



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 E NÃO LINEAR DE UM EDIFÍCIO DE VINTE PAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO

*Data de aceite: 01/06/2020*

*Data de submissão: 27/03/2020*

### **Fernanda Fonseca Lima**

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

### **Gabriel Rodrigues Gomes**

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1647853897322173>

### **Denilda Silva Costa**

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

### **Leonardo Moreira Santana**

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8451554065806924>

### **Jaciara Santos Brandão**

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

### **Marcelo Rassy Teixeira**

Universidade Federal do Pará – Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE)  
Tucuruí – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8912916360456192>

**RESUMO:** A análise estrutural é essencial na concepção de edifícios altos, pois permite compreender e modelar de forma aproximada o real comportamento da estrutura. O objeto deste estudo se trata de um prédio de 20 (vinte) pavimentos modelados pelos autores. O objetivo geral deste trabalho é a análise não linear geométrica dessa estrutura. As justificativas da pesquisa pautam-se na necessidade de verificações apuradas dos esforços e deslocamentos em edifícios sob a égide da segurança estrutural, do bom desempenho em serviço e da economia no gasto com recursos materiais e humanos. Os objetivos específicos são: modelar a estrutura existente de forma

aproximada no software de análise por método dos elementos finitos, o SAP2000 e pelo programa de análise estática o EBERICK V10; verificar os esforços resultantes da análise não linear; comparar os deslocamentos máximos da análise linear e não linear geométrica. Conclui-se que a análise não linear geométrica apresentou valores de deslocamentos de ordem de 1 a 2% maiores que a análise linear.

**PALAVRAS-CHAVE:** Edifícios altos. Análise não linear. Análise geométrica.

## LINEAR AND NONLINEAR ANALYSIS OF A BUILDING OF TWENTY STORIES IN REINFORCED CONCRETE

**ABSTRACT:** Structural analysis is essential in the design of tall buildings, as it allows an approximate understanding and modeling of the actual behavior of the structure. The object of this study is a building of 20 (twenty) stories modeled by the authors. The general objective of this work is the nonlinear geometric analysis of this structure. The justifications of the research are based on the need for accurate verifications of efforts and displacements in buildings under the aegis of structural safety, good service performance and savings in material and human resources spending. The specific objectives are: to roughly model the existing structure in the finite element method analysis software SAP2000 and the static analysis program EBERICK V10; verify the efforts resulting from nonlinear analysis; compare the maximum displacements of the linear and nonlinear geometric analysis. It is concluded that the nonlinear geometric analysis presented displacement values of 1 to 2% higher than the linear analysis.

**KEYWORDS:** Tall buildings. Nonlinear analysis. Geometric analysis.

### 1 | INTRODUÇÃO

A idealização de edificações altas está cada vez mais se expandindo nas grandes cidades brasileiras, pois devido ao parcelamento do solo e o exacerbado crescimento populacional a verticalização é a opção mais viável do ponto de vista técnico e sustentável. Logo, essas edificações estão sujeitas a fortes ações horizontais e necessitam de rigidez para combater essas ações. (CORELHANO, 2010).

A análise de segunda ordem global de edifícios é indispensável nos dias atuais, pois a tecnologia do concreto sofreu grandes avanços e tornou possível a execução de concretos de resistências elevadas, podendo ultrapassar os 50 MPa, ocasionando estruturas mais esbeltas. Décadas atrás a resistência usual em estruturas de concreto era em torno de 15 MPa a 20 MPa. Em relação aos pilares, quanto mais esbeltos mais necessária é a análise de segunda ordem global, pois eles são considerados os maiores responsáveis pela estabilidade global dos edifícios (ZUMAETA MONCAYO, 2011).

A análise estrutural é uma das áreas de constante evolução no processo de produção

do conhecimento na engenharia. Por muito tempo era comumente pensada e operada pelos cientistas da área apenas levando-se em consideração a teoria elástica linear, e o dimensionamento valia-se tão somente do conceito de tensão de segurança.

