

# EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS ENSAIOS DE PROVA DE CARGA

## HISTORICAL EVOLUTION OF LOAD TEST TEST

**LACERDA, Evando de**

Mestrando em Engenharia Civil da UFMG.

e-mail: Evandro.lacerda@bol.com.br

**MARTINI, Renata**

Mestrando em Engenharia Civil da UFMG.

e-mail: Evandro.lacerda@bol.com.br

**CHAHUD, Eduardo**

Professor Adjunto IV da Universidade FUMEC e

Professor Associado IV da UFMG.

e-mail: chahud@fumec.br

**BRANCO, Luiz Antônio M. N.**

Professor Adjunto da Universidade FUMEC e

Professor Adjunto da UFMG.

e-mail: luizmelg@fumec.br

## RESUMO

Este artigo apresenta as definições básicas de termos técnicos a respeito dos ensaios de prova de carga. Em seguida, descreve o histórico destes ensaios desde a época dos egípcios até os dias atuais. Nos tópicos seguintes são relatados alguns registros das aplicações dos ensaios no mundo e no Brasil, seus contextos históricos que impulsionaram o desenvolvimento da técnica. Por fim, descreve as principais regulamentações e normatizações nacionais e internacionais vigentes que regem as técnicas dos ensaios de prova de carga.

**Palavras-chave:** prova de carga, estruturas, história dos ensaios.

## ABSTRACT

This article presents the basic definitions of technical terms about the trials of load test. Then, describes the history of these tests since the time of the Egyptians to the present day. In the following topics are reported some records of tests applications worldwide and in Brazil, their historical contexts that drove the development of the technique. Finally, it describes the main national and international regulations and norms that governing the existing techniques for load test.

**Keywords:** load test, structures, trials history.

## DEFINIÇÕES BÁSICAS

Prova de Carga é um conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura através da medição e controle de efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas (definição de acordo com a NBR9607 - Concreto endurecido - prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido - 1986).

O ensaio de prova de carga pode ser classificado quanto à natureza do carregamento, podendo ser estática ou dinâmica.

A Prova de Carga Estática consiste na observação do comportamento da estrutura sob o efeito de solicitação de carga estática.

A Prova de Carga Dinâmica consiste na observação do comportamento da estrutura quando solicitada por vibração.

Estes ensaios podem ainda ser classificados quanto ao limite de solicitação do carregamento:

Ensaio Destrutivo é quando o carregamento é aplicado até o estado limite último da estrutura ou elemento estrutural. É empregado quando o objetivo é avaliar o comportamento da estrutura até a ruína.

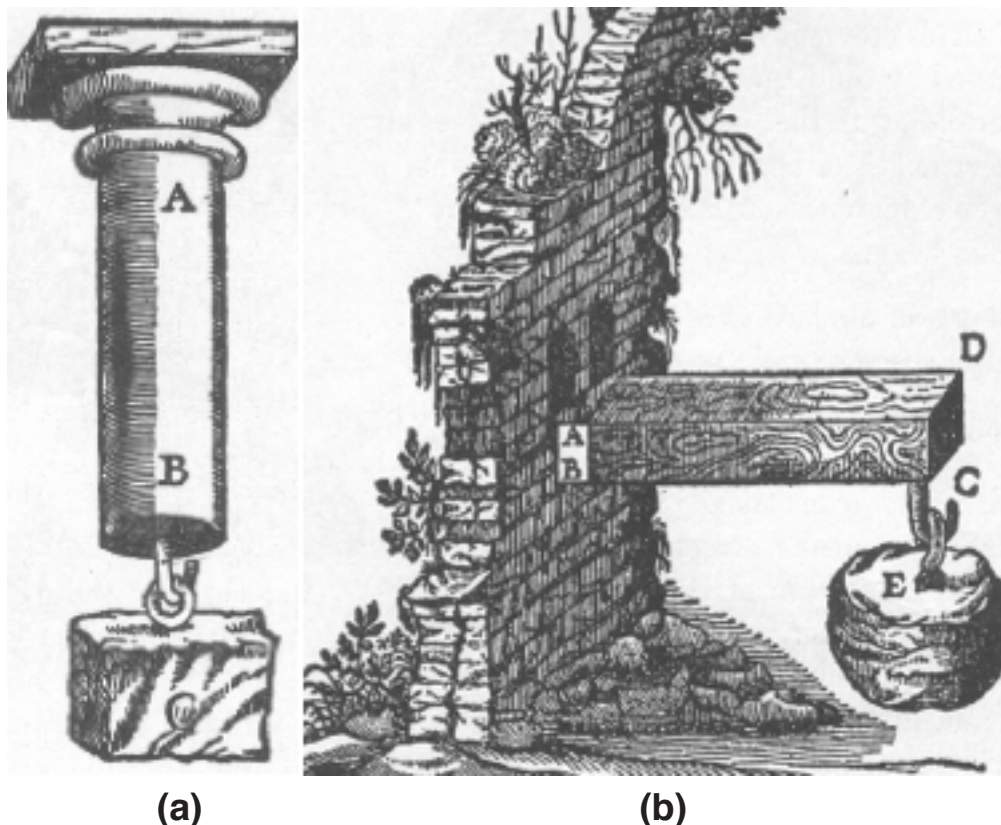
Ensaio não destrutivo é quando o carregamento é aplicado até o estado limite de serviço da estrutura, ou elemento estrutural. É empregado quando o objetivo é avaliar o comportamento sem atingir à ruptura.

