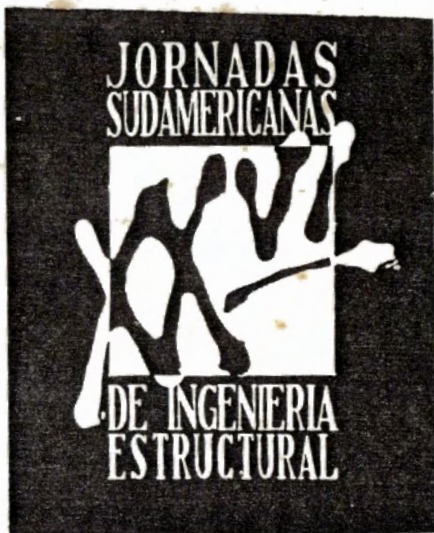




* **ASAMBLEA ANUAL DEL COMITE
LATINOAMERICANO DE ESTRUCTURAS
(CLAES)**

* **ASAMBLEA DE LA ASOCIACION
SUDAMERICANA DE INGENIEROS
ESTRUCTURALES
(ASAIE)**

**15 al 19 de Noviembre de 1993
Montevideo - Uruguay**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

M E M O R I A S

3
VOLUMEN



15 al 19 de Noviembre de 1993
Montevideo - Uruguay

PROVA DE CARGA E ASPECTOS GERAIS DA RECUPERAÇÃO DE UMA PONTE FERROVIÁRIA DA REDE FERROVIÁRIA FEDERAL - BRASIL

Roberto M. Gonçalves

Toshiaki Takeya

Walter A. Nimir

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

Apresentam-se, neste trabalho, as características, aspectos gerais da recuperação e os resultados de uma prova de carga numa ponte ferroviária no km 62+200 da linha ferroviária que interliga Curitiba ao Porto de Paranaguá, pertencente a RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A. - Brasil.

1- Descrição da Ponte

A ponte da RFFSA está situada no km 62+200 da Linha Curitiba-Paranaguá. É constituída de duas vigas principais em alma cheia rebitada, com variação na seção transversal.

As transversinas são engastadas nas vigas principais, constituindo um tabuleiro intermediário. Há variação da altura da transversina na ligação com as vigas principais caracterizando assim um engaste.

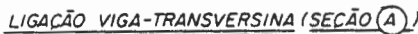
As longarinas são em perfil laminado, simplesmente apoiadas, com a ligação com as transversinas sendo feita através de rebites com cantoneira de alma.

A Figura 1 apresenta o esquema geral desta ponte e os principais detalhes construtivos.

0860974

349

SYSNO	0860974
PROD	003362
ACERVO EESC	



Esta ponte foi reforçada pelo Eng. Machado da Costa, na década de trinta, devido ao aumento do trem tipo (de $\approx 8t$ para $16t/\text{eixo}$).

350

A prova de carga foi realizada com o objetivo de verificar as condições reais da referida ponte. A corrosão, dos cabos e de alguns elementos principais da ponte, foi o principal problema observado nas inspeções realizadas. O comprometimento da seção transversal dos tirantes atingiu, em alguns pontos, cinquenta por cento da seção transversal.

2- Instrumentação da Prova de Carga

Foram utilizados extensômetros elétricos de resistência uniaxiais, com grade de 5mm, e rosetas em 90°, com grade de 5 mm nos vários pontos instrumentados da ponte, objetivando avaliar as deformações dos elementos principais.

A figura 2 indica o posicionamento dos extensômetros elétricos de resistência nos vários pontos instrumentados. É interessante ressaltar que estes extensômetros foram colados utilizando-se um adesivo à base de cianoacrilato sobre a superfície jateada com areia e lixada.