A linearização de modelos em decorrência da majoração nos coeficientes de segurança pode induzir ao superdimensionamento da estrutura, acarretando assim um gasto exacerbado e desnecessário. Outras desvantagens da modelagem linear são: a reserva de resistência do comportamento não linear não é considerada, tampouco quantificada; e o modo de colapso é desconhecido, dificultando a avaliação estrutural para alguns tipos de ações.

Mediante isso, faz-se necessário a análise não linear das estruturas, as quais podem ser consideradas como não linearidade física e geométrica. A não linearidade geométrica é quando há uma relação não linear entre deformações e deslocamentos e também no momento que as equações de equilíbrio devem levar em conta a estrutura deformada.

Na análise não linear, considera-se o comportamento não linear geométrico e dos materiais. Toda a geometria da estrutura bem como todas as suas armaduras, precisam ser conhecidas para que a análise não linear possa ser efetuada, pois a resposta da estrutura depende de como ela foi armada. Condições de equilíbrio, de compatibilidade e de ductilidade devem ser necessariamente satisfeitas. Análises não lineares podem ser adotadas tanto para verificações de estados-limites últimos como para verificações de estados-limites de serviço. (ABNT, 2014).

Desta forma, a maior parte destes elementos é restrito ao problema de rotações moderadas. Uma alternativa para a consideração de grandes deslocamentos e rotações baseada no uso das deformações de Reissner foi apresentada. Contudo, essa formulação é bastante complexa, envolvendo a interpolação da deformação de membrana e da curvatura ao longo do elemento.

Entre os modelos utilizados para representar o comportamento do concreto armado pode-se citar o modelo elástico, que é o mais simples e mais utilizado na análise de estruturas. Nesse modelo as deformações são elásticas, ou seja, depois de retirado o carregamento aplicado o corpo retorna à sua configuração indeformada sem apresentar deformação residual. Quando a deformação é proporcional à tensão tem-se um material elástico linear, caso contrário, diz-se que o material é elástico não linear. Outro modelo também muito utilizado é o modelo plástico, cuja principal característica é o aparecimento de deformações residuais quando ocorre o descarregamento. Esses modelos podem ainda ser combinados, surgindo os modelos elasto-plásticos. Atualmente existem também os modelos que utilizam a mecânica da fratura e do dano, os quais tentam reproduzir o mecanismo interno de microfissuras que surgem com o aumento das deformações em materiais frágeis, como o concreto.

Os esforços de primeira e de segunda ordem global podem ser obtidos por meio do processo P-delta. Porém, como ele não é um parâmetro de estabilidade a avaliação da estabilidade global é realizada após a análise. O P-delta nada mais é do que um processo

de análise não linear geométrica (ZUMAETA MONCAYO, 2011).

O  $\gamma z$  (Gama-Z) é um processo simplificado de avaliação da estabilidade global e dos efeitos de segunda ordem mediante multiplicação dos momentos de primeira ordem por um coeficiente  $\gamma z$ . Baseia-se na hipótese de que as sucessivas linhas elásticas, devida as ações verticais aplicadas numa estrutura com os nós deslocado, sucedem-se segundo uma progressão geométrica. Há casos excepcionais em que não se deve aplica esse processo simplificado, por exemplo, quando se tem vigas de transição, quando se tem estruturas que já possuem deslocamentos devido a carregamentos verticais, entre outros (VASCONCELOS, 2000).

Segundo Lopes (2005), P-delta é um efeito que ocorre em qualquer estrutura onde os elementos estão submetidos a forças axiais, ou seja, forças na direção longitudinal da peça. Pode-se dizer que é um processo que relaciona a carga axial (P) com o deslocamento horizontal ( $\Delta$ ).