## HISTÓRICO

Segundo (OLIVEIRA 2006), há milhares de anos os egípcios construíram suas grandes obras, entretanto, não se sabe se houve um estudo prévio dos critérios de avaliação dos materiais e das estruturas usados por eles.

Segundo (TIMOSHENKO 1953), Leonardo da Vinci foi o primeiro a documentar testes de carregamento com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural dos materiais, no século XV. Em uma de suas notas, intitulada “Testando a resistência de barras de ferro de vários comprimentos”, descreve o teste de carregamento proposta que faz a seguinte observação: “O objetivo deste teste é encontrar a carga que uma barra de ferro pode suportar”.

De acordo com (TIMOSHENKO 1953), Galileu Galilei, também realizou testes de carregamentos submetendo determinadas estruturas a certos tipos de cargas com o objetivo de estudar as tensões atuantes. Ao observar estruturas e considerar a resistência dos materiais de que são feitas, ele chegou à conclusão, de maneira empírica, que a resistência de uma barra é proporcional à sua área de seção transversal e também é independente do comprimento. A figura 1 descreve um dos testes de tensões executados por Galileu para a análise de tensões em peças solicitadas axialmente e em peças fletidas:



**Figura 1**

(a) Ilustração do teste de tensões executado por Galileu em barras com solicitação axial;  
(b) Ilustração do teste de tensões em barras fletidas. Fonte: Timoshenko (1953).

Segundo (OLIVEIRA 2006), naqueles tempos, os testes de carregamentos em elementos estruturais isolados tiveram uma grande importância, uma vez que o desenvolvimento dos modelos matemáticos sobre comportamento e resistência dos materiais eram na sua grande maioria fundamentos nos trabalhos empíricos, muito usados por Galileu Galilei que era considerado o introdutor do método empírico nas ciências.

Ainda segundo (OLIVEIRA 2006) posteriormente, já no século XIX, com o advento da revolução industrial, a parametrização de processos tornou-se uma prática necessária, como forma de garantia de qualidade, dentre outros requisitos.

Alguns materiais passaram a ter procedimentos-padrão para avaliação das suas propriedades mecânicas de interesse na sua aplicação.

Segundo (OLIVEIRA 2006), em meados do século XX, os procedimentos de dimensionamento passaram a ser padronizados e regulamentados, que resultaram nos códigos de normalização ASTM (American Society for Testing and Materials).

O histórico da evolução dos testes de carregamento está descrito na tabela 1, associado à aplicação da prática da engenharia e à metodologia dos testes versus os desenvolvimentos analíticos utilizados naquele período.

**Tabela 1:** Histórico de testes de carregamento x Prática de Engenharia x Testes de Carregamento versus cálculos. Fonte: (HALL e TSAI 1989).

| <b>PERÍODO</b>             | <b>PRÁTICA DE ENGENHARIA</b>  | <b>TESTE DE CARREGAMENTO VERSUS CÁLCULOS</b>  |
|----------------------------|---|---|
| <b>ANTIGUIDADE</b>         | A arte do conhecimento é passada de construtor para construtor.   | Intuição, tentativas, erros e acertos. Poucos testes de carregamento ou dimensionamentos.                   |
| <b>RENASCIMENTO</b>        | Início das tentativas de testes e procedimentos padronizados (tração, compressão e flexão).   | Testes usados para calibrar modelos teóricos de resistência.  |
| <b>SÉCULO XIX</b>          | Manuais forneciam poucas informações sobre a resistência dos materiais (grandes coeficientes de incerteza).   | Aumento do uso de procedimentos-padrão em testes de carregamento. Dimensionamento ainda pouco desenvolvido. |
| <b>INÍCIO DO SÉCULO XX</b> | Criação dos primeiros equipamentos de teste para caracterização de materiais, irmãos Wright, indústria automobilística, códigos de normalização ASTM. | Alto nível de testes de carregamento realizados pelo grande desenvolvimento de técnicas analíticas.         |
| <b>TEMPOS ATUAIS</b>       | Ciência baseada em normas de procedimentos, materiais e dimensionamentos.   | Estruturas tipicamente projetadas por cálculos e testes especializados.                                     |

## **ENSAIOS DE PROVAS DE CARGA NO MUNDO**

Segundo (ROCHA 1942), com o rápido desenvolvimento industrial e com a necessidade crescente de se movimentarem grandes massas de mercadoria (com os consequentes aumentos de velocidade das estradas de ferro e do peso por eixo das locomotivas) surgiu o dilema entre reforçar ou substituir grandes estruturas de construção.

Segundo (OLIVEIRA 2006), foi devido à demanda do desenvolvimento tecnológico e da necessidade de adaptar as antigas construções aos novos tempos que as provas de carga ganharam um importante significado. As técnicas de engenharia foram se



desenvolvendo e os ensaios começaram a ser executados em muitas estruturas em diversas partes do mundo.

