



Murilo Soares Santos

**Estudo da Aplicabilidade do Método Simplificado
da AASHTO para Distribuição Transversal de
Cargas Móveis para Pontes no Brasil**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadora: Prof^a. Elisa Dominguez Sotelino
Co-orientador: Prof. Julio Jerônimo Holtz Silva Filho

Rio de Janeiro
Agosto de 2015



Murilo Soares Santos

**Estudo da Aplicabilidade do Método Simplificado
da AASHTO para Distribuição Transversal de
Cargas Móveis para Pontes no Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof^a. Elisa Dominguez Sotelino

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Julio Jerônimo Holtz Silva Filho

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Marta de Souza Lima Velasco

PUC-Rio

Prof. Emil de Souza Sánchez Filho

Universidade Federal Fluminense

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de Agosto de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Murilo Soares Santos

Graduou-se em Engenharia Civil pela UFPA (Universidade Federal do Pará) em Belém, Pará em janeiro de 2012. Ingressou no mestrado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em março de 2013, desenvolvendo dissertação na linha de pesquisa de Análise Estrutural.

Ficha Catalográfica

Santos, Murilo Soares

Estudo da Aplicabilidade do Método Simplificado da AASHTO para Distribuição Transversal de Cargas Móveis para Pontes no Brasil / Murilo Soares Santos; orientadora: Elisa Dominguez Sotelino; co-orientador: Julio Jerônimo Holtz Silva Filho. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2015.

v., 125 f.: il. ; 29,7 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Pontes. 3. Distribuição transversal. 4. Carga móvel. 5. Método simplificado. 6. AASHTO. I. Sotelino, Elisa Dominguez. II. Silva Filho, Julio Jerônimo Holtz. III Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV Título.

CDD: 624

Para minha esposa, meus pais e irmãos,
pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

À D'us, por tudo!

À minha família, meu pai Marcelo, minha mãe Gina, meus irmãos Marcela, Marina, Ana Luiza, Mateus e Marilia. Graças a vocês consegui chegar onde estou agora. Toda a minha dedicação para proporcionar orgulho não é nada perto de tudo o que vocês já me proporcionaram. Muito obrigado por tudo;

Aos meus avôs e avós Walmir, Nise, Regina, Salomão e Rachel, por serem os maiores e melhores modelos que alguém pode ter;

À minha esposa Carol que, mesmo nos momentos mais difíceis, me deu todo o apoio que precisava, principalmente quando aceitamos o desafio de morar em cidades diferentes por mais de dois anos, para a realização deste mestrado. Sem dúvida alguma você foi a peça mais importante nesse período, ao me escutar, me acalmar e me ajudar sempre que houve qualquer necessidade. Agradeço do fundo do meu coração, esse objetivo não seria atingido sem você ao meu lado.

À família de minha esposa, que considero minha. Em especial aos meus sogros Roberto e Marianne que me oferecem ajuda sempre que surge alguma oportunidade e por me apoiarem ao longo de todos esses anos. Aos meus cunhados Felipe e Rafaela, que aguentam todas as brincadeiras sem graça que faço, não poderia escolher melhores. Aos meus novos avôs e avós Mendel e Linda, que não medem esforços para ajudar e estar do nosso lado e Jacob e Rebeca, que me acolheram em sua casa no início da minha jornada no Rio de Janeiro e tanto me ajudaram nesse período.

À todos os professores da PUC-Rio que me transmitiram algum conhecimento novo durante o mestrado, em especial à minha orientadora Elisa Sotelino e meu co-orientador Julio Holtz que, durante a etapa de execução deste trabalho confiaram na minha capacidade e dedicaram tempo e conhecimento para me ajudar a atingir esse objetivo.

