

## Inspeção de ponte ferroviária metálica: verificação da capacidade de carga da “Ponte da Barra” em Ouro Preto/MG

(Inspection of steel bridge railway verification of carrying  
capacity of the “Bridge of Barra” in Ouro Preto/MG)

Manoel Gonçalves Cardoso

MSc, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/DECIV/Escola de Minas, UFOP  
E-mail: manodemolay@yahoo.com.br

Ernani Carlos de Araújo

Engenheiro, Professor, DSc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/DECIV/Escola de Minas, UFOP  
E-mail: ecar\_em@yahoo.com.br

Luiz Cláudio Cândido

Professor, DSc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/DECIV/Escola de Minas, UFOP  
E-mail: candido@em.ufop.br

### Resumo

Esse trabalho procurou diagnosticar os fenômenos patológicos apresentados pela “Ponte da Barra” (ponte metálica restaurada e reforçada para implantação da Ferrovia Turística Cultural entre Ouro Preto e Mariana/MG) e apresentar soluções para o combate a tais fenômenos. Para o cadastro da ponte, foram identificadas, por inspeção visual e registros fotográficos, as patologias presentes. Também foi realizada a modelagem numérica através de elementos finitos (elemento de barra com seis graus de liberdade por nó), visando a analisar o comportamento estrutural da ponte antes e após reforço estrutural. Dessa maneira foi possível fazer a avaliação da estabilidade da mesma e, também, a avaliação da eficiência do reforço estrutural proposto. A análise numérica foi viabilizada através de parâmetros levantados *in loco*, como geometria, propriedades mecânicas e fatores patológicos. Os estudos laboratoriais, como caracterização química, ensaio de tração, análise metalográfica e dos produtos de corrosão, foram determinadas através de amostras do aço de elementos estruturais da própria ponte. Observou-se que o sistema de curva tensionada utilizado para reforço estrutural agravou, sistematicamente, a estabilidade global da ponte, introduzindo acréscimo de carga aos elementos estruturais mais críticos.

**Palavras-chave:** Pontes de aço, inspeção, avaliação.

### Abstract

*This work sought to diagnose and propose solutions for the pathological phenomena occurring on the bridge “Ponte da Barra” (a metallic bridge that was restored and reinforced for use by the Tourist-Culture Railroad between Ouro Preto and Mariana/MG). To obtain the bridge profile, a visual inspection and photographic registers were performed to evaluate existing pathologies. Numerical modeling was also performed, using finite elements (bar elements with six degrees of freedom per node), aiming to analyze the bridge’s structural behavior before and after reinforcement. This permitted evaluation of the bridge’s stability as well as the efficiency of the structural reinforcement proposed. The numerical analysis proved feasible when parameters measured in situ, such as geometry, mechanical properties and pathological factors were implemented. The laboratory studies, such as: chemical characterization, stress tests, metalographic analysis, and corrosion, were performed using steel samples from the bridge’s structural elements. The conclusion reached was that the Rigid Tension Curve System used for structural reinforcement systematically diminished the overall stability of the bridge, introducing a load increase on the most critical structural elements.*

**Keywords:** Steel bridges, inspection, evaluation.

## 1. Introdução

Nesse trabalho, procurou-se pesquisar sobre um assunto atual e, até então, pouco estudado no Brasil: os fenômenos patológicos em pontes metálicas ferroviárias. Esses fenômenos, tais como corrosão, trincas por fadiga, afrouxamento de ligações e deformações e/ou deslocamentos excessivos de elementos estruturais, são os principais fatores responsáveis por intervenções e interdição parcial ou total de uma ponte.

Na literatura nacional disponível, são poucos os casos de estudos como o proposto. É fato que a ciência evolui com os erros e acertos de casos estudados, neste sentido, o objetivo desse trabalho é contribuir para o desenvolvimento da área de "Patologia das Estruturas", muito difundida para o concreto armado, porém ainda pouco estudada para as estruturas metálicas.

As metodologias de inspeção, avaliação e restauração, empregadas no estudo dessa ponte, contribuirão para o desenvolvimento de novas estratégias a serem utilizadas para outras pontes do mesmo gênero.

## 2. Materiais

### 2.1 Descrição da Ponte

A "Ponte da Barra", localizada sobre o córrego do Funil e distante 1,17km

da Estação Ouro Preto/MG, é uma ponte ferroviária metálica, em treliça, com ligações rebitadas e pilares em alvenaria de pedra. Ela foi inaugurada em 1914 e tem uma extensão de 21,00 metros. É constituída de elementos compostos, formados pela associação de chapas e cantoneiras. A distância entre banzos é de 2,00 metros e, entre montantes, de 1,75 metros.

