



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>	



**CAPÍTULO 6 ..... 77**

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

**DOI 10.22533/at.ed.6952009076**

**CAPÍTULO 7 ..... 90**

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

**DOI 10.22533/at.ed.6952009077**

**CAPÍTULO 8 ..... 99**

ANÁLISE ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA DA PONTE ESTAIADA DA RODOVIA DO PARQUE – (BR-448)

Rafael Cariolato Dorneles  
Paula Manica Lazzari

**DOI 10.22533/at.ed.6952009078**

**CAPÍTULO 9 ..... 113**

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

**DOI 10.22533/at.ed.6952009079**

**CAPÍTULO 10 ..... 125**

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

**DOI 10.22533/at.ed.69520090710**

**CAPÍTULO 11 ..... 138**

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

**DOI 10.22533/at.ed.69520090711**

**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 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

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 26/03/2020

### Denilda Silva Costa

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5311378175669956>

### Jaciara Santos Brandão

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8212481898109102>

### Allyson Corrêa Dias

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5435308038152317>

### Fernanda Fonseca Lima

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8881635043434821>

**RESUMO:** A técnica de aproveitamento e reabilitação de edificações ainda é prática tímida no Brasil, surgindo como alternativa de redução de custos e aproveitamento de espaços subutilizados. Com essa finalidade a Prefeitura Municipal de Parauapebas-PA (PMP-PA) utilizou um galpão que servia como almoxarifado, adequando-o para sediar a estrutura administrativa da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA) e Secretaria Municipal de Urbanismo (SEMURB). A adequação foi feita através do uso de laje mista, inserindo-se laje de concreto armado sobre estrutura metálica de vigas e pilares, entretanto, pouco tempo após o início das atividades operacionais observou-se o aparecimento de fissuras na parte superior da laje, especialmente sobre os apoios metálicos. O presente trabalho apresenta uma análise computacional, simulando as condições atuais de utilização, com o objetivo de identificar as causas das fissuras e eventuais riscos à estabilidade local e global da estrutura. A análise apontou falhas na metodologia executiva das lajes mistas e deformações excessivas em alguns elementos estruturais.

**PALAVRAS CHAVE:** Análise estrutural. Reforço estrutural. Fissuras. Retrofit.

# ELASTIC AND NONLINEAR LINEAR ANALYSIS OF THE BUILDING STRUCTURE FOR THE INSTALLATION OF TWO ADMINISTRATIVE HEADQUARTERS OF THE PARAUPEBAS PREFECTURE AFTER USE OF REINFORCEMENT FOR REVITALIZATION OF BUILDING

**ABSTRACT:** The technique of building recovery and rehabilitation is still a timid practice in Brazil, appearing as an alternative to reduce costs and use underutilized spaces. To this end, the Municipality of Parauapebas-PA (PMP-PA) used a shed that served as a warehouse, adapting it to host the administrative structure of the Municipal Environment Secretariat (SEMMA) and Municipal Department of Urbanism (SEMURB). The suitability was made through the use of mixed slab, inserting reinforced concrete slab over metal structure of beams and pillars, but a short time after the beginning of the operational activities, it was observed the appearance of cracks in the upper part of the slab, especially on metal supports. The present work presents a computational analysis, simulating the current conditions of use, in order to identify the causes of fissures and possible risks to the local and global stability of the structure. The analysis pointed out flaws in the executive methodology of the mixed slabs, mainly and excessive deformations in some structural elements.

**KEYWORDS:** Structural analysis. Structural reinforcement. Crack. Retrofit.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 Reciclagem de edifícios

Segundo (Ferreira et al., 2003) o processo de reabilitação (reciclagem ou retrofit) é a prática de transformar o edifício velho em novo, por meio de diferentes níveis de intervenções que são promovidas pelo setor público ou privado, objetivando tornar disponíveis para o uso em condições de segurança e habitabilidade as edificações, com ou sem valor histórico que atualmente fazem parte do parque imobiliário edificado ocioso ou em deterioração. Dentro das necessidades da edificação para adequá-la ao uso desejado, podem ser apresentadas as definições abaixo para cada tipo de intervenção:

- Restauração: Leva uma edificação parcial ou totalmente a seu estado original, existe um retorno à sua forma primitiva, (BRASIL, 2008);
- Revitalização: É o conjunto de medidas que visam criar nova vitalidade, dar novo grau de eficiência a um edifício ou conjunto urbanístico, (KUTTER, 1999);
- Reabilitação: É uma intervenção em um bem ou conjunto patrimonial protegido total ou parcialmente, caso não seja possível nem conveniente seu restauro, inclui um conjunto de intervenções específicas de adequação e renovação com o objetivo de recuperar as características arquitetônicas globais e suas condições de estabilidade, uso e conforto. (FREITAS, 2012).

