



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

Atena
Editora
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

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: Prof^a Dr^a 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

Prof^a Dr^a 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

Prof^a Dr^a 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

Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a 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

Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a 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

Prof^a Dr^a 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 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>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.6952009071	
CAPÍTULO 2	15
ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO	
Maurel Dreyer Roberto Domingos Rios	
DOI 10.22533/at.ed.6952009072	
CAPÍTULO 3	32
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	
DOI 10.22533/at.ed.6952009073	
CAPÍTULO 4	48
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	
DOI 10.22533/at.ed.6952009074	
CAPÍTULO 5	60
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	
DOI 10.22533/at.ed.6952009075	

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

CAPÍTULO 18	235
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	
DOI 10.22533/at.ed.69520090718	
CAPÍTULO 19	251
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	
DOI 10.22533/at.ed.69520090719	
CAPÍTULO 20	269
PERÍCIA EM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO	
Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
DOI 10.22533/at.ed.69520090720	
CAPÍTULO 21	278
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO O MODELO DE DANO PLÁSTICO	
Paulo César de Oliveira Júnior	
Jerfson Moura Lima	
Bruno Rodrigues Amorim	
DOI 10.22533/at.ed.69520090721	
SOBRE OS ORGANIZADORES	295
ÍNDICE REMISSIVO	296

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

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 03/04/2020

Felipe Gomes da Silva

Universidade Federal do Piauí

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/3149075706428181>

Maria de Lourdes Teixeira Moreira

Universidade Federal do Piauí

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/1178823116168764>

RESUMO: Os recursos computacionais nem sempre estiveram presentes como ferramenta para os engenheiros. Uma forma de contornar isso foi criar soluções analíticas que fossem práticas e fiéis aos fenômenos físicos, como o método de Engesser-Courbon, utilizado para o cálculo de pontes. As análises feitas computacionalmente através de softwares, como o SAP2000, permitem um processamento mais robusto. Este estudo visou avaliar as discrepâncias existentes, ou não, entre as soluções analíticas e as soluções computacionais. Para realização do trabalho, utilizaram-se dois modelos de pontes com seções transversais distintas ambas com

10, 20, 30 e 40 metros de vão, todas elas biapoiadas e sem transversinas. Essas pontes foram modeladas no programa SAP2000 de duas formas: uma na extensão SAP/Bridge, que gera um modelo em 3D da estrutura, e outra como um modelo de barras e cascas. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos pelo método de Courbon e mostraram que este apresenta a distribuição da carga mais desfavorável às vigas. Dentre os modelos computacionais, aquele no qual se utilizou o modelo em 3D foi o que mais se aproximou do método manual. Entretanto, para as pontes com vãos menores, os métodos nos quais se utilizou o SAP2000 apresentaram seus coeficientes de distribuição, para qualquer posição da carga sobre o tabuleiro, praticamente iguais àqueles calculados por Courbon. O mesmo foi verificado quando, independente do vão, o carregamento foi aplicado próximo ao centro elástico da seção transversal.

PALAVRAS-CHAVE: pontes. método de Engesser-Courbon. modelos computacionais.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE ENGESSER-COURBON METHOD AND COMPUTATIONAL MODELS ON BRIDGES IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

ABSTRACT: The computational resources were not always present as a tool for the engineers. One way to get around this was to create analytical solutions that were practical and faithful to physical phenomena, such as the Engesser - Courbon method, used for the calculation of bridges. Analyzes made computationally through softwares, such as SAP2000, allow for more robust processing. This study aimed at evaluating the discrepancies existing between analytical solutions and computational solutions. In order to carry out the work, two models of bridges with different cross sections were used, both with 10, 20, 30 and 40 meters of span, all of them double-based and without transverse beams. These bridges were modeled in the SAP2000 program in two ways: one in the SAP / Bridge extension, which generates a 3D model of the structure, and another as a bar and shell model. The results were compared with those obtained by the Courbon method and showed that this one presents the distribution of the load most unfavorable to the beams. Among the computational models, the 3D model was the one that most approached the manual method. However, for bridges with shorter spans, the computational methods presented their distribution coefficients, for any position of the load on the board, practically equal to those calculated by Courbon. The same was verified when, regardless of span, the loading was applied near the elastic center of the cross section.