O SAP2000 é capaz de realizar análise não linear geométrica de duas formas: a análise denominada “Efeito P-delta” (global e local), que leva em conta parcialmente a configuração deformada no equilíbrio dos elementos, ou a análise denominada “Grandes Deslocamentos”, que leva em conta a configuração deformada no equilíbrio dos elementos, considerando grandes deslocamentos e rotações, utilizando a Formulação Lagrangeana atualizada. Em ambos os casos as deformações específicas dentro do elemento são sempre admitidas como pequenas. A análise “Efeito P-Delta” é aplicada quando grandes tensões estão presentes na estrutura, caso da maioria das estruturas aporricadas de concreto armado, logo, será dada mais ênfase a esta formulação. Já para o caso onde a estrutura sofre grandes deslocamentos e rotações, é indicada a análise escolhendo-se a opção de “Grandes Deslocamentos”.

O programa utiliza como parâmetro de instabilidade o coeficiente  $\gamma z$ . O coeficiente  $\gamma z$  é calculado para cada combinação de cálculo nas direções X e Y, os máximos valores em X e Y são adotados como valores críticos. A ação do vento é calculada automaticamente pelo programa, por meio da especificação dos valores de velocidade e coeficiente necessários, conforme prescrições da NBR 6123/1988. As imperfeições globais também são calculadas pelo programa conforme item 11.3.3.4 da NBR 6118/2014.

A análise estrutural de edifícios de múltiplos andares tem como objetivo buscar modelos que representem o comportamento real dessas estruturas em serviço da forma mais precisa possível.

O objetivo geral da pesquisa baseia-se na análise linear e não linear geométrica desta estrutura, modelando-se de forma aproximada a problemática pelo software SAP2000 via método dos elementos finitos e pelo EBERICK V10 de análise linear estática.

As justificativas da pesquisa pautam-se na necessidade de verificações apuradas dos esforços e deslocamentos em edifícios sob a égide da segurança estrutural, do bom desempenho em serviço e da economia nos gastos com recursos materiais e humanos.

## 2 | METODOLOGIA

A pesquisa é essencialmente bibliográfica exploratória, valendo-se de documentações técnicas como fonte de apoio na consulta e comparação de resultados. Primeiramente foi feita a análise do edifício por meio do software SAP2000, para o cálculo dos esforços resultantes e obtenção dos deslocamentos ao longo do edifício.

Dados do edifício:

- Edifício de 20 pavimentos em concreto armado;
- Pé direito: 3,00 m;
- Classe de agressividade ambiental II;
- Ambiente Urbano;
- Deterioração da estrutura pequena;
- Concreto armado:  $f_{ck} = 30$  MPa;
- Pilares com dimensões de: (20x80 cm) e (20 x 60 cm);
- Vigas com dimensões de: (20 x 60 cm);
- Espessura da laje: 12 cm.

As dimensões das estruturas foram projetadas e modeladas pelos autores. Como a pesquisa tem caráter propedêutico, tais considerações mostram-se satisfatórias quanto aos aspectos de rigidez estrutural.

A análise linear foi efetuada de acordo com os critérios determinados pela NBR 6118/2014, bem como, as combinações de utilização através da operacionalização do software supracitado.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Análise linear

Conforme supracitado introdutoriamente, a arquitetura possui caráter simplista apenas para melhor entendimento das deformações em função das análises a qual a superestrutura estará submetida.

A arquitetura possui dimensões de 17,80m x 12,40m e a mesma contém 20 pilares com seções retangulares, sendo 8 pilares 0,20x0,80m, 12 pilares com seção de 0,20mx0,60m e vigas com dimensões de 0,20x0,60m, conforme demonstra abaixo a arquitetura do pavimento tipo na Figura 1.

