



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora

Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora

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^a Dr^a 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^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a 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^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a 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^a 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^a Dr^a 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^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a 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

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) | |
|---|---|
| A642 | <p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 2 [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 978-65-5706-170-1 DOI 10.22533/at.ed.701200907</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> |
| Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 | |

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 2” contempla vinte e três capítulos com pesquisas relacionadas a temas da engenharia civil.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias na sua composição permitem um grande avanço na área, gerando alternativas de execução e muitas vezes evitando patologias nas edificações.

O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o aperfeiçoamento de sistemas construtivos já existentes e proporciona uma otimização na execução de projetos.

O livro aborda também artigos que avaliam desempenho de solos, seu comportamento junto a estruturas de edificações e obras de pavimentação.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novas pesquisas na área da engenharia civil, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ADERÊNCIA DO CHAPISCO COM ADIÇÃO DE CAL | |
| André Miranda dos Santos Ângelo Just da Costa e Silva João Manoel de Freitas Mota | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009071 | |
| CAPÍTULO 2 | 13 |
| AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS SUBSTITUINDO AGREGADOS NATURAIS POR AGREGADOS ARTIFICIAIS | |
| Valéria Costa de Oliveira Emílio Gabriel Freire dos Santos Leandro de Souza Carvalho Rafael Alves de Oliveira Fernanda dos Santos Gentil Ieda Maria Fagundes Zanolla | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009072 | |
| CAPÍTULO 3 | 30 |
| AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PIGMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO | |
| Amanda Vieira Noletto Dalmo Gabriel da Silva Santana Beatriz Santos Neri Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira Salmo Moreira Sidel | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009073 | |
| CAPÍTULO 4 | 38 |
| AVALIAÇÃO DO ATAQUE DE ÍONS CLORETO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, CONTENDO OU NÃO ADIÇÕES MINERAIS | |
| Rayssa Valéria da Silva Fuad Carlos Zarzar Júnior José Wertson Gonçalo Pereira Gênova Gabriela Oliveira de Paula Rocha Leonardo José Silva do Vale João Gabriel Souza dos Reis Igor Albuquerque da Rosa Teixeira Pedro Daltro Macedo de Alencar José Flávio Batista Vilela Carlos Fernando Gomes do Nascimento | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009074 | |
| CAPÍTULO 5 | 51 |
| AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO | |
| Jefferson Thales Siqueira Gomes Emerson José da Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009075 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 6 | 68 |
| COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CELULOSE: UMA REVISÃO | |
| Marllon Victor Soares Cabral Humberto Mycael Mota Santos | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009076 | |
| CAPÍTULO 7 | 81 |
| EFEITO DA SÍLICA ATIVA EM SUSPENSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO | |
| Albert Luiz Follmann Bruno Teles Cordeiro Fernando Pelisser Artur Spat Ruviano | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009077 | |
| CAPÍTULO 8 | 95 |
| ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM CONCRETO COM 20MPA NO ESTADO FRESCO, MISTURADO À MÃO E NA BETONEIRA, COM E SEM A SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA BRITADA | |
| Gabriel Rigaud Figueirôa Lyra Anderson José Silva André Vinícius Melo Couto André William Barbosa Brito Sócrates Ildfonso Farias da Silva Simone Perruci Galvão | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009078 | |
| CAPÍTULO 9 | 105 |
| INFLUÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE MISTURA DOS ADITIVOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS | |
| Juliana Pippi Antoniazzi Luciano Vargas Vaz Gihad Mohamad Raquel Petry Brondani Schmidt Bernardete Trindade | |
| DOI 10.22533/at.ed.7012009079 | |
| CAPÍTULO 10 | 114 |
| VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE DETERGENTE DOMÉSTICO COMO ADITIVO PLASTIFICANTE EM ARGAMASSA CIMENTÍCEA | |
| Jessica Maria de Oliveira Galeno Ataídes Oliveira Galvão Junior Marcos Vinícios Aguiar Mohana Mylena Veras Cavalcante | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090710 | |
| CAPÍTULO 11 | 128 |
| AVALIAÇÃO DO ATRITO DE INTERFACE ENTRE BLOCOS DE EPS E DIFERENTE SOLOS E GEOSSINTÉTICOS ATRAVÉS DO CISALHAMENTO DIRETO | |
| Arthur Ivo Zuquim | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090711 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 12 | 143 |
| CONTRIBUIÇÃO DA RIGIDEZ TORSIONAL DE VIGAS NO CÁLCULO DE MOMENTOS FLETORES EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO | |
| Jonas Pereira Falcão Francisco dos Santos Rocha | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090712 | |
| CAPÍTULO 13 | 159 |
| DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ EXPERIMENTAL DE VIGOTA TRELIÇADA OBJETIVANDO O DIMENSIONAMENTO DE ESCORAS DE LAJES | |
| Rebeca Alexandra de Moraes Candido Tiago Duarte de Lima Adão Marques Batista | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090713 | |
| CAPÍTULO 14 | 170 |
| EFEITOS DA TEMPERATURA NAS DEFORMAÇÕES POR FLUÊNCIA DO CONCRETO | |
| Edmilson Lira Madureira Brenda Vieira Costa Fontes Juliana Caroline Neves de Araújo | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090714 | |
| CAPÍTULO 15 | 186 |
| ESTABILIDADE ELÁSTICA EM PILARES METÁLICOS SUBMETIDOS À ATUAÇÃO CONJUNTA DO CARREGAMENTO VERTICAL E DO VENTO | |
| Wesley Imperiano Gomes de Melo Normando Perazzo Barbosa | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090715 | |
| CAPÍTULO 16 | 205 |
| INFLUÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS | |
| Rafael Azevedo Lino Orieta Soto Izquierdo Indara Soto Izquierdo Márcio Roberto Silva Corrêa | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090716 | |
| CAPÍTULO 17 | 222 |
| INSPEÇÃO PRELIMINAR E MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA | |
| Matheus Nunes Reis Jorge Antonio da Cunha Oliveira Jocinez Nogueira Lima | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090717 | |
| CAPÍTULO 18 | 237 |
| O CÁLCULO CORRETO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO | |
| Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte Felipe Luna Freire da Fonte Ennes do Rio Abreu | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090718 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 19 | 251 |
| REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM PRF: UM ESTUDO DE CASO | |
| Elisson Bilheiro Ferreira Filho | |
| Ruan Richelly Santos | |
| Letícia Ikeda Castrillon Fernandez | |
| Diôgo Silva de Oliveira | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090719 | |
| CAPÍTULO 20 | 270 |
| CAPACIDADE DE ANCORAGEM DE CONECTORES COM CABEÇA EM CONEXÕES VIGA-PILAR DE CONCRETO ARMADO | |
| Nataniel Wontoon Barbosa Lima | |
| Ana Paula Bona Barros Medeiros | |
| Guilherme Oití Berbert-Born | |
| João Gabriel Pacheco Monteiro | |
| Marcos Honorato de Oliveira | |
| Maurício Ferreira de Pina | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090720 | |
| CAPÍTULO 21 | 285 |
| ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS ADOTANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL (MEC) | |
| Matheus Galvão Cardoso | |
| Rodrigo de Melo Lameiras | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090721 | |
| CAPÍTULO 22 | 301 |
| IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS | |
| Tauhana Eineck | |
| Diogo Rodrigues | |
| Patrícia Dalla Lana Michel | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090722 | |
| CAPÍTULO 23 | 305 |
| UMA ABORDAGEM SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS LATERÍTICOS APLICADOS À PAVIMENTAÇÃO | |
| Lettycia Pinheiro da Silva | |
| Lázaro Fernandes Pereira | |
| Beatriz Almeida Nascimento | |
| Lívia Ramos Lima | |
| Roseli Oliveira Guedes Martins | |
| DOI 10.22533/at.ed.70120090723 | |
| SOBRE OS ORGANIZADORES | 307 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 308 |