KEYWORDS: bridges. Engessor-Courbon method. computacional models.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que os recursos computacionais nem sempre estiveram presentes como ferramenta para os engenheiros. Uma forma de contornar isso foi criar soluções analíticas que fossem práticas e fiéis aos fenômenos físicos, como o método de Engesser – Courbon, utilizado para o cálculo de pontes. Com o advento de novas ferramentas, tais como elementos finitos e diferenças finitas, é possível obter um estudo mais fiel do comportamento real da estrutura de pontes.

As análises feitas computacionalmente, através de softwares que se utilizam dessas ferramentas permitem um processamento mais robusto e que analisa a estrutura como um todo. No caso do SAP2000, a partir da entrada de dados de forma fiel e precisa, é possível obter uma análise com um grau de complexidade maior, inclusive aspectos que são desprezados no cálculo manual.

Este estudo visou avaliar as discrepâncias existentes, ou não, entre as soluções analíticas e as soluções computacionais, permitindo, assim, detectar os pontos fortes e fracos do método manual e em que situações cada um desses pontos é encontrado.

2 | EFEITO DA CARGA MÓVEL SOBRE AS LONGARINAS

2.1 Método de Engesser-Courbon

Em 1940, Courbon desenvolveu o método dos coeficientes de distribuição transversal para grelhas constituídas por transversinas com rigidez infinita (STUCCHI, 2006). Este método também é atribuído a Engesser, sendo assim conhecido como “Método de Engesser – Courbon”. De acordo com Stucchi (2006), este método parte de premissas simplificadoras que ajudam a minimizar as operações matemáticas e fornecem resultados relativamente precisos e que por isso é o método mais difundido no meio técnico.

Stucchi (2006) também afirma que o método de Engesser – Courbon tem a hipótese básica que as transversinas são consideradas com rigidez infinita à flexão, desprezando-se assim o efeito de torção nas vigas. Por esta razão, o eixo da transversina se mantém reto após a deformação. Sendo que o problema fundamental do método consiste em determinar as reações para uma carga P , atuando na transversina e supondo as longarinas igualmente espaçadas. Nos pontos de cruzamento entre as longarinas e as transversinas não carregadas, nenhuma reação é considerada. O tabuleiro se comporta como se não possuísse transversinas, proporcionalmente a um coeficiente de distribuição transversal.

Em outras palavras, Albuquerque (2014) afirma que o método de Engesser – Courbon despreza as deformações das transversinas, ou seja, o comportamento mecânico do conjunto à flexão transversal, na região das transversinas, é o de uma viga se deslocando como corpo rígido sobre apoios elásticos, como ilustra a figura 1.

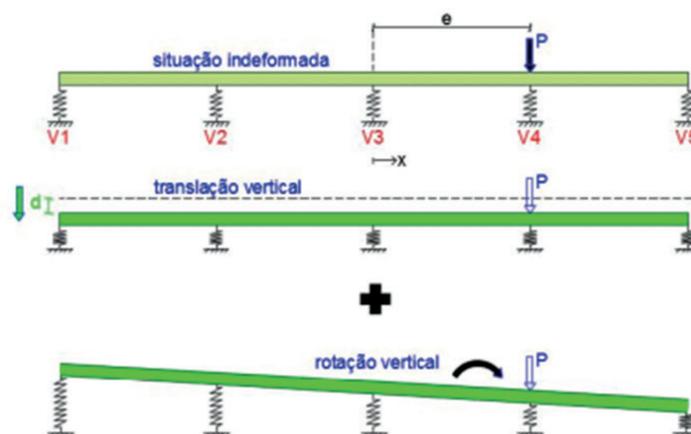


Figura 1 - Deslocamento de corpo rígido da transversina (STUCCHI (2006))

Stucchi (2006) ressalta que para aplicação do processo de Engesser – Courbon algumas condições devem ser respeitadas, a saber:

- A altura das transversinas deve possuir ordem de grandeza similar à das longarinas;
- As espessuras das longarinas e das lajes devem ser pequenas;

• O tabuleiro é considerado como uma malha de vigas longitudinais e transversais (longarinas e transversinas, respectivamente).