No Brasil a reciclagem de edifícios no setor da construção civil ainda não é popular,

diferente dos países europeus, onde as atividades de reabilitação superam as de novas construções, conforme mostra a Figura 1.

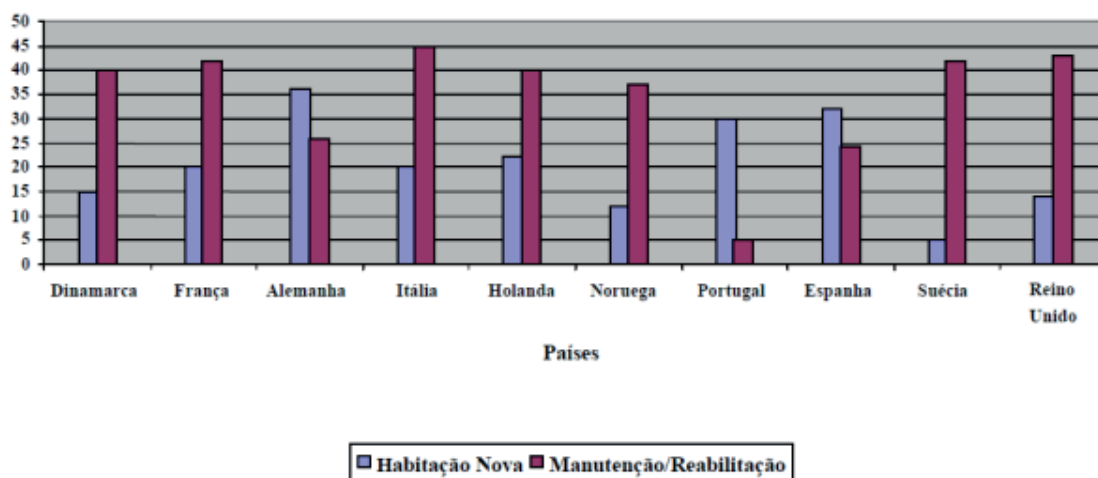


Figura 1 - Experiência internacional em reabilitação de edifícios.

Fonte: Euroconstruct, (1997) em Barrientos, M.I.G.G/Qualharini, E.L.,2002

Essas modificações muitas vezes são realizadas sem que sejam realizadas análises estruturais que demonstrem o comportamento dessas estruturas frente as novas sobrecargas e com as novas interações entre os materiais (estruturas antigas/novas estruturas). Assim, pouco tempo após o início da utilização das edificações surgem patologias e problemas estruturais que levam ao desconforto e insegurança dos usuários.

## 1.2 Análise linear e análise não linear

O estudo do comportamento das estruturas de aço e concreto armado evoluiu ao longo dos anos. Segundo Martins (2001) os primeiros trabalhos de análises de prédios foram desenvolvidos utilizando técnicas do meio contínuo para analisar as estruturas com o uso da teoria da flexo-torção de VLASSOV (1992). Com o passar dos anos e a evolução computacional os trabalhos desenvolvidos no âmbito na análise estrutural passaram a ser realizados com o uso de análise matricial pelo processo dos deslocamentos e do método dos elementos finitos.

A análise estrutural tem como função principal a determinação dos esforços solicitantes, deslocamentos, bem como o comportamento das estruturas quando sujeitas a carregamento, através da verificação dos estados-limites últimos e de serviço (ABNT NBR 6118, 2014).

A ABNT NBR 6118 (2014) apresenta para análise estrutural alguns métodos que podem ser utilizados dependendo do comportamento admitido para o material que constitui a estrutura, entre eles estão a Análise Linear onde admite-se comportamento elástico-linear para a estrutura e Análise não-linear. Neste método, deve ser considerado

para análise o comportamento não linear geométrico e dos materiais (física) e, para isso, são necessários conhecer toda a geometria, bem como todas as suas armaduras, pois o resultado de uma análise não-linear está diretamente ligado a forma como a estrutura foi armada.

O concreto armado apresenta comportamento não-linear físico devido a sua composição, aço e concreto, que apresentam a relação tensão-deformação não lineares, sendo necessário analisar as estruturas quanto a não linearidade física. Para Junges (2018) os projetos apresentam não linearidade geométrica quando “a configuração deformada da estrutura influi nas suas equações de equilíbrio, ou quando há relações não lineares entre deformações específicas e deslocamentos”.

