

# Pré-Dimensionamento de Vigas Mistas de Aço e Concreto para Pontes de Pequeno Porte

*Pâmela Renon Eller\**  
*Geraldo Donizetti de Paula\*\**  
*Walnório Graça Ferreira\*\*\**

## Resumo

---

As vigas mistas de aço e concreto são amplamente utilizadas em projetos de pontes rodoviárias e muitas são as vantagens do emprego dessa tipologia construtiva. Entretanto, para que ocorra o melhor aproveitamento do sistema o projetista precisa ter conhecimentos específicos na área. Auxiliando suas escolhas o profissional tem hoje a vantagem de análises por meio de programas computacionais. O presente trabalho visa contribuir com o estudo de pontes rodoviárias em vigas mistas de aço e concreto por meio de análise numérica. A metodologia compreende o desenvolvimento de um estudo de variação de parâmetros partindo de um caso típico composto por duas vigas metálicas em perfil I, soldado ou laminado, com distância entre eixos de 2,60 m e balanços de 0,80 m e espessura total de 20,00 cm. A análise teórica considera vigas mistas de aço e concreto para pontes em estradas vicinais compostas por perfis soldados (PS) e laminados (PL) e apresenta os vãos máximos para cada perfil.

**Palavras-chave:** análise numérica, viga mista, pontes de pequeno porte.

---

## 1 Introdução

O Brasil tem em seu território uma grande variedade de rios de pequeno e grande porte, muitos deles cortados por estradas vicinais que devem assegurar, conjuntamente com as pontes vicinais, a entrada de insumos em propriedades agrícolas, o escoamento da produção e o livre deslocamento das populações do meio rural.

Além da carência quantitativa em estruturas de pontes para essas vias nota-se que o processo de construção e manutenção foi praticado de forma incorreta. O estado em que se encontram as estradas e pontes vicinais prejudica o trânsito, eleva o custo do transporte para produtores e o custo de manutenção para as prefeituras.

O crescimento econômico do país faz surgir novos empreendimentos ao longo do território nacional, o que demanda a implantação dos avanços tecnológicos atuais na construção e recuperação das pontes vicinais em estradas municipais e estaduais. Assim, técnicas alternativas precisam ser empregadas para que novas perspectivas na construção de estruturas viárias

possibilitem o desenvolvimento econômico das regiões rurais, favorecendo o escoamento da produção agrícola.

Nos dias atuais o aumento considerável da produção de aço no Brasil incentiva a crescente utilização de estruturas mistas para edifícios industriais, comerciais e pontes. O emprego de perfis metálicos solidarizados com lajes em concreto armado certamente é uma alternativa duradoura e competitiva na construção de pontes de pequeno porte se comparada às soluções tradicionais em madeira. Além disso, a utilização de elementos mistos permite rapidez e facilidade de execução sem grandes acréscimos no custo final da obra. Possibilita ainda a dispensa de escoramentos, a redução das dimensões da seção transversal e a conseqüente ampliação de áreas livres.

Muitas são as vantagens do emprego do sistema misto em estruturas de pontes vicinais, mas para que ocorra o melhor aproveitamento das vantagens do sistema, o profissional precisa ter amplos conhecimentos sobre a área. De forma geral os profissionais da construção encontram mais facilidade ao trabalharem com estruturas fabricadas em aço ou em concreto separadamente, visto estarem familiarizados com as características e comportamentos específicos de cada material.

---

\* Mestre pela UFOP.

\*\* Professor da UFOP.

\*\*\* Professor da UFES.

Com o emprego de um sistema misto de aço e de concreto a gama de soluções em concreto armado e em aço é ampliada consideravelmente. Todavia, a competitividade de um modelo estrutural está ligada a características próprias de cada sistema e também a uma configuração correta deste. O desenvolvimento de estudos relacionados a estruturas mistas de aço e de concreto incentiva a aplicação dessa tecnologia, pois simplifica e desmistifica o seu uso.

## 2 Método de Dimensionamento de Vigas Mistas

Não existindo ligação ou atrito na interface da viga mista de aço e concreto, ocorre um deslizamento das superfícies e laje e vigas trabalham isoladamente à flexão, cada elemento suportando sua parcela de carga individualmente. A partir da deformação cada superfície na interface fica sujeita a diferentes tensões (Figura 1).

A face superior da viga se encurta por apresentar forças de compressão à medida que a face inferior da laje de concreto é alongada por forças de tração. Assim ocorrerá um deslocamento relativo entre as duas superfícies e a formação de eixos neutros independentes, com um dos eixos localizado no centro de gravidade do perfil metálico e o outro no centro de gravidade da laje de concreto.

Os conectores de cisalhamento influenciam largamente o comportamento estrutural da viga mista, pois garantem o trabalho conjunto da seção. Quando ocorre deslocamento relativo significativo entre o aço e o concreto, assume-se que as seções planas permanecem planas e o diagrama de deformações apresenta apenas uma linha neutra. Nessas condições diz-se que existe interação completa aço e concreto.

Quando a conexão não é capaz de transmitir todo o fluxo de cisalhamento que ocorre na interface produz-se um deslizamento entre aço e concreto e diz-se que ocorre uma interação parcial. Nesse caso existem duas linhas neutras e sua posição dependerá do grau de interação entre os dois elementos.

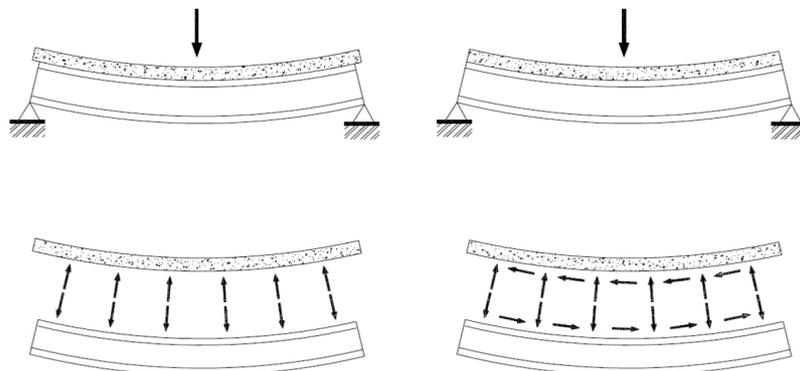


Figura 1 – Comparação de viga fletida sem e com aço mista; QUEIROZ (2010).

