



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

  
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 CISCALHAMENTO 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 NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO TERMOMECÂNICO DE LAJES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

*Data de aceite: 01/06/2020*

*Data de submissão: 17/04/2020*

### **Andreia Romero Fanton**

Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas  
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/1377130373850684>

### **Luiz Carlos de Almeida**

Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas  
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/7864858509516473>

### **Leandro Mouta Trautwein**

Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas  
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/8892009084347857>

**RESUMO:** Um grande número de pesquisas experimentais e numéricas sobre o comportamento do concreto exposto ao fogo têm sido realizadas em elementos estruturais de vigas e pilares, sendo que as lajes são estudadas com menor frequência. Este

trabalho realizou uma análise numérica do comportamento termomecânico de lajes de concreto armado expostas ao fogo, através de modelagem estrutural em elementos finitos nos programas computacionais ATENA e GiD. Os modelos numéricos térmico e termomecânico em elementos finitos foram ajustados a partir dos resultados de ensaios experimentais obtidos na literatura. Finalmente, avaliou-se numericamente o comportamento termomecânico da laje em situação de incêndio. Dos resultados obtidos para as curvas de incêndio estudadas, observou-se melhor comportamento termomecânico do modelo para incêndio de hidrocarbonetos em comparação com a exposição à curva de incêndio ISO 834. **PALAVRAS-CHAVE:** concreto, fogo, elementos finitos, análise numérica, lajes.

### NUMERICAL ANALYSIS OF THERMOMECHANICAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SLABS IN FIRE

**ABSTRACT:** A large number of experimental and numerical studies on the behavior of concrete exposed to fire have been carried out on structural elements of beams and columns, with slabs being studied less frequently. This paper performed a numerical analysis of the

thermomechanical behavior of reinforced concrete slabs exposed to fire, using finite element modeling of structural elements in the ATENA and GiD (computational programs). The thermal and thermomechanical models in finite elements were adjusted from the experimental results obtained in the literature. Lastly, the thermomechanical behavior of the slab in fire was numerically evaluated. From the results obtained for the fire curves studied, better thermomechanical behavior of the slab exposed to hydrocarbon fire curve was observed comparing to the slab exposed to the ISO 834 curve.

**KEYWORDS:** concrete, fire, finite elements, numerical analysis, slabs.

## 1 | INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio tem como objetivo principal a defesa da vida humana e do patrimônio. Uma vez que situações de incêndio em edificações podem ocorrer a qualquer momento, a importância da segurança dos usuários (objetivo primário) e a manutenção da integridade da estrutura (objetivo secundário) tornam-se relevantes. A integridade estrutural é exigida principalmente em edificações comerciais, pois os danos neste âmbito podem paralisar as atividades econômicas (COSTA, 2008). Os testes de resistência ao fogo de estruturas são realizados em laboratório expondo os elementos estruturais às condições de incêndio e monitorando seu comportamento. Métodos numéricos e analíticos são uma alternativa mais econômica.

Em um edifício, as lajes são os elementos da estrutura que estão menos carregados e são os de maior ductilidade, ou seja, têm grande capacidade de deformação. Em uma situação de incêndio, as lajes mantêm-se estáveis após o Estado Limite Último ser ultrapassado (COSTA, 2008). Entretanto, as lajes devem garantir a integridade física da estrutura no quesito de compartimentação. Se ocorrerem deformações extremas, o isolamento e a estanqueidade podem ser afetados. Caso venha a sofrer colapso, haverá propagação do incêndio entre os pavimentos, o incêndio será estendido e os danos estruturais serão maiores.

As lajes de concreto armado possuem como garantia de resistência estrutural a armadura positiva em sua face inferior, local onde a ação térmica tem maior intensidade. Quando são moldadas in loco, em geral as lajes não têm armadura contra fissuras com função de assegurar resistência adicional caso a armadura positiva principal escoe.

Catástrofes recentes intensificaram a busca pelo entendimento a fundo das alterações das características mecânicas do concreto quando as estruturas são submetidas à situação de incêndio. No dia 1º de maio de 2018, o edifício Wilton Paes de Almeida, no centro de São Paulo, sofreu um incêndio de grandes proporções. O prédio, de 24 andares, desabou pouco mais de uma hora e meia após o início do sinistro (MAXIMIANO, 2018). O Museu Nacional do Rio de Janeiro, um dos principais no Brasil, foi destruído por um incêndio no dia 2 de setembro de 2018. Como não estava acontecendo visitaçã

tragédia, não houveram vítimas. 90% do acervo foi devastado pelo fogo.

Em uma situação de incêndio, muitas propriedades do concreto sofrem alterações significativas, sejam elas físicas, químicas ou mecânicas. Conforme Reddy e Ramaswamy (2017), as propriedades mecânicas são perdidas com a remoção da água existente na pasta de cimento – a qual estava quimicamente ligada – devido às altas temperaturas, provocando assim o seu enfraquecimento. Em diversos casos, elementos de concreto expostos ao fogo podem ter suas camadas fragmentadas devido a uma explosão do material (AMARAL, 2014), fenômeno conhecido como *spalling*, ou lascamento.

## 2 | MODELAGEM NUMÉRICA NÃO LINEAR

Os modelos numéricos foram desenvolvidos através de dois programas computacionais: GiD versão 10.0.9 (pré-processamento) e ATENA versão 5.6.1 (processamento e pós-processamento).