O CÁLCULO CORRETO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO

Data de aceite: 01/06/2020

Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte

Doutor em Engenharia Civil Estrutural; Professor
Aposentado U.F.PE
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/2603293658379177>

Felipe Luna Freire da Fonte

Mestre em Engenharia Civil Estrutural;
Engenheiro Civil da CHESF.
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/5451411629698663>

Ennes do Rio Abreu

Engenheira Civil; Universidade Católica de
Pernambuco.
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/1219071432452760>

RESUMO: Observando-se o panorama atual da construção civil, percebe-se que os edifícios altos em concreto armado passaram a ser prática corrente nos grandes centros urbanos. O objetivo deste trabalho é mostrar a forma correta de aplicação do método P-delta clássico para cálculo dos efeitos de 2ª ordem em estruturas de concreto armado, segundo a NBR 6118 (2013). Diversas publicações e softwares de projeto estrutural vêm incorrendo em equívoco nas aplicações práticas. Neste trabalho, aplica-

se uma correção ao método P-delta clássico, para as ações de cálculo. A aplicação do método correto a um pórtico plano, mostrou diferenças que chegaram a 66% nos momentos fletores dos pilares e 42,6% nas vigas, em comparação com os métodos que não consideram a citada correção.

PALAVRAS-CHAVE: Efeitos de segunda ordem; Método P-Delta; Análise não linear.

CORRECT CALCULATION OF SECOND-ORDER EFFECTS IN REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES

ABSTRACT: Observing the current panorama of civil construction, it is noticed that the tall buildings in reinforced concrete structures became current practice in the large urban centers. The aim of this work is showing the correct way of applying the P-Delta method for evaluation of the second order effects in reinforced concrete structures, according to NBR 6118 (2013). Several publications and structural design software have been incurred in this misconception in practical applications. This work shows a correction applied to the classical P-Delta method. Application of the correct method to a reinforced concrete plane frame, showed differences that reached 66% in

the bending moments of the columns and 42.6% in the beams, compared with the methods that do not consider the mentioned correction.

KEYWORDS: Global second-order efforts; P-Delta Method; geometric nonlinearity effects.

1 | INTRODUÇÃO

Observando-se o panorama atual da construção civil, percebe-se que os edifícios altos em concreto armado passaram a ser prática corrente nos grandes centros urbanos. Daí a necessidade de maior atenção por parte dos projetistas à questão da estabilidade global dessas estruturas solicitadas simultaneamente por ações verticais e horizontais BORGES et al (2009). A não linearidade geométrica ou efeito de 2ª ordem global, diz respeito à consideração da posição deformada no equilíbrio da estrutura, que resulta em esforços adicionais provenientes do produto dos deslocamentos pelas forças aplicadas. Também segundo a NBR 6118 (2013), para estruturas de nós móveis é obrigatória a inclusão da não linearidade física no cálculo dos efeitos da não linearidade geométrica. Para a consideração da não linearidade física de forma aproximada na análise dos esforços de 2ª ordem globais, a sugestão é reduzir a rigidez dos elementos estruturais através dos valores de $(EI)_{sec}$. FONTE(1992). O método P-delta clássico permite encontrar os deslocamentos e esforços finais correspondentes aos efeitos das parcelas lineares e não lineares somadas.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é mostrar, a forma correta de aplicação do método P-delta clássico para cálculo dos efeitos de 2ª ordem em estruturas de concreto armado, segundo a NBR 6118 (2013).

3 | METODOLOGIA

Para mostrar a aplicação correta do método P-delta, é apresentada a análise de um pórtico plano de concreto armado para as ações de cálculo. Para estas ações, a correção sugerida refere-se aos efeitos da fissuração do concreto, através da consideração aproximada da não linearidade física tomando-se valores reduzidos de rigidez. Os procedimentos que aplicam o método P-delta clássico, em estado limite último, obtêm os esforços considerando os efeitos de 1ª e de 2ª ordens em conjunto. Porém, a consideração da não linearidade física de forma aproximada nesse processamento requer a redução da rigidez dos elementos apenas para a parcela não linear e, considerá-la ao longo de todo o processo, provoca erros de avaliação sobre a parcela linear (1ª ordem) que deve contar com a plena rigidez dos elementos. Diversas publicações e softwares de projeto estrutural

vêm incorrendo nesse equívoco nas aplicações práticas.

Neste trabalho, aplica-se uma correção ao método P-delta clássico, para as ações de cálculo, cujas etapas são: Análise elástica linear clássica com consideração da rigidez integral dos elementos; Análise linear com consideração aproximada da não linearidade física; Análise não linear geométrica P-delta clássica com consideração aproximada da não linearidade física.