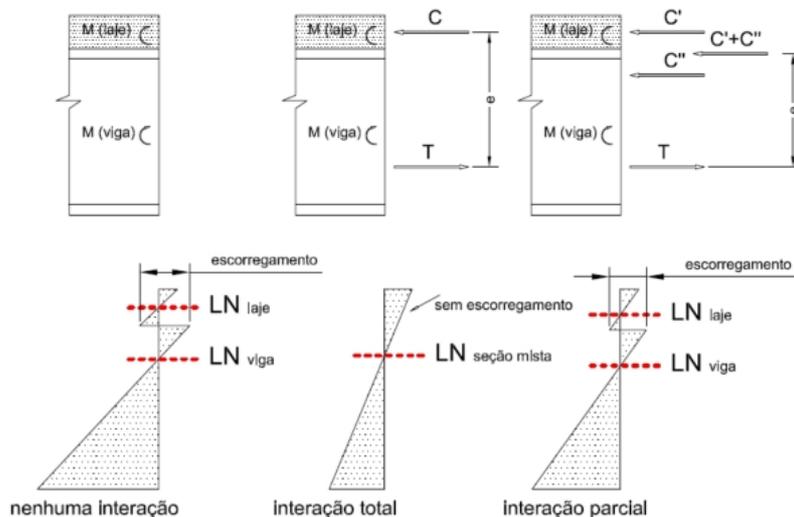


Figura 2 – Variação de deformação na viga para sistemas mistos; QUEIROZ (2010).

A Figura 2 representa as três situações de interação entre os elementos mistos.

O pré-dimensionamento de vigas metálicas para pontes e viadutos em estrutura mista bi-apoiada foi baseado na norma americana AASHTO – Standard Specifications for Highway Bridges – 17<sup>o</sup> Edition: 2002 para um modelo composto por perfis I suportando uma laje maciça de concreto moldada *in loco* sobre pré-laje de concreto.

A norma americana especifica que projetos de lajes de concreto, vigas metálicas e o cálculo de suas tensões devem estar de acordo com o Método do Momento de Inércia Composto, utilizando o módulo de seção elástico para condições de serviço.

Os resultados das tensões calculadas devem ser consistentes com as propriedades de cada material e a verificação se realiza de acordo com o Método das Tensões Admissíveis, com valores apresentados na Tabela 1.

Duas são as situações possíveis na construção de vigas mistas: o sistema escorado e o não-escorado. No primeiro caso toda a carga é suportada pelo escoramento da viga até o concreto atingir resistência suficiente para que a ação mista seja desenvolvida, ou seja, 75% da resistência característica do concreto à compressão. No sistema não-escorado a viga de aço é calculada isoladamente para suportar as cargas de construção e o peso próprio do concreto fresco, até que esse adquira resistência adequada.

Assim, as tensões máximas de tração e compressão no sistema misto não-escorado são a soma das tensões produzidas pelas cargas permanentes antes da cura do concreto agindo sobre a viga de aço isolada, e as tensões produzidas pela sobrecarga atuando na seção mista.

A Figura 3 apresenta as variáveis para a seção de aço e a Figura 4 apresenta as variáveis para a seção mista.

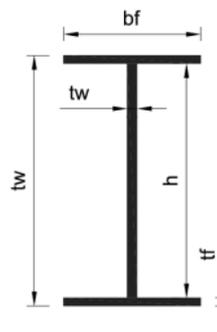


Figura 3 – Variáveis para a seção de aço.

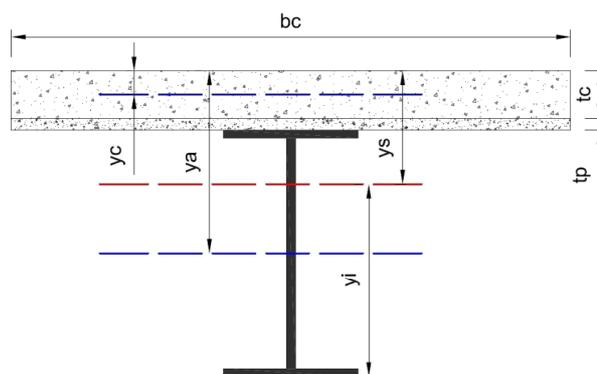


Figura 4 – Variáveis para a seção mista.

Nessas figuras tem-se:

- d – altura externa do perfil
- h – altura interna do perfil
- $b_f$  – largura da mesa do perfil
- $t_f$  – espessura da mesa do perfil
- $t_w$  – espessura da alma do perfil
- A – área da seção do perfil
- $I_{ax}$  – momento de inércia do perfil
- $W_{ax}$  – módulo de resistência elástico
- $E_a$  – módulo de elasticidade do aço
- $t_c$  – espessura da laje maciça.

Tabela 1 – Valores das Tensões Admissíveis (PINHO, 2007).

MATERIAL	TIPO	VALOR
AÇO	Tração nas fibras extremas de perfis laminados ou soldados sujeitos à flexão – seção bruta	$0,55f_y$
	Compressão axial nas fibras extremas de perfis laminados ou soldados sujeitos à flexão – seção bruta – quando a mesa comprimida é contida lateralmente em todo seu comprimento pela laje de concreto.	$0,55f_y$
	Cisalhamento em almas de vigas.	$0,55f_v$
CONCRETO	Tração – para $f_{ck} > 1,8 \text{ kN/cm}^2$	$0,06f_{ck} + 0,07$
	Compressão	$0,4f_{ck}$

Definindo-se

$t_p$  – espessura da pré-laje.

$A_c$  – área da seção de concreto.

$I_{cx}$  – momento de inércia da laje.

$E_c$  – módulo de elasticidade do concreto.

$b_{ca}$  – a largura efetiva da laje.

$H = t_c + t_p + d$  – altura da seção mista.

$A$  – área da seção mista.

$L$  – vão da ponte.

$y_c = \frac{t_c}{2}$  – distância da borda superior da laje até o centro de gravidade do elemento de concreto.

$y_a = t_c + t_p + \frac{d}{2}$  – distância da borda superior da laje até o centro de gravidade do elemento de aço.

$y' = y_c + y_a$  – soma das distâncias da borda superior da laje até o centro de gravidade dos elementos isolados.

$y_s = \frac{\sum Ay'}{\sum A}$  – distância da borda superior da laje ao centro de gravidade da seção mista

$y_i = H - y_s$  – distância da borda inferior do perfil metálico ao centro de gravidade da seção mista.

As tensões atuantes na seção mista são calculadas a partir de um coeficiente de homogeneização  $\eta_0$ , representado pela razão entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto. O concreto tem um processo de deformação lenta sob ação de cargas permanentes, o que leva a uma modificação nas tensões em função do tempo.

Para consideração nos cálculos de pontes das cargas de longa duração usa-se  $\eta_0$ , definido e

multiplicado por três. Sendo  $\eta_0 = \frac{E_a}{E_c}$  a razão entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto para solicitações de curta duração, então  $\eta_{\infty} = 3\eta_0$  é razão entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto para solicitações de longa duração.

