 113, 114, 115, 116, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 134, 135, 137

Análise Numérica 138, 149, 151, 163, 294

Argamassa 13, 59, 90, 92, 93, 97, 193

### B

BIM 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 235, 236, 239, 242, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250

### C

CC 23, 27, 28, 33, 65, 81, 93, 95, 109, 116, 120, 122, 140, 141, 142, 143, 154, 156, 160, 161, 162, 169, 187, 189, 190, 200, 201, 280, 288, 289, 290, 292

Cisalhamento 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 128, 134, 136, 146, 241, 292, 293, 294

Coeficiente  $\gamma_z$ , 15

Compósitos 62, 74, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 98

Concreto 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 103, 104, 105, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 136, 137, 138, 139, 140, 144, 145, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 172, 173, 177, 178, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 201, 202, 203, 204, 209, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 231, 232, 233, 234, 235, 237, 239, 240, 250, 251, 252, 253, 254, 258, 260, 261, 262, 264, 266, 267, 268, 278, 279, 280, 281, 282, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 293, 294

Concreto Armado 15, 16, 17, 18, 20, 22, 30, 31, 32, 35, 47, 60, 61, 62, 64, 66, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 88, 112, 113, 115, 116, 117, 124, 125, 127, 128, 130, 132, 133, 137, 138, 139, 149, 150, 151, 152, 155, 162, 163, 164, 165, 166, 172, 173, 177, 178, 204, 209, 215, 216, 217, 218, 219, 225, 235, 239, 240, 252, 253, 260, 261, 262, 266, 267, 278, 279, 280, 293, 294

Curvatura 115, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 175, 176, 177

### D

Deslocamento 27, 96, 121, 147, 161, 187, 197, 206

## E

Edifícios 15, 16, 17, 20, 30, 31, 32, 33, 35, 47, 113, 114, 116, 119, 124, 126, 127, 128, 129, 136, 137, 177, 183, 239, 240, 272, 274

Efeito 13, 24, 43, 50, 55, 58, 59, 105, 116, 149, 164, 165, 176, 183, 206, 214, 244, 266, 275

Elementos 15, 16, 17, 18, 19, 23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 60, 77, 78, 84, 96, 101, 103, 114, 115, 116, 122, 125, 127, 130, 136, 137, 138, 139, 141, 142, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 162, 163, 179, 181, 182, 184, 187, 189, 190, 197, 199, 200, 202, 203, 205, 208, 209, 213, 215, 217, 219, 220, 222, 223, 230, 231, 233, 238, 239, 241, 242, 243, 254, 258, 261, 262, 266, 267, 278, 279, 280, 285, 287, 288, 289, 293

Engesser-Courbon 204, 205, 206, 207, 212, 213, 215

Estabilidade Global 15, 16, 17, 22, 30, 32, 33, 36, 43, 47, 99, 108, 109, 114, 115, 116

Estais 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112

Estocástico 187, 190, 191, 197, 198, 200, 201, 202

Estruturas 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 47, 48, 49, 58, 60, 64, 74, 75, 76, 77, 79, 89, 97, 100, 101, 103, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 123, 124, 127, 128, 136, 137, 145, 150, 151, 152, 162, 163, 165, 166, 177, 178, 180, 188, 190, 202, 203, 209, 215, 216, 230, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 266, 267, 268, 272, 279, 294

## F

Fibra 60, 61, 62, 63, 65, 74, 75, 76, 90, 91, 92, 93, 94, 97

Fibra de Sisal 90, 91, 92, 97

Fluência 77, 79, 81, 82, 86, 88, 166

Fogo 151, 152, 153, 157, 162

## G

Gestão 3, 150, 178, 179, 183, 186, 269

## L

Lajes 17, 18, 20, 21, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 75, 119, 125, 128, 130, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 206, 207, 208, 209, 218, 220, 228, 243, 258, 260, 261, 262, 264, 265, 266

Lajes Nervuradas 32, 33, 34, 35, 41

## M

Método 5, 9, 20, 29, 52, 62, 64, 67, 68, 69, 72, 79, 84, 104, 114, 116, 127, 130, 138, 139, 143, 144, 149, 150, 156, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 187, 189, 190, 191, 197, 199, 200, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215,

216, 238, 239, 240, 249, 252, 279, 283, 287, 293

Método Geral 164, 165, 166, 168, 169, 171, 172, 173, 175, 176, 177

Minerais 2, 4, 13, 193

Modelos 21, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 73, 74, 75, 107, 115, 116, 138, 144, 145, 146, 149, 150, 151, 153, 155, 185, 188, 204, 209, 212, 213, 214, 215, 216, 220, 235, 239, 248, 278, 279, 280, 281, 285, 286

Módulo de Elasticidade 17, 77, 81, 86, 87, 88, 140, 166, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 201, 202, 203, 282, 286

## P

Parâmetro  $\alpha$  15, 25

Pavimento 1, 2, 3, 4, 13, 14, 21, 23, 27, 28, 38, 117, 118, 119, 130, 131, 132, 244, 261

Pilar de Concreto 164, 233

Placas 93, 96, 97, 138, 140, 144, 145, 146

Pontes 99, 100, 101, 103, 106, 107, 111, 112, 204, 205, 208, 209, 210, 213, 215, 216, 253, 258, 268

Potencial de Corrosão 48, 51, 52, 53, 57, 58

PRFC 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 73, 75, 76

Probabilidade 53, 187, 196, 197, 198, 235

Projetos 15, 100, 111, 120, 128, 138, 139, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 217, 218, 220, 224, 226, 232, 233, 235, 238, 239, 240, 242, 243, 244, 245, 246, 249, 250, 258

## R

Reforço 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 125, 129, 130, 131, 132, 134, 136, 234, 250, 258, 267, 293

Resíduos 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 14

Resistência à Compressão 5, 48, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 91, 103, 189, 192, 194, 217, 233, 282

Rigidez  $k$  164, 165, 167, 171, 175, 176, 177

## S

Sílica Ativa 48, 50, 51, 54, 55, 56, 58, 59, 92, 105

Simulação 48, 50, 51, 52, 56, 58, 59, 138, 155, 156, 157, 203, 278, 280, 281, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293

Sistemas 14, 15, 16, 17, 27, 32, 33, 37, 41, 44, 50, 75, 78, 88, 99, 143, 169, 178, 179, 180, 183, 184, 185, 197, 235, 237, 270, 272, 275, 276, 294, 295

Solução Analítica 77, 84

## V

Vazios 7, 12, 48, 53, 56, 58, 59, 224, 227

Viga 42, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 73, 103, 187, 188, 189, 190, 191, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 206, 208, 213, 214, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 233, 241, 245, 248, 263, 264, 266, 278, 280, 285, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**