Ainda de acordo com Stucchi (2006), essas condições permitem formular as seguintes hipóteses:

- a) As transversinas são infinitamente rígidas;
- b) A torção uniforme é desprezível, ou seja, a reação mútua nos cruzamentos das vigas longitudinais com as transversais é unicamente uma força vertical;
- c) O trabalho longitudinal das lajes também é desprezível;
- d) Admitem-se ainda válidas para as longarinas as hipóteses da Resistência dos Materiais:

- As longarinas são barras ($b, h \ll l$);
- O material é homogêneo e isótropo;
- É válida a lei de Hooke que é reproduzida ao utilizarem-se os apoios como molas de comportamento elástico linear;

- É válida a hipótese de Navier, a qual afirma que as seções transversais, que são planas e perpendiculares ao eixo antes da deformação, continuam, após a deformação, planas e perpendiculares ao eixo encurvado, traduzida ao se considerar a transversina com rigidez infinita;

- Os deslocamentos são pequenos.

Assim, com base nestas hipóteses, as transversinas são admitidas como barras rígidas, permanecendo seus eixos retilíneos após a deformação do conjunto, como ilustrado na figura 2.

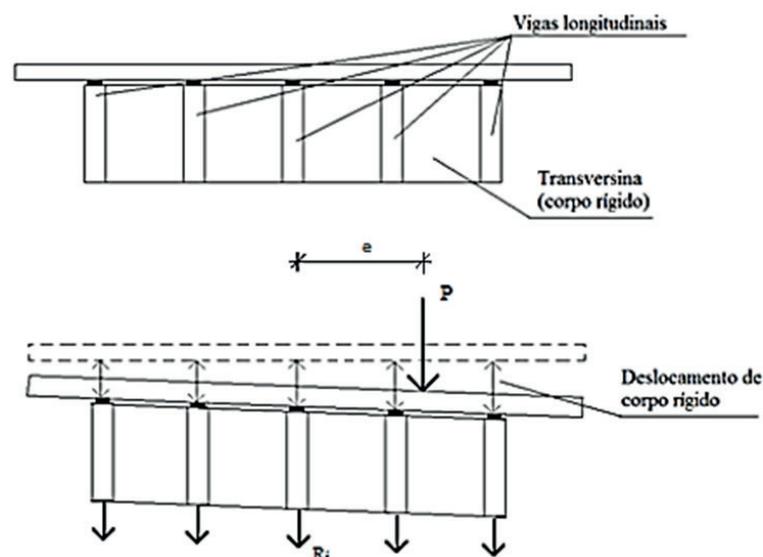


Figura 2 – Esquema ilustrativo das considerações do método de Engesser-Courbon (BATISTA (2013))

Observa-se que a posição da força P tem como referência o centro da seção transversal. Caso a carga esteja aplicada neste centro, todas as vigas possuirão a

mesma deformação e a rotação será zero (pois as transversinas são rígidas). Este ponto é conhecido como centro elástico da peça.

A expressão que define a parcela de carga (coeficiente de distribuição) de cada viga é dada pela equação 1:

$$r_i = \frac{P}{n} + \frac{P.e.x_i}{\sum x_i^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

r_i é a parcela de carga da viga longitudinal i ;

P é a carga total;

e é a excentricidade da carga;

n é o número de longarinas;

x_i é a distância da viga i em relação ao centro elástico da seção transversal.

2.2 Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos (MEF) é um procedimento numérico aproximado utilizado para análise estrutural. Segundo Correia (2015), no processo na análise estrutural, cada elemento obtido na discretização do meio contínuo possui um determinado número de nós pelos quais podem ser definidos seus deslocamentos, que são aproximados no interior do elemento por funções de interpolação polinomiais. Os nós se ligam a elementos vizinhos e através destes é feita a compatibilização das deformações dando continuidade entre elementos. Ainda conforme o autor, definindo-se matematicamente o comportamento de cada elemento é possível formar-se um sistema de equações no qual os deslocamentos de toda a estrutura são obtidos e por meio destes os esforços.

No que se refere às pontes, como já foi visto, as lajes, vigas longarinas e transversinas, são elementos estruturais que compõem o tabuleiro de uma ponte. A análise estrutural desse conjunto de elementos resulta em um problema tridimensional. Através de métodos aproximados é possível transformar esse problema em bidimensional, admitindo-se uma linha de influência de reações, responsável por distribuir as cargas móveis transversalmente entre as diversas longarinas do sistema estrutural, como o método de Courbon.