### 2.2 Ensaios laboratoriais

As propriedades mecânicas e a composição química do aço utilizado na construção da ponte foram obtidas através dos ensaios e análises laboratoriais em amostras retiradas da própria ponte. Em virtude da natureza destrutiva dos ensaios realizados, as amostras foram coletadas apenas em elementos estruturais substituídos por apresentarem problemas estruturais. A Figura 1 ilustra, através de hachuras, o posicionamento dos elementos utilizados para confecção de amostras para ensaios.

Para determinação da composição química do aço utilizado na ponte, foi retirada uma amostra de aço do montante apresentado na Figura 1. Os resultados da análise estão apresentados na Tabela 1. Destacam-se os teores de carbono (muito baixo) e de fósforo (muito alto).

O ensaio metalográfico foi feito em três amostras retiradas de elementos da ponte. As Figuras 2 a 4 mostram, res-

pectivamente, as fotomicrografias da amostra 1 retirada do montante, amostra 2 retirada da cantoneira de apoio da passarela e amostra 3 retirada do rebite.

O aço utilizado na ponte apresenta uma microestrutura praticamente só de ferrita (solução sólida de carbono no ferro  $\alpha$ ), como era de esperar, devido ao baixo teor em carbono contido nesse material; essa característica está evidente nas fotomicrografias com aumento de 500x observadas nas Figuras 2-4. Nota-se a microestrutura do aço na amostra 1, grãos ferríticos de tamanhos variados e inclusões alinhadas, caracterizando o fibramento mecânico. A análise da amostra 2, referente à cantoneira de sustentação da passarela, apresenta uma microestrutura ferrítica, semelhante à da amostra 1; no entanto, nesse caso, os grãos de ferrita são ligeiramente maiores. Destacam-se as inclusões e até mesmo escória no material. Isso caracteriza o "Ferro Pudlado" (produto siderúrgico antigo, obtido no estado pastoso, com numerosas partículas de escória, em virtude do seu processo particular de fabricação: vazado em moldes e, depois, "pudlado", quer dizer, agitado ao ar por meio de barras, para redução do teor de carbono, com conseqüente formação do aço).

O material dos rebites, normalmente, em função do grau de deformação e da temperatura a que são submetidos,

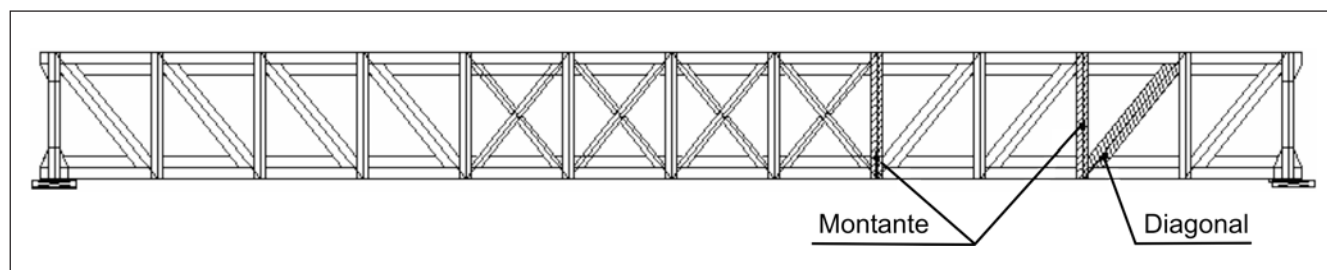


Figura 1 - Posição dos elementos estruturais danificados.

Tabela 1 - Composição química do aço analisado (Cardoso, 2007).

Composição química da amostra (% peso)									
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Cu	Al	Fe
0,007	0,561	0,087	0,756	0,120	0,015	0,052	0,010	0,010	98,340

durante o processo de montagem, pode apresentar, em sua microestrutura, incidência de textura cristalográfica. Observa-se que a microestrutura é constituída, basicamente, de ferrita, o que indica que esse aço também é de baixo carbono.

O ensaio de tração foi realizado em amostras do montante (amostra 1) e da cantoneira de sustentação da passarela (amostra 2). Os resultados do ensaio de tração encontram-se apresentados na Tabela 2.

Para cada amostra foram confeccionados três corpos-de-provas (CPs), sendo os três primeiros CPs, retirados da amostra 1, e os demais retirados da amostra 2, totalizando 6 CPs. A amostra 1 apresentou limite de escoamento  $f_y = 272$  MPa e limite de resistência  $f_u = 370$  MPa, já a amostra 2 apresentou  $f_y = 315$  MPa e  $f_u = 419$  MPa.