### 2.1 Modelo constitutivo dos materiais

Para materiais frágeis, como o concreto, utiliza-se no programa ATENA um modelo constitutivo denominado *Fracture-Plastic Constitutive Model* (CERVENKA; PAPANIKOLAU, 2008), que considera a combinação dos fenômenos de fratura do material na tração e de plastificação na compressão. A fratura do concreto na tração está baseada na formulação clássica da fissura incorporada smeared crack (RASHID, 1968) e no modelo de banda de fissura (*crack band model*) (BAZANT; OH, 1983).

A propagação de fissuras tem base na teoria da mecânica da fratura não-linear, através da lei de abertura de fissura associada a um modelo coesivo. Para o modelo material *Concrete EC2-CC3DNonLinCementitious 2*, é dada pela função de amolecimento de Hordijk (1991) (Figura 1), onde  $\sigma$  é a tensão de tração,  $w$  é a abertura de fissura,  $f_t^{ef}$  é a tensão de tração efetiva e  $w_c$  é o valor da abertura de fissura quando  $\sigma = 0$ .

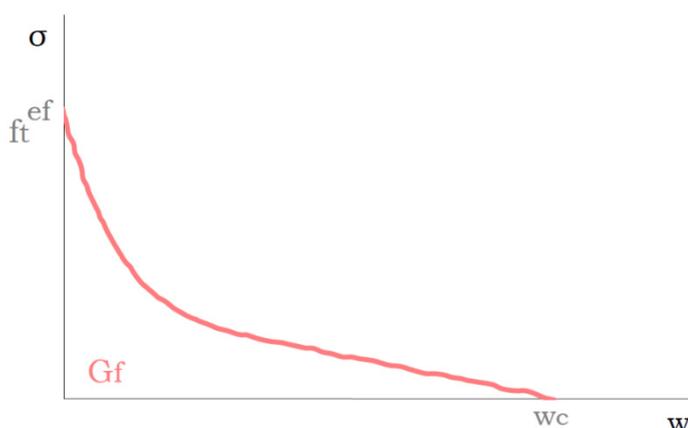


Figura 1: Função de amolecimento exponencial na tração.

O comportamento do concreto à compressão é determinado por um modelo plástico de endurecimento e amolecimento (*Hardening/Softening Plasticity Model*) com base na superfície de ruptura de Menetrey e William (1995), e é representado no ATENA por um modelo de amolecimento *Fictitious Compression Plane Model* (CERVENKA et al., 2017).

O diagrama de tensão de compressão uniaxial versus deslocamento plástico do modelo apresenta um ramo descendente linear, onde o valor do deslocamento plástico pós-pico devido à compressão ( $w_d$ ) é um parâmetro de entrada que pode ser adotado como 0,5mm para o concreto convencional. O modelo está representado na Figura 2.

No modelo, a armadura foi simulada através do modelo material *CCReinforcement*, que segue as relações de tensão versus deformação pela lei multilinear.

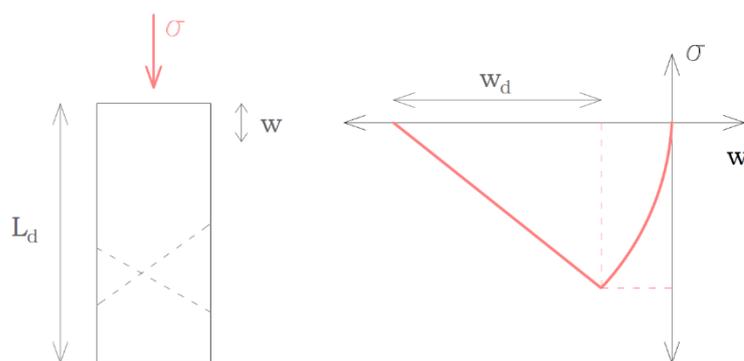


Figura 2: Modelo de amolecimento na compressão *Fictitious Compression Plane Model*.

## 2.2 Elementos finitos utilizados

O elemento finito utilizado para a representação do concreto no modelo foi o *CCIsoBrick20\_3D*, o qual possui 20 nós, e está representado na Figura 3a. O elemento finito utilizado para a representação das armaduras no modelo foi o *CCBarWithBond\_3D*, o qual possui 3 nós, e está representado na Figura 3b.

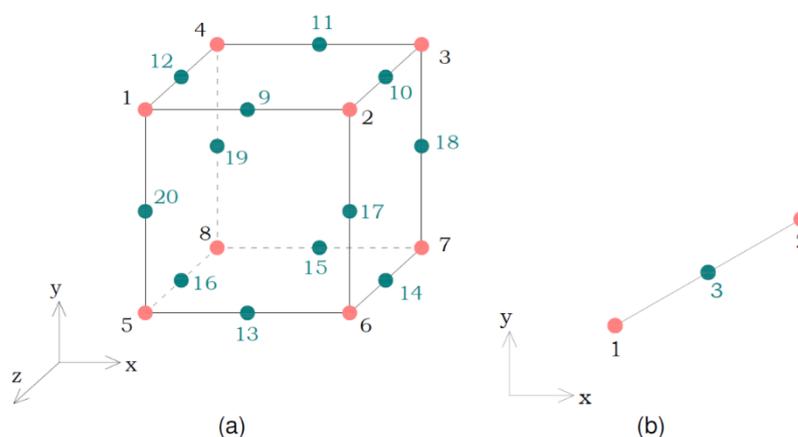


Figura 3: a) Elemento sólido hexaédrico isoparamétrico tipo *CCIsoBrick20\_3D* b) Elemento de barra isoparamétrico tipo *CCBarWithBond\_3D*.