Em sistemas mistos com vigas bi-apoiadas os elementos devem ser acomodados de modo que o eixo neutro situe-se preferencialmente abaixo da superfície superior do perfil de aço. A porção do concreto na região tracionada deve ser desconsiderada para os cálculos de resistência aos momentos. São descritas a seguir as equações usadas para o cálculo das tensões máximas atuantes na seção mista, onde:

$I_0 = I_{ax} - I_{cx}$  – soma dos momentos de inércia dos elementos isolados.

$I_x = \sum I_0 + \sum (Ay')^2 - \sum (Ay_s)^2$  – momento de inércia da seção mista.

$W_a^s = \frac{I_x}{d - y_i}$  – módulo de resistência superior do aço na seção mista.

$W_a^i = \frac{I_x}{y_i}$  – módulo de resistência inferior do aço na seção mista.

$W_c^s = \frac{I_x \cdot \eta_0}{H - y_i}$  – módulo de resistência superior do concreto na seção mista.

$F_b = 0,55f_y$  – tensão admissível de tração e compressão do aço na flexão.

$F_v = 0,33f_y$  – tensão admissível de cisalhamento na alma do perfil.

$F_c = 0,40f_{ck}$  – tensão admissível de compressão no concreto.

$M_{CPA}$  – momento devido à carga permanente A.

$M_{CPB}$  – momento devido à carga permanente B.

$M_{CM}$  – momento devido à carga móvel.

$Q_{CP}$  – cisalhamento devido à carga permanente.

$Q_{CM}$  – cisalhamento devido à carga móvel.

$f_{bi} = \frac{M_{CPA}}{W_{ax}} + \frac{M_{CPB}}{W_a^i(\eta_{\infty})} + \frac{M_{CM}}{W_a^i(\eta_0)}$  – tensão máxima na mesa inferior do perfil.

$f_{bs} = \frac{M_{CPA}}{W_{ax}} + \frac{M_{CPB}}{W_a^s(\eta_{\infty})} + \frac{M_{CM}}{W_a^s(\eta_0)}$  – tensão máxima na mesa superior do perfil.

$f_v = \frac{Q_{CP} + Q_{CM}}{h \cdot t_w}$  – tensão máxima de cisalhamento na alma do perfil.

$f_{cs} = \frac{M_{CPB}}{W_c^s(\eta_{\infty})} + \frac{M_{CM}}{W_c^s(\eta_0)}$  – tensão máxima na face superior da laje.

O cisalhamento vertical na viga é calculado como uniformemente distribuído ao longo da área da alma. A laje de concreto e as mesas da seção metálica devem ser desprezadas e a altura da alma do perfil receber toda a força cortante que atua no conjunto.

Os conectores de cisalhamento usados na junção da viga de aço com o concreto devem ser capazes de resistir à movimentação horizontal e vertical entre os materiais. Devem ainda permitir a completa compactação do concreto de modo que sua superfície esteja inteiramente em contato com o mesmo.

O sistema de pisos com vigas mistas está sujeito a deformações de cisalhamento no plano da laje de concreto, o que gera variações na distribuição das tensões normais ao longo da largura da mesa (efeito *shearlag*). A tensão máxima situa-se sobre a viga e decresce à medida que se afasta da linha de centro. Como a contribuição do elemento de concreto não é inteiramente efetiva em sua extensão, adota-se o conceito de largura efetiva ou colaborante.

A substituição da largura real  $B$  pela largura fictícia  $c$  na Figura 5 fornece um valor correto de

máxima tensão, desde que a área em  $GHJK$  seja igual à área em  $ACDEF$ .

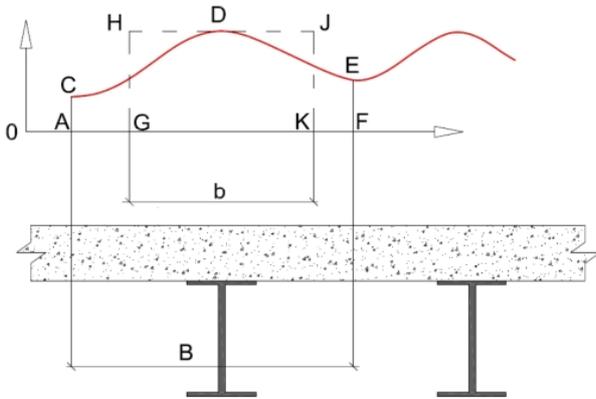


Figura 5 – Representação da largura efetiva na seção mista; QUEIROZ (2001).

A largura efetiva de cálculo da laje de concreto que compõe a mesa da viga T não deve ser superior a:

- 1/4 do comprimento do vão da viga;
- a distância de centro a centro de vigas;
- 12 vezes a menor espessura da laje.

Para o cálculo de deformação de vigas laminadas e soldadas usa-se o momento de inércia da área da seção transversal. No caso de vigas mistas a carga é considerada agindo na seção composta e a mesa comprimida contida lateralmente pela laje de concreto.

A flecha máxima calculada com trem-tipo de cálculo mais impacto não deve exceder 1/800 do vão, então

$\delta_{adm} = \frac{L}{800}$  é a flecha máxima admissível para pontes

e  $\delta = \frac{5 \cdot q_{proj} \cdot \frac{L^4}{8} + p_{proj} \cdot L^2 + p_{proj} \cdot (L-3) \cdot (3L^2 - (L-3)^2)}{48 E \cdot I}$  é a flecha de projeto.

### 3 Metodologia para o Desenvolvimento do Pré-Dimensionamento de Vigas Mistas

Neste item apresenta-se a metodologia para desenvolvimento de um estudo de variação de parâmetros partindo-se de um caso típico apresentado na Figura 6, composto por duas vigas metálicas em perfil I, soldado ou laminado, com distância entre eixos de 2,60 m e balanços de 0,80 m. O tabuleiro é formado por pré-laje treliçada de concreto com espessura de 6,00 cm e total de 20,00 cm. Como espessura da laje colaborante de cálculo considera-se somente a espessura da laje de concreto sobre a pré-laje, ou seja, 14,00 cm.

O procedimento compreende a análise teórica de vigas mistas de aço e de concreto para pontes

rodoviárias de pequeno porte, considerando perfis soldados (PS) e laminados (PL). A seção transversal da ponte foi baseada no padrão do DNIT – Departamento Nacional de Infra Estrutura Terrestre. O material empregado é descrito na Tabela 2.