### 1.3 Laje mista

De acordo com a ABNT NBR 8800/2008, as estruturas mistas de aço e concreto são aquelas formadas por componentes de aço e de concreto, armado ou não, de densidade normal ou baixa trabalhando em conjunto. Esta norma define os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas mistas, não abrangendo o dimensionamento de estruturas em situações de incêndio, nesse caso, devendo-se consultar a ABNT NBR 14323. Portanto, lajes mistas consistem na associação de fôrmas de aço perfiladas, com perfil nos formatos reentrante ou trapezoidal, com o concreto, e são aplicadas em edifícios comerciais, industriais, shoppings, hospitais, entre outros. A fôrma de aço age não somente como uma fôrma de trabalho na fase de execução, mas também proporciona vinculação ao concreto quando adquire rigidez, por meio da transferência do cisalhamento horizontal. A Figura 2 ilustra os componentes básicos do sistema.

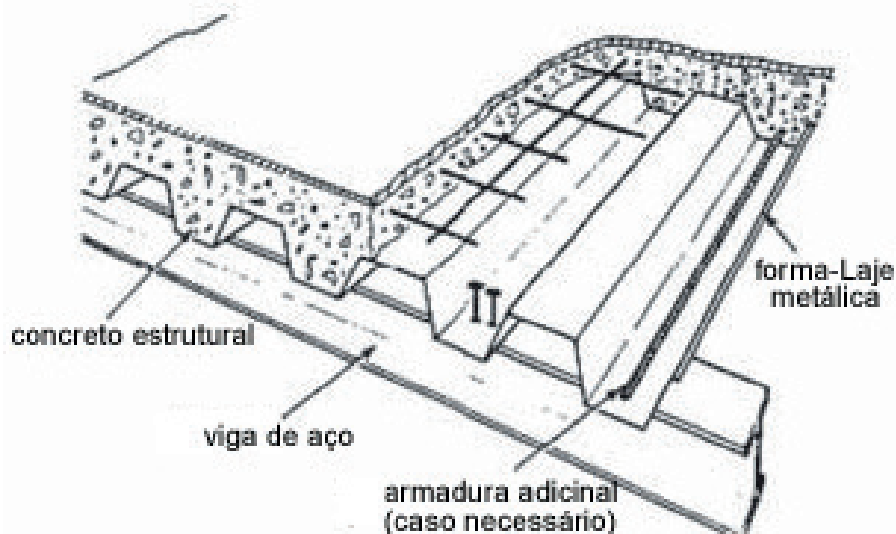


Figura 2 - Componentes básicos de lajes mistas.

Fonte: Revista Construção Metálica, edição nº 73 ABCEM.

O sistema apresenta diversos benefícios como velocidade de construção, economia no transporte, estabilidade estrutural e proporciona construções mais leves e sustentáveis. Porém, há limitações que devem ser respeitadas:

- Pavimentos onde carregamentos dinâmicos interferem na união entre a forma de aço e o concreto;
- Uso de aditivos a base de cloreto, pois atacam a galvanização das chapas de aço;
- Em áreas costeiras e em situações dimensionadas para o estado limite de incêndio, a fôrma deve ser desprezada, sendo necessário uso de armaduras de reforço;

## 2 | PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

### 2.1 Problema investigado

Parauapebas é o quinto município paraense mais populoso com uma estimativa de 202.356 habitantes (IBGE, 2017). Seu produto interno bruto é um dos maiores do estado, tendo sido o maior em 2011, superando a capital Belém. Tal importância leva à necessidade de existir uma adequada estrutura administrativa que permita a manutenção do desenvolvimento e crescimento do município. Com o objetivo de aproveitar um prédio da administração pública municipal, utilizado como almoxarifado, readequando-o para servir como sede administrativa da SEMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente) e da SEMURB (Secretaria Municipal de Urbanismo), através de um processo denominado reabilitação de edifícios (ou reciclagem), foram realizadas alterações estruturais que consistiram na inserção de pilares metálicos independentes para sustentar uma laje, modificando a finalidade da edificação. A Figura 3 mostra a localização da sede, que foi inaugurada em 2014.

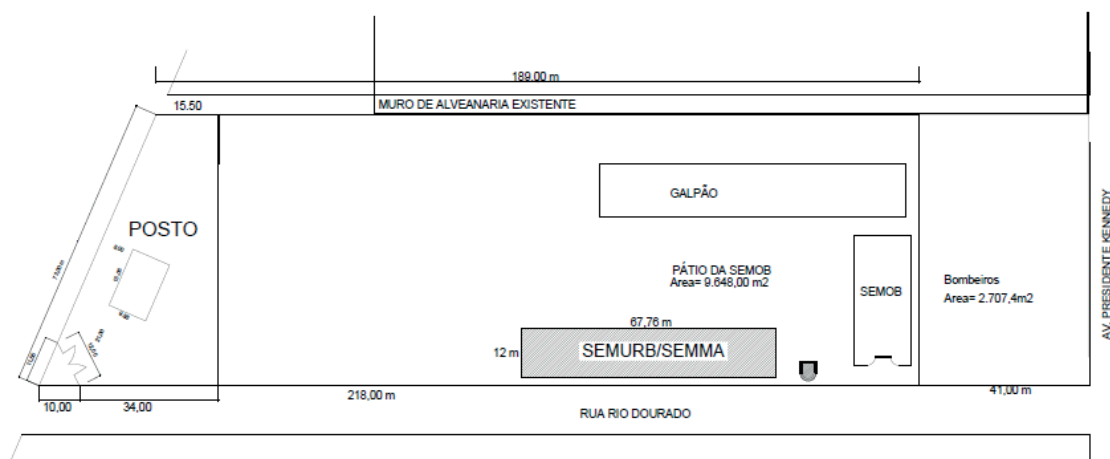


Figura 3 - Localização da Sede Administrativa da SEMMA.