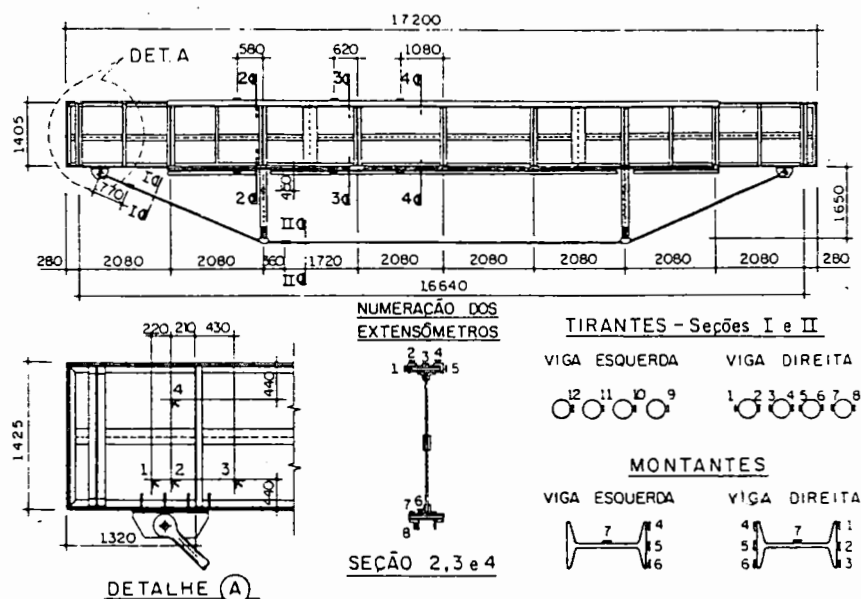


Figura 2- Posicionamento dos Extensômetros Elétricos de Resistência

As leituras foram efetuadas utilizando um indicador portátil de deformações TRANSDUTEC-T832 e caixas comutadoras. As fotos 1 e 2 ilustram

uma vista geral da ponte e o técnico trabalhando na instrumentação de uma seção com os extensômetros elétricos sendo colados.

É interessante ressaltar que na instrumentação de uma ponte rebitada é necessário adequar o posicionamento dos pontos em função da disposição dos rebites e chapas de emenda.

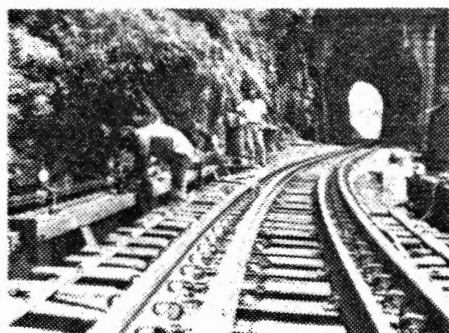


Foto 1- Vista Geral da Ponte

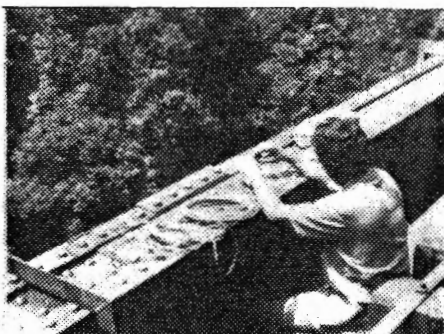


Foto 2- Seção transversal com os extensômetros elétricos de resistência já colados e protegidos.

Foram medidos deslocamentos horizontais do apoio móvel e do montante da viga armada na ligação com o tirante, utilizando relógios comparadores com 50mm de curso e sensibilidade de 0,01mm. Os resultados indicaram que não houve deslocamento para os vários carregamentos.

Ressalta-se que, devido às condições de acesso a ponte, não foi possível medir os deslocamentos verticais. A transferência destes deslocamentos para o solo era inviável (a altura da ponte em relação ao solo é de aproximadamente 40m em região montanhosa e de difícil acesso) e o dispositivo baseado em cabos projetado para tal finalidade apresentou resultados não confiáveis.

3- Carregamentos Utilizados na Prova de Carga.

Uma locomotiva diesel G22-U (quatro eixos - 182,5 kN/eixo de peso nominal) foi utilizada para efetuar o carregamento da ponte. (Figura 3).

Normalmente, para provas de carga de pontes que estão em operação, é comum a utilização de locomotivas para efetuar o carregamento. Trata-se de uma prova de carga cujo principal objetivo é avaliar o comportamento da estrutura em regime de serviço.