A existência de vigas transversinas provoca um aumento de rigidez no tabuleiro e permite que a distribuição de cargas possa ser realizada pelo método de Courbon. Com a evolução dos métodos construtivos, a laje e as vigas longarinas deixaram de ser construídas in loco. Essa mudança reflete numa maior facilidade de execução e na redução de custos, assim como supressão de vigas transversinas.

De acordo com Stucchi (2006) as pontes sem transversinas são menos rígidas no sentido transversal da laje, o que impossibilita a utilização do método de Courbon ou

compromete os resultados obtidos através do seu uso. Nessa situação, na busca de resultados mais satisfatórios, que leve em consideração a flexibilidade das lajes tem-se o método de elementos finitos.

Resumidamente, de acordo com Stucchi (2006), a obtenção das parcelas das cargas que atuam nas vigas decorrentes da distribuição de uma carga aplicada sobre o tabuleiro pelo método de elementos finitos baseia-se em um modelo que considera além dos esforços verticais, os esforços de torção, estes desprezados pelo método de Courbon.

2.3 O programa SAP2000

O SAP2000 é um programa internacionalmente conhecido destinado à modelagem e análise de estruturas pelo método dos elementos finitos. Trata-se de uma ferramenta importante que permite a análise de diversos tipos de estruturas modeladas com elementos de barra, superfície, sólidos, estado plano de tensão ou de deformação, cada um com diferentes opções de formulação, bem como, a análise de estruturas com não linearidades física e geométrica e estruturas submetidas a esforços dinâmicos (CORREIA, 2015).

A modelagem das estruturas de pontes no software pode ser feita de duas formas: através de um modelo com elementos de barra e casca (analogia de grelha) ou de um modelo de elementos finitos sólidos, por meio de uma extensão do programa, o SAP2000/Bridge.

3 | METODOLOGIA

Com a finalidade de avaliar as discrepâncias existentes, ou não, entre as soluções analíticas e as soluções computacionais, realizou-se uma comparação referente à distribuição transversal da carga móvel aplicada sobre um modelo genérico de ponte em vigas de concreto armado com duas longarinas biapoiadas e sem transversinas. Os modelos computacionais foram realizados no programa SAP2000 através das duas ferramentas disponíveis no programa: modelo de barras e cascas (figura 3) e o modelo de elementos finitos sólidos (figura 4).

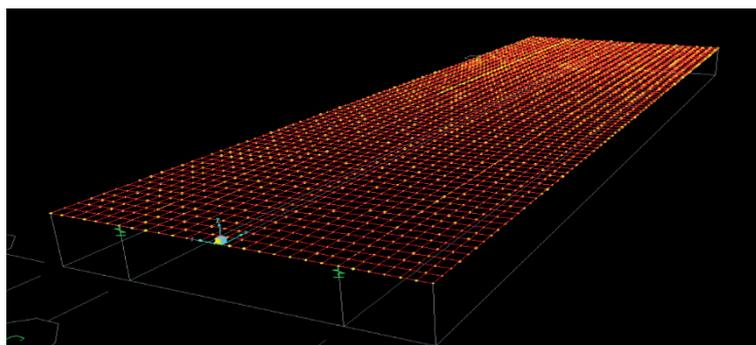


Figura 3 – Modelo de barras e casca criado no SAP2000 (SILVA (2016))

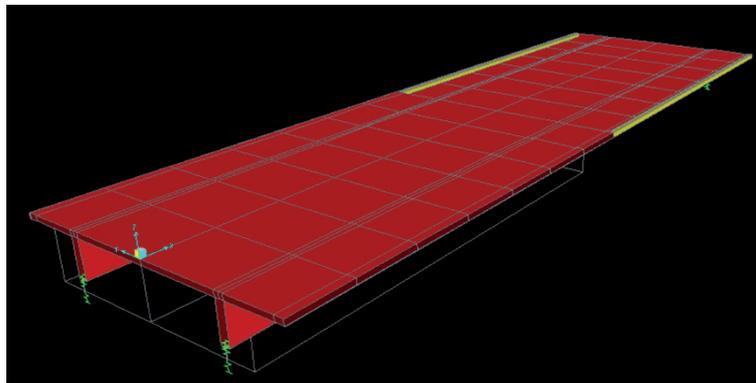


Figura 4 – Modelo de ponte em vigas gerado pelo *bridge modeler* do SAP2000 (SILVA (2016))

A seção transversal da ponte utilizada nas análises é mostrada na figura 5. Os vãos das longarinas utilizadas no estudo foram: 10, 20, 30 e 40 metros.