### 3 | SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Os modelos experimental e numérico de Ali et al. (2011) foram simulados em três etapas, sendo elas: **etapa I**: simular numericamente o comportamento mecânico da laje em situação normal, à temperatura ambiente; **etapa II**: simular numericamente o comportamento térmico da laje em situação de incêndio; **etapa III**: simular numericamente o comportamento termomecânico da laje em situação de incêndio.

#### 3.1 Laje em concreto armado de Ali et al. (2011)

As lajes estudadas correspondem às ensaiadas por Ali et al. (2011), de geometria apresentada na Figura 5. As lajes eram simplesmente apoiadas, de seção 3300 x 1200 x 200 mm. As barras T12 representam as 6 barras de aço de 12 mm de diâmetro, no sentido longitudinal. As barras T10 representam a armadura secundária, composta de 13 barras de aço de 10 mm de diâmetro, posicionada perpendicularmente à armadura principal.

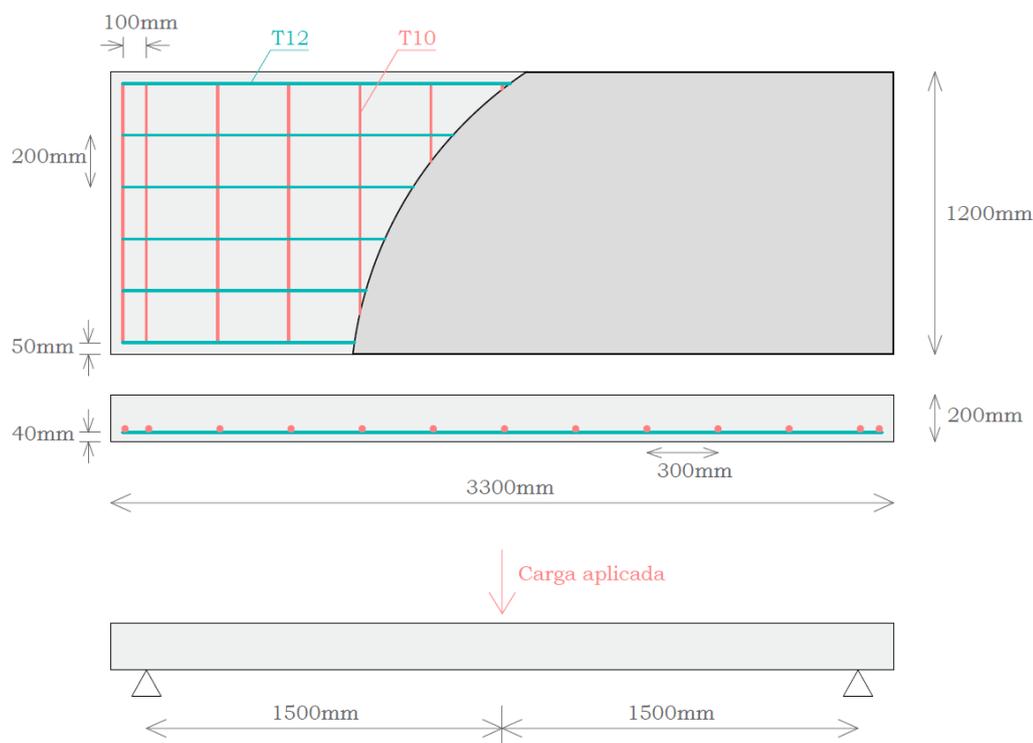


Figura 5: Detalhes de geometria, carregamento e armadura das lajes.

No programa experimental, 6 lajes foram ensaiadas, como apresentado. Todas eram em concreto armado de resistência normal, sendo esta de 42 N/mm<sup>2</sup> (42 MPa) aos 28 dias.

O cobrimento de concreto adotado foi de 40 mm na vertical e 50 mm nas laterais da laje. Todas as lajes foram carregadas com a mesma carga de 65% da carga de projeto (27kN) da BS8110 (1997), incluindo o peso próprio. A carga foi aplicada no ponto central da laje. Dois regimes de aquecimento foram adotados: a curva de incêndio padrão ISO834

e a curva de incêndio de hidrocarbonetos. Todos os ensaios foram feitos dentro de um forno de combustão digitalmente controlado, de dimensões 4 x 3 x 3 m. O aquecimento foi realizado através da superfície inferior das lajes.

Foi medido o deslocamento no ponto central das lajes, e as temperaturas em 3 profundidades diferentes das lajes: na superfície inferior; na altura da armadura (40 mm); a 100 mm da superfície inferior.