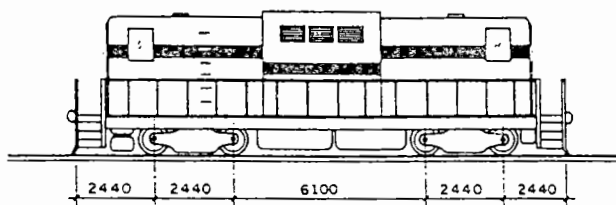


Figura 3- Esquema da locomotiva G22-U

O posicionamento da locomotiva, nos três carregamentos realizados esta indicado na Figura 4.

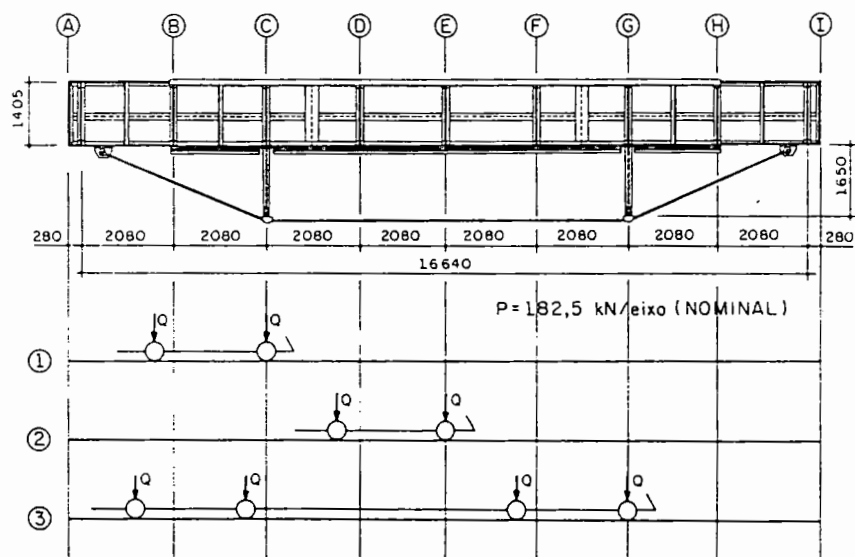


Figura 4- Posicionamento da Locomotiva

As fotos 3 e 4 apresentam uma vista geral da ponte e o posicionamento da locomotiva durante a prova de carga.

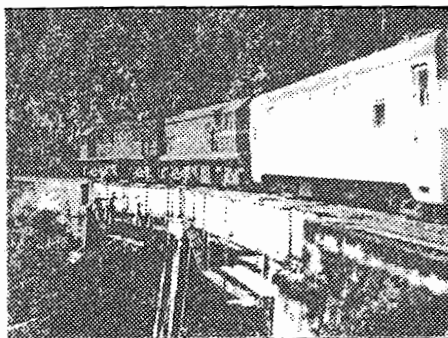


Foto 3-Vista Geral da Ponte
Trem de passageiros.

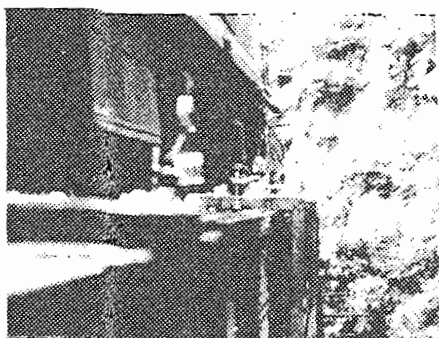


Foto 4-Locomotiva posicionada na ponte durante a prova de carga.

4- Modelo Teórico e Resultados da Prova de Carga

O modelo teórico a adotar para o cálculo de pontes, em particular as que apresentam algum tipo de deterioração, é o ponto mais importante a ser definido pelo engenheiro calculista. O modelo adotado deve reproduzir as condições reais da ponte e também o caminhamento das cargas.

Para esta ponte adotou-se, para efeito de comparação com os resultados da prova de carga, um modelo com as seguintes características: viga principal simplesmente apoiada, carregamento transmitido pela transversina e a excentricidade da vinculação do tirante em relação à viga, supondo comportamento elástico.

É interessante ressaltar que no cálculo teórico a transferência do momento fletor devido a excentricidade do consolo, em relação ao eixo da viga foi gerado por um elemento rígido (rigidez próxima da viga principal).