Na literatura é possível encontrar alguns ensaios de provas de carga executadas em lajes de concreto armado e em fundações nas primeiras décadas do século XX. Posteriormente, no início da metade do século XIX, encontramos registros da aplicação desses testes comumente em viadutos, pontes rodoviárias, pontes de vias férreas, etc.

Segundo (FITZSIMONS e LONGINOW 1975), os primeiros testes em grande escala nos EUA foram executados nos edifícios: Deere & Webber Building e Powers Building em Minneapolis (1910), Franks Building em Chicago (1911), e no Barr Building em St. Louis (1911); sendo o primeiro teste de longa duração feito no Schwinn Building em Chicago, no período de 1914 a 1915.

Segundo (URBANO 2013), há registro histórico na literatura de execução ensaio de prova de carga em fundações de estacas tipo Franki em Tóquio no ano de 1926, conforme mostra a figura 2.



**Figura 2**

Prova de carga em estaca tipo Franki (Tóquio 1926) FONTE: (URBANO 2013).



## ENSAIOS DE PROVAS DE CARGA NO BRASIL

Como visto neste artigo, a Revolução Industrial foi o ponto de partida que impulsionou o desenvolvimento tecnológico dos ensaios de prova de carga. Entretanto, para o Brasil, o progresso demorou um pouco mais, uma vez que, nesta mesma época, o país ainda se encontra na situação de colônia de Portugal, desta maneira, não era permitida abertura de indústrias no Brasil. Foi só após o fim da República das Oligarquias (final do século XIX e começo do século XX), que houve uma mudança no meio de produção do Brasil. O início do modo de produção em larga escala na época da Revolução Industrial começou a se desenrolar de forma significativa em nosso país, por meio dos ricos cafeicultores de São Paulo que começaram a investir no setor industrial. Foi então que, no governo de Getúlio Vargas (1930) que o Brasil começou a mudar seu modelo econômico de agrário-exportador para industrial.

Na literatura encontramos registros dos primeiros ensaios de provas de carga no Brasil por volta da década de 30. Ensaios estes executados em fundações, pontes e viadutos. Podemos destacar os ensaios de prova de carga realizados na Ponte Pênsil de São Vicente (1936), na Ponte Victor Kondere e Ponte Lindóia (década de 30) e na Ponte Ernesto Dornelles (1944), conforme descrito nas linhas a seguir.

Segundo o site do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), em 1936, a Seção de Estruturas e Fundações do IPT, sob a supervisão do engenheiro Telêmaco Van Langendonck, executou um ensaio de prova de carga estática na Ponte Pênsil mostrada na figura 3 de São Vicente (SP), inaugurada em 1914 e que foi considerada um marco na construção de pontes pênsis no Brasil. O objetivo do ensaio era avaliar a capacidade de resistência da ponte para passagem de veículos.

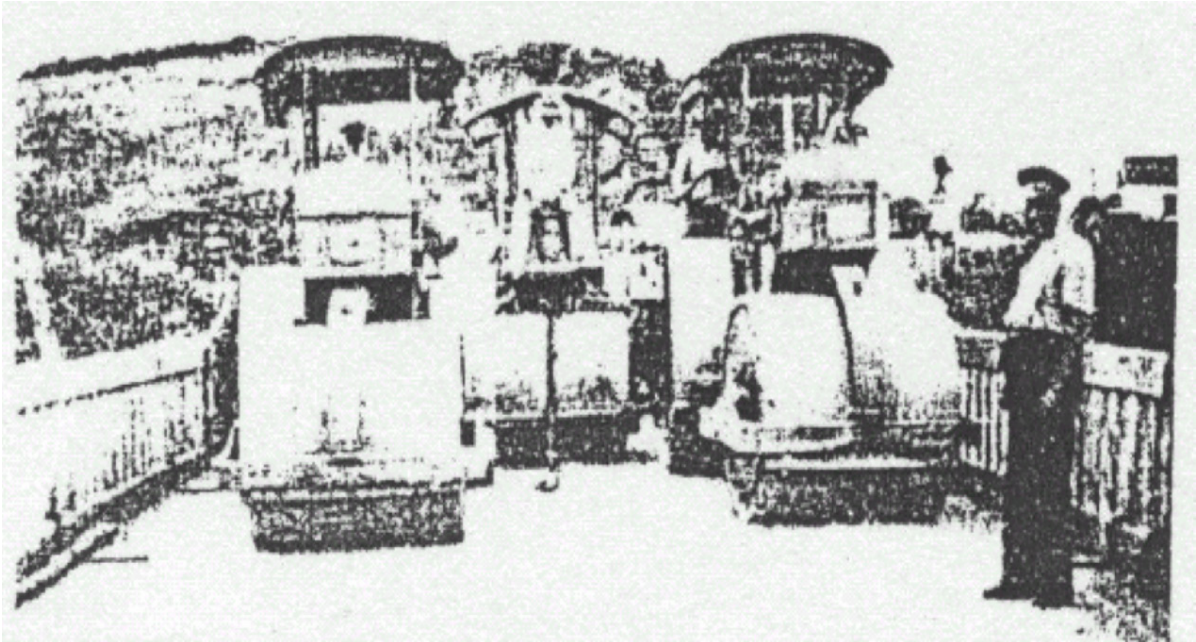


**Figura 3**

Primeira prova de carga realizada na ponte foi feita pelo IPT, sob a orientação do engenheiro Telêmaco van Langendonck – 1936. Fonte: arquivo IPT.