Aos amigos que ganhei no Rio de Janeiro. Não tenho palavras para agradecer a vocês por esses dois anos. A amizade criada foi fundamental para que eu conseguisse vencer todas as etapas desse período, desde as mais difíceis até os melhores momentos de lazer que pudemos aproveitar juntos. Não cito nomes por medo de que algum seja esquecido injustamente, mas por favor, sintam-se agradecidos pessoalmente.

Um agradecimento especial ao meu amigo André Daltro que, mesmo ocupado com a sua própria dissertação, largou todas as suas coisas por dias para me ajudar na criação de programas que tiveram uma importância incalculável neste trabalho.

Aos queridos mestres Ubirajara Ferreira da Silva e João Bosco pela ajuda inestimável fornecendo materiais de grande importância e, principalmente pelo tempo e atenção dedicados a mim e a este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, principalmente à Rita, pela colaboração e paciência;

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de fomento;

À PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e ao Departamento de Engenharia Civil, pela bolsa de isenção e a oportunidade em poder cursar o Mestrado em uma das mais renomadas instituições do país na área.

Resumo

Santos, Murilo Soares; Sotelino, Elisa Dominguez; Silva Filho, Julio Jerônimo Holtz, **Estudo da Aplicabilidade do Método Simplificado da AASHTO para Distribuição Transversal de Cargas Móveis para Pontes no Brasil**. Rio de Janeiro, 2015. 125 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A disseminação de programas computacionais que implementam o Método dos Elementos Finitos (MEF) influenciou a forma como os projetos estruturais são executados. Em projetos de pontes, onde os métodos simplificados de cálculo foram por muitos anos as principais formas de análise, o MEF se tornou uma ferramenta importante no processo. Atualmente os métodos simplificados complementam a utilização do MEF de diversas formas, desde o pré-dimensionamento dos elementos estruturais e fornecendo uma estimativa dos esforços cortantes e momentos fletores a serem encontrados, reduzindo a possibilidade de erros durante o projeto. Nos Estados Unidos a AASHTO LRFD (2012) apresenta um método simplificado de distribuição transversal de solicitações em suas especificações normativas que exige apenas o cálculo de um fator de distribuição. O objetivo deste trabalho é avaliar se este método pode ser usado como uma alternativa racional para o dimensionamento de pontes no Brasil. Para isso, foi necessário entender a diferença entre as normas brasileiras e americanas, sugerir um modelo de cálculo baseado na norma americana e que atenda às recomendações normativas brasileiras e validar este modelo com análises por elementos finitos e outros métodos simplificados. Os modelos de elementos finitos utilizados foram validados por meio da comparação dos resultados de suas análises com os resultados de testes de cargas em pontes realizados por outros autores. O modelo de cálculo proposto obteve para todas as situações analisadas resultados seguros, se mostrando capaz de determinar a distribuição transversal das solicitações e o deslocamento máximo das longarinas de pontes de vão único com vigas de concreto. Em pontes com vigas metálicas o método também obteve resultados seguros nas análises das

solicitações, porém assim como os outros métodos simplificados, não é capaz de determinar de maneira confiável os deslocamentos máximos sofridos. Conclui-se, portanto, que a metodologia proposta pode ser utilizada no dimensionamento de pontes de um único vão no Brasil, desde que considerados os limites de aplicabilidade especificados.