### 3.2 Laje em temperatura ambiente

A primeira etapa da simulação consistiu no estudo numérico do comportamento da laje em situação normal, à temperatura ambiente. Para tal, foram considerados apenas os carregamentos de peso próprio e carga aplicada. A Figura 6 apresenta a geometria do modelo da laje. Para permitir o carregamento no centro da laje, esta foi dividida igualmente em 4 volumes. Como condições de contorno da laje, considerando-a como simplesmente apoiada e estática, foi restringido o movimento em Z nas arestas inferiores e o movimento em X na aresta inferior central da laje.

Propriedades de análise do modelo estático: Tipo de processador: 64 bits; Número de threads: -2; Método de solução: Newton-Raphson; Tipo de rigidez: *Elastic Predictor*; Matriz de rigidez: a cada passo; Limite de iterações: 20.

O volume de concreto foi discretizado em uma malha estruturada, com dimensão do elemento de 5 cm. O elemento foi definido como tipo hexaédrico. As armaduras foram definidas como linhas e marcadas como discretização de 1 elemento cada. A malha final de elementos finitos foi composta por 8413 nós. A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas dos elementos do modelo.

Material	$f'_{c0}$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	E (MPa)
Concreto	42	2,52	-	-	39,3
Armadura	-	-	534,8	669,2	209

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos materiais

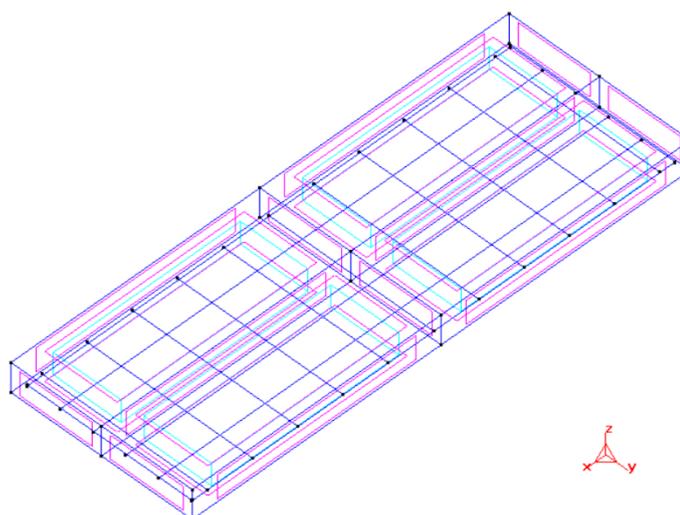


Figura 6: Geometria do modelo da laje. Vista em perspectiva.

### 3.3 Laje em situação de incêndio – análise térmica

Para o estudo numérico do comportamento térmico da laje em situação de incêndio, foram considerados apenas os carregamentos térmicos (exposição da laje de concreto ao fogo), utilizando-se a mesma geometria. A análise de transferência de calor foi realizada para o corpo de concreto da laje. Assumiu-se um intervalo de carga de 3600 segundos. A condição *Fire boundary for surface* foi utilizada para aplicação do carregamento de incêndio à superfície inferior da laje, simulando as curvas de incêndio padrão ISO 834 e de hidrocarbonetos, apresentadas na Figura 7.

A malha final de elementos finitos foi composta por 8375 nós. O concreto foi modelado como *CCTransport Material*, com propriedades apresentadas na Tabela 2.

Parâmetro		Valor inicial	Valor ajustado
Condutividade térmica	[W/°C·m]	2,1	1,1
Capacidade térmica	[kJ/m <sup>2</sup> ·°C]	2550	2550
Temperatura inicial	[°C]	25	25
Umidade inicial	[MPa]	0,9728	0,9728
Emissividade	[-]	-	0,85

Tabela 2: Parâmetros do material CCTransport Material

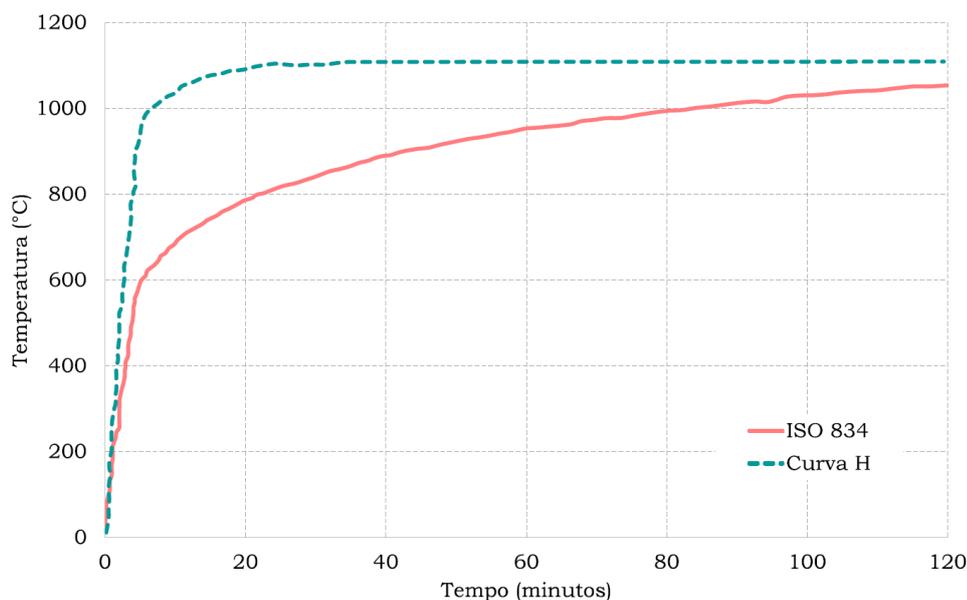


Figura 7: Curvas de incêndio utilizadas. Fonte: adaptado de Costa (2008).