A Tabela 1 apresenta os resultados das deformações dos tirantes.

TABELA 1 - DEFORMAÇÕES NOS TIRANTES ($\epsilon \times 10^6$)

RESULTADOS DOS ENSAIOS										
DEFORMAÇÕES NOS TIRANTES ($\epsilon \times 10^6$)										
VIGA DIREITA										
CAR	DEFOR. CALC.	TIRANTES POSIÇÃO I				DEFOR. CALC.	TIRANTES POSIÇÃO II			
		No.1	No.2	No.3	No.4		No.1	No.2	No.3	No.4
1	51	31	43	47	47	46	48	43	53	28
2	81	61	79	80	78	75	69	66	75	38
3	125	87	108	107	104	115	102	102	95	57

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos das deformações para a viga principal.

TABELA 2 - DEFORMAÇÕES VIGA PRINCIPAL

DEFORMAÇÕES VIGA PRINCIPAL - PONTO 2 ($\epsilon \times 10^6$)								
CAR	DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 1		DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 2		DEFOR. CALC.	CHAPA SUP. 3
		2	4		1	5		
1	-44	-43	-56	-41	-43	-53	-43	-53
2	-34	-49	-42	-32	-48	-46	-33	-43
3	-43	-42	-58	-40	-42	-56	-42	-54
	DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 1		DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 2		DEFOR. CALC.	CHAPA SUP. 6
		7			8			
1	51	31		57	39		51	-
2	38	6		30	16		37	-
3	50	22		55	42		49	-
DEFORMAÇÕES VIGA PRINCIPAL - PONTO 3 ($\epsilon \times 10^6$)								
CAR	DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 1		DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 2		DEFOR. CALC.	CHAPA SUP. 3
		2	4		1	5		
1	-38	-42	-39	-35	-52	-40	-37	-43
2	-58	-53	-76	-54	-52	-93	-57	-75
3	-55	-62	-46	-51	-58	-55	-54	-67
	DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 1		DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 2		DEFOR. CALC.	CHAPA SUP. 6
		7			8			
1	44	25		48	39		43	28
2	68	27		75	45		67	39
3	64	30		71	42		63	35
DEFORMAÇÕES VIGA PRINCIPAL - PONTO 4 ($\epsilon \times 10^6$)								
CAR	DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 1		DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 2		DEFOR. CALC.	CHAPA SUP. 3
		2	4		1	5		
1	-27	-47	-31	-25	-50	-39	-27	-41
2	-63	-91	-112	-58	-66	-118	-61	-77
3	-64	-91	-88	-59	-75	-62	-62	-75
	DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 1		DEFOR. CALC.	CANT. SUP. - POS. 2		DEFOR. CALC.	CHAPA SUP. 6
		7			8			
1	32	37		35	29		27	36
2	73	66		80	61		63	59
3	74	58		81	52		64	61

Os resultados obtidos na prova de carga indicaram que nenhuma anormalidade ocorreu e que os problemas quanto à corrosão e aos apoios, não alteraram os valores das deformações para o carregamento de serviço em relação aos obtidos teoricamente.

Os resultados apresentados das deformações estão indicados para os três carregamentos utilizados, o que permite avaliá-los para várias posições da locomotiva e verificar a consistência dos mesmos.

A impossibilidade de efetuar mendições confiáveis dos deslocamentos impediu uma avaliação global da ponte, porém os resultados das deformações permitem avaliar de maneira bastante satisfatória os pontos instrumentados.

5- CONCLUSÕES

As provas de carga constituem um importante método de avaliação estrutural de pontes, permitindo aos calculistas obter desde informações gerais sobre o "caminhamento das cargas" até informações localizadas sobre o comportamento de um nó ou de um elemento isolado.

O êxito de uma prova de carga está diretamente relacionado com a escolha dos equipamentos de medição compatíveis com as esperadas, ou seja com a sensibilidade adequada, na capacidade técnica e treinamento da equipe responsável pela sua realização.