Fonte: Prefeitura Municipal de Parauapebas (2018).



Com o uso da edificação e início das atividades após as intervenções estruturais, começaram a surgir fissuras em alguns pontos da parte superior da laje, provocando desconforto e insegurança nos usuários. A situação foi se intensificando com o aumento no número e frequência das fissuras, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4 - Fissuras na Laje Superior / piso.

Fonte: Autores (2018).

## 2.2 Metodologia

Para entender melhor a estrutura, buscando explicar o surgimento de fissuras na parte superior das lajes do prédio em estudo e analisar o comportamento da superestrutura, foi realizada a modelagem computacional em software que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) para fazer uma análise linear e uma análise não-linear física da estrutura.

No projeto original o prédio foi construído em estrutura convencional em concreto armado, posteriormente, durante o processo de revitalização foram inseridas no pavimento térreo reforço estrutural que consistia na utilização de vigas e pilares metálicos de forma independente da estrutura principal, mas interligados entre si, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 - Pilares e Vigas Metálicos.

Fonte: Autores (2018).

A Figura 6 apresenta a distribuição dos pilares de concreto existentes (P) e dos pilares metálicos de reforço inseridos (PR) para o pavimento térreo. A Figura 7 apresenta a distribuição para o pavimento superior (sem estrutura de reforço, apenas painéis divisórios), essa mesma distribuição foi estabelecida no software para a análise estrutural.

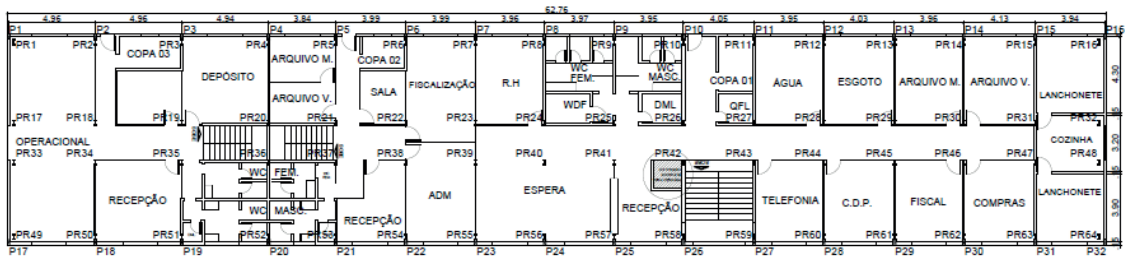


Figura 6 - Pavimento térreo: distribuição dos pilares de concreto existentes (P) e dos pilares metálicos de reforço.

Fonte: Prefeitura Municipal de Parauapebas (2018).

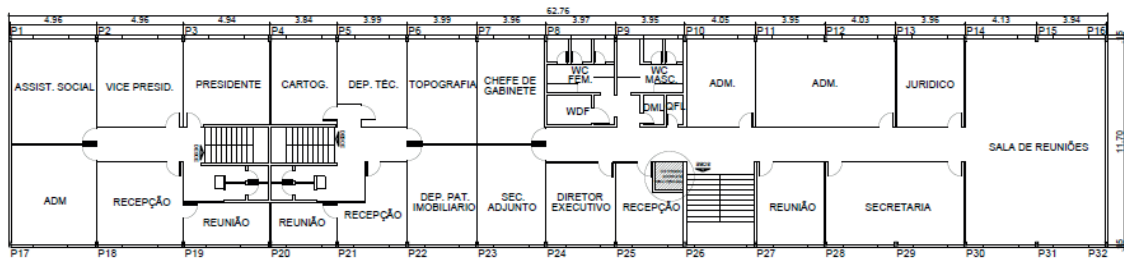


Figura 7 - Pavimento Superior: distribuição dos pilares de concreto existentes (P) e painéis divisórios.

Fonte: Prefeitura Municipal de Parauapebas (2018).

A ausência de pilares internos permitiu flexibilidade no arranjo dos ambientes, por ser um galpão com pé-direito elevado e cobertura metálica. Para viabilizar a distribuição das salas no pavimento superior utilizou-se divisórias navais, por apresentar baixo peso por  $m^2$  em relação ao sistema convencional (alvenaria).