A amostra 3, referente ao rebite, teve o limite de resistência determinado de forma indireta, através do ensaio de dureza. Esse procedimento foi adotado em virtude das dimensões reduzidas do rebite. Foram realizadas 25 leituras de dureza Vickers, com valor médio de 171 (Vickers HV30). Para esse valor de dureza, obtém-se, para o rebite-limite de resistência  $f_u = 575$  MPa.

O valor médio de resistência mecânica (limite de escoamento e limite de resistência) obtido com as amostras 1-2 é semelhante aos valores médios encontrados em outras pontes da mesma época estudadas na Europa e no Brasil. Segundo Figueiredo (2004), a “Ponte do Pinhão”, construída em Portugal, em 1906, apresentou  $f_y = 284$  MPa e  $f_u = 367$  MPa. Para Brink (2004), a ponte “Marechal Hermes” (1922), rio São Francisco, entre as cidades de Pirapora

e Buritizeiro/MG, apresentou  $f_y = 270$  MPa e  $f_u = 573$  MPa.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Inspeção

A inspeção cadastral foi o primeiro passo no processo de restauração da ponte, quando foram coletadas informações referentes à localização da ponte, sistema estrutural, data de construção, tipo de tráfego, características geométricas, etc. Essa fase, também, foi acompanhada de inspeção visual e, registro fotográfico, contemplando vista lateral, superior, inferior e detalhes.

Em se tratando de pontes antigas, a inspeção cadastral, também, é a primeira inspeção da ponte, após anos de construção. Nesse caso, em virtude dos problemas patológicos, o cadastro deve ser



Figura 2 - Fotomicrografias da amostras 1; Nital 2%; 500x.



Figura 3 - Fotomicrografias da amostras 2; Nital 2%; 500x.

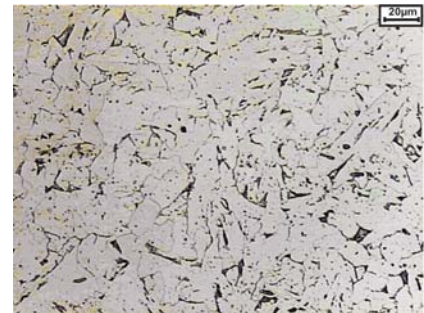


Figura 4 - Fotomicrografias da amostras 3; Nital 2%; 500x.

Tabela 2 - Ensaio de tração do aço analisado (Cardoso, 2007).

	CP	$L_0$ (mm)	L (mm)	$\phi_0$ (mm)	$\phi$ (mm)	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	$F_{Max}$ (N)	$\Delta L$ (mm)	$\epsilon$	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Corpo-de-prova	1	25	32,40	5,00	3,90	19,635	11,946	7500	7,40	30%	272,8	374,3
	2	25	32,50	5,00	3,55	19,635	9,898	7300	7,50	30%	264,8	364,4
	3	25	33,00	5,00	3,77	19,635	11,163	7380	8,00	32%	277,8	368,3
	4	25	31,00	5,00	4,35	19,635	14,862	8650	6,00	24%	313,7	431,7
	5	25	29,00	5,00	4,50	19,635	15,904	8280	4,00	16%	313,7	413,3
	6	25	29,80	5,00	4,40	19,635	15,205	8240	4,80	19%	317,3	411,3

$L_0$  - comprimento inicial. L - comprimento final.  $\phi_0$  - diâmetro inicial.  $\phi$  - diâmetro final.  $A_0$  - área inicial.  
 $F_{Max}$  - carga máxima.  $\Delta L$  - alongamento.  $\epsilon$  - deformação  $f_y$  - limite de escoamento.  $f_u$  - limite de resistência.

realizado simultaneamente à inspeção rotineira que vai determinar o estado de conservação da ponte. O registro fotográfico, neste caso, é ampliado, contemplando as características da ponte, além dos problemas patológicos encontrados.

### 3.2 Modelagem em elemento finito

Em função da análise dos resultados da inspeção rotineira, identificou-se a necessidade de analisar a capacidade estrutural da ponte. Neste sentido, foi utilizado o software “Metálicas 3D” para análise numérica, utilizando elementos finitos de barra (6 graus de liberdade por nó).

O modelo estrutural utilizou as características geométricas da estrutura real e o software foi configurado com as propriedades mecânicas do aço utilizado em 1914 (módulo de elasticidade  $E = 205\text{GPa}$ ; coeficiente de Poisson  $\nu = 0.3$ ; coeficiente de dilatação térmica  $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$ ; peso específico  $\rho = 78,5 \text{ kN/m}^3$ ; limite de escoamento  $f_y = 272\text{MPa}$  e limite de resistência  $f_u = 370\text{MPa}$ ). As ligações foram consideradas rígidas entre banzos e birrotuladas nas diagonais e nos montantes. Conforme observado na Figura 5, a seção transversal da ponte é assimétrica, sendo, portanto, necessária uma análise numérica tridimensional.