### 3.4 Laje em situação de incêndio – análise termomecânica

A terceira e última etapa da simulação consistiu no estudo numérico do comportamento termomecânico da laje em situação de incêndio, considerando os carregamentos de peso próprio, carga aplicada e carga térmica (exposição ao fogo). Nesta etapa, os dados do modelo térmico foram importados no modelo estático, obedecendo-se às condições de compatibilização entre eles.

O concreto foi modelado como *CC3DNonLin Cementitious2WithTempDepProperties*,

e as armaduras como *CCReinforcementWithTempDepProperties*, em substituição ao *Reinforcement EC2-CCReinforcement*. As propriedades do concreto dependentes da temperatura foram baseadas no Eurocode 2 (EN 1992- 1-2: 2004) e estão apresentadas nas Figuras 8a, 8b, 8c e 8d.

Não foram feitas alterações à geometria, às condições de contorno, às cargas aplicadas e à malha de elementos finitos.

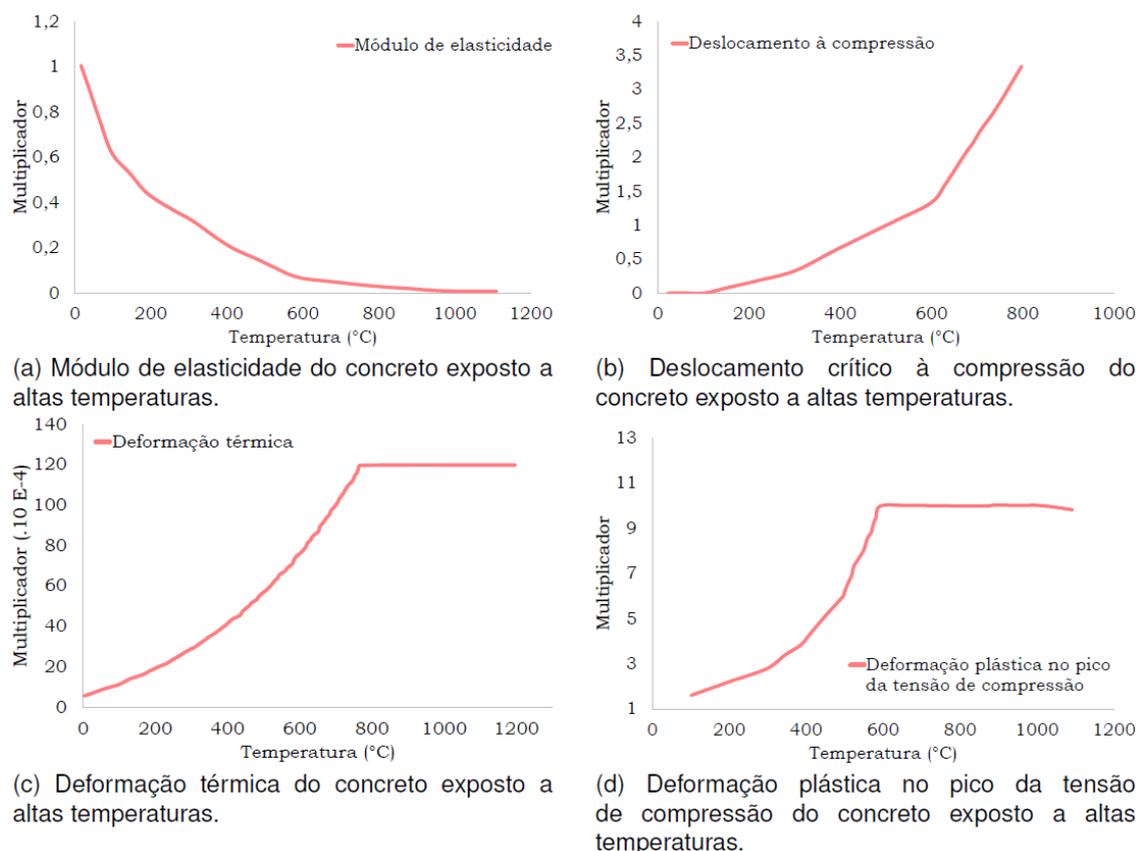


Figura 8: Propriedades do concreto. Fonte: adaptado de SADAGHIAN e FARZAM (2019).

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Validação do modelo térmico

A curva MEF Ali (2011) apresentada nas figuras representa a curva obtida pelo pesquisador utilizando o programa computacional de elementos finitos DIANA. A curva MEF ATENA apresenta os dados obtidos por este trabalho utilizando o programa computacional de elementos finitos ATENA. A curva Média Experimental Ali (2011) representa a média entre os valores obtidos experimentalmente por Ali et al. (2011) para as 3 lajes estudadas em cada situação de incêndio.

Os gráficos das Figuras 9 e 10 apresentam a evolução da temperatura em função do tempo na laje em estudo, através dos pontos de monitoração determinados na etapa de pré-processamento, em comparação com o estudo realizado por Ali et al. (2011).