Os resultados relativos ao método correto são obtidos da soma da parcela elástica linear descrita na primeira análise com o resultado da subtração dos valores encontrados na terceira e na segunda, que resultam na parcela não linear com consideração aproximada da não linearidade física FONTE(1992), BORGES(2009).

Para a consideração da não linearidade física de forma aproximada na análise dos esforços de 2ª ordem globais, a sugestão é reduzir a rigidez dos elementos estruturais através dos valores de $(EI)_{sec}$, como indicado a seguir:

$$\text{Vigas:} \quad (EI)_{sec} = 0,4 \cdot E_{ci} I_c \text{ para } A'_s \neq A_s \quad (\text{Equação 1})$$

$$(EI)_{sec} = 0,5 \cdot E_{ci} I_c \text{ para } A'_s = A_s \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Pilares:} \quad (EI)_{sec} = 0,8 \cdot E_{ci} I_c \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo E_{cs} o módulo de elasticidade secante, I_c o momento de inércia da seção bruta, A_s e A'_s armaduras de tração e compressão respectivamente.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot (f_{ck})^{1/2} \quad (\text{para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa}) \quad (\text{Equação 4a})$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot (f_{ck}/10 + 1,25)^{1/3} \quad (\text{para } f_{ck} \text{ de } 55 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa}) \quad (\text{Equação 4b})$$

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad (\text{em MPa}) \quad (\text{Equação 5a})$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot f_{ck}/80 \leq 1,0 \quad (\text{Equação 5b})$$

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio; $1,0$ para granito e gnaisse; $0,9$ para calcário; $0,7$ arenito.

Onde f_{ck} é a resistência característica do concreto em MPa.

A NBR 6118 (2013) recomenda o valor secante como sendo aquele a ser utilizado nas análises elásticas de projeto e, portanto, nas análises não lineares, é coerente que seja também utilizado o mesmo módulo secante. Entretanto nas equações 1 a 5b permite o uso do E_{ci} em análises globais de segunda ordem.

3.1 Método P-delta clássico

O método P-delta clássico caracteriza-se por considerar em nível do elemento pilar apenas a rotação rígida do mesmo, ou seja, sua efetiva deformação não é considerada.

Uma forma de aplicá-lo é através de processo iterativo, que consiste em uma sucessão de iterações com vistas a determinar a configuração deformada e os esforços adicionais decorrentes. Permite encontrar os deslocamentos e esforços finais correspondentes aos efeitos das parcelas lineares e não lineares somadas. Os esforços são utilizados no dimensionamento da estrutura.

A equação de equilíbrio com base apenas em uma análise linear é escrita da seguinte forma:

$$[R_L] \cdot \{D\} = \{F\} \quad \text{(Equação 6)}$$

Considerando-se a não-linearidade geométrica, gera-se uma nova matriz de rigidez que contém os termos oriundos do método P-delta.

$$([R_L] + [R_G]) \cdot \{D\} = \{F\} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde $[R_L]$ e $[R_G]$ são matrizes de rigidez linear e não linear geométrica, $\{D\}$ vetor deslocamento e $\{F\}$ vetor de ações externas, diretas ou indiretas, FONTE(1992).

3.2 Método P-delta aplicado corretamente a estruturas de concreto armado

Neste trabalho, pretende-se mostrar a forma correta de aplicação do método P-delta clássico para cálculo dos efeitos de 2ª ordem em estruturas de concreto armado, segundo a NBR 6118 (2013). Para isto, é apresentada a seguir a análise de um pórtico plano de concreto armado mediante a aplicação correta do método P-delta para as ações de cálculo, BORGES(2009).

Para as ações de cálculo, a correção sugerida refere-se aos efeitos da fissuração do concreto, através da consideração aproximada da não linearidade física tomando-se valores reduzidos de rigidez, conforme visto nas equações 1 a 5b.

Os procedimentos que aplicam o método P-delta clássico para as ações de cálculo, obtêm os esforços considerando os efeitos de 1ª e de 2ª ordens em conjunto. Porém, a consideração da não linearidade física de forma aproximada nesse processamento requer a redução da rigidez dos elementos apenas para a parcela não linear e, considerá-la ao longo de todo o processo, provoca erros de avaliação sobre a parcela linear (1ª ordem) que deve contar com a plena rigidez dos elementos. Diversas publicações e softwares de projeto estrutural vêm incorrendo nesse equívoco nas aplicações práticas.

Com base nisso, neste trabalho, aplica-se uma correção ao método P-delta clássico, para as ações de cálculo, cujas etapas encontram-se detalhadas a seguir:

- a. Análise elástica linear clássica com consideração da rigidez integral dos elementos;
- b. Análise linear com consideração aproximada da não linearidade física segundo as equações 1 a 5.

- c. Análise não linear geométrica P-delta clássica com consideração aproximada da não linearidade física segundo as equações 1 a 5b.

Os resultados relativos ao método correto são obtidos da soma da parcela elástica linear descrita em (a) com o resultado da subtração dos valores encontrados em (c) e (b), que resultam na parcela não linear com consideração aproximada da não linearidade física.

3.3 Método P-delta aplicado a um Pórtico Plano de Concreto Armado de acordo com a NBR 6118 (2013)

3.3.1 Dados da Estrutura

Para aplicação do método P-delta a estruturas de concreto armado, aqui chamado de P-delta correto, apresenta-se um pórtico plano de 14 pavimentos, integrante da estrutura de contraventamento de um edifício real, BORGES (2009).