### 3.3 Combinação de ações

A estrutura foi calculada para dois tipos de carregamentos:

- COMB 1 - Ponte descarregada, antes da passagem da composição férrea, na qual todo o carregamento atuante é referente ao peso próprio da estrutura (PP) aplicado, uniformemente, e distribuído no eixo local do elemento estrutural, além da ação referente à ponte descarregada (V1).
- COMB 2 - Ponte carregada, com atuação do peso próprio da estrutura (PP), mais a sobrecarga devido às passare-

las (Sp); ação do vento (V2); carga móvel - trem-tipo (TB 240); impacto lateral (Fh) ou força centrífuga (Fc) a que for maior; impacto vertical ( $\phi$ ) e força longitudinal (Fl).

É conveniente ressaltar que a força centrífuga foi inserida na combinação 2 em virtude de a ponte estar situada em um trecho curvo da ferrovia, onde, nessas condições, mesmo sendo reto o eixo da ponte, a força centrífuga é gerada em função do eixo da ferrovia ser curvo.

Foram escolhidos esses dois tipos de carregamentos, para determinar a amplitude de tensão atuante em cada elemento estrutural, sendo calculada pela diferença entre a tensão máxima e a tensão mínima provocada pelo carregamento cíclico.

O trem-tipo, TB 240, é utilizado na verificação de estabilidade e na análise do projeto de reforço de obras existentes. A designação dos trens-tipo é feita pela carga dos eixos mais pesados de uma locomotiva. A ação do trem-tipo foi

majorada pelo impacto vertical ( $\phi=1,37$ ), determinado de acordo com a Norma NBR 7187 (2003).

$$\phi = 0,1\%(1600 - 60\sqrt{l} + 2.25l) \geq 1,2$$

Onde:

$l$  = vão em metros

A Norma NBR 7187 (2003) não apresenta um procedimento específico para a consideração da ação do vento, no entanto esse trabalho adotou as recomendações da antiga Norma NB-2 (1961), na qual a ação de vento é considerada uniformemente distribuída, horizontalmente e normal ao eixo da ponte, sendo  $1,5\text{kN/m}^2$  para a ponte descarregada e  $1,0\text{kN/m}^2$  para a ponte carregada. Também foi empregada uma força centrífuga ( $F_c = 8\%$  do trem-tipo majorado pelo impacto vertical), aplicada horizontalmente e normal ao eixo da ponte  $1,6\text{m}$  acima dos trilhos, e força longitudinal ( $F_1 = 300\text{kN}$ ) aplicada normal ao trilho.

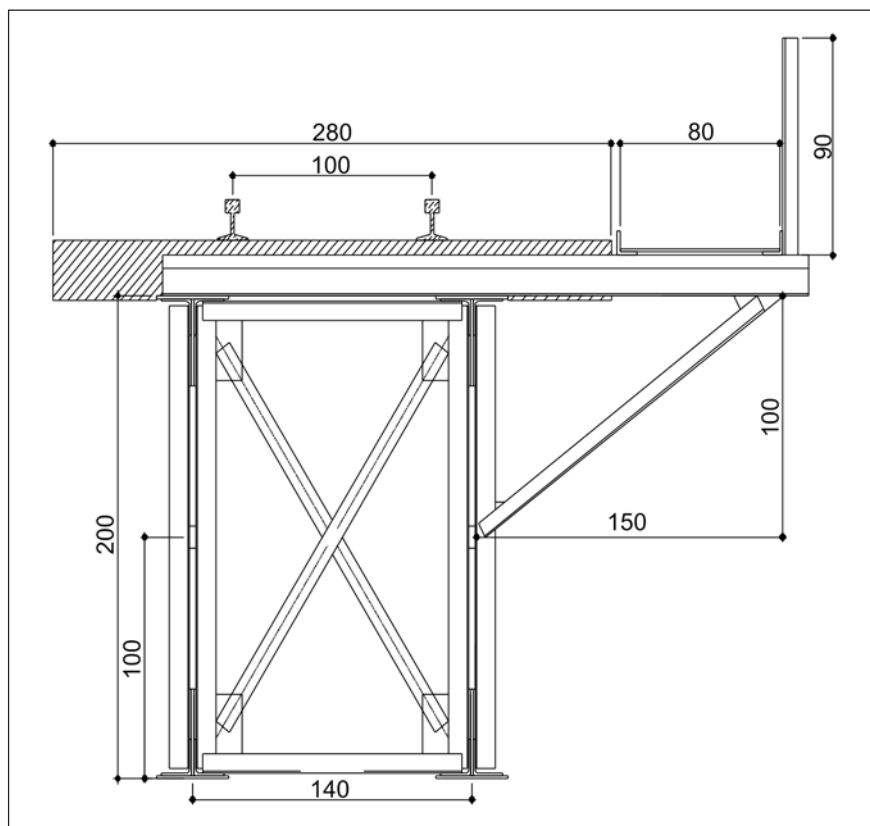


Figura 5 - Seção transversal típica da “Ponte da Barra” - Ouro Preto - MG.