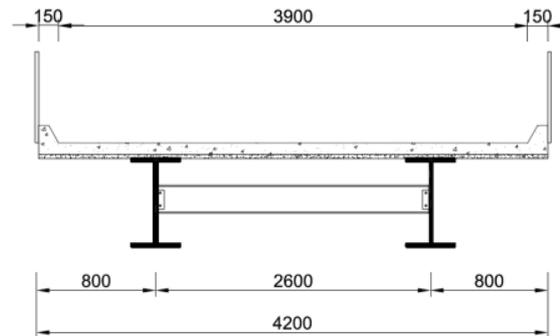


Figura 6 – Modelo de cálculo para pontes viciniais.

Tabela 2 – Materiais empregados para o cálculo do modelo.

Peça	Material	E (MPa)	Resistências (MPa)
Viga	Aço	200.000,00	$f_y = 3500$
Laje	Concreto	23.800,00	$f_{yk} = 250$

A laje de concreto é solidarizada à mesa superior da viga metálica por meio de conectores mecânicos. O trabalho em questão não considera os cálculos referentes aos conectores de cisalhamento, enrijecedores e diafragmas, já que esses não influenciam no pré-dimensionamento da viga metálica.

A carga permanente, antes da cura do concreto –  $C_{PA}$  – engloba o peso próprio das vigas e da laje de concreto. Apenas a seção transversal do aço contribui para resistir às solicitações descritas. A estabilidade lateral da viga metálica na fase de construção é garantida por um contraventamento horizontal provisório, o qual não fez parte do escopo do presente trabalho.

A carga permanente após a cura do concreto –  $C_{PE}$  – diz respeito ao peso próprio do guarda-rodas de concreto e do guarda-corpo metálico. As solicitações descritas são suportadas pela seção transversal mista. A mesa superior da viga metálica é contida lateralmente ao longo de seu comprimento pela laje de concreto.

A carga móvel utilizada é o trem-tipo para pontes de classe 45 da NBR 7188: 1984. Essas são posicionadas na viga de maneira a provocar as solicitações máximas, determinadas por meio de linhas de influência. As solicitações de carga móvel mais impacto –  $C_{PM}$  – são resistidas pela seção mista. O coeficiente de impacto vertical é dado por:

$$\phi = 1,4 - 0,007L \quad (1)$$

onde  $\phi$  é o coeficiente de impacto vertical.

O cálculo das solicitações e o pré-dimensionamento da viga mista são realizados analiticamente utilizando planilhas eletrônicas elaboradas no programa MathCAD 8 Professional. As solicitações são determinadas por meio do método de Linhas de Influência, e os cálculos do pré-dimensionamento adotam as prescrições da norma americana AASHTO: 2002.

Para o pré-dimensionamento das vigas metálicas considerou-se a superestrutura em grelha, o que admite a análise de cálculo com distribuição transversal homogênea das cargas ao longo do vão. Tratando-se de perfis metálicos de seção I sua rigidez à torção foi desprezada por ser muito inferior à sua rigidez à flexão.

Os perfis soldados estudados foram tirados da tabela da Usiminas Mecânica, considerando a série VS

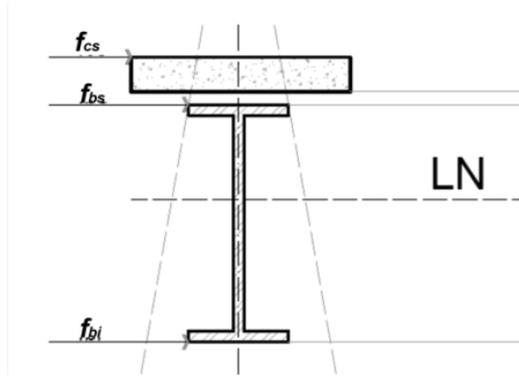
(Viga Soldada) e alguns perfis da Tabela B.3 da NBR 5884:2005. Os perfis laminados foram extraídos da tabela da Gerdau Açominas.

## 4 Resultados

Para vigas de pontes com extremidades articuladas as tensões de compressão concentram-se no plano superior da linha neutra, enquanto as tensões de tração concentram-se no plano abaixo dessa linha. A Figura 7 e apresenta um gráfico das tensões para a seção transversal de uma viga mista bi-apoiada, onde valores máximos incidem nas fibras extremas de cada elemento e seus deslocamentos.

**Tabela 3** – Vãos máximos para perfis laminados.

PERFIL	Vão Máximo (m)	Tensões Admissíveis (kN/cm <sup>2</sup> )				Flechas (cm)	
		F <sub>b</sub> = 19,30		F <sub>v</sub> = 11,55 F <sub>c</sub> = 1,00			
		L <sub>m</sub>	Tensões Solicitantes (kN/cm <sup>2</sup> )				δ <sub>adm</sub>
		f <sub>bs</sub>	f <sub>bi</sub>	f <sub>v</sub>	f <sub>c</sub>		
W410X38,8	4,00	5,62	19,22	10,72	0,59	0,50	0,22
W410X46.1	4,00	4,40	16,27	9,80	0,55	0,50	0,19
W410X53	4,50	4,63	17,44	9,85	0,60	0,56	0,27
W410X60	5,00	4,94	18,66	10,17	0,64	0,63	0,35
W410X67	5,00	4,14	16,61	8,90	0,61	0,63	0,32
W410X75	5,50	3,53	15,04	8,08	0,58	0,63	0,29
W410X85	6,00	4,51	17,93	7,87	0,66	0,75	0,48
W460X52	4,50	4,29	17,02	8,65	0,55	0,56	0,24
W460X60	5,00	4,38	17,70	8,72	0,58	0,63	0,31
W460X68	5,50	4,46	18,12	8,05	0,60	0,69	0,38
W460X74	6,00	4,74	19,05	8,48	0,63	0,75	0,47
W460X82	6,00	4,09	17,34	7,71	0,60	0,75	0,43
W460X89	6,50	4,31	18,02	7,54	0,62	0,81	0,51
W460X97	7,00	4,49	18,79	7,18	0,66	0,86	0,61
W460X106	7,50	4,48	19,24	6,69	0,71	0,94	0,71
W530X66	5,50	4,12	17,67	7,01	0,54	0,69	0,33
W530X72	6,00	4,27	18,32	7,23	0,56	0,75	0,40
W530X74	6,00	4,10	17,80	6,71	0,55	0,75	0,39
W530X82	6,50	4,12	18,03	7,12	0,56	0,81	0,46
W530X85	6,50	4,00	17,64	6,56	0,56	0,81	0,44
W530X92	7,00	3,96	17,91	6,84	0,58	0,88	0,52
W530X101	7,50	3,82	18,02	6,59	0,62	0,94	0,60
W530X109	8,00	4,02	18,58	6,38	0,66	1,00	0,69
W610X101	8,00	4,02	18,37	6,16	0,60	1,00	0,62
W610X113	8,50	4,27	17,99	5,92	0,62	1,06	0,68
W610X125	9,50	5,02	19,28	5,83	0,70	1,19	0,89
W610X140	10,00	5,25	18,64	5,40	0,72	1,25	0,95
W610X155	11,00	5,72	19,15	5,79	0,78	1,38	1,18
W610X174	11,50	5,88	18,23	5,35	0,80	1,44	1,22



**Figura 7** – Representação das tensões presentes em vigas mistas bi-apoiadas.

A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam os valores de vãos máximos para os perfis laminados e soldados respectivamente. Ainda mostram os valores das tensões encontradas para cada perfil quando utilizados nestes vãos.