As principais conclusões estão abaixo relatadas:

-Recomenda-se a utilização de relógios comparadores para as medições de deslocamentos, cujos resultados permitem obter informações sobre o comportamento de toda a estrutura. Extensômetros elétricos de resistência para as medições de deformações nos elementos estruturais, com estes resultados é possível estimar as tensões atuantes pontualmente.

-O número de extensômetros elétricos a serem utilizados numa seção transversal de um elemento está diretamente relacionado com o tipo de solicitação a que este está submetido e também com suas dimensões.

-Medidas em elementos tracionados podem, em geral, ser efetuadas com três extensômetros sendo possível estabelecer o valor médio como representativo das deformações na seção instrumentada; em elementos comprimidos, o número de pontos instrumentados será função direta das dimensões da seção transversal, não sendo recomendado um número inferior a três e a média das leituras também pode ser considerada representativa das deformações no ponto analisado.

-Para as vigas fletidas recomenda-se utilizar três extensômetros elétricos em cada uma das mesas, possibilitando assim avaliar as tensões provenientes dos momentos fletores e rosetas para avaliar as tensões de cisalhamento. Salienta-se que estes números de pontos são para as vigas normalmente encontradas em pontes. Para os casos de seções com grandes dimensões, estas recomendações devem ser devidamente avaliadas.

-Uma prova de carga exige um bom planejamento e uma interação entre a

equipe responsável pelo ensaio, os engenheiros calculistas e os responsáveis pela operação da ponte. Esta consideração é relevante pois não são desprezíveis os custos envolvidos na realização de uma prova de carga, que se executada sem esta interação e planejamento estará fadada ao insucesso.

—O trem tipo de ensaio para pontes em operação, deve ser tal que em nenhum dos elementos estruturais sejam atingidos os estados limites.

—A prova de carga é um importante método de avaliação estrutural e os resultados obtidos não se restringem somente na análise da ponte ensaiada, mas é também uma importante fonte de conhecimentos para o desenvolvimento do cálculo estrutural e para a normalização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a regional Curitiba da Rede Ferroviária Federal através de seu corpo técnico e ao Eng Raul O. de Almeida da Construtora Rocca, responsável pela recuperação desta ponte.

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO. Standard specifications for highway bridges: with 1977-1981 Interim specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION. Steel structures—Chapter 15. In:_____. Manual for railway engineering. AREA, 1986.
- BEAUCHAMP, J.C. ; CHAN, M.Y.T. ; PION, R.H. Repair and evaluation of a damaged truss bridge - Lewes, Yukon River. Journal of Civil Engineering, v 11, n. 3, p. 494-504, Sept. 1984.
- BURDETTE, E.G. ; GOODPASTURE, D.W. ; Comparison of measured and computed ultimate strengths of four highway bridges. Highway Research Record, n. 382, p.38/49, 1972.
- BURDETTE, E.G. & GOODPASTURE, D.W. Correlation of bridge load capacity estimates with test data. National Cooperative Highway Research Program, Report 306, TRB, Washington, June 1988. June 1988. 75p.
- BURDETTE, E.G., GOODPASTURE, D.W., DOYLE, S.K. Comparison of measured and computed load-deflection behavior of two highway bridges. Transportation Research Record, n.507, p.17-25, 1974.
- GONÇALVES, R.M. Alguns aspectos relativos à inspeção e recuperação de pontes de aço — Ênfase em pontes ferroviárias — São Carlos, 1992, Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 309p.
- HEINS JR., C.P. & GALAMBOS, C.F. Highway bridge field tests in the United States, 1948-70. Publi Roads, v.36, n.12, p.271-291, Feb. 1972.
- KING, J.P.C. ; CSAGOLY, P.F. ; FISHER, J.W. Field testing of Aguasabon river bridge in Otario. Transportation Research Record, n.579, p.48-60, 1976. (Earthquake-induced dynamic response of bridges and bridge measurements)
- NOWAK, A.S. & THARMABALA, T. Bridge reliability evaluation using load tests. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.114, n.10, p.2268-2279, Oct. 1988.
- SANDERS JR., W.W. et alii. Ultimate load test of truss bridge floor system. Journal of the Structural Division, ASCE, v.102, n.7, p.1383-1398, July, 1976.