### 3.4 Reforço estrutural

A equipe de restauração da ponte optou por um reforço externo, acoplado à estrutura já existente uma curva tensionada longitudinal com elevada rigidez, com a finalidade de diminuir os deslocamentos no centro da ponte, e, por consequência, diminuir as solicitações nos antigos elementos estruturais (Figura 6).

## 4. Resultados

A corrosão foi o fator patológico mais freqüente na ponte, conforme relatório de inspeção rotineira, porém, em virtude da atmosfera local, esse fator causou relativamente poucos danos à estrutura, com baixa redução de seção transversal dos elementos estruturais. O fenômeno de corrosão foi mais pronunciado em regiões com presença de frestas, decorrentes do projeto da ponte, onde eletrólitos são retidos. A flambagem de alguns montantes e o rompimento de uma das diagonais, no entanto,

causou sérios danos à estrutura. Tais problemas podem ser visualizados em trecho do registro fotográfico (Figuras 7 a 9). Tais problemas ilustram os aspectos mais importantes da inspeção visual.

A análise numérica identificou os montantes e as diagonais próximas aos apoios, como sendo os elementos estruturais mais críticos. Mesmo após o reforço estrutural, o montante sobre o apoio e a primeira diagonal tracionada, continuaram em estado crítico, além de terem um acréscimo nas solicitações. Para facilitar o entendimento do comportamento após o reforço, serão apresentadas, nas Tabelas 3-6, as solicitações atuantes no montante sobre o apoio (Mc 1), localizado fora do raio de ação da curva tensionada e fora do trecho central do banzo inferior da ponte (Bi 6), dentro do raio de ação da curva.

Para a estrutura após o reforço estrutural, observa-se acentuada diminuição da força Normal (N), para o banzo inferior (Bi 6), enquanto que, para o montante, houve um acréscimo de 10% na

solicitação de força Normal (N). É mais fácil compreender o efeito do reforço estrutural quando forem “plotadas” em um mesmo gráfico, as solicitações máximas de força Normal (N), atuantes devido ao *trem-tipo* deslocando-se sobre a ponte, o que pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

Todos os elementos estruturais tiveram o mesmo comportamento de Mc1 e Bi6, nos quais os elementos estruturais, dentro do raio de ação do reforço estrutural, tiveram um sensível decréscimo nos níveis de solicitações, enquanto que, para os elementos estruturais fora do raio de ação da curva tensionada, houve pequeno aumento da solicitação de força Normal. Após análise dos resultados, é de se esperar que se reforçassem os elementos estruturais próximos aos apoios, em virtude do acréscimo de solicitação Normal observada nesses elementos. A curva tensionada, que foi projetada como reforço estrutural, agrava, ainda mais, a estabilidade global da ponte, introduzindo acréscimo de tensão aos elementos que já eram considerados críticos.

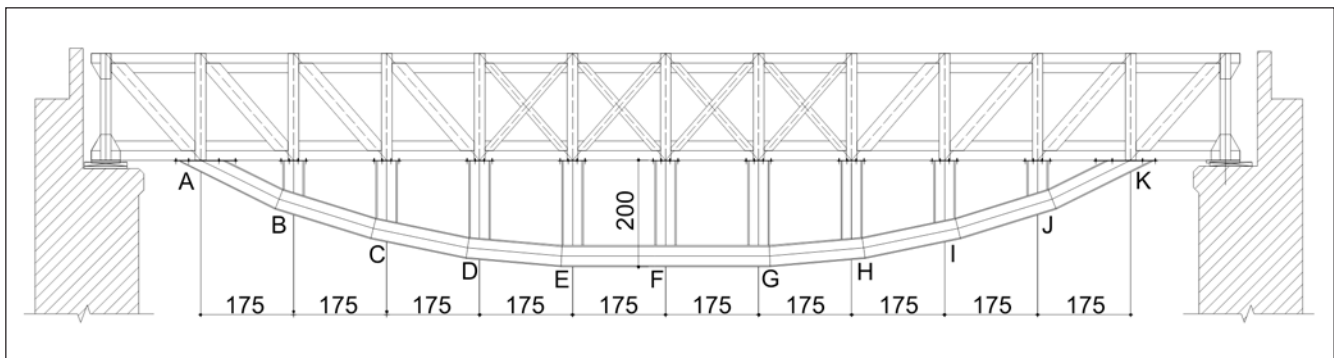


Figura 6 - Ilustração da curva tensionada utilizada para reforçar a “Ponte da Barra” no sentido longitudinal (Cardoso, 2007).