A Figura 8 e Figura 9 relacionam os deslocamentos da viga mista quando atinge seu vão final. O valor de  $\delta_{adm}$  (flecha máxima admissível) não é superado por  $\delta$  (flecha de projeto) em nenhum dos casos, pois se tratando de pontes vicinais a razão entre o vão e a largura da ponte é mantida baixa. Assim, os valores de tensões máximas na seção transversal são alcançados antes da flecha na viga atingir seu limite.

A Figura 10 relaciona os perfis laminados aos valores dos vãos máximos, que variam, para o modelo estudado, de 4,00 m a 11,50 m. A Figura 11 apresenta os valores das tensões atingidas pelo perfil quando alcança seu vão máximo. Foram relacionados somente os valores de  $f_{bi}$  (tensão máxima na mesa inferior do perfil) e  $f_v$  (tensão máxima de cisalhamento na alma do perfil) por serem os itens que determinam os valores dos vãos admissíveis.

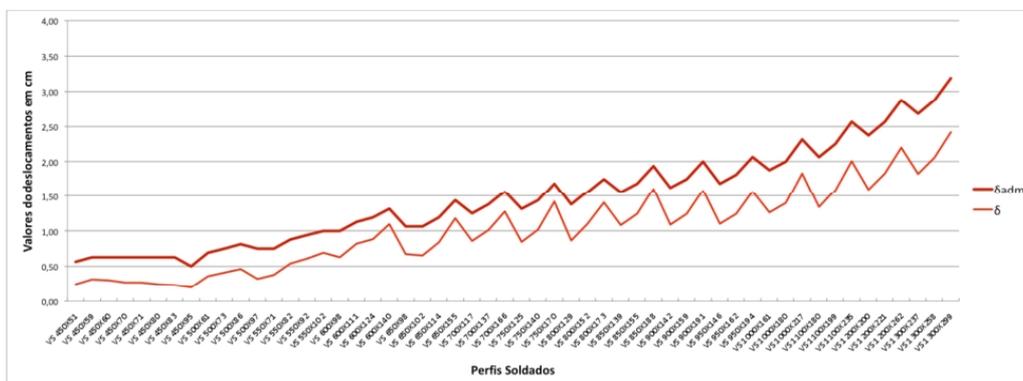
Analisando-se os dois gráficos citados, percebe-se que o aumento do valor do vão está diretamente relacionado ao aumento da massa linear dos perfis dentro do grupo de mesma altura. Nesse caso o  $f_{bi}$  foi o fator que determina o vão para todos os perfis laminados.

A Figura 12 mostra os valores de vão máximo à medida que aumentam a altura e massa linear do perfil soldado. Os números atingidos para estes perfis oscilam de 4,50 m a 25,50 m.

A Figura 13 apresenta as tensões atuantes no perfil soldado quando em seu vão máximo, que tem sua variação para as peças de altura até 500 mm determinada pelo valor de  $f_v$ . Neste grupo os valores do vão máximo oscilam pouco, já que a força de cisalhamento é resistida somente pela alma do perfil e estas não apresentam diferença apreciável de área, mantendo sua espessura constante e altura com pouca alteração.