Palavras-chave

Pontes; distribuição transversal; carga móvel; método simplificado; AASHTO

Abstract

Santos, Murilo Soares; Sotelino, Elisa Dominguez (Advisor); Silva Filho, Julio Jerônimo Holtz (Co-advisor). **Study of the applicability of the AASHTO Simplified Method for Transversal Load Distribution for Bridges in Brazil**. Rio de Janeiro, 2015. 125 p. Msc. Dissertation. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The dissemination of softwares that implement the Finite Element Method (FEM) influences the way the structural projects are made. For bridge projects, where the simplified methods have been for many years the main type of analysis, the FEM has become an important tool in the process. Currently the simplified methods complement the use of FEM in different ways, in the pre-dimensioning of the structural elements and providing an estimate of the shear and bending moments, reducing the possibility of errors during the design process. In the United States, AASHTO LRFD (2012) provides a simplified method for transverse wheel load distribution into their regulatory specifications that requires only the calculation of a load distribution factor. The objective of this work is to evaluate if this method can be used as a rational alternative for the design of bridges in Brazil. For this purpose, it was necessary to understand the difference between Brazilian and American standards, suggest a calculation model based on the American standard that meets Brazilian regulation and validate this model with FEM analysis and other simplified methods. The finite element models were validated by the comparison of the results of its analysis with the results of actual load tests on bridges performed by other authors. Safe results are obtained for all analyzed cases when using the proposed calculation model, therefore it was able to determine the transverse wheel load distribution and the maximum displacement of the stringers of bridges with only one span and concrete beams. In bridges with steel beams, the method also obtained safe results in the analysis of transverse wheel load distribution, but just as the others simplified methods, it is not able to determine the maximum displacements with high reliability. It follows, therefore, that

the proposed methodology can be used in the design of bridges with one span in Brazil, if the applicability limits are specified.

Keywords

Bridges; transversal distribution; wheel load; simplified method; AASHTO

Sumário

1 . Introdução	24
1.1. Relevância e Justificativas da Pesquisa	24
1.2. Objetivos	27
1.3. Estrutura do Trabalho	27
2. Revisão Bibliográfica	29
2.1. Considerações Iniciais	29
2.2. Cargas Móveis	29
2.2.1. NBR	29
2.2.2. AASHTO	31
2.3. Método de Distribuição Transversal de Cargas	32
2.3.1. Método Engesser-Courbon (MEC)	33
2.3.2. Método da Viga Modelo (MVM)	34
2.3.3. AASHTO LRFD	35
2.4. Modelagem em Elementos Finitos	39
2.4.1. Elementos Primários	40
2.4.2. Elementos Secundários	41
2.4.3. Pós-Processamento de Resultados	42
2.5. Panorama das Pontes Brasileiras	44
2.5.1. Sistema Estrutural e Material	45
2.5.2. Número de Vãos e Faixa de Extensão	46
2.5.3. Largura do Tabuleiro	46
3. Validação do Modelo	48
3.1. Considerações Iniciais	48

3.2. Análise Básica	49
3.2.1. Descrição da Análise	50
3.2.2. Conclusão	55
3.3. Ponte Nebraska – EUA	56
3.3.1. Descrição da Estrutura	57
3.3.2. Prova de Carga	58
3.3.3. Modelagem e Comparação	61
3.4. Ponte Michigan – EUA	62
3.4.1. Descrição da Estrutura	62
3.4.2. Prova de Carga	63
3.4.3. Modelagem e Comparação	65
3.5. Conclusão	68
4. Elementos para Elaboração do Trabalho	69
4.1. Considerações Iniciais	69
4.2. Metodologia	69
4.3. Definições Geométricas dos Elementos Estudados	70
4.3.1. Parâmetros Gerais	71
4.3.2. Parâmetros Longitudinais	71
4.3.3. Parâmetros Transversais	71
4.3.4. Resumo das Definições	76
4.4. Detalhamento dos Métodos Analisados	77
4.4.1. Método dos Elementos Finitos	77
4.4.2. Engesser-Courbon	81
4.4.3. Método da Viga Modelo	87
4.4.4. AASHTO LRFD	89
5. Resultados	91
5.1. Considerações Iniciais	91
5.2. Pontes com Vigas de Concreto	92
5.2.1. Momento Fletor	92
5.2.2. Força Cortante	96
5.2.3. Deslocamentos	99
5.3. Pontes com Vigas Metálicas	102

5.3.1. Momento Fletor	102
5.3.2. Força Cortante	105
5.3.3. Deslocamentos	108
6. Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros	112
6.1. Conclusões	112
6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	115
7. Referências	117
Anexo	121