Figura 7 - Vista lateral, onde podem ser observados os pilares em alvenaria de pedra.



Figura 8 - Diagonal tracionada rompida.



Figura 9 - Montante com flambagem global.

Tabela 3 - Solicitações extremas atuantes no montante sobre o apoio (Mc 1) antes do reforço estrutural.


	Solicitações Extremas P/ Barra Mc-1 (4 L 80x80x9,7)					
	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Tx(kN.m)	My(kN.m)	Mz(kN.m)
<b>COMB - 1</b>	-56,260	-1,426	-0,401	-	0,379 -0,390	1,439
<b>COMB - 2</b>	-1026,470	24,873 -22,187	-8,903	±0,004	7,327 -15,330	±25,136
<b>Varição</b>	970,210	47,060	8,502	0,008	22,657	50,270

Tabela 4 - Solicitações extremas atuantes no montante sobre o apoio (Mc 1) após o reforço estrutural (Cardoso, 2007).


	Solicitações Extremas P/ Barra Mc-1 (4 L 80x80x9,7)					
	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Tx(kN.m)	My(kN.m)	Mz(kN.m)
<b>COMB - 1</b>	-122,423	-2,506	0,231	-0,001	±0,230	±2,665
<b>COMB - 2</b>	-1130,461	±22,953	1,540	0,006 -0,005	1,701 -1,379	23,413 -22,494
<b>Varição</b>	1008,038	45,906	1,309	0,007	3,08	45,907

Tabela 5 - Solicitações extremas atuantes no trecho central do banzo inferior (antes do reforço estrutural) (Cardoso, 2007).

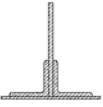
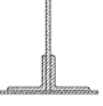
	Solicitações Extremas P/ Barra Bi-6 (T 367x132,23)					
	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Tx(kN.m)	My(kN.m)	Mz(kN.m)
<b>COMB - 1</b>	115,942	-0,096	1,468 -0,798	-0,001	1,867	-0,416
<b>COMB - 2</b>	2352,882	2,208 -2,318	7,596 -9,525	0,112	48,488	2,474 -1,389
<b>Varição</b>	2239,94	4,526	17,121	0,113	46,621	1,085

Tabela 6 - Solicitações extremas atuantes no trecho central do banzo inferior (após o reforço estrutural) (Cardoso, 2007).

	Solicitações Extremas P/ Barra Bi-6 (T 367x132,23)					
	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Tx(kN.m)	My(kN.m)	Mz(kN.m)
<b>COMB - 1</b>	35,181	-0,025	3,343	0,003	-1,387	-0,450
<b>COMB - 2</b>	-116,092	0,207	25,533 -4,626	-0,02	29,703 -12,997	±0,179
<b>Varição</b>	80,911	0,232	30,159	0,023	42,700	0,629