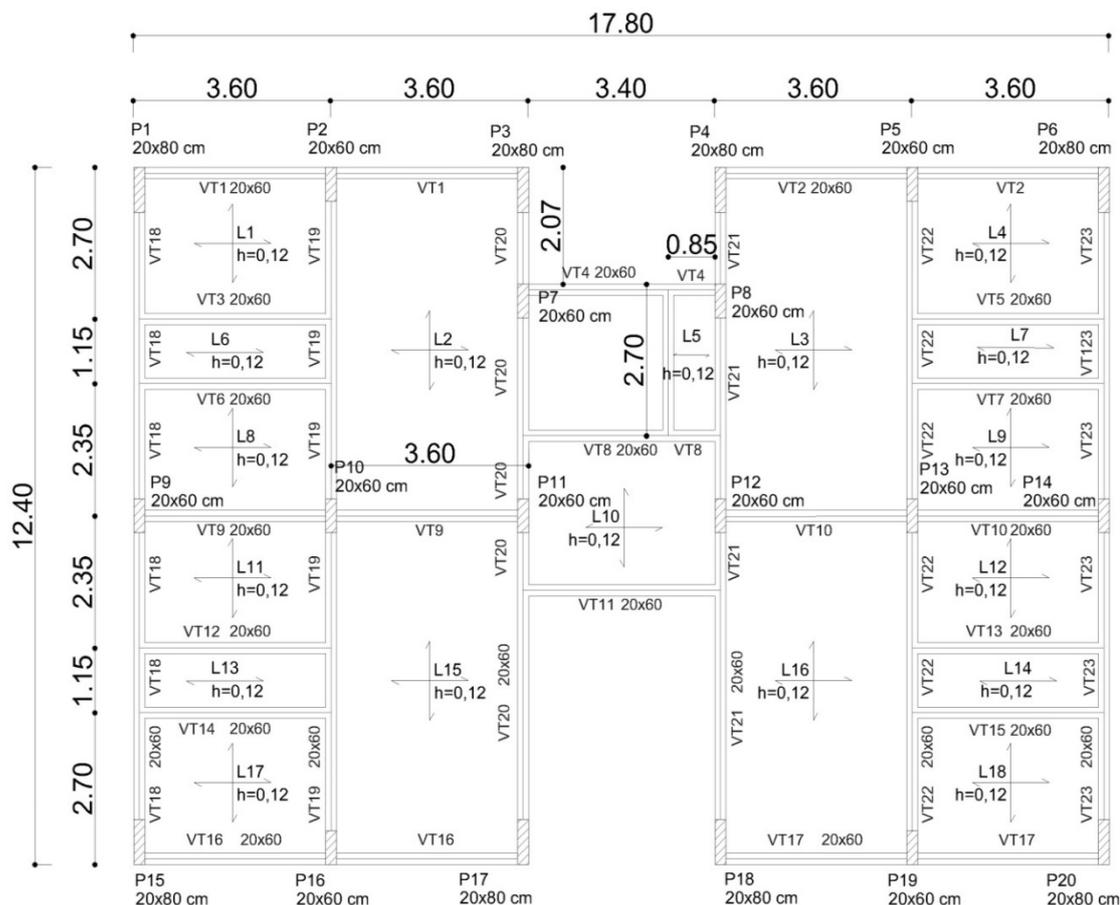


Figura 1 - Arquitetura do Pavimento Tipo

### 3.1.1 Considerações de Projeto: Cargas e Combinações

Para a resolução da análise linear, faz-se necessário determinar todas as cargas atuantes na estrutura e suas respectivas combinações de uso. As cargas a serem determinadas pela NBR 6118/2014, 6120/1980 são as cargas permanentes (peso próprio, cargas de revestimentos de piso, cargas de parede) e variáveis (vento e carga de ocupação da laje). Para determinação das cargas devido ao vento, faz-se necessário a consulta a NBR 6123/1988 - Forças devido ao vento nas edificações. Ressalta-se que neste trabalho foi utilizado como suporte técnico o software educacional Visual Ventos.

As forças horizontais devido à ação do vento, segundo as duas direções consideradas, foram determinadas de acordo com a NBR 6123/1988, sendo que, para as duas estruturas analisadas, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Velocidade básica do vento: 30,0 m/s;
- Classe C;
- Categoria III;
- Fator topográfico:  $S1 = 1,0$ ;
- Fator estatístico:  $S3 = 1,0$ .