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Ano de construção das pontes das rodovias federais no Brasil (Mendes, 2009).	25
Figura 2.1 – Disposição das cargas móveis pela NBR 7188 (2013).	30
Figura 2.2 – Disposição das cargas dos veículos da AASHTO LRFD 2012.	32
Figura 2.3 – Representação do modelo de elementos finitos (retirada de Chung e Sotelino, 2005).	41
Figura 2.4 – Componentes do momento nas vigas (retirado de Sotelino <i>et al.</i> , 2004)	43
Figura 2.5 – Distribuição do número de pontes por sistema estrutural (adaptada de Mendes, 2009).	45
Figura 2.6 – (a) Principais sistemas estruturais de pontes; (b) Principais materiais utilizados.	45
Figura 2.7 – Distribuição das pontes por: (a) número de vãos; (b) comprimento dos vãos.	46
Figura 2.8 – Distribuição das pontes por: (a) largura do tabuleiro; (b) época de construção.	47
Figura 3.1 – Vigas analisadas: (a) viga retangular; (b) viga T.	49
Figura 3.2 – Modelo extrudado: (a) inconsistência geométrica do VT.3; (b) VT.2.	50
Figura 3.3 – Representação dos modelos: (a) VR.1; (b) VR.2-2.	52
Figura 3.4 – Comparação de momentos fletores.	52
Figura 3.5 – Comparação de deslocamentos.	52
Figura 3.6 – Modelos: (a) VT.1; (b) VT.2; (c) VT.3.	54
Figura 3.7 – Comparação de momentos fletores.	55
Figura 3.8 – Comparação de deslocamentos.	55
Figura 3.9 – (a) Seção transversal da ponte; (b) detalhe da seção transversal da viga.	57
Figura 3.10 – Veículo HS20 da AASHTO (AASHTO, 1973).	59
Figura 3.11 – Planta de instrumentação da ponte: imagem retirada do relatório original.	59

Figura 3.12 – Configuração de carregamento simulando 2,5xHS20: (a) caso 1: nas duas pistas; (b) caso 2: em uma pista; (c) caso 3: na linha central do tabuleiro.	60
Figura 3.13 – Modelo analítico da ponte de Nebraska.	61
Figura 3.14 – Comparação de deslocamentos.	62
Figura 3.15 – (a) Seção transversal da ponte; (b) detalhe da seção transversal da viga.	63
Figura 3.16 – Caminhões de 11 eixos (retirado de Nowak e Eon, 2001).	64
Figura 3.17 – Planta de instrumentação da ponte (retirado de Nowak e Eon, 2001).	64
Figura 3.18 – Modelo analítico da ponte de Michigan.	66
Figura 3.19 – Condições de contorno (adaptado de Nowak e Eom, 2001).	67
Figura 3.20 – Deformação específica das vigas.	67
Figura 4.1 – Seção transversal típica definido pelo DNER (retirada do Manual de Projeto DNER, 1996).	72
Figura 4.2 – Seção transversal do tabuleiro.	73
Figura 4.3 – Seções de Viga I: AASHTO (PCI Bridge Design Manual).	76
Figura 4.4 – Vista 3D do modelo de elementos finitos representativo.	78
Figura 4.5 – Seção transversal do tabuleiro representativo.	78
Figura 4.6 – Posição transversal do veículo (retirado de Marchetti, 2008).	79
Figura 4.7 – Disposição transversal das cargas no tabuleiro.	80
Figura 4.8 – Criação da carga móvel: (a) determinação do trem-tipo; (b) definição da rota do trem-tipo.	80
Figura 4.9 – Representação das cargas (kN e kN/m ²): (a) vista transversal; (b) vista 3D.	81
Figura 4.10 – Distância das longarinas do CG.	82
Figura 4.11 – LI das vigas do grupo 4V.	83
Figura 4.12 – Vista superior do tabuleiro com carregamentos.	84
Figura 4.13 – Carregamento transversal e linha de influência no corte AA.	84
Figura 4.14 – Carregamento transversal e linha de influência no corte BB.	86
Figura 4.15 – Trem-tipo da viga V1 do grupo 4V.	86
Figura 4.16 – Trem-tipo reduzido da viga V1 do grupo 4V.	87
Figura 4.17 – Entrada de dados do programa MVM.LI.	88
Figura 4.18 – Saída de resultados do programa MVM.TT.	88