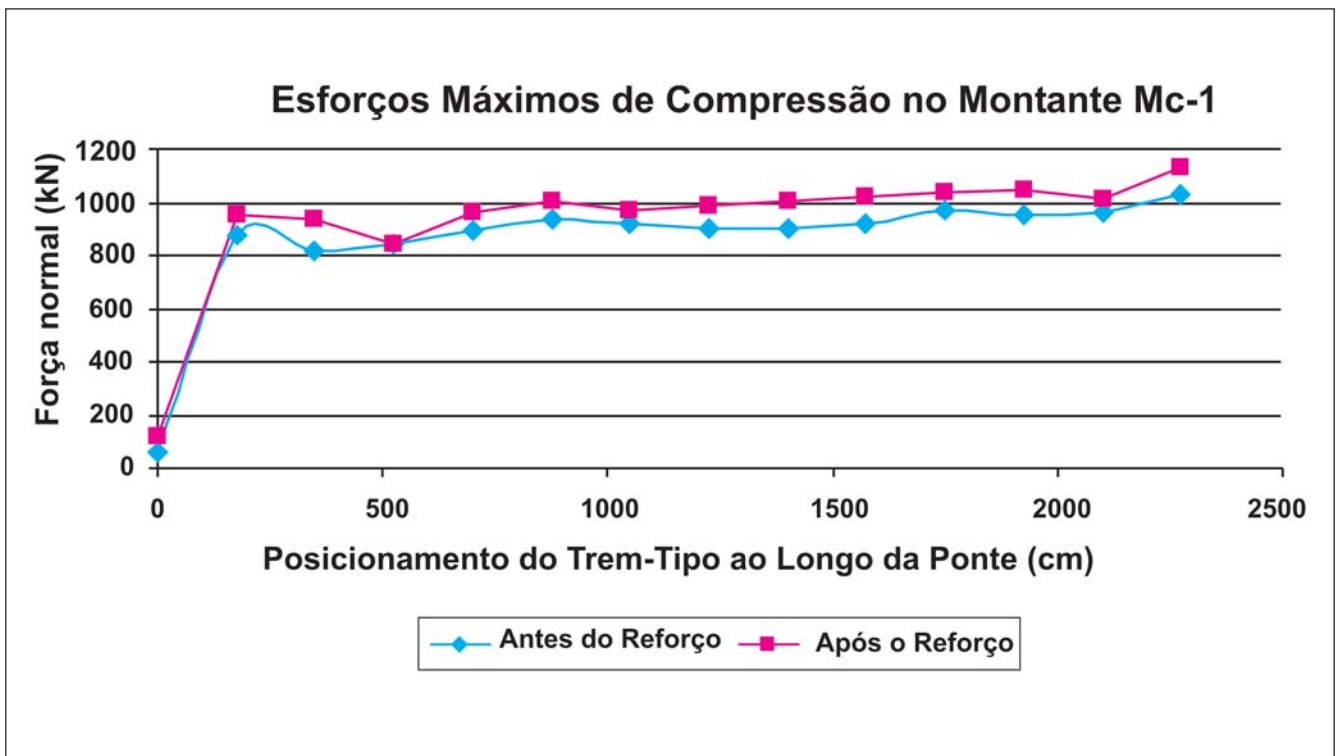


Figura 10 - Comparação entre os esforços máximos de compressão para o montante sobre o apoio (Ponte da Barra - Ouro Preto/MG), para os casos antes e após o reforço estrutural, em função do carregamento móvel (Cardoso, 2007).