**Figura 8** – Gráfico de deslocamentos para perfis laminados.



**Figura 9** – Gráfico de deslocamentos para perfis soldados.

**Tabela 4** –Vãos máximos para perfis soldados.

PERFIL	Vão Máximo (m)	Tensões Admissíveis (kN/cm <sup>2</sup> )				Flechas (cm)	
		F <sub>b</sub> = 19,30		F <sub>v</sub> = 11,55		F <sub>c</sub> = 1,00	
		Tensões Solicitantes (kN/cm <sup>2</sup> )					
	<i>L<sub>m</sub></i>	<i>f<sub>bs</sub></i>	<i>f<sub>bi</sub></i>	<i>f<sub>v</sub></i>	<i>f<sub>c</sub></i>	<i>δ<sub>adm</sub></i>	<i>δ</i>
VS 450X51	4,50	4,15	16,84	10,36	0,54	0,56	0,24
VS 450X59	5,00	4,21	17,44	10,99	0,57	0,63	0,31
VS 450X60	5,00	4,06	17,00	11,15	0,57	0,63	0,30
VS 450X70	5,00	3,13	14,50	11,15	0,53	0,63	0,27
VS 450X71	5,00	3,10	14,41	11,34	0,53	0,63	0,26
VS 450X80	5,00	2,51	12,77	11,50	0,51	0,63	0,24
VS 450X83	5,00	2,30	12,18	11,33	0,50	0,63	0,23
VS 450X95	4,00	4,34	17,93	10,07	0,34	0,50	0,20
VS 500X61	5,50	4,30	18,38	10,34	0,56	0,69	0,36
VS 500X73	6,00	3,96	17,63	10,92	0,56	0,75	0,41
VS 500X86	6,50	3,63	16,79	11,50	0,56	0,81	0,46
VS 500X97	6,00	2,38	13,08	11,23	0,50	0,75	0,32
VS 550X71	6,00	3,96	17,74	7,69	0,53	0,75	0,37
VS 550X82	7,00	4,30	19,15	8,34	0,58	0,88	0,54
VS 550X92	7,50	4,00	18,83	8,59	0,61	0,94	0,61
VS 550X102	8,00	3,76	18,64	8,82	0,64	1,00	0,69
VS 600X98	8,00	3,74	18,33	8,16	0,59	1,00	0,62
VS 600X111	9,00	4,34	19,24	8,56	0,66	1,13	0,82
VS 600X124	9,50	4,50	18,60	8,75	0,68	1,19	0,88
VS 600X140	10,50	5,12	19,05	9,31	0,75	1,31	1,09
VS 650X98	8,50	4,15	19,10	7,60	0,60	1,06	0,67
VS 650X102	8,50	4,07	18,45	7,69	0,59	1,06	0,65
VS 650X114	9,50	4,64	19,18	8,04	0,65	1,19	0,84
VS 650X155	11,50	5,54	18,54	8,93	0,75	1,44	1,18
VS 700X117	10,00	4,91	19,12	7,59	0,64	1,25	0,86
VS 700X137	11,00	5,30	18,65	7,96	0,68	1,38	1,01
VS 700X166	12,50	5,96	18,45	8,53	0,75	1,56	1,28
VS 750X125	10,50	5,01	18,21	7,20	0,62	1,31	0,85
VS 750X140	11,50	5,50	18,50	7,53	0,67	1,44	1,02
VS 750X170	13,50	6,53	19,22	8,16	0,77	1,69	1,42
VS 800X129	11,00	5,24	18,16	6,86	0,61	1,38	0,86
VS 800X152	12,50	5,87	18,24	7,27	0,68	1,56	1,10
VS 800X173	14,00	6,65	18,93	7,73	0,75	1,75	1,40
VS 850X139	12,50	6,08	19,24	6,77	0,66	1,56	1,08
VS 850X155	13,50	6,45	19,12	7,04	0,70	1,69	1,24
VS 850X188	15,50	7,26	19,20	7,56	0,77	1,94	1,61
VS 900X142	13,00	6,26	19,11	6,49	0,65	1,63	1,09
VS 900X159	14,00	6,60	18,93	6,73	0,68	1,75	1,24
VS 900X191	16,00	7,34	18,91	7,21	0,75	2,00	1,58
VS 950X146	13,50	6,43	18,98	6,23	0,64	1,69	1,10
VS 950X162	14,50	6,73	18,76	6,45	0,67	1,81	1,24
VS 950X194	16,50	7,41	18,65	6,89	0,74	2,06	1,56
VS 1000X161	15,00	6,96	19,02	6,16	0,66	1,88	1,26
VS 1000X180	16,00	7,17	18,54	6,37	0,69	2,00	1,39
VS 1000X217	18,50	8,06	18,78	6,85	0,77	2,31	1,83
VS 1100X180	16,50	7,54	18,73	4,89	0,67	2,06	1,34
VS 1100X199	18,00	8,07	19,03	5,10	0,72	2,25	1,59
VS 1100X235	20,50	8,81	19,07	5,46	0,78	2,56	2,01
VS 1200X200	19,00	8,39	19,20	4,75	0,70	2,38	1,60
VS 1200X221	20,50	8,78	19,16	4,93	0,74	2,56	1,83
VS 1200X262	23,00	9,28	18,73	5,24	0,79	2,88	2,20
VS 1300X237	21,50	9,40	19,27	3,51	0,74	2,68	1,83
VS 1300X258	23,00	9,71	19,23	3,63	0,78	2,88	2,06
VS 1300X299	25,50	10,09	18,80	3,84	0,82	3,19	2,42

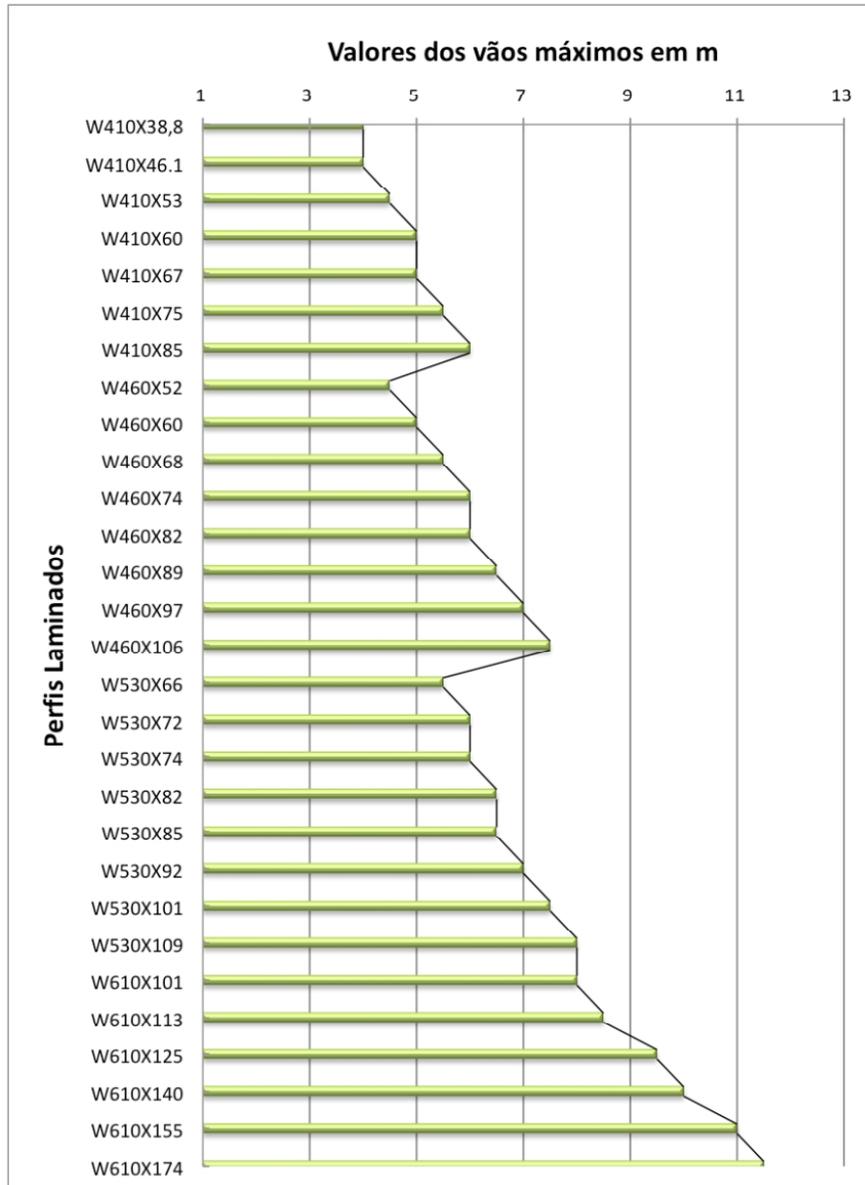


Figura 10 – Relação entre perfis laminados e seus vãos máximos.