Figura 4.19 – LI das vigas de um modelo do grupo 4V.	89
Figura 4.20 – Trem-tipo reduzido da viga V1 do grupo 4V.	89
Figura 4.21 – Trem-tipo NBR / Padrão AASHTO.	90
Figura 5.1 – Comparações entre os métodos simplificados e o MEF dos momentos fletores máximos em vigas de concreto: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	93
Figura 5.2 – Comparações dos momentos entre os métodos simplificados nas pontes com vigas de concreto: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	95
Figura 5.3 – Comparações entre os métodos simplificados e o MEF cortantes máximos em vigas de concreto: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	96
Figura 5.4 – Comparações dos cortantes entre os métodos simplificados em vigas de concreto: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	98
Figura 5.5 – Comparações entre os métodos simplificados e o MEF dos deslocamentos máximos em vigas de concreto: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	99
Figura 5.6 – Comparações dos deslocamentos máximos entre os métodos simplificados em vigas de concreto: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	101
Figura 5.7 – Comparações entre os métodos simplificados e o MEF dos momentos fletores máximos em vigas metálicas: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	102
Figura 5.8 – Comparações dos momentos entre os métodos simplificados: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	104
Figura 5.9 – Comparações entre os métodos simplificados e o MEF dos cortantes máximos em vigas metálicas: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	105
Figura 5.10 – Comparações dos cortantes entre os métodos simplificados em vigas metálicas: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	107
Figura 5.11 – Comparações entre os métodos simplificados e o MEF dos deslocamentos máximos em vigas metálicas: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	108
Figura 5.12 – Relação entre a rigidez das vigas e as diferenças dos resultados.	110
Figura 5.13 – Comparações dos deslocamentos máximos entre os métodos simplificados em vigas metálicas: (a) Tabuleiro com 15 cm; (b) Tabuleiro com 20 cm; (c) Tabuleiro com 25 cm.	111

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Fatores de presença múltipla (adaptado de AASHTO LRFD, 2012)	32
Tabela 2.2 – Resumo das formas de obtenção do LDF para distribuição do momento fletor	38
Tabela 2.3 – Resumo das formas de obtenção do LDF para distribuição da força cortante	38
Tabela 2.4 – Características das seções transversais de cada período	47
Tabela 3.1 – Modelos das VR e VT	49
Tabela 3.2 – Configurações de carregamento (adaptada de Kathol <i>et al.</i> , 2005)	57
Tabela 3.3 – Propriedade dos materiais (adaptado de Chung e Sotelino, 2005)	58
Tabela 3.4 – Deslocamentos máximos obtidos	60
Tabela 3.5 – Configurações de carregamento (adaptada de Nowak e Eom, 2001)	65
Tabela 4.1 – Módulos de elasticidade dos materiais	71
Tabela 4.2 – Comparativo de dimensões para pista simples DNER (retirada do Manual de Projeto DNER, 1996)	73
Tabela 4.3 – Detalhamento da largura do tabuleiro	73
Tabela 4.4 – Alturas das vigas	75
Tabela 4.5 – Resumo das definições físicas das pontes analisadas	77
Tabela 4.6 – Grupos de espaçamentos	82
Tabela 5.1 – Resumo das diferenças entre métodos simplificados e MEF nos cálculos de momento fletor máximo em pontes de vigas de concreto	94
Tabela 5.2 – Resumo das diferenças entre métodos simplificados e MEF nos cálculos da força cortante máximo em pontes de vigas de concreto	97
Tabela 5.3 – Resumo das diferenças entre métodos simplificados e MEF nos cálculos de deslocamento máximo em pontes de vigas de concreto	100