#### 4.1.1 Lajes expostas à curva de incêndio padrão ISO 834

A Figura 9 apresenta as temperaturas na superfície inferior da laje exposta à curva de incêndio padrão ISO 834. O modelo térmico numérico elaborado representou de forma adequada a variação da temperatura na face inferior da laje. Nota-se, pela figura, que o modelo elaborado se aproximou ainda mais dos resultados obtidos experimentalmente por Ali et al. (2011) após os primeiros 10 minutos iniciais, nos quais registrou-se diferença entre os resultados experimental e numéricos como apresentado na Figura.

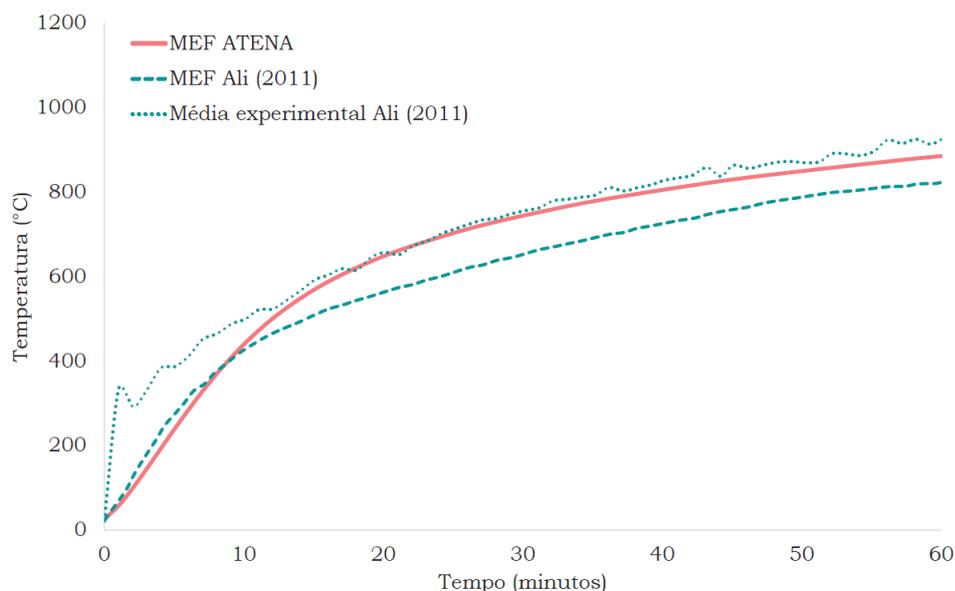


Figura 9: Temperaturas na superfície inferior da laje - curva de incêndio ISO 834.

#### 4.1.2 Lajes expostas à curva de incêndio de hidrocarbonetos

A Figura 10 apresenta as temperaturas na superfície inferior da laje exposta à curva de incêndio de hidrocarbonetos. O modelo térmico numérico elaborado representou de forma adequada a variação da temperatura na face inferior da laje. Nota-se, pela figura, que o modelo elaborado se aproximou ainda mais dos resultados obtidos experimentalmente por Ali et al. (2011), sendo que a representação foi mais eficiente após os primeiros 20 minutos. Nos 25 minutos finais de ensaio, o modelo desta pesquisa representou muito bem os resultados de temperatura quando feita a comparação com os dados experimentais.

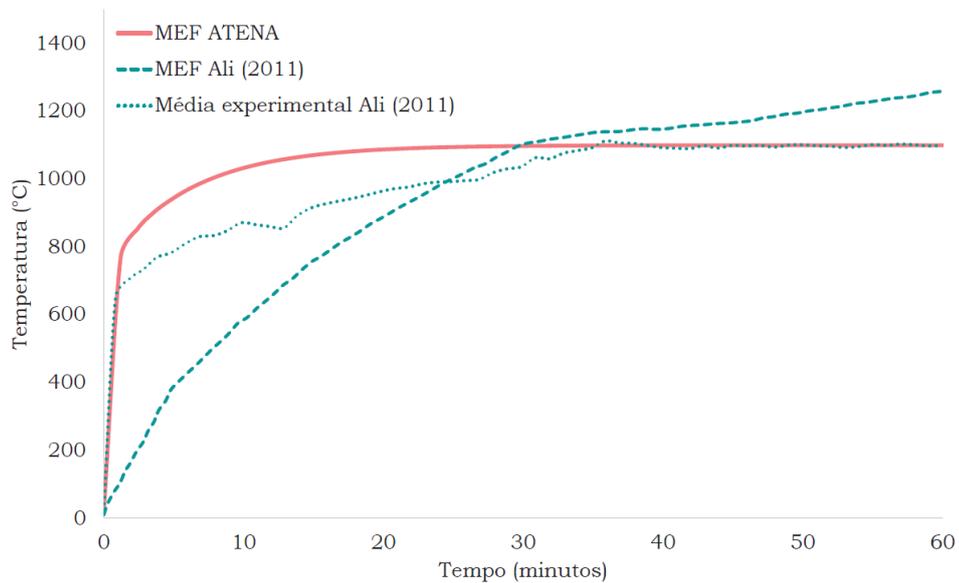


Figura 10: Temperaturas na superfície inferior da laje - curva de incêndio de hidrocarbonetos.