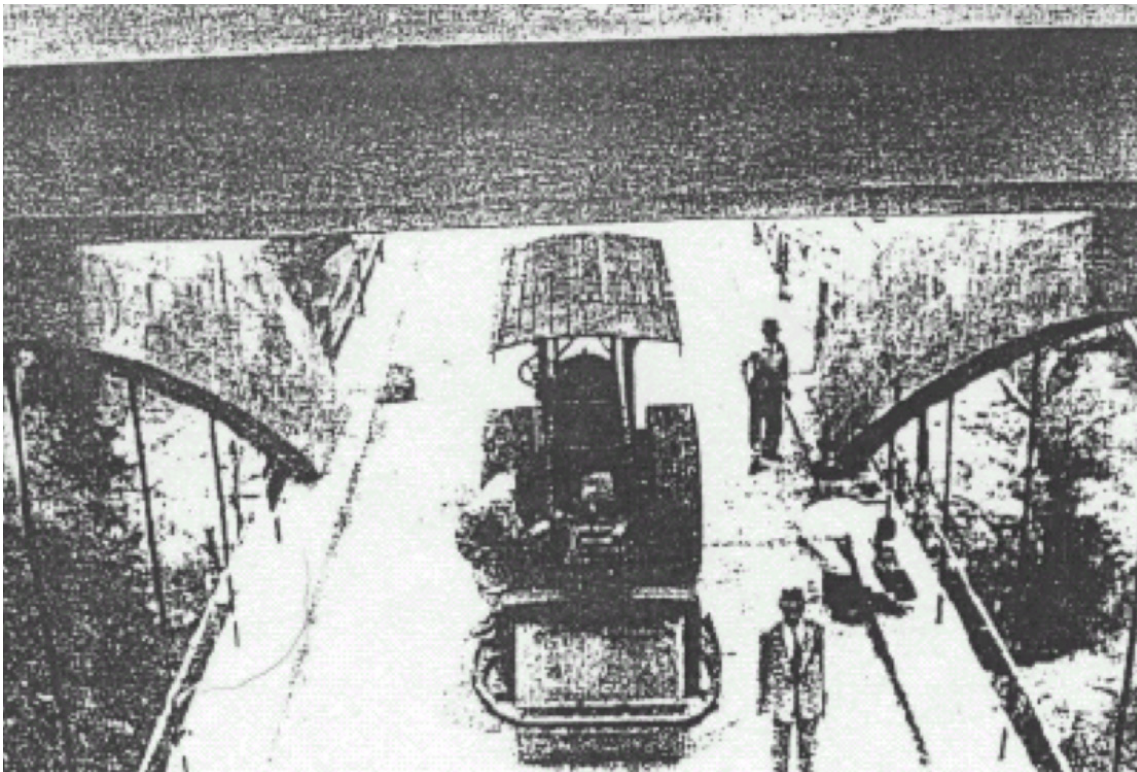


Segundo (OLIVEIRA 2006), outros dois ensaios foram executados na mesma época também sob a responsabilidade do Professor Telêmaco Hippolyto Van Langendonk. Os ensaios foram executados em duas pontes rodoviárias: um na ponte Victor Kondere e o outro na ponte Lindóia (ver as figuras 4, 5, 6 e 7). Na ponte Victor Kondere o objetivo do teste foi analisar o comportamento da ponte sob o novo trem-tipo adotado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (DNER) e a influência do tabuleiro sobre o arco. Por outro lado, o objetivo do ensaio na Ponte Lindóia foi estudar a rigidez das suas articulações.



**Figura 4**

Rolos compressores utilizados como carga de prova na ponte Victor Konder. Fonte: Palazzo (2002).