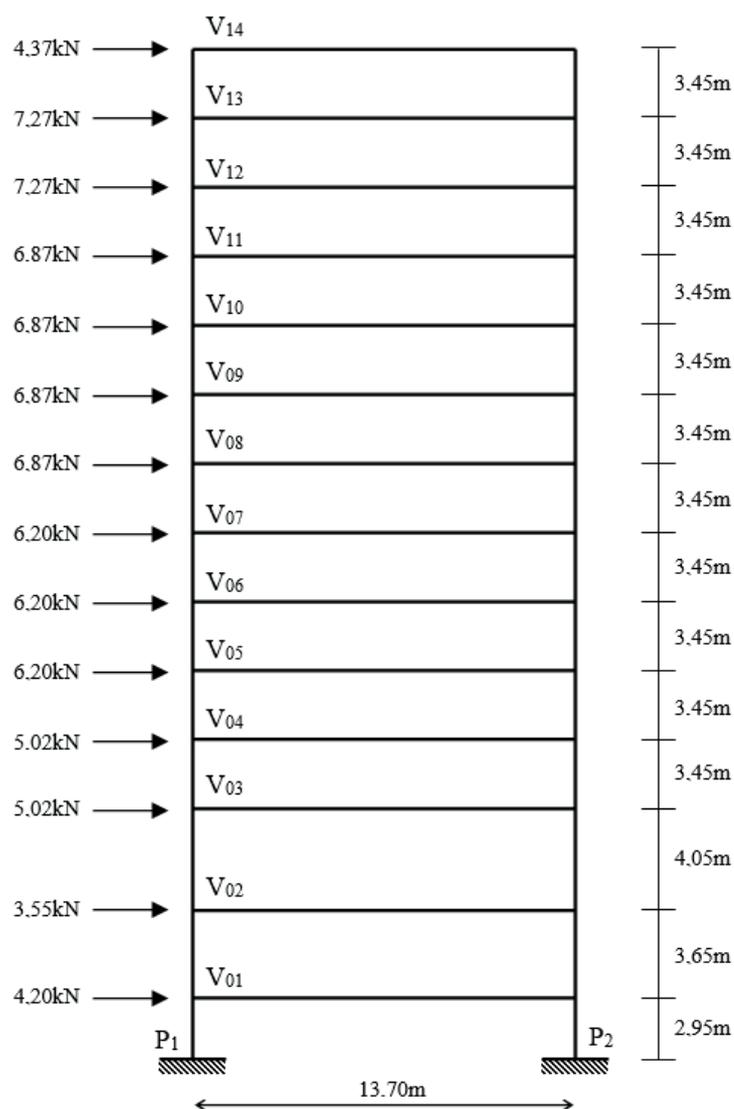


Figura 1 – Esquema do pórtico plano de 14 andares, BORGES(2009).

As vigas têm seção retangular de 30cm de base e 72cm de altura e os pilares apresentam seção 72cm x 72cm. Para o pórtico em estudo considerou-se resistência característica do concreto 35MPa, agregado granito e, conseqüente módulo de elasticidade secante de 29403MPa. As cargas verticais são provenientes do carregamento permanente e sobrecarga. O carregamento horizontal proveniente do vento, foi calculado de acordo com a NBR 6123 (1988), a partir dos parâmetros abaixo, estando os valores na figura 1.

V_0 – Velocidade básica = 30 m/s

S_1 – Fator topográfico = 1

S_2 – Categoria de rugosidade → II

S_2 – Classe da Edificação → B

S_3 – Fator estatístico = 1

Coefficiente de arrasto - $C_a(X) = 1,35$

3.3.2 Análises Realizadas

Para aplicação e ilustração do método proposto, foram realizadas as análises descritas a seguir.

Análise elástica linear clássica para ação do vento com valor de cálculo (1);

Análise linear com consideração aproximada da não linearidade física através do multiplicador 0,4 para vigas e 0,8 para pilares no cálculo da rigidez dos elementos $(EI)_{sec}$ (rigidez fissurada), para ações de cálculo (2);

Análise não linear geométrica P-delta clássica com consideração aproximada da não linearidade física através do multiplicador 0,4 para vigas e 0,8 para pilares no cálculo de $(EI)_{sec}$, para ações de cálculo (3);

Obtenção da parcela não linear com consideração aproximada da não linearidade física através do multiplicador 0,4 para vigas e 0,8 para pilares no cálculo de $(EI)_{sec}$, através da subtração dos resultados de (3) e (2), (4);

Análise não linear geométrica P-delta correta com consideração aproximada da não linearidade física, para ações de cálculo, obtida da soma dos resultados de (1) e (4), (5).

3.3.3 Resultados

3.3.3.1 Análises para ações de cálculo

As análises (1) a (5) têm o objetivo de avaliar de forma correta os efeitos de 2ª ordem. Por se tratar de análises com ações de cálculo, os resultados serão apresentados para os esforços nos elementos.

3.3.3.1.1 Comparação entre as análises lineares com rigidez integral (1) e fissurada

(2)

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | |
|-------|-------------------------|---------|--------|
| | (1) | (2) | (4) |
| 14 | -18,34 | -26,22 | -2,96 |
| 13 | -34,69 | -48,77 | -6,04 |
| 12 | -46,56 | -64,74 | -9,49 |
| 11 | -55,95 | -76,41 | -13,19 |
| 10 | -64,64 | -85,82 | -17,12 |
| 09 | -72,50 | -93,32 | -21,04 |
| 08 | -79,95 | -98,71 | -24,53 |
| 07 | -85,64 | -101,08 | -27,05 |
| 06 | -90,88 | -100,46 | -28,83 |
| 05 | -94,12 | -94,34 | -25,84 |
| 04 | -92,77 | -78,47 | -19,87 |
| 03 | -85,10 | -48,81 | -8,76 |
| 02 | -18,99 | 45,36 | 18,49 |
| 01 | 88,56 | 175,83 | 43,63 |

Tabela 1 – Momentos fletores na extremidade superior dos 14 lances do pilar P_1

A figura 2 mostra os momentos fletores, relativos à ação do vento com valores de cálculo para a extremidade superior do pilar P_1 , segundo as análises: elástica linear com rigidez plena (1), linear com rigidez fissurada (2) e parcela não linear P-delta com rigidez fissurada (4).

A análise correta compreende a superposição de (1) com (4). Os softwares de análise estrutural fornecem como resultado da análise não linear P-delta os obtidos em (3), ou seja, denominada análise P-delta clássica. É neste ponto que ocorre o erro, porque a aproximação do efeito da fissuração através de coeficientes de redução de rigidez, (0,40 para vigas e 0,80 para colunas), só é válida para o cálculo da parcela não linear (4). Portanto, utilizar a análise P-delta clássica incorre em um equívoco que vem sendo observado em grande quantidade de projetos.