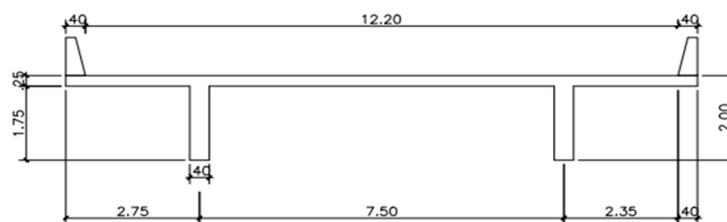


Figura 5 – Seção transversal da ponte utilizada nas análises (ROSSIGALI *et al.* (2015))

Primeiramente, foi aplicada uma carga uniformemente distribuída com o valor de 1 kN/m em várias posições sobre o tabuleiro em cada modelo, desconsiderando a existência do guarda-rodas para comparar a distribuição da carga entre as vigas resultante de cada um dos métodos. O cálculo dos coeficientes de distribuição transversal pelo método de Engesser – Courbon foi feito utilizando-se da equação 1, já os valores percentuais de carga absorvido por cada longarina, a partir dos resultados fornecidos pelo software, foram obtidos pela equação 2. Além disso, foram comparados os resultados de momentos fletores máximos calculados a partir dos três métodos (Engesser – Courbon, modelo de barras e cascas e modelo do SAP2000/Bridge) nas longarinas ao se aplicar o TB450 completo sobre o tabuleiro dos dois grupos de pontes, da forma como prescreve a norma ABNT NBR7188/2013.

$$r_i(\%) = \frac{m_i}{\sum_1^n m_i} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, m_i é o momento fletor em cada uma das “n” longarinas provocado pela carga

uniformemente distribuída de 1 kN/m.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição transversal da carga móvel

Nesta primeira abordagem foi aplicada uma carga uniformemente distribuída de 1 kN/m sobre diversas posições do tabuleiro conforme a figura 6.

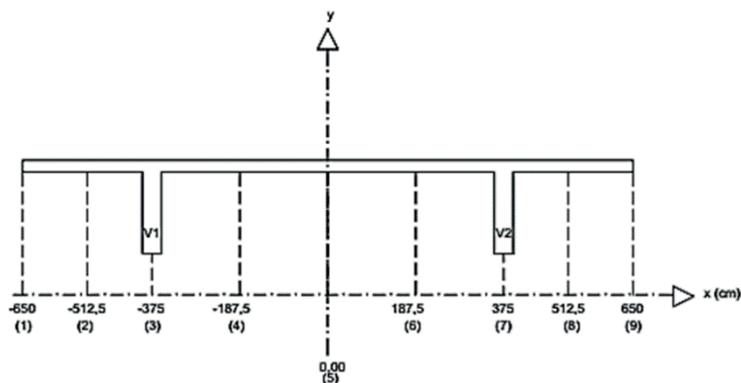


Figura 6 – Seções de posicionamento da carga uniformemente distribuída (SILVA (2016))

As figuras de 7 a 10 mostram os gráficos que ilustram a sobreposição das curvas de distribuição transversal da carga obtidas pelos diferentes métodos. Os resultados mostrados são referentes às parcelas de cargas para a longarina V1.

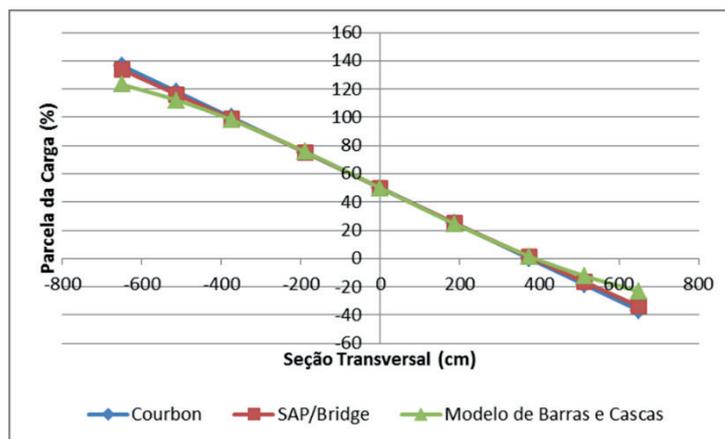


Figura 7 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 10 metros (SILVA (2016))