Para modelagem computacional foram adotadas as seguintes premissas:

- Pilares de concreto armado (P1 a P32), seção 15x30 cm;
- Vigas em concreto armado, seção 15x45 cm;
- Pilares metálicos de reforço (PR1 a PR64), aço laminado ASTM A36 com seção conforme Figura 9, utilizados também nas vigas de sustentação da laje;
- Laje de concreto armado ( $e=10$  cm);
- Carga permanente distribuída sobre as lajes igual a  $1\text{ kN/m}^2$ , devido às divisórias;
- Sobrecarga de utilização sobre lajes no valor de  $2\text{ kN/m}^2$ , conforme indicação da NBR 6120/80;
- Lajes modeladas como elemento “Shell” refinada em malha de cerca de  $50\times 50\text{ cm}$ ;
- Cargas de paredes sobre vigas externas no valor de  $5,85\text{ kN/m}$  no nível da laje e  $2,55\text{ kN/m}$  no nível da cobertura (platibanda).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 8 mostra a estrutura modelada no software para análise do comportamento estático, sob ação do peso próprio e sobrecarga de utilização. A ação do vento não foi considerada por não agir diretamente na estrutura de reforço, sendo “blindada” pela estrutura externa original do galpão.

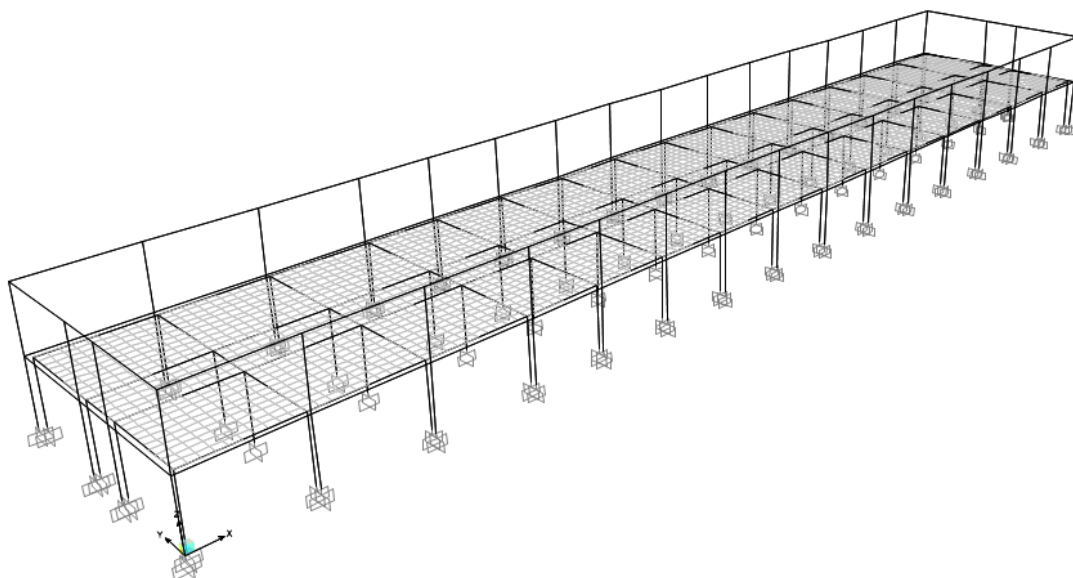


Figura 8 - Estrutura modelada no Software para a análise.

Fonte: Autores (2018).

Através da modelagem computacional observou-se a existência de deformações mais elevadas sobre as vigas de apoio das lajes, principalmente nas regiões próximas às extremidades, onde os vãos de lajes são maiores (quase 5 metros). A Figura 9 mostra o padrão de deformação da estrutura.