**Figura 5**

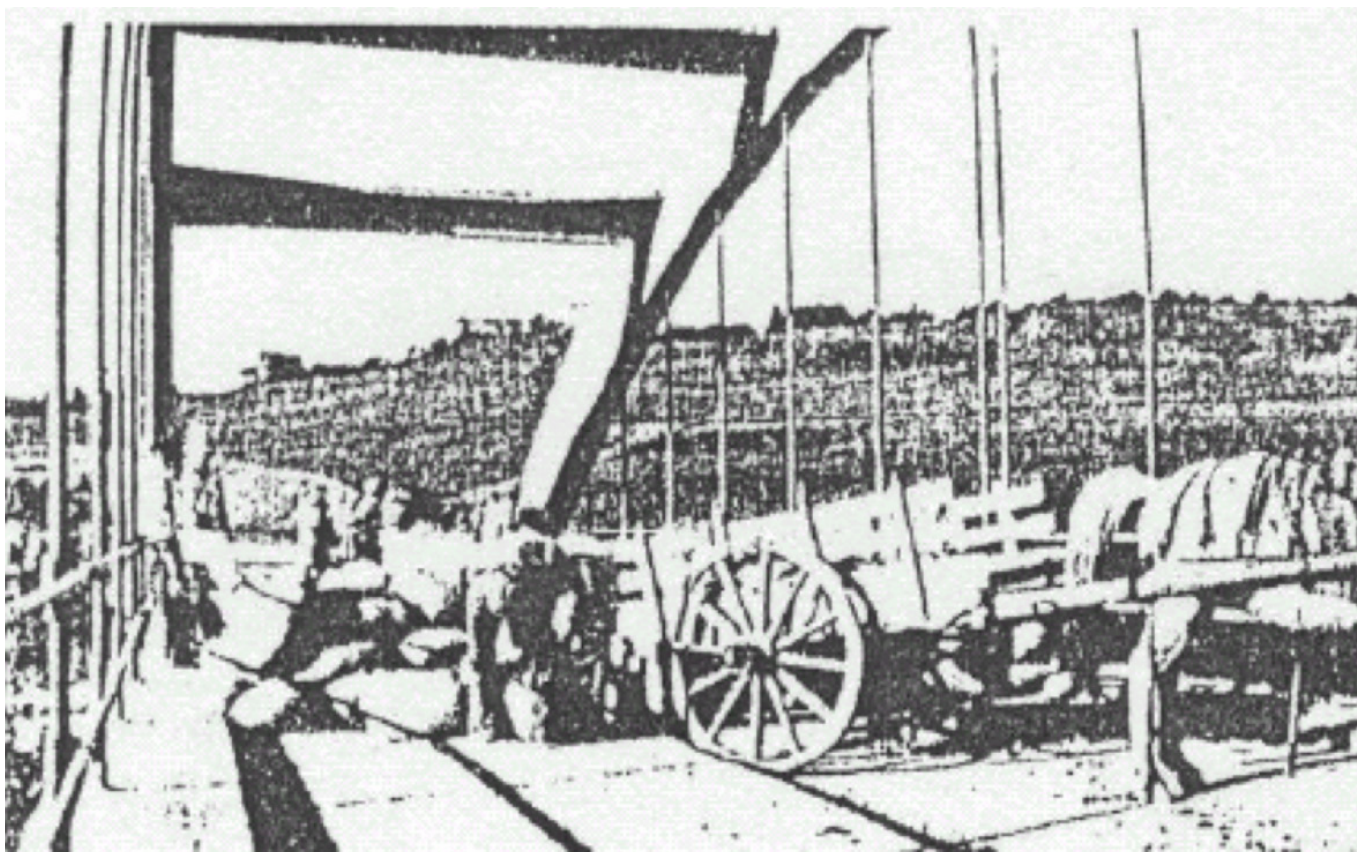
Rolos compressores utilizados como carga de prova na ponte de Lindóia. Fonte: Palazzo (2002).





**Figura 6**

Carga máxima colocada no meio do vão, utilizando sacos de areia ponte de Lindóia. Fonte: Palazzo (2002).