Tabela 5.4 – Resumo das diferenças entre métodos simplificados e MEF nos cálculos de momento fletor máximo em pontes de vigas metálicas	103
Tabela 5.5 – Resumo das diferenças entre métodos simplificados e MEF nos cálculos de força cortante máximo em pontes de vigas metálicas	106
Tabela 5.6 – Resumo das diferenças entre métodos simplificados e MEF nos cálculos de deslocamento máximo em pontes de vigas metálicas	109

Lista de Abreviaturas

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CA	Concreto Armado
CG	Centro de Gravidade
CP	Concreto Protendido
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestruturas de Transporte
EC	Engesser-Courbon
EF	Elementos Finitos
FC	Faixa de Carregamento
FHWA	Federal Highway Administration
FP	Faixa de Projeto
FPM	Fator de Presença Múltipla
LDF	Load Distribution Factor
LI	Linha de Influência
LR	Ligações Rígidas
LRFD	Load and Resistance Factor Design
MEC	Método de Engesser-Courbon
MEF	Método dos Elementos Finitos
MVM	Método da Viga Modelo
NBR	Norma Brasileira
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NDOR	Nebraska Department of Roads
OAE	Obra de Arte Especial
PUC	Pontifícia Universidade Católica
TA	Transversina de Apoio
TI	Transversina Intermediária
VMD	Volume Médio Diário
VR	Viga Retangular
VT	Viga T

Lista de Símbolos

$R_{i,j}$	Parcela de carga unitária na posição j da longarina i
n	Número de longarinas
e	Excentricidade da carga em relação ao CG da seção transversal do tabuleiro
x_i	Distância da longarina i em relação ao CG da seção transversal do tabuleiro
k_j	Rigidez dos apoios elásticos
L	Comprimento do vão
EI_j	Rigidez à flexão da viga longitudinal j
S	Espaçamento das vigas
D	Constante fixada para cada tipo de ponte
t_s	Espessura do tabuleiro
N_b	Número de vigas
K_g	Parâmetro de rigidez longitudinal
g	LDF da viga externa
e	Fator de correção
g_{interior}	LDF da viga interna
d_e	Distância horizontal entre o CG da viga externa e a face interna do guarda corpo
E_B	Modulo de elasticidade do material da viga
E_D	Modulo de elasticidade do material do tabuleiro
I	Momento de inércia da viga isolada

A	Área da viga isolada
e_g	Distancia entre o CG da viga e do tabuleiro
M_{MEF}	Momento fletor total de uma viga
M_{viga}	Momento fletor total do elemento de viga
M_{casca}	Momento fletor total do elemento de casca
M_{axial}	Momento fletor devido a forças axiais
SM_{1b}	Momento fletor do elemento de viga
$SM_{1s,i}$	Momento fletor em um ponto do elemento i
b_i	Largura dos elementos da casca
b_{eff}	Largura efetiva do tabuleiro
SF_{1b}	Força norma no elemento de viga
M	Momento fletor
f	Deslocamento máximo
q	Carregamento linearmente distribuído
l	Comprimento das vigas
E	Módulo de elasticidade do material
E_{ci}	Módulo de elasticidade normativo
E_{cs}	Módulo de deformação secante
P'	Carga concentrada calculada
P_i	Carga concentrada normativa
p'	Carga distribuida dentro do veículo calculada
p_{dist}	Carga distribuida normativa
P	Carga concentrada reduzida

p''	Carga distribuída fora do veículo calculada
L_v	Comprimento do veículo
n_e	Número de eixos
N_{vigas}	Número de vigas
I_{eq}	Inércia equivalente da seção composta da viga

É preferível sofrer uma injustiça do que cometê-la.

Sócrates