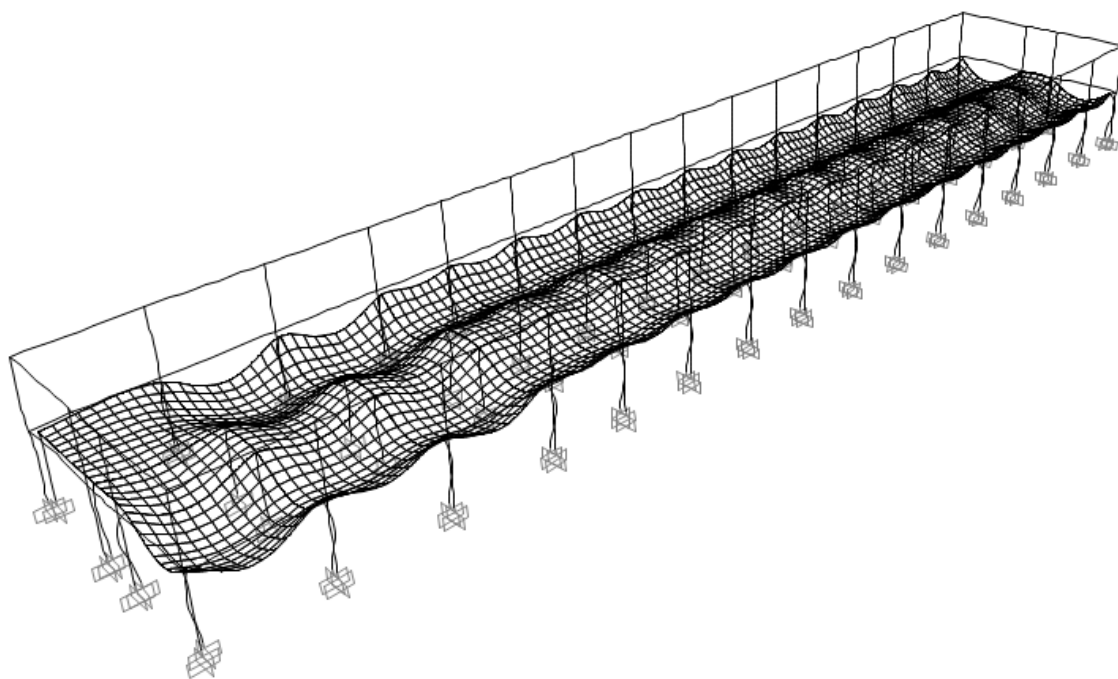


Figura 9 - Análise da Estrutura através do software.

Fonte: Autores (2018).

Pode-se observar que os pilares em concreto armado, concebidos inicialmente,

apresentaram poucas deformações, pois a estrutura interna de reforço trabalha de forma independente, transmitindo esforços quase nulos. Verificou-se a predominância de momentos negativos superiores, em termos de grandeza, conforme ilustrado na Figura 10, que apresenta também o padrão de deformação da seção transversal da estrutura.

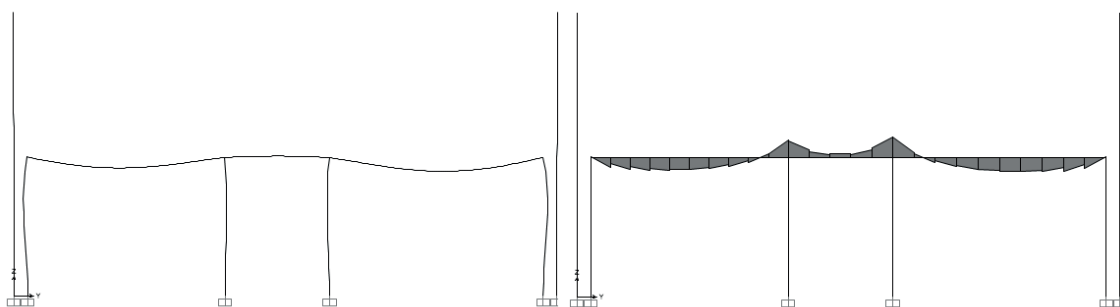


Figura 10 - Momentos fletores e deformação – análise linear.

Fonte: Autores (2018).

Na Figura 11, vê-se as deformações e momentos na análise não linear física foram pouco modificadas.

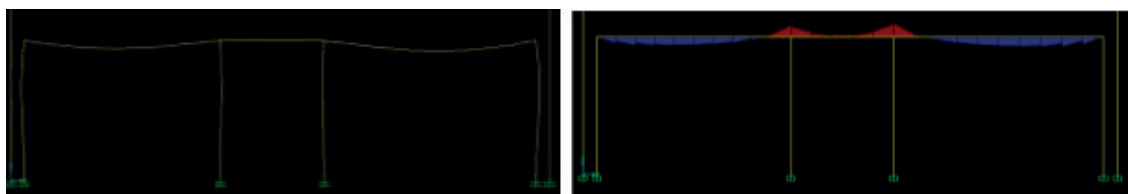


Figura 11 - Momentos fletores e deformação – análise não linear física.

Fonte: Autores (2018).

As lajes apresentaram tendência de deformação sobre os apoios, em virtude da seção de apoio reduzida (largura do perfil), gerando tensões elevadas, sendo imprescindível o uso de conectores de cisalhamento. A Figura 12 mostra as regiões onde ocorrem as solicitações positivas e negativas para a análise linear e a Figura 13 para a análise não linear física.