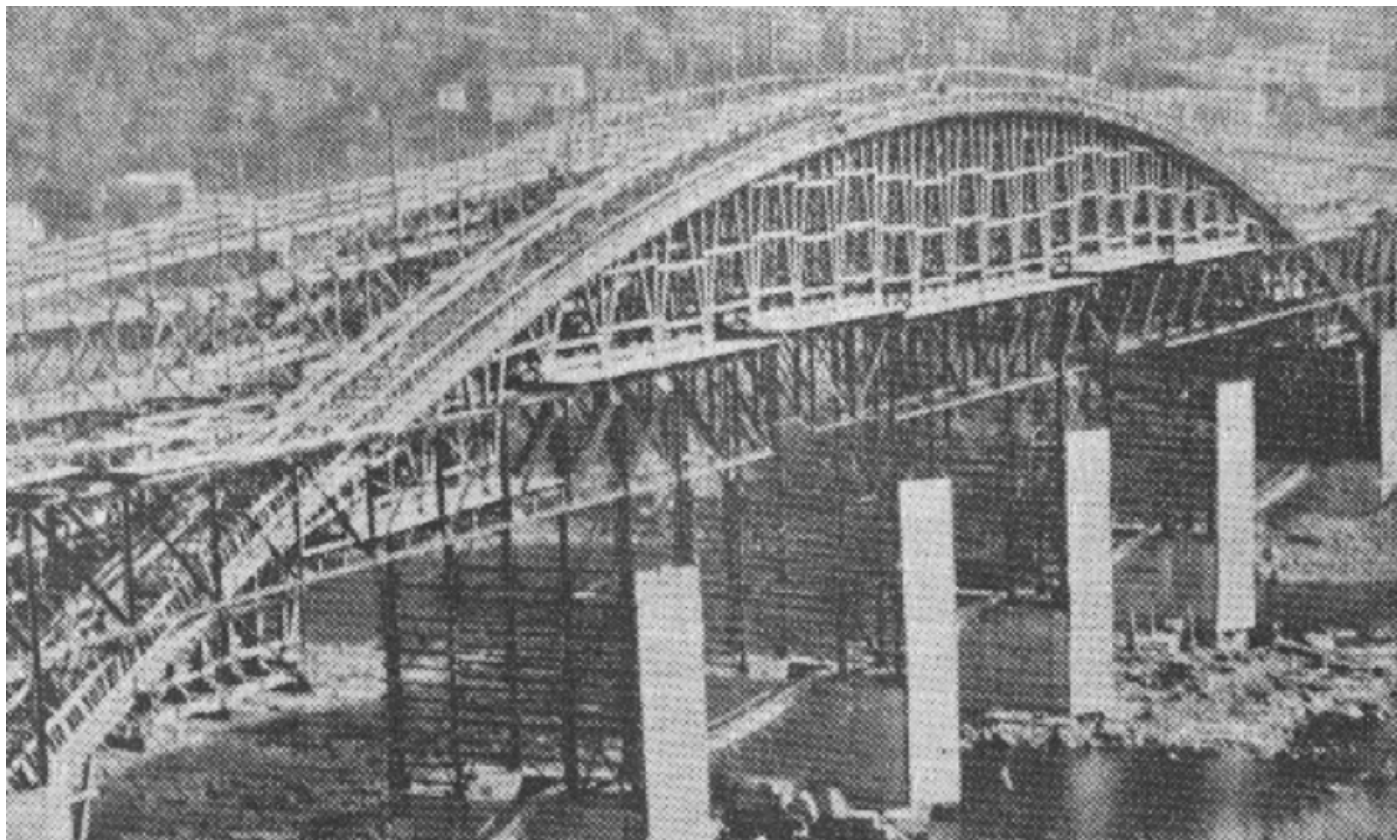


**Figura 7**

Descarregamento do meio do vão da ponte de Lindóia. Fonte: Palazzo (2002).



Segundo o site [www.cimentoeareia.com](http://www.cimentoeareia.com) em 1944, concluída a parte estrutural da ponte, houve a necessidade da realização da prova de carga, com a utilização de pedras. Esta prova foi uma exigência frente a algumas dúvidas quanto ao desempenho estrutural da ponte. Durante o ensaio um dos pilares cedeu, fazendo com que o trecho central da ponte desabasse. O desabamento fez várias vítimas. Iniciava-se então a busca por um modelo estrutural que, além de vencer o vão de 186 metros, também utilizasse os recursos locais. Na figura 8, mostra a ponte definitiva em construção: verifica-se que os pilares provisórios sob os arcos foram posteriormente removidos.