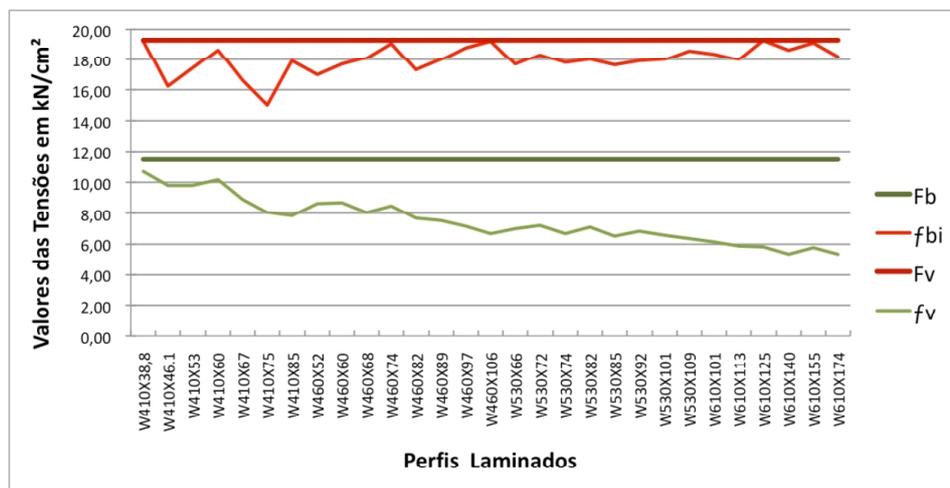


Figura 11 – Valores das tensões máximas dos perfis laminados nos vãos máximos.

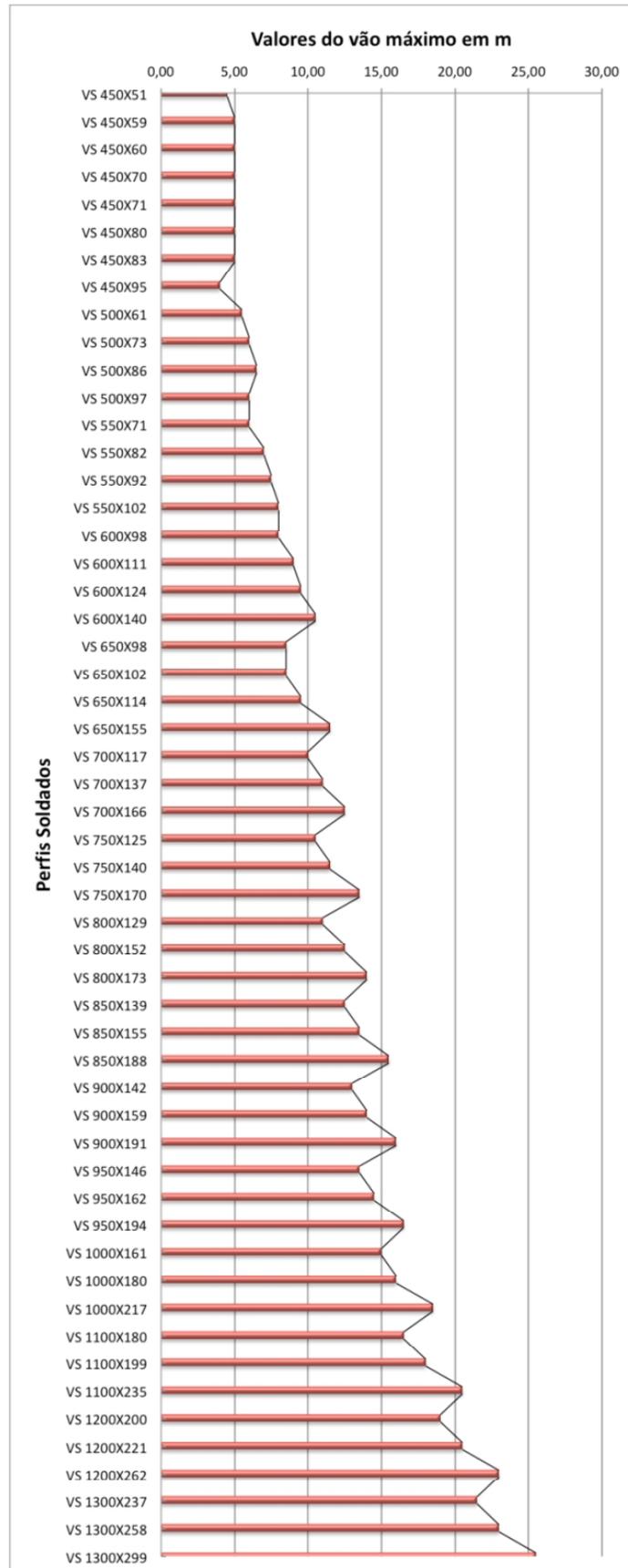


Figura 12 – Relação entre perfis soldados e seus vãos máximos.

Para os perfis com altura acima de 500 mm, foi observado o acréscimo de valor à do aumento da massa linear dentro do grupo de mesma altura, tendo o  $f_{bi}$  alcançado os valores limítrofes antes que quaisquer outras tensões atuantes na seção mista.

## 5 Considerações Finais

A aplicação de estruturas em concreto e aço permite valorizar as melhores características de cada material. Entretanto, o comportamento mecânico de sistemas mistos ainda é um desafio para os profissionais da área. O aprimoramento do processo de dimensionamento e construção deste tipo de estrutura permite apurar o conhecimento sobre a ação conjunta dos materiais e seu emprego em diferentes situações.

A revisão bibliográfica evidenciou a carência de estudos nacionais a respeito de estruturas mistas de aço e de concreto para pontes em pequenos vãos, em contraste a ampla variedade de trabalhos referentes a vigas mistas em concreto e madeira para estruturas desse porte. Ainda mostrou a falta de regulamentação a nível nacional para pontes em estruturas mistas de aço e concreto, tendo sido necessário fazer o uso da Norma Americana AASHTO: 2002 para execução dos cálculos de dimensionamento dos perfis na seção mista.

Este trabalho visa contribuir com o emprego de estruturas mistas de aço e concreto para pontes em estradas vicinais, propondo uma análise simplificada do uso de diferentes perfis laminados e soldados. Foi definido um modelo no qual a estrutura principal é constituída por laje em concreto armado e viga metálica em perfil I, com foco em aspectos essencialmente ligados ao pré-dimensionamento da viga e avaliação de dois tipos de perfis com dimensões padronizadas em tabela.

Os resultados numéricos demonstraram a viabilidade técnica de ambos os tipos de perfis, soldado e laminado, para pontes em vigas mistas de aço e concreto com vãos de até 25,50 m, essas situadas em localidades

onde não se justifica o emprego de estruturas complexas.

As tabelas geradas podem auxiliar o emprego de perfis metálicos no pré-dimensionamento de pontes em estradas vicinais. Os resultados do trabalho servem para assistir o início do processo de projeto e não devem ser utilizados para definir a estrutura final da ponte, pois foram baseados em um modelo genérico com hipóteses pré-definidas simulando-se uma situação de cálculo. Para o estabelecimento da estrutura permanente de um projeto devem ser levadas em conta as características específicas de cada circunstância.