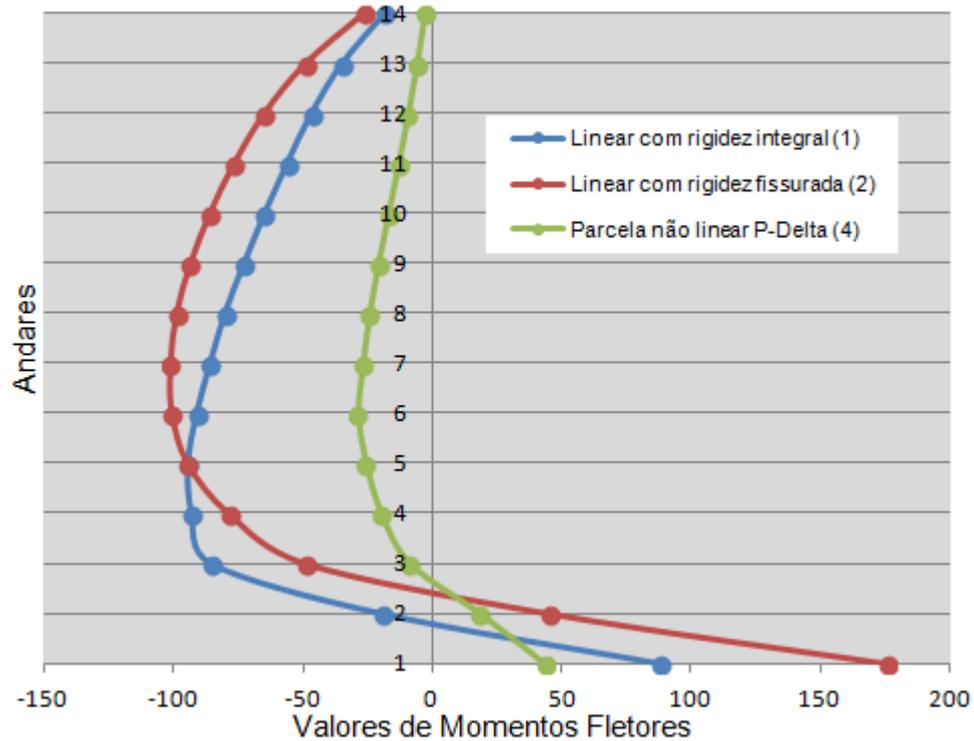


Figura 2 – Momentos fletores na extremidade superior de P_1

A tabela 2 mostra os erros percentuais cometidos ao se considerar na parcela linear os resultados da análise (2) ao invés da análise (1). Deve-se entender que a falta de clareza no item 15.7.3 da NBR 6118 (2013) concorre fortemente para esse equívoco.

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | |
|-------|-------------------------|---------|--------|
| | (1) | (2) | Erro |
| 14 | -18,34 | -26,22 | 42,2% |
| 13 | -34,69 | -48,77 | 40,6% |
| 12 | -46,56 | -64,74 | 39,0% |
| 11 | -55,95 | -76,41 | 36,5% |
| 10 | -64,64 | -85,82 | 33,3% |
| 09 | -72,50 | -93,32 | 29,2% |
| 08 | -79,95 | -98,71 | 23,8% |
| 07 | -85,64 | -101,08 | 18,3% |
| 06 | -90,88 | -100,46 | 10,7% |
| 05 | -94,12 | -94,34 | 0,1% |
| 04 | -92,77 | -78,47 | 15,4% |
| 03 | -85,10 | -48,81 | 42,8% |
| 02 | -18,99 | 45,36 | 238,8% |
| 01 | 88,56 | 175,83 | 102,3% |

Tabela 2 – Diferenças percentuais entre as parcelas lineares das análises (1) e (2) para o pilar P_1

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | | |
|-------|-------------------------|---------|--------|--------|
| | (3) | (5) | (1) | Erro % |
| 14 | -29,18 | -21,30 | -18,34 | 37,0% |
| 13 | -54,81 | -40,73 | -34,69 | 34,6% |
| 12 | -74,23 | -56,05 | -46,56 | 32,4% |
| 11 | -89,60 | -69,14 | -55,95 | 30,0% |
| 10 | -102,94 | -81,64 | -64,64 | 26,0% |
| 09 | -114,37 | -93,54 | -72,50 | 22,5% |
| 08 | -123,25 | -104,28 | -79,95 | 18,4% |
| 07 | -128,14 | -112,69 | -85,64 | 13,8% |
| 06 | -128,31 | -118,71 | -90,88 | 8,2% |
| 05 | -120,22 | -119,96 | -94,12 | 0,1% |
| 04 | -98,40 | -112,64 | -92,77 | 12,7% |
| 03 | -57,70 | -93,86 | -85,10 | 38,5% |
| 02 | 63,67 | -0,50 | -18,99 | *** |
| 01 | 219,24 | 132,19 | 88,56 | 66,1% |

Tabela 3 – Momentos fletores na extremidade superior dos 14 lances do pilar P₁

Os valores da tabela 3 e o gráfico da figura 3 mostram diferenças significativas entre a análise p-delta correta (5) e a análise p-delta clássica (3). No caso estudado, a adoção da análise clássica em lugar da correta, conduz a erros que variam de 0,1% a 66,1%.