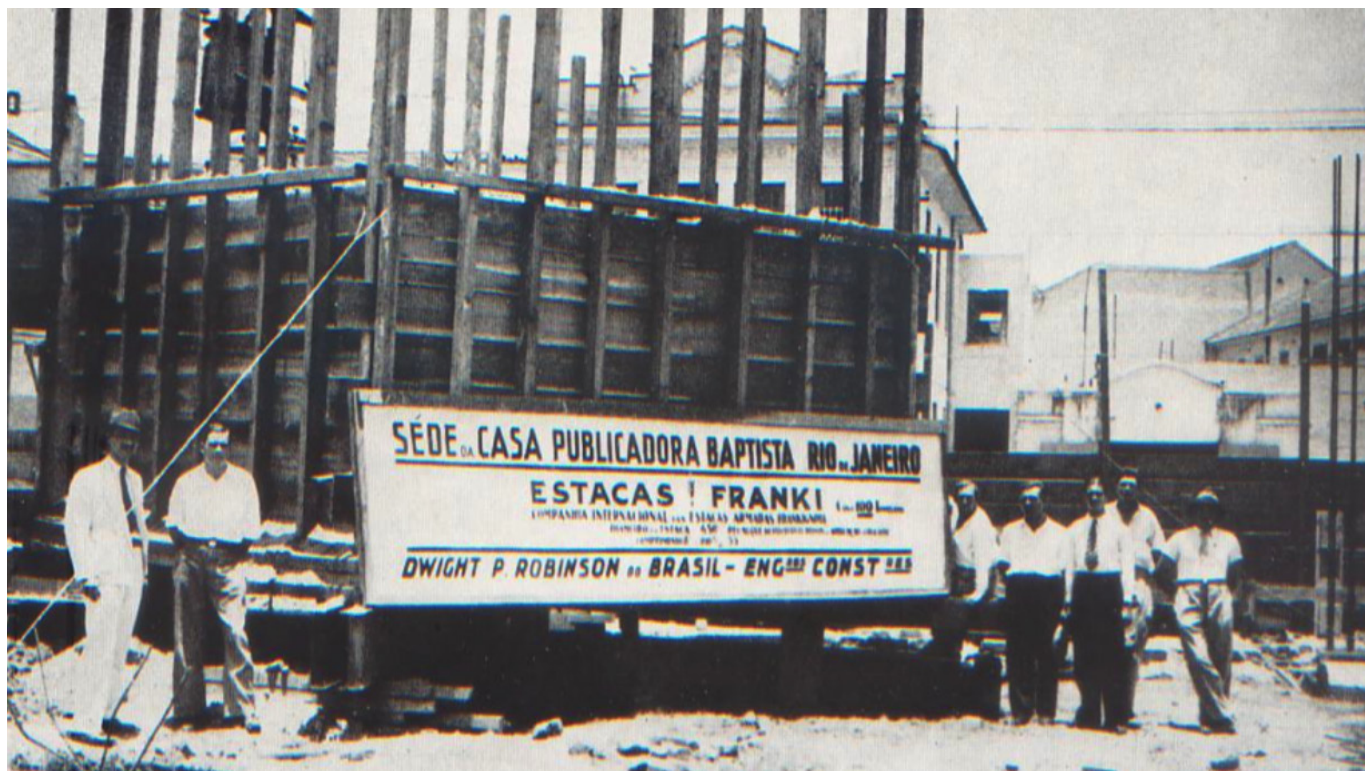
**FIGURA 8**

Ponte Ernesto Dornelles, conhecida como Ponte do Rio das Antas.

FONTE: site [www.cimentoeareia.com.br](http://www.cimentoeareia.com.br).

Dentre os registros históricos encontrados na literatura dos ensaios de prova de carga realizados em estruturas de fundações destacamos os executados em estacas tipo Franki na Sede da Casa Publicadora Baptista Rio de Janeiro (1935), no Edifício Altino Arantes, conhecido também como Edifício Banespa (Banco do Estado de São Paulo) na década de 40 e nas estacas Viaduto do Chá de São Paulo/SP (1947), conforme figuras 9, 10, 11 e 12.





### FIGURA 9

Primeira prova de carga em estacas tipo Franki executado na Sede da Casa Publicadora Baptista Rio de Janeiro (1935). FONTE: (URBANO 2013).



### FIGURA 10

Prova de carga em estaca Franki—Edifício do BANESPA em São Paulo (década de 40). FONTE: (URBANO 2013).





**FIGURA 11**

Estudo das fundações do Edifício do BANESPA em São Paulo. FONTE: arquivo IPT.



**FIGURA 12**

Prova de carga das fundações do BANESPA em São Paulo. FONTE: Arquivo IPT.



Além dos ensaios já citados, entende-se ser importante citar os ensaios nas fundações mostrado nas figuras 13 e 14, realizados durante as obras da Ponte Rio-Niterói pela sua grandiosidade na engenharia.



**FIGURA 13**

Prova de Carga à Compressão na Ponte Rio-Niterói (1971). FONTE: (URBANO 2013).



**FIGURA 14**

Início da montagem dos tubos com água para a prova de carga em tubulão na Ponte Rio-Niterói. FONTE: (ALONSO 2013).

# EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DOS ENSAIOS DE PROVA DE CARGA

Segundo (NIYAMA, AOKI, CHAMECKI, 1998) o ensaio de prova de carga, desde os primeiros registros identificados, tem sofrido evolução contínua de modo a torná-lo mais categórico, rápido e econômico, bem como de maneira a permitir que sua execução ocorra da forma mais representativa da condição prevista para a condição real de execução. Sua evolução envolve instalação, metodologia, equipamentos, operação, interpretação e registro dos resultados. Podemos afirmar que a história da evolução dos ensaios de prova de carga no Brasil é diretamente ligada às grandes contribuições do IPT, da empresa Estacas Franki e do professor Antônio José da Costa Nunes, considerado o pioneiro dessa técnica no Brasil.

Segundo (NIYAMA, AOKI, CHAMECKI, 1998) a metodologia denominada SML (Slow Maintained Load Test) é considerada o procedimento mais antigo e convencional utilizado no Brasil. Nestes ensaios as cargas são aplicadas em geral, por meio de macaco hidráulico calibrado. Em caso de carga máxima muito elevada, utiliza-se um conjunto de macacos hidráulicos, com sistema elétrico ou manual de acionamento simultâneo para todo o conjunto. No caso de ensaio direto sobre o terreno de fundação, utiliza-se uma placa metálica rígida para transmitir as cargas ao terreno natural. Em caso de prova de carga sobre estaca, um bloco de coroamento deve ser previamente concretado, como elemento de transmissão das cargas do macaco para a fundação.

Segundo (NIYAMA et al., 1998) a medição das cargas aplicadas durante o ensaio é realizada por meio de manômetros que fornecem a pressão no sistema de acionamento do macaco ou conjunto de macacos hidráulicos. Há registro na literatura da utilização, atualmente, de células de carga para leitura de pressão, com a finalidade de obter maior precisão. A medição dos deslocamentos é feita por meio de um ou mais pares de extensômetros mecânicos ou deflectômetros que são fixados nos elementos das estruturas em estudo. Ainda segundo (NIYAMA et al., 1998) a evolução das técnicas desses ensaios foi regida pela necessidade de torná-las mais precisas, rápidas e com custo cada vez menor, tornando-os desta maneira cada vez mais acessíveis aos agentes envolvidos. O ensaio de prova de carga dinâmica é uma parcela representativa dessa contínua evolução tecnológica, cuja idéia básica difere um pouco do ensaio tradicional, denominado ensaio de prova de carga estático.