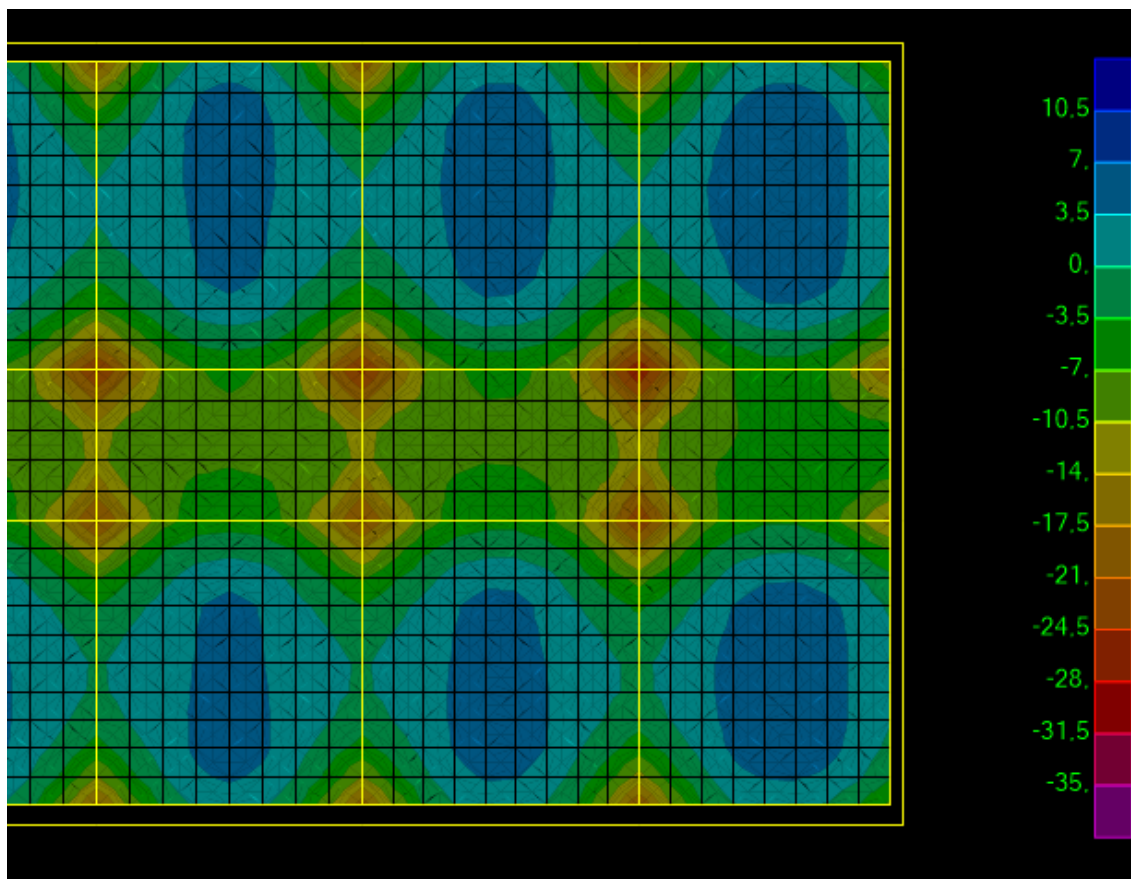


Figura 12 - Detalhes das regiões onde ocorrem solicitações positivas e negativas na análise linear  
 Fonte: Autores (2018).