Utilizando-se os parâmetros supracitados, obteve-se a carga linear nos pilares de

3,60kN/m na face de barlavento (região de sobrepressão) e -0,98kN/m para a face de sotavento (região de sucção) e tais valores foram lançados como carga de vento a 90° (Figura 2).

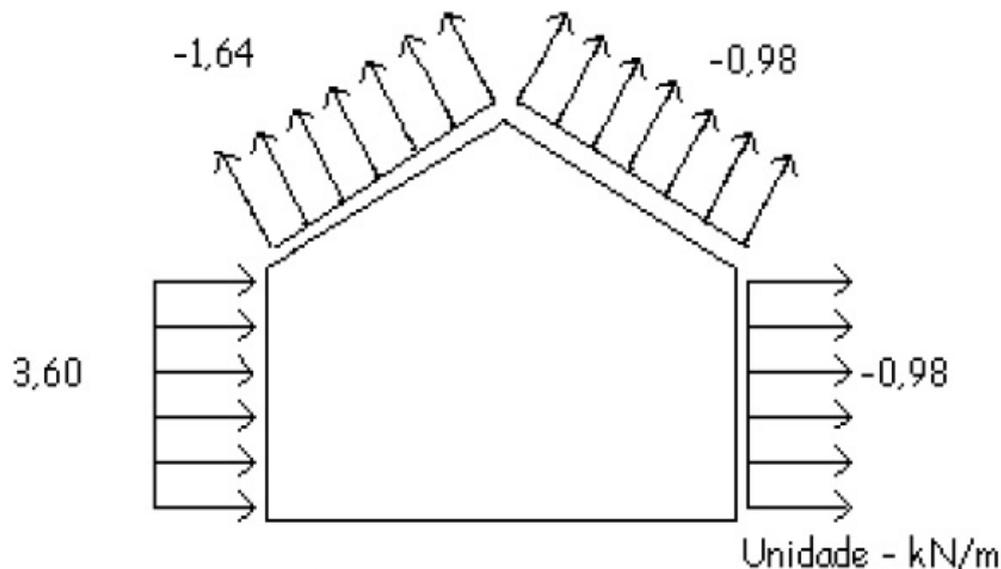


Figura 2 - Combinação com vento soprando a 90°.

Fonte: Autores (2018).

Para a carga das lajes foi considerado a NBR 6120/1980, a qual preceitua que a carga para edifícios residenciais é de 200kgf/m<sup>2</sup> ou 1,96kN/m<sup>2</sup>. Para a carga das paredes, considerou-se a vedação como sendo de tijolo cerâmico com espessura de 14cm e o pé direito de cada pavimento é 3,00m. Logo, a carga de parede nas vigas é de 6,56kN/m.

As combinações de serviços constam na NBR 6118/2014 e fora utilizado a combinação normal favorável, ou seja, a ponderação é de 1,0 para cargas permanentes e 1,40 para cargas variáveis, como mostra a Figura 3.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
<b>Normais</b>	1,4 <sup>a</sup>	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
<b>Especiais ou de construção</b>	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
<b>Excepcionais</b>	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde  
*D* é desfavorável, *F* é favorável, *G* representa as cargas variáveis em geral e *T* é a temperatura.

<sup>a</sup> Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Figura 3 - Coeficientes para as combinações de ações. (NBR 6118/2014)

### 3.1.2 Resultados da Análise Linear

O SAP2000 tem recursos para gerar um pórtico tridimensional de múltiplos andares com as especificações de projetos supracitados. A estrutura ficou com altura aproximada de 60,00m e com deslocamento máximo no topo de 3,08cm. A Figura 4 apresenta o pórtico em 3D e a estrutura deformada e a Figura 5 mostra o deslocamento máximo da estrutura.