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e USIMINAS pelo suporte dado ao desenvolvimento do trabalho.

## Abstract

Composite beams of steel and concrete are widely used in design of bridges and many are the structural advantages of using this type of construction. But to occur the best use of the system the designer must have specific knowledge in the area. Helping their choices, today the professional has the advantage of using analysis through computers softwares. This study aimed to contribute to the study of road bridges in composite beams of steel and concrete through numerical analysis. The methodology involved the development of a study of parameters variation starting from a typical case consisting of two steel beams in profile I, welded or laminated, with a wheelbase of 2,60 m, 0,80 m balances and a total thickness of 20,00 cm. The theoretical analysis considered composite beams

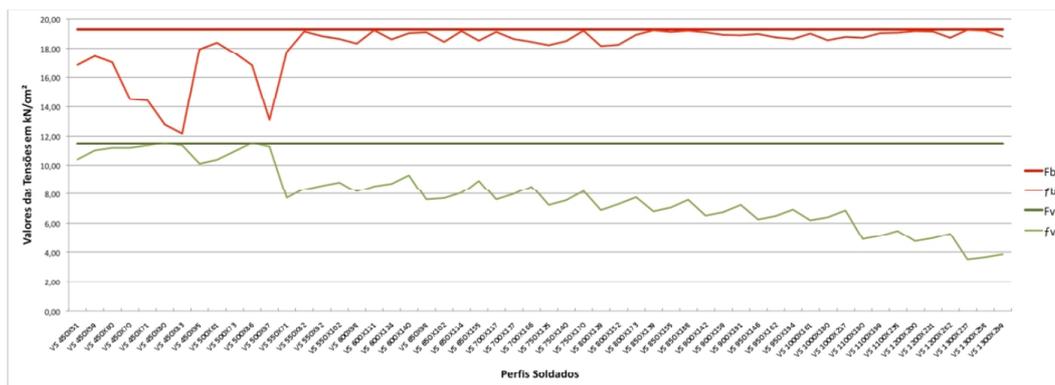


Figura 13 – Valores das tensões máximas dos perfis soldados nos vãos máximos.

of steel and concrete for local road bridges composed of welded (PS) and laminate (PL) profile and presented the maximum spans for each of them.

**Keywords:** Numerical analysis, composite beams, small bridge.

## 6 Referências Bibliográficas

ANDRADE, R.G.M. (2007). Pontes protendidas de madeira: alternativa técnico-econômica para vias rurais. Monografia de Graduação Programa de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). NBR 5884: Perfil I estrutural de aço soldado por Arco elétrico – Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, ABNT.

\_\_\_\_\_. (1982). NBR 7188: Carga móvel para pontes rodoviárias e passarela de pedestres. Rio de Janeiro, ABNT.

\_\_\_\_\_. (2003). NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, ABNT.

\_\_\_\_\_. (1982). NB-6: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, ABNT.

AASHTO (2002). Standard Specification for Highway Bridges. 17<sup>o</sup> Edition.

FERNANDES, W. L. (2008). Software para análise e dimensionamento de vigas mistas aço-concreto em pontes rodoviárias. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG.

FIALHO, A. P. F. (2004). Passarelas Urbanas em estrutura de aço. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, MG.

JÚNIOR, C. C. *ET AL.* (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

JUNIUS. Elevado da Linha Vermelha. Disponível em: <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Linha\\_Vermelha.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Linha_Vermelha.JPG)>. Acesso em: 13 out. 2011.

MACHADO, R. M. (1998). Estudo teórico-experimental de elementos estruturais de perfis de aço misto. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG.

NGUYEN, M. L. The Ponte Fabricio, over the Tiber, and the Isola Tiberina (Rome). View from the Lungotevere Pierleoni. Disponível em: <[\[it.wikipedia.org/wiki/File:Ponte\\\_Fabricio\\\_Rome\\\_Pierleoni.jpg\]\(http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ponte\_Fabricio\_Rome\_Pierleoni.jpg\)>. Acesso em: 13 out. 2011.](http://</a></p></div><div data-bbox=)

NOGUEIRA, V. Ponte São Ângelo (Roma). Disponível em: <<http://valdo-nogueira.blogspot.com/2010/08/23-de-agosto-de-2010.html>>. Acesso em: 13 out. 2011.

PASCOAL, D. R. Ponte de Ferro sobre o rio Severn. Disponível em: <<http://thaa2.wordpress.com/category/daniel-rodrigues-pascoal/>>. Acesso em: 13 out. 2011.

PFEIL, M.; PFEIL, W. (2009). Estruturas de aço: dimensionamento prático. LTC, Editora, 336p.

PINHO, F. O. ; BELLEI, I. H. (2007). Pontes e viadutos em vigas mistas. Manual de Construções em Aço, Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), Rio de Janeiro, RJ.

PONTES, H. Elevado da Perimetral. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/mat/2010/07/15/demolicao-do-elevado-da-perimetral-comeca-entremeados-de-2012-inicio-de-2013-vai-durar-um-ano-917162870.asp>>. Acesso em: 13 out. 2011.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J. (2001). Elementos das estruturas mistas aço-concreto. Belo Horizonte. Editora O Lutador.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J. (2010). Estruturas mistas. Vol.1 Manual de Construções em Aço, Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), Rio de Janeiro, RJ.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J. (2010). Estruturas mistas. Vol.2 Manual de Construções em Aço, Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), Rio de Janeiro, RJ.

SEMERARO, S. Ponte Céstio (Roma). Disponível em: <<http://www.photographyblogger.net/day-13-rome-italy/>>. Acesso em: 13 out. 2011.

SIDERBRÁS (1989). Pontes Rodoviárias Metálicas. Brasília, DF.

SORIANO, J.; MASCIA, N. T. (2009). Estruturas mistas e madeira-concreto: uma técnica racional para pontes de estradas vicinais. Scielo Brasil. Ciência Rural. vol.39.no.4. Santa Maria, SP.

SOUZA, C.R. (2004). Utilização de estruturas mistas na recuperação da capacidade de carga das pontes de madeira do Estado de Mato Grosso do Sul. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Faculdade de engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, SP.

SUSSEKIND, J. C. (1981). Curso de análise estrutural – Volume I – Estruturas Isostáticas. 6<sup>a</sup> Edição. Editora Globo. Porto Alegre/ Rio de Janeiro.

TRISTÃO, G. A. (2002). Comportamento de conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise da resposta numérica. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.