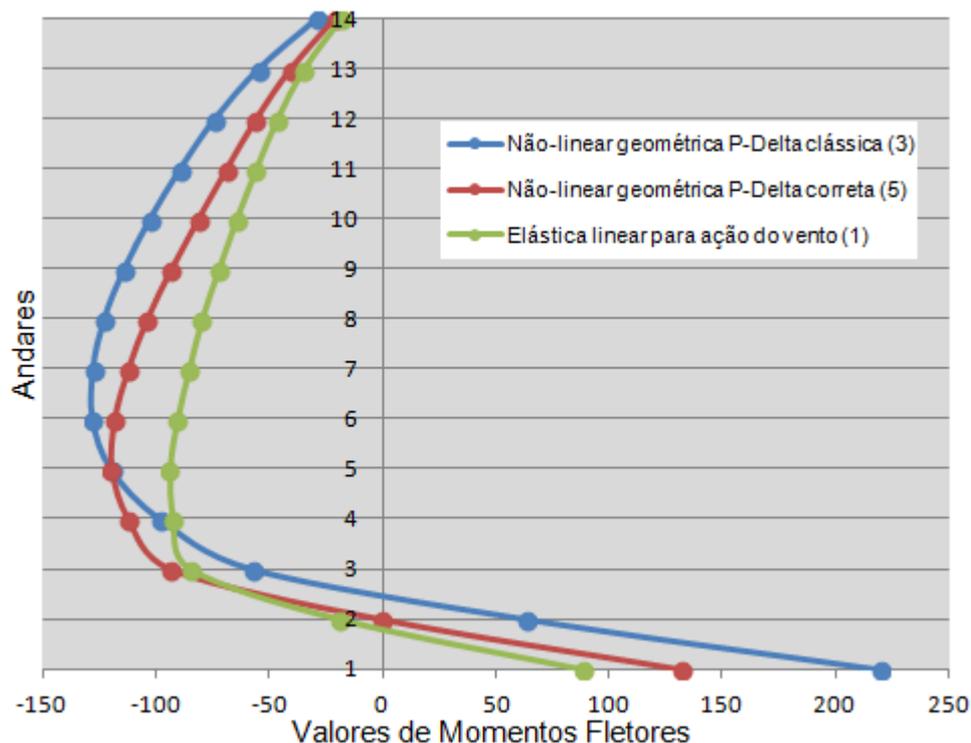


Figura 3 – Momentos fletores na extremidade superior de P₁

A tabela 4 mostra os valores das amplificações não lineares obtidas através dos dois métodos. Observa-se o fato de que todas as amplificações não lineares obtidas pelo método P-delta correto são maiores do que a unidade, ao contrário do método P-delta clássico, que apresenta entre os seus valores, amplificação inconsistente para o nível 3, ou seja, o método P-delta Clássico não se aplica a estruturas de concreto armado com a

simplificação permitida pela NBR: 6118 (2013).

| ANDAR | AMPLIFICAÇÕES NÃO LINEARES | |
|-------|----------------------------|-----------------|
| | P-delta clássica | P-delta correta |
| 14 | 1,59 | 1,25 |
| 13 | 1,58 | 1,18 |
| 12 | 1,59 | 1,20 |
| 11 | 1,60 | 1,24 |
| 10 | 1,59 | 1,26 |
| 09 | 1,58 | 1,29 |
| 08 | 1,54 | 1,32 |
| 07 | 1,49 | 1,32 |
| 06 | 1,41 | 1,31 |
| 05 | 1,28 | 1,27 |
| 04 | 1,07 | 1,21 |
| 03 | 0,69 | 1,11 |
| 02 | *** | *** |
| 01 | 2,47 | 1,52 |

Tabela 4 – Valores de ampliações não lineares obtidas através das análises P-delta clássica e P-delta correta referentes aos momentos fletores do pilar P_1

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | | |
|-------|-------------------------|----------|----------|----------|
| | (3) | | (5) | |
| | inferior | superior | inferior | superior |
| 14 | -29,18 | -18,17 | -21,30 | -10,29 |
| 13 | -54,81 | -25,02 | -40,73 | -10,93 |
| 12 | -74,23 | -24,77 | -56,05 | -6,60 |
| 11 | -89,60 | -20,71 | -69,14 | -0,25 |
| 10 | -102,94 | -13,71 | -81,64 | 7,59 |
| 09 | -114,37 | -3,90 | -93,54 | 16,93 |
| 08 | -123,25 | 9,26 | -104,28 | 28,24 |
| 07 | -128,14 | 25,41 | -112,69 | 40,85 |
| 06 | -128,31 | 46,55 | -118,71 | 56,16 |
| 05 | -120,22 | 75,60 | -119,96 | 75,87 |
| 04 | -98,40 | 114,10 | -112,64 | 99,87 |
| 03 | -57,700 | 208,00 | -93,86 | 171,84 |
| 02 | 63,67 | 302,81 | -0,50 | 238,63 |
| 01 | 219,24 | 403,31 | 132,19 | 316,27 |

Tabela 5 – Momentos fletores nas extremidades dos 14 lances do pilar P_1

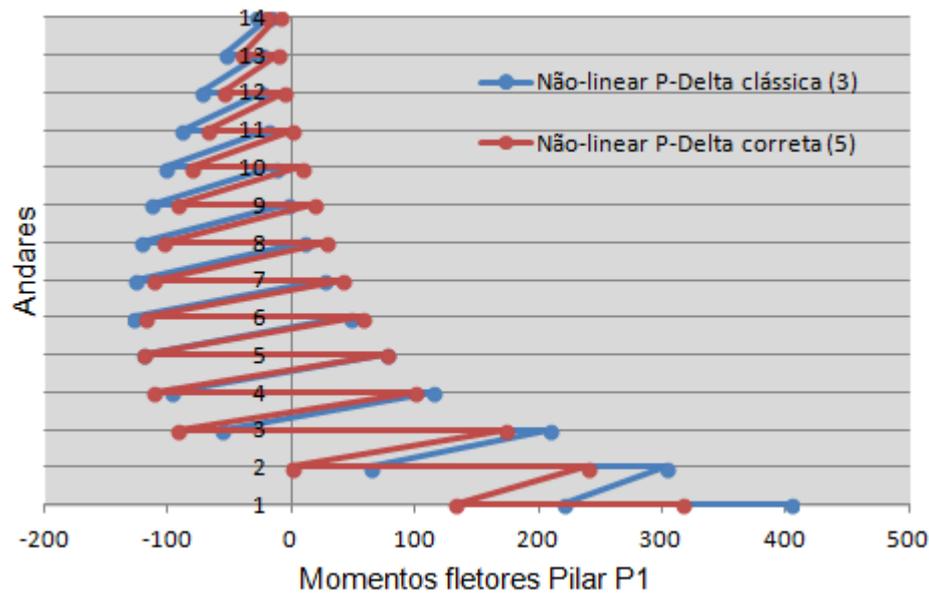


Figura 4 – Momentos fletores nas extremidades superior e inferior de P_1

A figura 4 mostra os momentos fletores obtidos através das análises P-delta, clássica e correta, ao longo da altura da edificação. Diferenças significativas podem ser observadas.

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | |
|-------|-------------------------|--------|-------|
| | (1) | (2) | (4) |
| 14 | 18,34 | 26,22 | 2,96 |
| 13 | 26,66 | 32,86 | 3,78 |
| 12 | 39,75 | 43,84 | 5,38 |
| 11 | 54,81 | 57,09 | 7,73 |
| 10 | 70,59 | 71,42 | 10,81 |
| 9 | 86,59 | 86,12 | 14,53 |
| 8 | 102,44 | 100,58 | 18,76 |
| 7 | 117,69 | 114,16 | 23,24 |
| 6 | 132,00 | 126,15 | 27,56 |
| 5 | 144,97 | 135,62 | 31,13 |
| 4 | 155,36 | 140,83 | 33,14 |
| 3 | 161,17 | 139,18 | 32,57 |
| 2 | 146,32 | 118,26 | 26,02 |
| 1 | 92,96 | 70,05 | 13,49 |

Tabela 6 – Momentos fletores na extremidade esquerda das vigas

A figura 5 mostra os momentos fletores obtidos segundo as análises (1), (2) e (4), relativos à ação do vento com valores de cálculo, para a extremidade esquerda das vigas do pórtico.