Outro registro dessa evolução são as variações do já citado ensaio lento (SML) de acordo com Godoy, (1983); Polla et. al., (1988); Milititsky, (1991), sendo elas:

- Ensaio de carregamento a uma velocidade de recalque constante (CRP, “constant rate of penetration test”);
- Ensaio de carregamento rápido em estágios (QML, “quick maintained load test”);
- Ensaio de carregamento em ciclos de carga e descarga e o de carregamento cíclico, ou CLT (“cyclic load test”) e SCT (“swedish cyclic test”);

## REGULAMENTAÇÃO E NORMATIZAÇÃO NACIONAL E INTERNACIONAL

Segundo (NIYAMA et al., 1998), a freqüente atualização dos textos e complementação do elenco de normas também é de fundamental importância para o aprimoramento da engenharia. Infelizmente, ainda falta uma maior divulgação e seriedade na aplicação das normas no país.

As principais regulamentações normativas de ensaios de prova de carga: Norma Brasileira: NBR 9607 (1986); Norma Americana: ACI-318 (2002); Norma Australiana: AS 3600 (2001); Recomendação Espanhola: EHE-1998; Recomendação Européia: RILEM TBS-2 (1984).

Segundo Oliveira (2006), verifica-se algumas semelhanças entre as normas de países distintos quanto às especificações dos ensaios. Esse fato ocorre, uma vez que, normalmente a elaboração das normas é baseada em procedimentos já estudados e adotados em outros países com desenvolvimento mais avançado.



Conforme Veneziano (1978), cada regulamentação tem suas particularidades, podendo variar nos procedimentos dos testes, no tipo e localização das cargas, no tempo de duração do carregamento, nos ciclos de carregamentos, nos instrumentação e valores a serem medidos, na intensidade do carregamento, nos critérios de aceitação, etc. Verifica-se que a Norma Brasileira e a Recomendação Européia são independentes da regulamentação de dimensionamento. Por outro lado, observou-se que as Normas Americana, Australiana e a Recomendação Espanhola, são vinculadas às normas de dimensionamento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de prova de carga é indicado quando há dúvidas sobre o comportamento estrutural, por exemplo, no caso de uma estrutura ter sido acometida de um sinistro ou ser submetida a um diferente uso para o qual não foi projetada. Há registros na literatura da aplicação deste ensaio desde a época do Renascimento, passando por Galileu, pela Revolução Industrial, e chegando ao Brasil em meados da década de 1930 e se desenvolvendo com os grandes cafeicultores de paulistas. Este ensaio, dada a sua importância na engenharia, tem evoluído consideravelmente, não só no que desrespeito aos equipamentos de medição utilizados (atualmente temos ensaios realizados com fibra ótica), mas também na normatização e regulamentação desta prática (apesar desta ainda não estar no nível desejado). A evolução das técnicas desses ensaios foi regida pela necessidade de torná-las mais precisas, rápidas e com custo cada vez menor, tornando-os desta maneira cada vez mais acessíveis aos agentes envolvidos. A atualização frequente dos textos e complementação do elenco de normas também é de fundamental importância para o aprimoramento da engenharia. Infelizmente, ainda falta uma maior divulgação e seriedade na aplicação das normas no país.

## BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro - RJ, 2010;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9607 - Concreto endurecido - prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro - RJ, 1986;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12131: Estacas – Prova de Carga Estática – Método de Ensaio. Rio de Janeiro – RJ, 2006;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13208: Estacas - Ensaio de Carregamento Dinâmico. Rio de Janeiro – RJ, 2007;
- FITZSIMONS, N.; LONGINOW, A. Guidance for load tests of buildings. Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 103, No. ST7, July, pp. 1367-1380, (1975), apud OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006).
- HALL, W. B.; TSAI, M. Load testing, structural reliability and test evaluation. Structural Safety, Elsevier Science Publishers, v.6, p. 285-302, (1989).
- NIYAMA, S.; AOKI, N.; CHMECKI, P. R. Fundações – Teoria e Prática. Capítulo 20 – Verificação de Desempenho. (1998)
- OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006).
- PALAZZO, D. Monitoramento de pontes por meio de levantamentos topográficos – um estudo de caso. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, (2002), apud OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de

Campinas. São Paulo, (2006).

ROCHA, P. F. Ensaio de verificação de estruturas. IPT, São Paulo, (1942), apud OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006).

RODRIGUES, B. C.; FILHO, J. F. Estudo comparativo entre prova de carga dinâmica, carga estática de projeto e métodos dinâmicos em estacas de perfis metálicos: estudo de caso. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 129 p. 2006.

TIMOSHENKO, S. P. History of strength of materials. New York, McGraw-Hill, (1953), apud OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006).

VENEZIANO, D.; MELI, R.; RODRIGUEZ, M. Proof loading for target reliability. Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 104, No ST1, January, pp. 79-93, (1978), apud OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006).

## SITES

<http://www.ipt.br/> - acessado em 25/06/14.

<http://www.cimentoeareia.com.br/> - em 26/06/14.

<http://www.geomec.com.br/> - em 26/06/14.

<http://www.sete.eng.br/> - em 26/06/14.