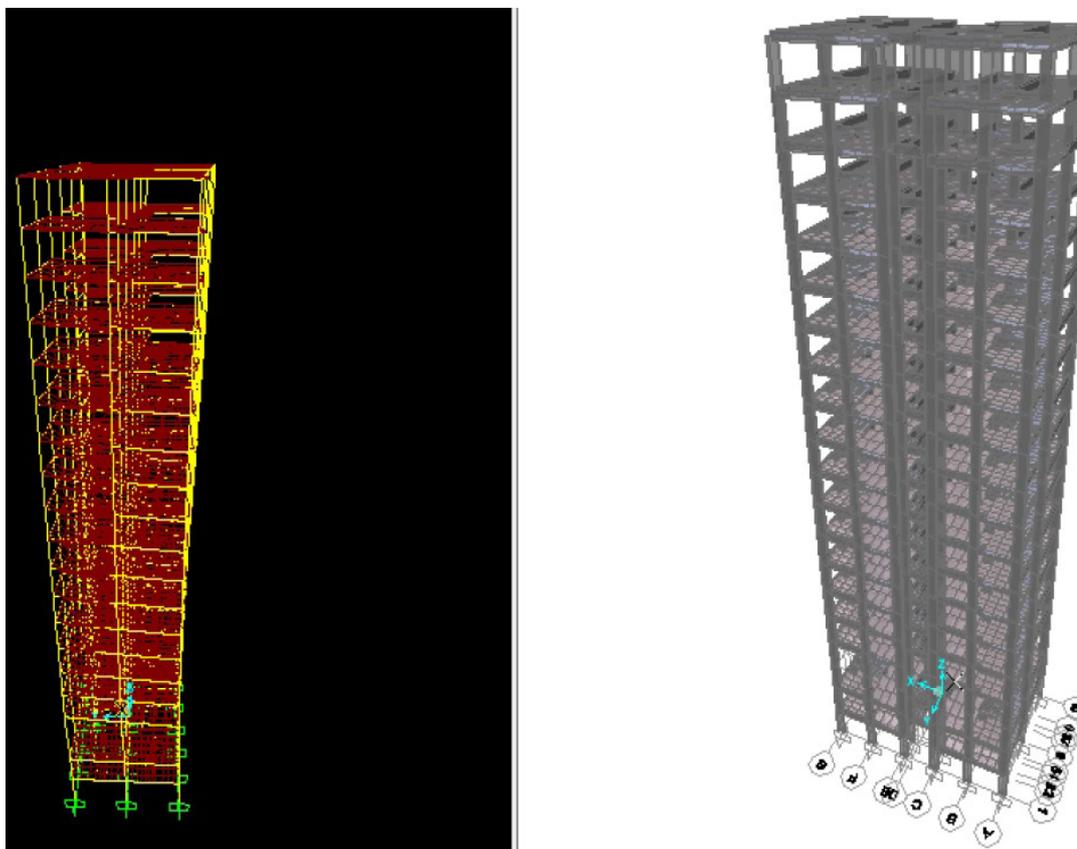


Figura 4 - Pórtico 3D e Estrutura deformada.

Fonte: Autores (2018).

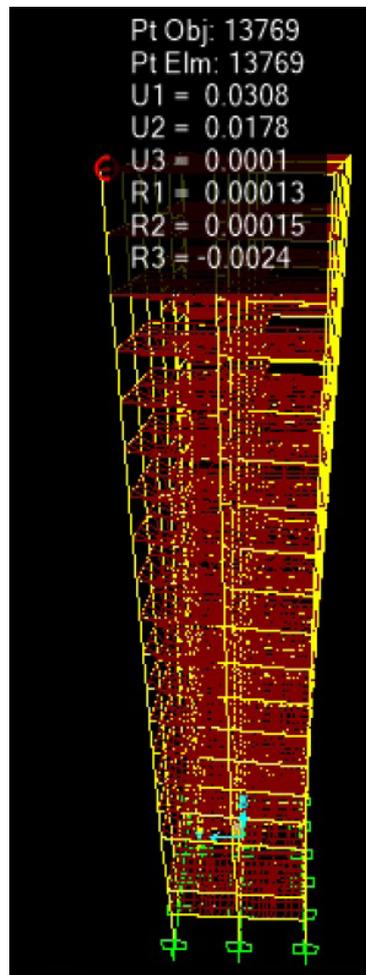


Figura 5 - Deslocamento máximo da estrutura.