## 4.2 Validação do modelo termomecânico

### 4.2.1 Lajes expostas à curva de incêndio padrão ISO 834

Fez-se a comparação entre os ensaios experimental e numérico de Ali et al. (2011) e o presente estudo numérico. A Figura 11 é captura de tela do programa ATENA para a análise termomecânica. O deslocamento no centro da laje está apresentado na Figura 12. Nos 20 minutos finais de ensaio, foram obtidos deslocamentos no centro da laje superiores àqueles dos ensaios experimental e numérico de Ali et al. (2011). O comportamento da curva de deslocamentos segue o mesmo padrão apresentado pelo pesquisador.

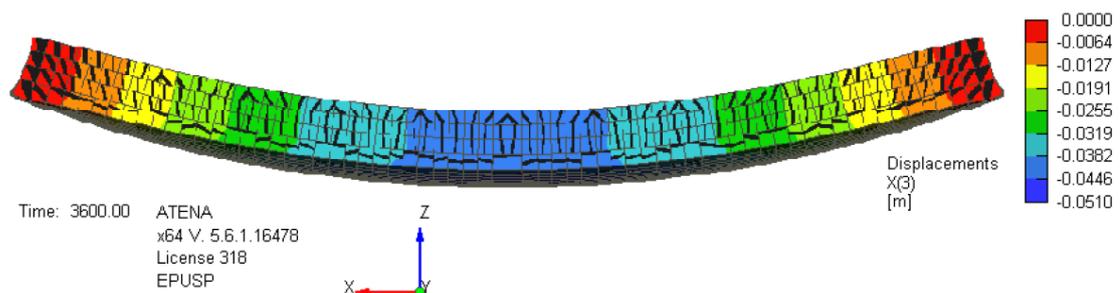


Figura 11: Deslocamentos na laje - Exposição à curva de incêndio padrão ISO 834.

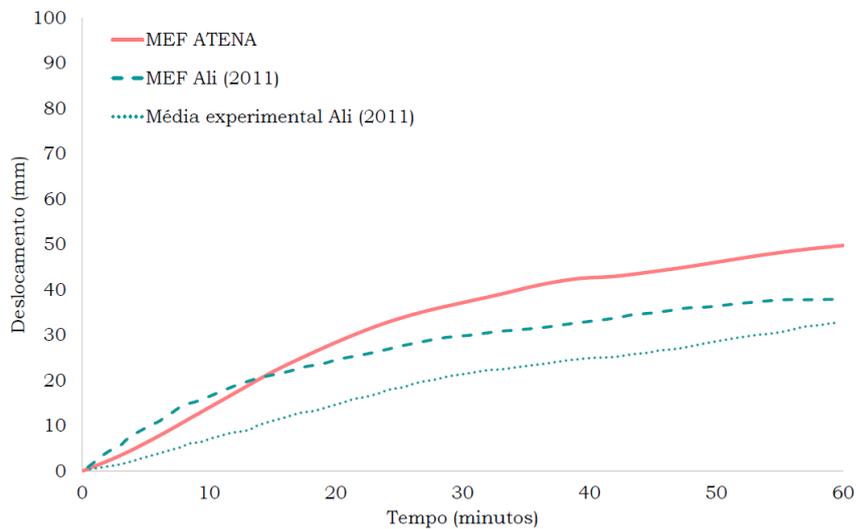


Figura 12: Deslocamento no centro da laje - exposição à curva de incêndio ISO 834.

#### 4.2.2 Lajes expostas à curva de incêndio de hidrocarbonetos

Fez-se a comparação entre os ensaios experimental e numérico de Ali et al. (2011) e o presente estudo numérico. O deslocamento no centro da laje está apresentado na Figura 13. O modelo termomecânico apresentou boa aproximação com os resultados dos ensaios experimental e numérico de Ali et al. (2011), com um desvio nos primeiros 10 minutos de ensaio. A Figura 14 é captura de tela do programa ATENA para a análise termomecânica.

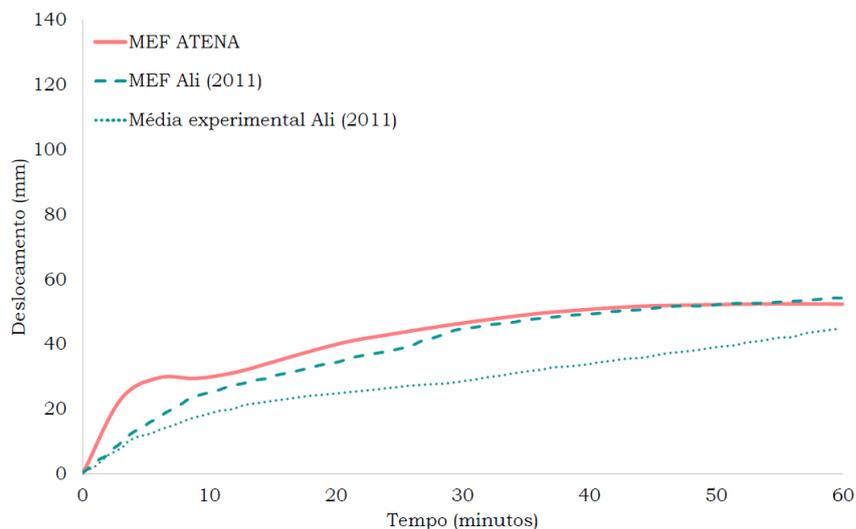


Figura 13: Deslocamento no centro da laje - curva de incêndio de hidrocarbonetos.