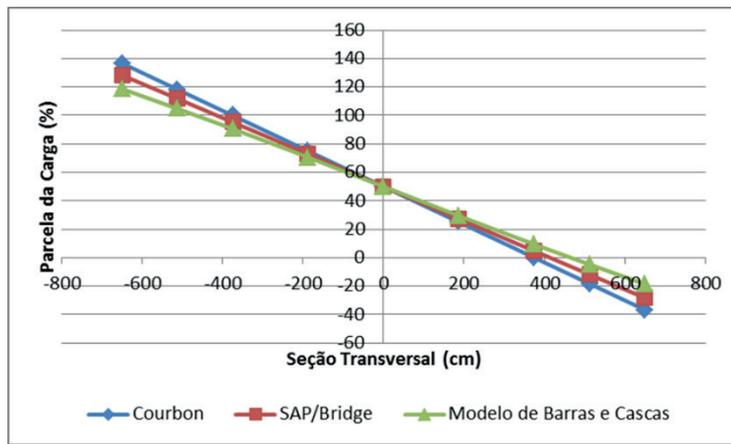


Figura 8 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 20 metros (SILVA (2016))

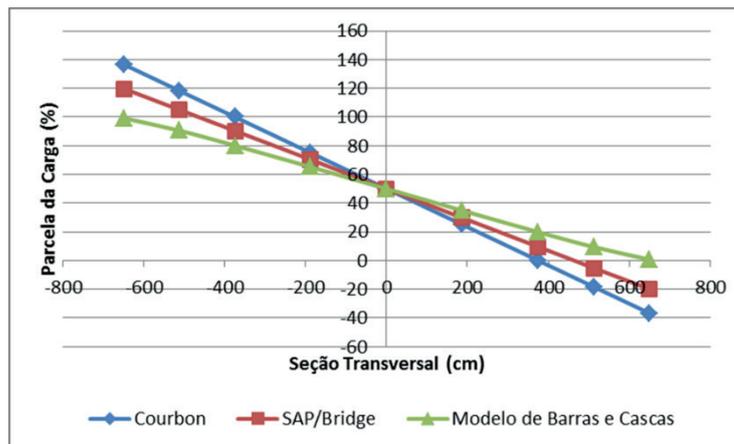


Figura 9 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 30 metros (SILVA (2016))

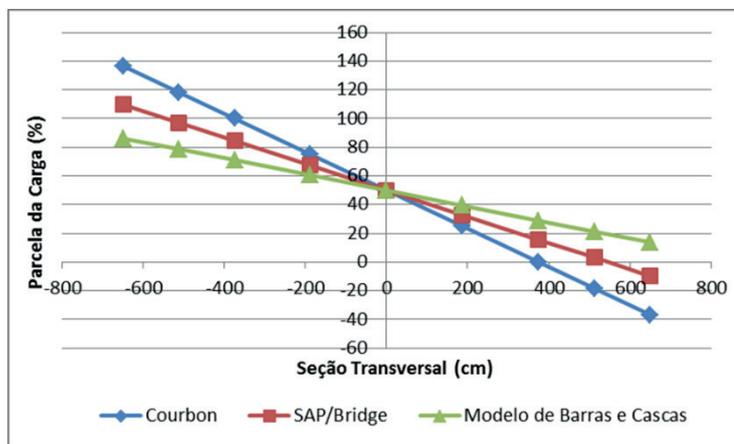


Figura 10 – Distribuição transversal da carga para as longarinas: vão = 40 metros (SILVA (2016))

Pela análise dos gráficos, pode-se perceber que à medida que se aumenta o vão, mais distantes se apresentam os resultados obtidos pelos modelos criados no SAP2000 daqueles calculados pelo método de Engesser-Courbon. Em todos os casos analisados, esse último apresentou, como era esperado, os resultados de distribuição da carga mais desfavoráveis às vigas, isso por causa das diversas hipóteses simplificadoras levadas em consideração para a utilização do método que poderiam gerar um grau de incerteza maior da confiabilidade dos resultados por ele produzidos.