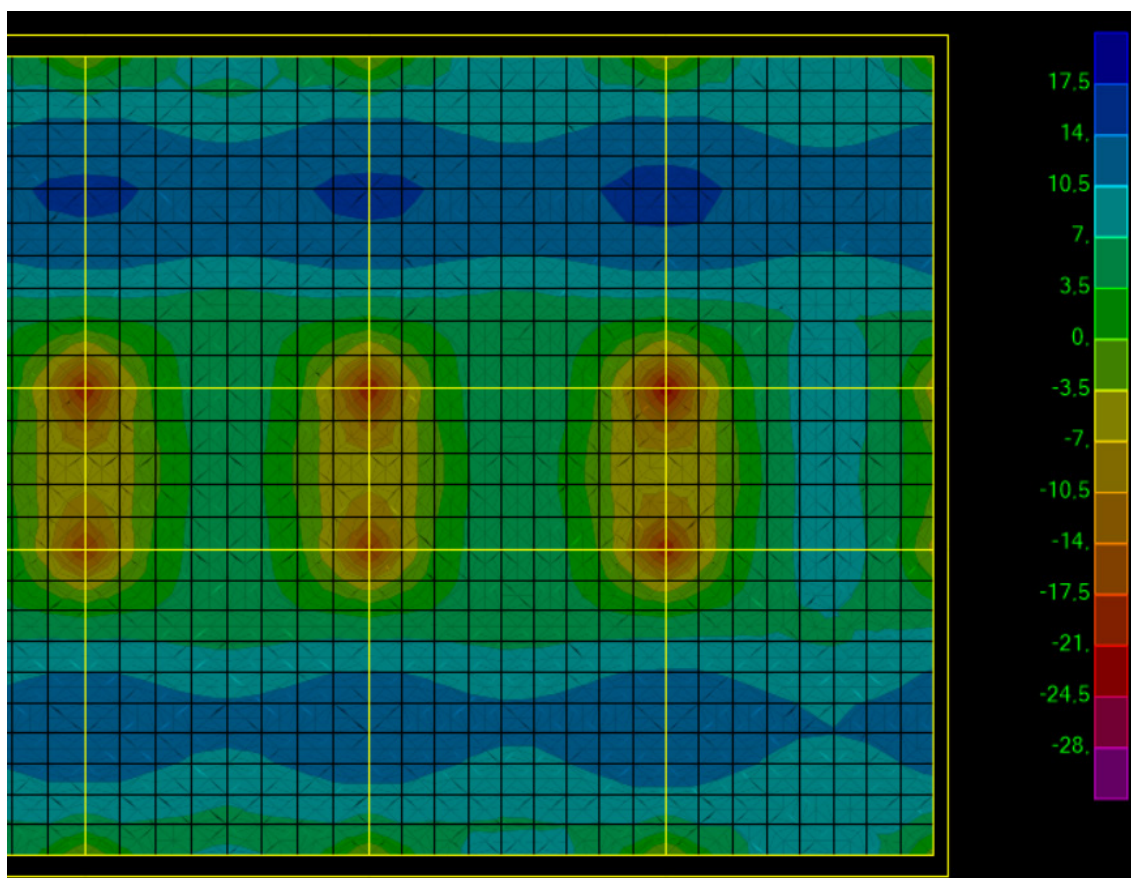


Figura 13 - Detalhes das regiões onde ocorrem solicitações positivas e negativas na análise não linear física.  
 Fonte: Autores (2018).

## 4 | CONCLUSÕES

A análise computacional comprovou a existência de elevados esforços sobre as lajes devido aos grandes vãos, principalmente nas extremidades, gerando momentos negativos e provocando tendência de abertura de fissuras na parte superior das lajes. Aliado a isso, as vigas metálicas usadas como reforço apresentaram deformações excessivas, com valores acima do permitido pela norma em alguns casos, devido à sobrecarga de utilização adotada.

Dessa forma, em salas onde houver maior presença de cargas, devido a colocação de móveis ou arquivos, podem ser gerados esforços ainda maiores, agravando o quadro de fissuração. As fissuras encontradas na edificação estão presentes nos pontos onde na análise computacional existiam os maiores momentos negativos, mostrando que as armaduras utilizadas nestes locais foram insuficientes para combater a fissuração.

Embora tenha sido adotado o uso de laje mista de concreto com perfis de aço, não foi observado o uso de fôrma de aço na parte inferior e, embora tenha sido relatado pelos profissionais o uso de armadura negativa sobre os apoios, não foi adotado o uso de conectores de cisalhamento, contribuindo novamente para o aparecimento de fissuras, uma vez que, os pilares utilizados como reforço tinham seção reduzida provocando o aumento de tensões de cisalhamento na laje.

O quadro de fissuração apresentado vai contra o atendimento ao estado limite de utilização (ELU) e recomenda-se o acompanhamento das fissuras para avaliar evolução. Em eventuais casos mais graves, por excesso de sobrecargas, deterioração dos elementos estruturais ou ações não previstas pode haver risco de ruptura local, porém nas condições atuais, a estrutura não demonstrou sinais físicos de risco de colapso, ratificado pela análise computacional.

A experiência demonstrou falha na avaliação das condições de uso, projeto e adoção de tecnologia construtiva, necessários para um processo de reabilitação adequado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades/ Agencia Espanhola de Cooperação Internacional – AECI **Manual de Reabilitação de Áreas Urbanas Centrais**/ Coordenação Geral de Renato Balbim – Brasília: Ministério das Cidades; Agencia Espanhola de Cooperação Internacional – AECI, 2008.

FERREIRA, A.; FERRARI, C. BERMEJO, PP. Retrofit, alternativa para valorizar o imóvel. **Revista URBS**, vol. 30. Abril/maio. Viva Centro. 2003.

FREITAS, V. **Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos**. 1ª Edição, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/parauapebas>, acesso em 17 de junho de 2018.

MARTINS, Carlos Humberto. **Análise não linear de estruturas tridimensionais de edifícios de andares múltiplos com núcleos resistentes, considerando a rigidez transversal à flexão das lajes**. 2001, 252 p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 2001.

Junges, Elisabeth. **Modelo de Elementos Finitos para Análise Não Linear Física e Geométrica de Pórticos Tridimensionais de Edifícios de Concreto Armado**. 2018, 302 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. 2018.

KUTTER, V. P. **Modelo de abordagem para edificações em situações de reciclagem**. 1999. 200 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.



## 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**