Fonte: Autores (2018).

### 3.2 Análise Não Linear Geométrica

Foi utilizado o programa EBERICK V10 de análise estática linear para verificar se os coeficientes Gama-Z estavam à cima dos limites estabelecidos como mostra a Tabela 1.

Coeficiente Gama-Z	Limites
Direção X = 1.34	(limite 1.10)
Direção Y = 1.29	(limite 1.10)

Tabela 1 - Valores do coeficiente Gama-Z na direção X e Y.

Fonte: Autores (2018).

Os coeficientes de Gama-Z ficaram acima do limite, dessa forma foi necessário considerar os efeitos de 2ª ordem. E para análise desses efeitos através do P-delta foi utilizado o SAP2000.

A análise não linear geométrica é utilizada quando os deslocamentos e rotações são grandes e o equilíbrio precisa ser escrito na configuração deformada. A análise não linear geométrica pode ser realizada utilizando a formulação Lagrangiana ou corrotacional. As

formulações Lagrangianas são mais utilizadas no caso de elementos finitos contínuos, pois o uso da deformação de Green-Lagrange permite filtrar os deslocamentos de corpo rígido. Contudo, a aplicação das formulações Lagrangianas a elementos de pórtico com grandes deslocamentos e rotações levam a expressões muito complexas.

Os parâmetros para análise não linear geométrica pelo Processo P-Delta lançados como dados de entrada no software SAP2000 são mostrados na Figura 6.

Parameter	Value
Maximum Total Steps per Stage	200
Maximum Null (Zero) Steps per Stage	50
Use Event-to-event Stepping	Yes
Event Lumping Tolerance (Relative)	0,01
Maximum Events per Step	24
Use Iteration	Yes
Maximum Constant-Stiff Iterations per Step	10
Maximum Newton-Raphson Iter. per Step	40
Iteration Convergence Tolerance (Relative)	1,000E-04
Use Line Search	Yes
Max Line Searches per Iteration	20
Line-search Acceptance Tol. (Relative)	0,1
Line-search Step Factor	1,618
Maximum Iterations per Stage	10
Convergence Tolerance (Relative)	0,01
Acceleration Factor	1,
Continue Analysis If No Convergence	No

Figura 6 - Dados de Entrada- Análise não linear.

Fonte: Autores (2018).

O deslocamento máximo na estrutura foi de 0,309m, cerca de 1% a mais que na análise linear ou análise de primeira ordem. É axiomático que os valores para momentos fletores, cortantes e momento de torção também foram maiores para análise não linear geométrica, mas como o escopo da pesquisa limita-se aos deslocamentos máximos, foram abordados somente tais. A Figura 8 apresenta a estrutura em 3D e os valores máximos de deslocamentos após análise não linear.