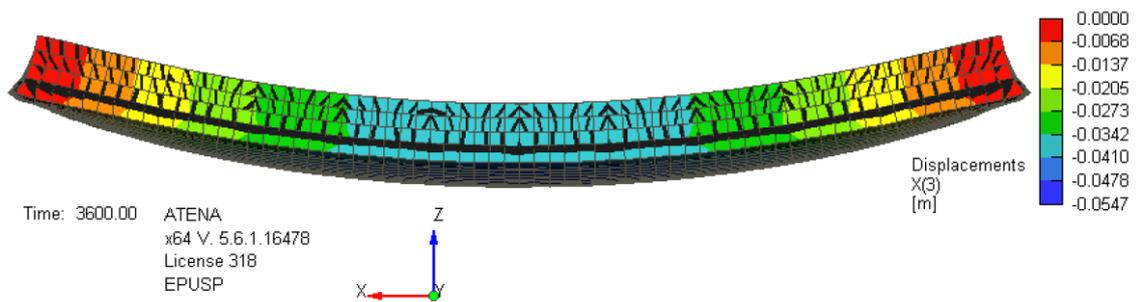


Figura 14: Deslocamentos na laje - Exposição à curva de incêndio de hidrocarbonetos.

## 5 | CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é o estudo do comportamento termomecânico de lajes de concreto armado com armaduras nas duas direções, simplesmente apoiadas, em situação de incêndio. Para tanto, foi modelada a laje ensaiada por Ali et al. (2011), com aplicação de carga térmica em 20 passos de carga. Através da comparação dos resultados obtidos para o modelo térmico - temperaturas - e para o modelo termomecânico – deslocamentos –, conclui-se que o trabalho conseguiu representar de forma correta o comportamento da estrutura ao fogo. As curvas de temperatura em função do tempo e deslocamento em função do tempo foram apresentadas e pode-se dizer que apresentaram um comportamento semelhante, mas a melhora somente será conseguida com a obtenção de todos os parâmetros do modelo de forma experimental.

A variação das curvas de incêndio aplicadas à laje em estudo mostrou o comportamento do concreto frente a intensidades diferentes de calor.

O modelo desenvolvido em elementos finitos para este trabalho apresentou comportamento semelhante ao obtido nos ensaios experimentais de pesquisas anteriores, o que mostra sua eficiência e possibilidade de utilização.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao CNPq pelo apoio financeiro na realização desta pesquisa e ao LabMEM (Laboratório de Modelagem Estrutural e Monitoração).

## REFERÊNCIAS

ALI, F.; NADJAI, A.; ABU-TAIR, A. **Explosive spalling of normal strength concrete slabs subjected to severe fire**. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 44, p. 943–956, 2011. ISSN 13595997.

AMARAL, R. d. O. **Análise Computacional Termo-Mecânica de Estruturas de Concreto Sujeitas a Temperaturas Elevadas**. 97 p. Dissertação (mestrado) — UFJF, 2014.

BAZANT, Z. P.; OH, B. H. **Crack band theory for fracture of concrete**. *Matériaux et construction*, v. 16, n. 3, p. 155–177, 1983.

BRITISH STANDARD - INCORPORATING AMENDMENT. **BS 8110-1: 1997 Structural Use of Concrete - Part 1: Code of practice for design and construction.** Reino Unido, 1997. 160 p.

CERVENKA, J.; PAPANIKOLAOU, V. K. **Three dimensional combined fracture–plastic material model for concrete.** International Journal of Plasticity, v. 24, n. 12, p. 2192–2220, 2008.

CERVENKA, V.; JENDELE, L.; CERVENKA, J. **ATENA program documentation, Part 1: Theory.** Prague, Czech Republic: Červenka Consulting, 2017. v. 1. 231 p.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio.** 401 p. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1992-1-2: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1.2: General Rules - Structural Fire Design.** Bruxelas, 2004. 97 p.

HORDIJK, D. **Local approach to fatigue of concrete.** 210 p. Tese (Unpublished PhD thesis) — Delft University of Technology, 1991.

MAXIMIANO, D. P. **Análise Numérica Avançada de Estruturas de Aço e de Concreto Armado em Situação de Incêndio.** 197 p. Tese (doutorado) — Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

MENETREY, P.; WILLIAM, K. J. **Triaxial failure criterion for concrete and its generalization.** ACI Structural Journal, v. 92, n. 36, p. 311–318, 1995.

RASHID, Y. R. **Ultimate strength analysis of prestressed concrete pressure vessels.** Nuclear engineering and design, v. 7, n. 4, p. 334–344, 1968.

REDDY, D. H.; RAMASWAMY, A. **Influence of mineral admixtures and aggregates on properties of different concretes under high temperature conditions I: Experimental study.** Journal of Building Engineering, Elsevier Ltd, v. 14, p. 103–114, 2017.

SADAGHIAN, H.; FARZAM, M. **Numerical investigation on punching shear of RC slabs exposed to fire.** Computers and Concrete, v. 23, n. 3, p. 217–233, 2019.

## 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**