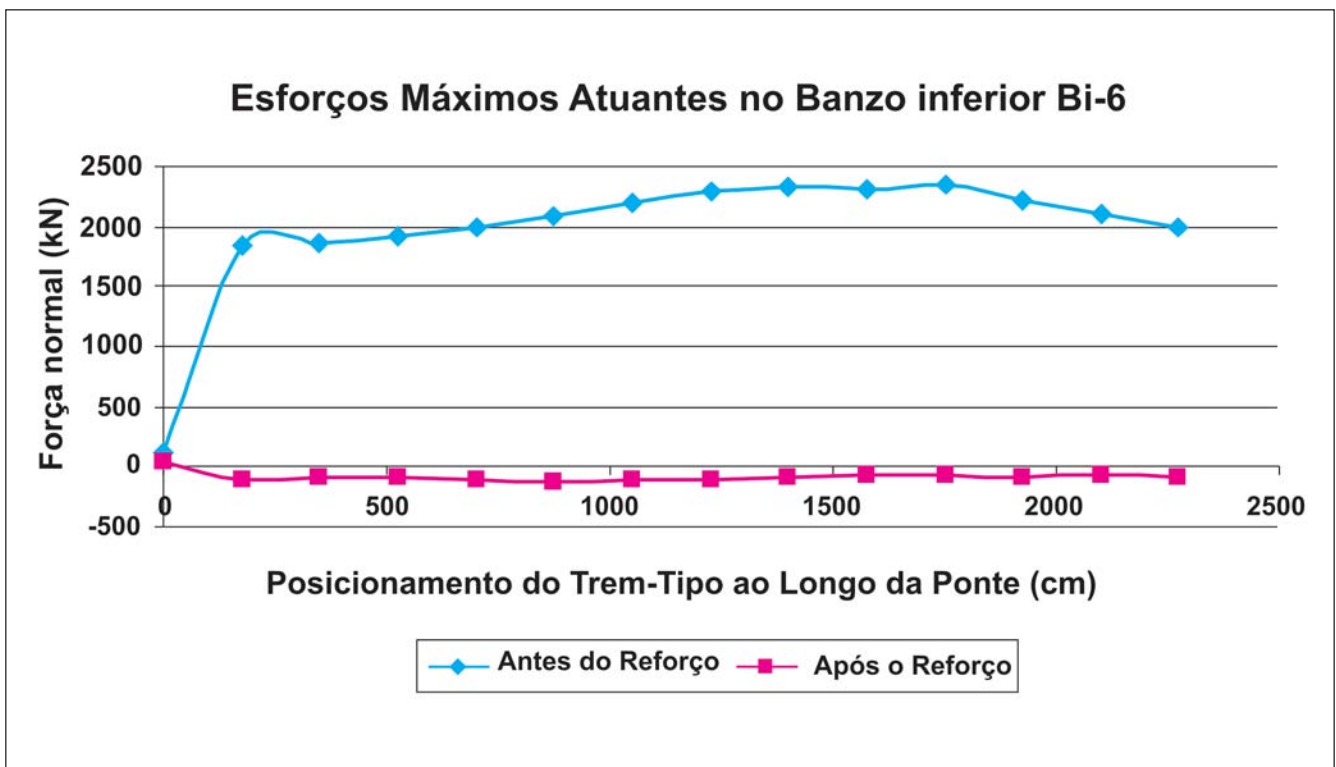


Figura 11 - Comparação entre os esforços máximos atuantes no banzo inferior da "Ponte da Barra" - Ouro Preto/MG, para os casos antes e após o reforço estrutural, em função do carregamento móvel (Cardoso, 2007).

## 5. Conclusões

O aço empregado na confecção da "Ponte da Barra" foi caracterizado como sendo de baixíssimo teor de carbono, com estrutura heterogênea, destacando-se grande quantidade de inclusões (retenção de escória). Portanto trata-se de uma liga denominada "Ferro Puddled", muito utilizada nas pontes antigas (centenárias). Quanto à resistência mecânica do aço, foram obtidos valores próximos aos encontrados para o aço do tipo ASTM A-36.

Os fatores patológicos detectados foram diagnosticados como graves, o que constitui risco à segurança, principalmente os problemas relacionados à estabilidade, como a flambagem de montantes e rompimento de diagonais.

Para melhorar a resistência global da ponte, o reforço estrutural tornou-se falho, principalmente por introduzir acréscimo de solicitações nos elementos mais críticos (montantes e diagonais próximos aos apoios). O reforço somente atenderia ao propósito em função do qual foi projetado, se ele abrangesse todo o comprimento da ponte, ou se aumentasse a resistência dos elementos fora do raio de ação da curva tensionada.

O *software* utilizado foi adequado e possibilitou a modelagem da estrutura de forma simples e eficiente. Os resultados obtidos indicaram elevada amplitu-

de de solicitações. Esse fato indica o fenômeno de fadiga como sendo o estado-limite de resistência prioritário nas análises numéricas e experimentais.

A barra vertical comprometida mostrada na Figura 9 representou a princípio um problema patológico estrutural devido ao apoio inadequado de uma das barras que suportava a passarela de pedestre. Havia a suspeita de flambagem por torção pura, já que se tratava de seção transversal com coincidências entre o Centro de Gravidade com o Centro de Cisalhamento. Verificou-se, conforme a NBR 8800/86, esse estado-limite e comprovou-se, analiticamente, que a flambagem torsional não ocorre para as solicitações atuantes na barra vertical.

## 6. Referências bibliográficas

- CARDOSO, M. G. *Avaliação da integridade estrutural de pontes metálicas da ferrovia turística entre Ouro Preto e Mariana (MG) por meio de modelagem numérica e técnicas laboratoriais*. Ouro Preto: Construções Metálicas, DECIV/UFOP, 2007. 195p. (Dissertação de Mestrado).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido: NBR 7187*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 75p.
- \_\_\_\_\_. *Design and Execution of Steel Structures in the Building NBR 8800* (Load and resistance Factor Design)(in Portuguese) Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 200p.
- \_\_\_\_\_. *Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre: NBR 7188*. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 4p.
- \_\_\_\_\_. *Carga móvel para projeto estrutural de obras ferroviárias: NBR 7189*. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 2p.
- \_\_\_\_\_. *Vistorias de pontes e viadutos de concreto: NBR 9452*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 13p.
- BRINCK, F. M. *Efeito da corrosão na integridade estrutural da ponte metálica Marechal Hermes*. Ouro Preto: Construções Metálicas, DECIV/UFOP, 2004. 177p. (Dissertação de Mestrado).
- GENTIL, V. *Corrosão*. Rio de Janeiro: 2003. 341p.
- FIGUEIREDO, M. *Avaliação da integridade estrutural da Ponte do Pinhão, DEMEGI/FEUP*, 2004.
- GONÇALVES, R. M. *Alguns aspectos relativos à inspeção e recuperação de pontes de aço - ênfase em pontes ferroviárias*. São Carlos: Departamento de estruturas, Universidade de São Paulo, 1992. (Tese de doutorado).

Artigo recebido em 31/05/2007 e aprovado em 11/03/2008.

**REM - Revista Escola de Minas**  
**72 anos**  
**divulgando CIÊNCIA.**

\*\*\*\*\*

**www.rem.com.br**

\*\*\*\*\*