É interessante observar que a exemplo do que ocorre nos níveis 1 e 2, o erro cometido ao adotar-se a parcela linear da análise (2), ao invés da análise (1), pode ser superior ao valor da parcela não linear da análise (4). As diferenças percentuais entre os resultados das análises (1) e (2) encontram-se na tabela 7.

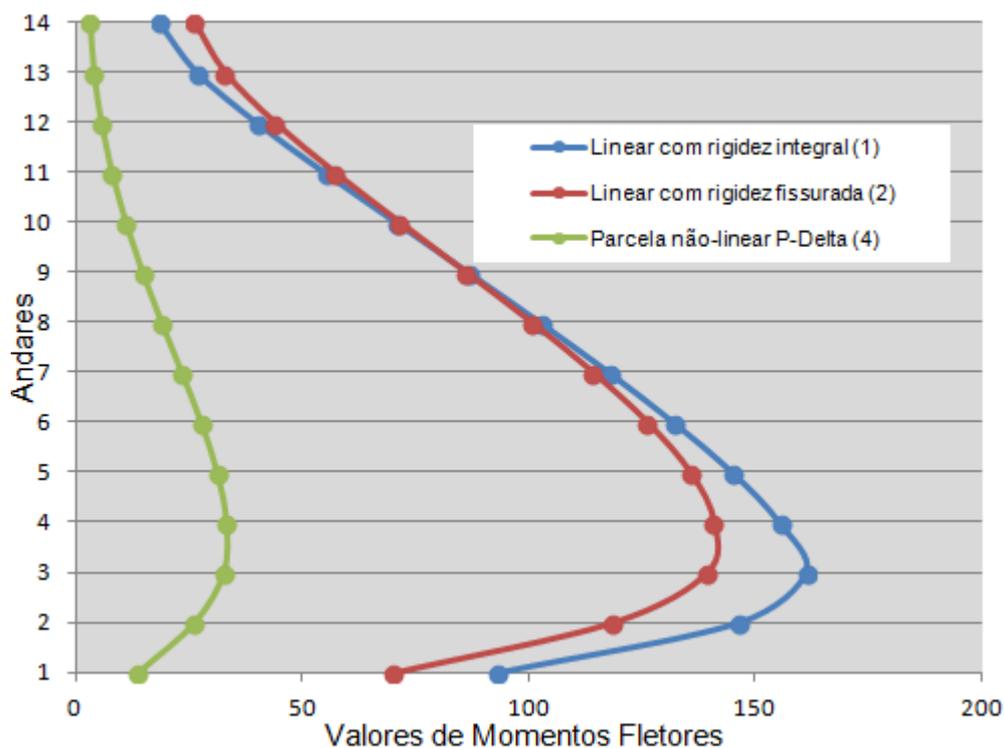


Figura 5 – Momentos fletores na extremidade esquerda das vigas

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | |
|-------|-------------------------|--------|-------|
| | (1) | (2) | Erro |
| 14 | 18,34 | 26,22 | 42,9% |
| 13 | 26,66 | 32,86 | 23,3% |
| 12 | 39,75 | 43,84 | 10,3% |
| 11 | 54,81 | 57,09 | 4,1% |
| 10 | 70,59 | 71,42 | 1,2% |
| 09 | 86,59 | 86,12 | 0,5% |
| 08 | 102,44 | 100,58 | 1,8% |
| 07 | 117,69 | 114,16 | 3,0% |
| 06 | 132,00 | 126,15 | 4,4% |
| 05 | 144,97 | 135,62 | 6,4% |
| 04 | 155,36 | 140,83 | 9,4% |
| 03 | 161,17 | 139,18 | 13,6% |
| 02 | 146,32 | 118,26 | 19,2% |
| 01 | 92,96 | 70,05 | 24,6% |

Tabela 7 – Diferenças percentuais entre as parcelas lineares das análises (1) e (2) para a extremidade esquerda das vigas do pórtico

Os erros, entre 0,5% e 42,9%, mostram a significativa diferença entre as parcelas dos dois métodos.

| ANDAR | MOMENTOS FLETORES (kNm) | | | |
|-------|-------------------------|--------|--------|-------|
| | (3) | (5) | (1) | Erro |
| 14 | 29,18 | 21,30 | 18,34 | 37,0% |
| 13 | 36,64 | 30,44 | 26,66 | 20,4% |
| 12 | 49,22 | 45,13 | 39,75 | 9,1% |
| 11 | 64,83 | 62,54 | 54,81 | 3,7% |
| 10 | 82,23 | 81,40 | 70,59 | 1,0% |
| 9 | 100,65 | 101,12 | 86,59 | 0,5% |
| 8 | 119,35 | 121,20 | 102,44 | 1,5% |
| 7 | 137,40 | 140,93 | 117,69 | 2,5% |
| 6 | 153,72 | 159,96 | 132,00 | 3,9% |
| 5 | 166,77 | 176,10 | 144,97 | 5,3% |
| 4 | 174,01 | 188,50 | 155,36 | 7,7% |
| 3 | 171,79 | 193,74 | 161,17 | 11,3% |
| 2 | 144,33 | 172,34 | 146,32 | 16,3% |
| 1 | 83,57 | 106,45 | 92,96 | 21,5% |

Tabela 8 – Momentos fletores na extremidade esquerda das vigas

A tabela 8 revela as diferenças geradas pela adoção da análise clássica em lugar da correta.

Esses erros que variam de 0,5% a 37,0% incidem sobre o cálculo dos momentos fletores na extremidade esquerda das vigas do pórtico e, conforme já observado antes, para o exemplo estudado, apresentam-se contra a segurança para os níveis 1 a 8, para os quais, os momentos fletores dados através de (3) são menores do que os dados através de (5).