Dentre os métodos computacionais, aquele no qual se utilizou o Bridge Modeler, que gera um modelo de ponte em 3D, foi o que mais se aproximou do método de Courbon, apresentando uma diferença máxima de 24% entre os seus coeficientes de distribuição, que ocorre na ponte com vão de 40 metros estando a carga no extremo do balanço da seção transversal. Por outro lado, o modelo de barras e cascas, para a mesma situação que provoca a maior divergência do método de Courbon com o modelo 3D, apresentou um coeficiente de distribuição 58% menor que aquele calculado pelo método manual.

Entretanto, para as pontes com vãos menores, os métodos nos quais se utilizou os modelos produzidos no SAP2000 apresentaram seus coeficientes de distribuição, para qualquer posição da carga sobre o tabuleiro, praticamente iguais àqueles calculados pelo método de Engesser-Courbon.

Esse fato pode estar ligado à rigidez da ponte, pois, como se sabe, o método de Engesser-Courbon considera a existência de vigas transversinas com rigidezes infinitas e que isso, conseqüentemente, de acordo com Andrade (2016) aumenta a rigidez global da estrutura, ou seja, as rigidezes das transversinas são somadas a rigidez do tabuleiro e agregam mais um elemento para transferência de carga entre as longarinas. Assim, como a rigidez da ponte é inversamente proporcional ao vão, nos modelos computacionais, à medida que se diminui o vão se eleva a rigidez da estrutura e, conseqüentemente, as parcelas de distribuição da carga tendem a se aproximarem daquelas obtidas por Engesser-Courbon, exatamente porque esse método considera essa rigidez elevada, ou seja, com o decréscimo do vão, os modelos do SAP2000 apresentam suas características cada vez mais próximas das condições pré-estabelecidas para utilização do método manual.

Outra razão pode estar relacionada ao fato de o método de elementos finitos, utilizado pelo SAP2000 para o cálculo dos esforços na ponte, diferente de Courbon, levar em consideração a parcela da torção na composição da carga que atua sobre as longarinas. Por isso, ao se considerar, por exemplo, uma carga que atua no tabuleiro da ponte no eixo de uma longarina, pelo método de Courbon, essa carga seria transferida integralmente para essa longarina. Ao se considerar a torção, entretanto, que ocorre devido à excentricidade da carga com relação ao centro elástico da seção transversal, a longarina oposta receberia uma parcela dessa carga.

Por outro lado, ainda observando os gráficos, percebeu-se que, independente do vão e para ambas as seções transversais, ao se aplicar a carga no centro elástico da seção transversal da ponte, os coeficientes de distribuição transversal de todos métodos se igualam, assim como foi observado por Frota (2014).

Como não existe excentricidade, e por isso θ é igual à zero, nenhuma viga está sujeita aos efeitos de torção, ou seja, a torção, nessa situação, pode ser considerada nula. E, como foi dito anteriormente, essa é uma das condições simplificadoras admitidas no método de Engesser-Courbon, conseqüentemente, nos dois métodos computacionais,

ao se aplicar a carga na posição do centro elástico, os dois modelos atendem a essa hipótese proposta por Courbon e, por isso, os coeficientes de distribuição se igualam àquele método e valem 50%.

Não apenas isso, à medida que a carga é aplicada mais próxima desse ponto, menor será a excentricidade, conseqüentemente, menor será o efeito da torção sobre as vigas e, finalmente, mais próximo se apresentaram os coeficientes de distribuição obtidos pelos três métodos.

4.2 Comparação dos momentos fletores provocados pelo TB450

Finalmente, nessa última abordagem de comparação entre os métodos, calculou-se o momento no meio do vão da longarina V1 aplicando-se à laje o trem – tipo TB450 (veículo – principal + multidão) sem o coeficiente de impacto. O posicionamento e a distribuição desse carregamento foram realizados como indica a norma ABNT NBR 7188/2013 de modo a provocar a pior solicitação possível na longarina que se deseja calcular, ou seja, posicionou-se a primeira roda do veículo-principal no guarda-rodas do mesmo lado da viga que se deseja calcular (no caso da longarina V1, do lado esquerdo) e se distribuiu a carga de multidão no restante do tabuleiro até o eixo da longarina oposta.

Os resultados que apresentam essa comparação estão mostrados na tabela 1. A comparação é feita através da diferença percentual entre o momento no meio do vão obtido pelo método de Courbon pelo momento no meio do vão obtido por um dos modelos do SAP2000.