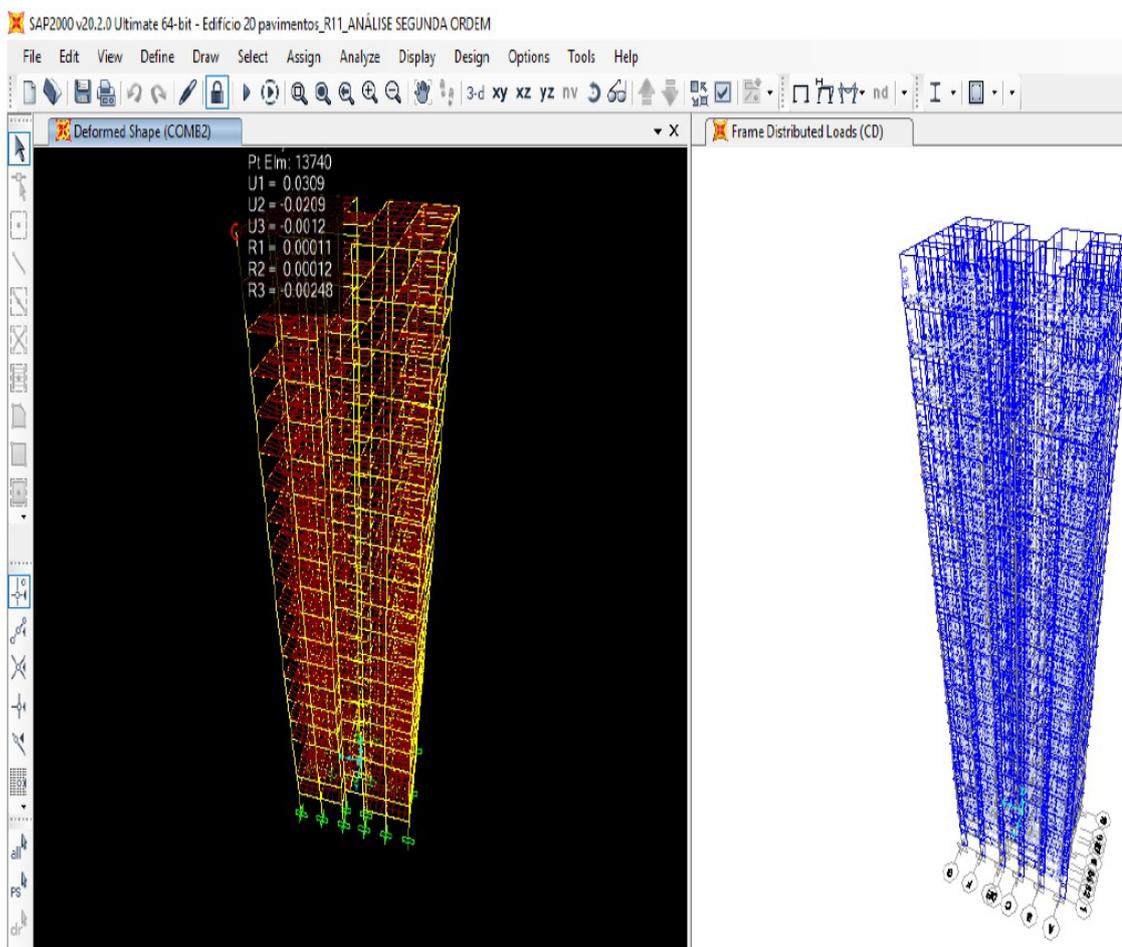


Figura 7 - Dados de Entrada- Análise não linear.

Fonte: Autores (2018).

## 4 | CONCLUSÕES

Na primeira análise obtida por meio do EBERICK V10 os coeficientes de Gama-Z resultaram em valores acima do limite permitido, sendo obrigatória a análise de segunda ordem pelo processo P-delta. Através do processo P-delta pelo SAP2000 conclui-se que a análise não linear geométrica apresentou valores de deslocamentos de ordem de 1 a 2% maiores que a análise linear. Os valores de momentos fletores, cortantes e esforços de torção também são maiores para a análise não linear geométrica, corroborando assim para a confirmação das pesquisas já existentes. Esses resultados demonstraram que o edifício é estável.

## REFERÊNCIAS

ALTOQI EBERICK V10. **Ajuda do AltoQi Eberick V10.**

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980. Versão Corrigida 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988. Versão Corrigida 2013.

CORELHANO, A. G. (2010). **Análise não linear geométrica e física de núcleos rígidos de edifícios altos em concreto armado**. São Carlos, 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOPES, A. P., SANTOS; G. O.; SOUZA, A. L. A. C. (2005). Estudo sobre diferentes métodos de análise p-delta. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 47., Olinda. **Anais...** Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo.

SAP2000 PLUS. **Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures**. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA. Version 14, 2019.

VASCONCELOS, A. C. (2000). **Em que casos não se deve aplicar o processo simplificado do  $\gamma_z$  para determinação dos efeitos de 2ª ordem?** Artigo Biblioteca Digital TQS, São Paulo, 2000.

ZUMAETA MONCAYO, W. J. (2011). **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 221p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

## 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**