A tabela 9 apresenta os valores das amplificações não lineares geradas pela adoção dos dois métodos.

| Andar | AMPLIFICAÇÕES NÃO LINEARES | |
|-------|----------------------------|-----------------|
| | P-delta clássica | P-delta correta |
| 14 | 1,59 | 1,16 |
| 13 | 1,37 | 1,14 |
| 12 | 1,24 | 1,14 |
| 11 | 1,18 | 1,14 |
| 10 | 1,16 | 1,15 |
| 09 | 1,16 | 1,18 |
| 08 | 1,16 | 1,18 |
| 07 | 1,18 | 1,20 |
| 06 | 1,16 | 1,21 |
| 05 | 1,15 | 1,21 |
| 04 | 1,12 | 1,21 |
| 03 | 1,07 | 1,20 |
| 02 | 0,99 | 1,18 |
| 01 | 0,90 | 1,15 |

Tabela 9 – Valores de amplificações não lineares obtidas através das análises P-delta clássica e correta referentes aos momentos fletores na extremidade esquerda das vigas

As amplificações mostram que, segundo a análise clássica, os valores são significativamente maiores para os andares superiores, enquanto que, para os inferiores,

estes se apresentam menores do que a unidade, tornando-se incoerentes. Ao contrário da análise correta que se apresenta de forma coerente para todos os níveis.

4 | COMENTÁRIOS

Para as ações de cálculo, percebe-se que a consideração da rigidez fissurada na parcela linear da análise P-delta, como é comumente feito, mostra valores de momentos fletores muito diferentes daqueles supondo-se a rigidez integral.

No exemplo adotado, as diferenças entre os valores de momentos fletores no pilar P_1 variaram entre 1% e 173% para rigidez fissurada em comparação aos valores com rigidez integral, gerando erros na avaliação dos momentos fletores que variam entre 0,1% a 66%.

No caso das vigas, as diferenças entre os valores de momentos fletores variam entre 0,6% e 42,6% para a análise com rigidez fissurada em comparação com a rigidez integral, gerando erros na avaliação dos momentos fletores na extremidade esquerda da ordem de 0,5% a 36,7%.

Em termos de amplificações não lineares, no caso do Pilar P_1 , essas variaram de 0,67 a 2,49, e para as vigas, de 0,90 a 1,59.

Para a análise correta esses valores variaram de 1,10 a 1,50 para o pilar P_1 e de 1,14 a 1,22 para as vigas, portanto, os últimos se apresentam bem mais coerentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 6123:1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações**, Rio de Janeiro, Brasil, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 6118:2013 – Projeto de Estruturas de Concreto**, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

BORGES, A.C.L.. **Metodologia para avaliação do comportamento estrutural de edifícios altos em concreto armado com consideração da interação solo-estrutura**. Tese, Doutorado, U.F.PE., Brasil, 2009.

BORGES, A.C.L, FONTE, A.O.C., FONTE, F.L.F., CAVALCANTI, G.A.A.. **Análise de comportamento estrutural de um edifício esbelto de 42 pavimentos**. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, Curitiba, Brasil, 2009.

FONTE, A.O.C.. **Análise não linear geométrica de edifícios altos**. Tese, Doutorado, COPPE/U.F.R.J, Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

FRANCO, M., VASCONCELOS, A.C.. **Practical assessment of second effects in tall buildings**. In. COLLOQUIUM ON THE CEB/FIP MC 90, Rio de Janeiro, 1991.

MACGREGOR, J.G., HAGE, S.E.. **Stability analysis and design of concrete frames**. Journal of Structural Engineering, Div. ASCE, vol. 103, pp1953, 1970.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aderência 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 17, 18, 20, 42, 183, 276

Adições Minerais 38, 39, 49, 51, 55, 67, 81, 82, 90, 94

Aditivo 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 32, 33, 45, 46, 47, 74, 83, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 116, 119, 120, 125, 126, 127

Aditivo Plastificante 114, 116, 119, 120

Areia de Brita 13, 14, 16

Argamassas 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 97, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 130, 139, 206, 210

Argamassas Estabilizadas 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 27, 28, 105, 106, 112, 113

Arquitetura 30, 31

C

Cal Hidratada 1, 5, 10

Chapisco 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Cisalhamento Direto 128, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Colorido 30, 31, 32, 36, 37

Compósitos Cimentícios 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79

Concreto 3, 12, 13, 15, 18, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 103, 104, 113, 115, 116, 123, 127, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 204, 210, 211, 214, 217, 220, 221, 222, 223, 224, 227, 231, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 245, 250, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 267, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 296, 298, 299, 303, 304

Corrosão 38, 40, 42, 49, 50, 51, 53, 54, 66, 67, 303

D

Detergente Doméstico 114, 116, 119, 125, 127

E

EPS 128, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 277

Escoramento 159, 160, 161, 162, 163, 168, 169

F

Fibras de Celulose 68, 71, 73, 78

G

Geossintéticos 128, 140, 141

I

Interação 55, 75, 76, 139, 143, 220, 250

Íon Cloreto 39, 42

L

Laje Pré-Moldada 159, 166, 168

M

Manifestações Patológicas 15, 51, 53, 223, 225, 226, 235, 301, 302, 303, 304

Metacaulim 11, 12, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 60, 62, 64, 65, 66, 67

Método dos Elementos Finitos 143, 144

Migração de Íons 39, 43, 45

Módulo de Elasticidade 81, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 164, 198, 201, 207, 210, 211, 214, 217, 218, 239, 242, 276, 289

P

Patologias 39, 97, 222, 223, 234, 252

Permeabilidade 13, 14, 16, 17, 18, 21, 23, 27, 28, 39, 40, 51, 65, 66, 112, 125, 306

Poliestireno Expandido 128, 129, 137, 138, 140, 141

Procedimento 11, 37, 49, 93, 105, 108, 132, 157, 165, 172, 174, 175, 185, 204, 211, 226, 229, 284, 292, 295, 304

Programa Computacional 61, 143

R

Reforço 11, 50, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 129, 232, 233, 236, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 259, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 269, 272, 285, 288, 289, 304, 305

Rigidez à Torção 143, 144, 146, 148, 154, 155, 157

Rigidez Experimental 159, 167, 168

S

Sílica 12, 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 56, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Sílica Ativa 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 81, 82, 83, 84, 85, 89, 90, 92, 93
Solos 128, 129, 130, 133, 134, 135, 136, 137, 142, 305, 306

 **Atena**
Editora

2 0 2 0