MÉTODO	VÃO (m)	Mf, máx (kN.m)	DIFERENÇA (%)
Courbon	10	1315,62	0,00
SAP/Bridge		1251,07	-5,16
Modelo de barras e cascas		1191,09	-10,46
Courbon	20	3640,09	0,00
SAP/Bridge		3339,82	-8,99
Modelo de barras e cascas		3119,29	-16,70
Courbon	30	6772,32	0,00
SAP/Bridge		6193,61	-9,34
Modelo de barras e cascas		5436,58	-24,57
Courbon	40	10712,30	0,00
SAP/Bridge		9476,15	-13,54
Modelo de barras e cascas		8120,05	-31,92

Tabela 1 – Momentos fletores no meio do vão da longarina V1 para os diferentes modelos

Os resultados mostrados na tabela 1 corroboram a relação de proximidade entre os métodos computacionais com o método de Courbon com a variação do vão da ponte

pelas razões já explicadas anteriormente.

Verificou-se mais uma vez que o modelo de barras e cascas é o que mais se distancia do método manual de Courbon no que se refere ao momento fletor no meio do vão, chegando a atingir uma diferença de quase 32% para 40 metros de vão. Em contrapartida, a diferença entre a soma das reações nos apoios das duas longarinas é praticamente nula, o que, segundo Andrade (2016) era esperado já que se está utilizando o mesmo carregamento em todos os métodos.

O mesmo se verifica na comparação dos resultados obtidos para as pontes modeladas no Bridge Modeler, em que a diferença máxima entre os momentos fletores no meio do vão é próxima de 13%, mas no que se refere às reações, essa diferença é praticamente nula. Portanto, mais uma vez verificou-se que esse método computacional é o que mais se aproxima do método de Engesser-Courbon.

5 | CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o estudo da distribuição transversal da carga aplicada sobre o tabuleiro das pontes quando esta é calculada pelo método manual consagrado de Engesser-Courbon e por dois diferentes modelos criados no software SAP2000: um no Bridge Modeler, que gera um modelo em 3D da ponte e outro como um modelo de barras e cascas. A partir dos resultados apresentados, concluiu-se que o modelo 3D se aproximou mais do método de Engesser-Courbon, que para qualquer situação apresentou uma distribuição da carga mais desfavorável para as longarinas, estando assim a favor da segurança.

Foi verificado, também, a partir deste estudo, que o parcelamento da carga entre as vigas, através dos modelos computacionais, varia em função do vão e da posição de aplicação da carga sobre o tabuleiro da ponte. Com relação ao vão, quanto menor for o valor deste, para uma mesma posição da carga, mais desfavorável será a reação do tabuleiro sobre as longarinas, ou seja, mais os modelos do SAP2000 se aproximam do método de cálculo manual. E, no que se refere à posição da carga sobre o tabuleiro, independente do vão, à medida que essa se aproxima do centro elástico da ponte, mais as parcelas da carga divididas entre as vigas, calculadas pelos três métodos propostos, se aproximam entre si.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.A.A. **Implementação de Elementos Finitos de Barra e Placa para a Análise de Esforços em Tabuleiros de Pontes Por Meio de Superfícies de Influência**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ANDRADE, Almir Amorim. **Notas de Aula da Disciplina Pontes de Concreto Armado**. Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre**, 2013.

BATISTA, B.S.C. **Estudo comparativo de uma ponte com entre eixos de vigas constante e variável**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CORREIA, Thiago da Silva Nunes. **Modelagem de estruturas de Pontes no programa SAP2000N: Principais recomendações da AASHTO**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Estruturas) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2015.

FROTA, L.E.C. **Estudo comparativo entre o método de Courbon e modelos computacionais para análise de tabuleiros de pontes**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ROSSIGALI, C.E.; PFEIL, M. S.; BATTISTA, R. C.; SAGRILO, L. V. **Towards actual brazilian traffi load models for short span highway bridges**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, Rio de Janeiro, v.8, n. 2, p. 124-139, abril. 2015.

SILVA, Felipe Gomes da. **Pontes em vigas de concreto armado: estudo comparativo entre o método de courbon e modelos computacionais e verificação dos efeitos das mudanças no coeficiente de impacto da NBR 7188/2013**. 2016. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

STUCCHI, F. R. **Notas de Aula da Disciplina de Pontes e Grandes Estruturas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

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 γ_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 α 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