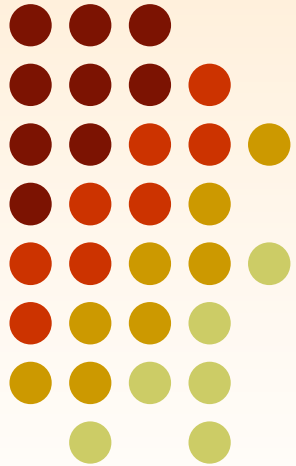
Provas de Carga em Estacas
Evolução dos Ensaios e da Norma

Engº. Urbano Rodriguez Alonso



PATROCINADORES

FUGRO
FUGRO IN SITU GEOTECNIA

FUNDAMENTA

FUNDESP

geofix

GEOSONDA S.A.
serviços de engenharia

20 Anos
instrumentec

Provas de Carga em Estacas
Evolução dos Ensaios e da Norma

Engº. Urbano Rodriguez Alonso

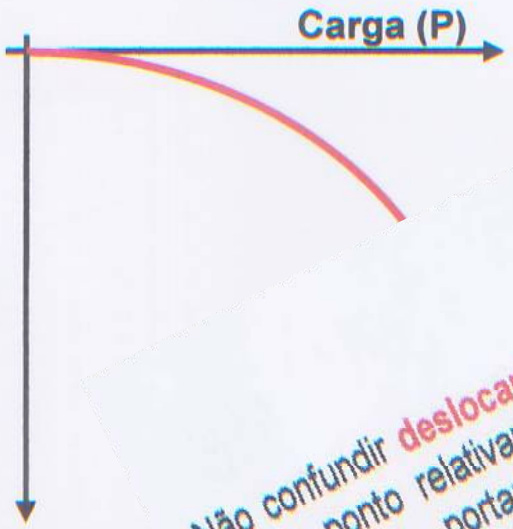
“O Brasil é um país jovem que, por isso mesmo, ainda não tem muitas histórias para contar. Mas o pior é que nem esse pouco ele conta...”

Affonso d´E. Taunay

Engenheiro civil formado pela escola Politécnica do Rio de Janeiro, no ano de 1.900.
Atuou como professor da Escola Politécnica de São Paulo entre 1.904 e 1.910.
Foi diretor do Museu Paulista (conhecido como Museu do Ipiranga) entre 1.917 e 1.939.
De 1.934 a 1.937 foi professor na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, da Universidade de São Paulo
Teve atuação no Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro,Instituto Histórico e Geográfico de São Paulo, na Academia Paulista de Letras e na Academia Portuguesa de História.
Foi biógrafo, historiador, ensaísta, lexicógrafo e romancista. Faleceu em 1.958 aos 81 anos em São Paulo.

A prova de carga em uma estaca consiste em se carregar a mesma (à compressão, à tra[illegible]o ou horizontalmente) com incrementos progressivos de **carga (P)** e medida dos **desl[illegible]tos** correspondentes **(d).**

Nota: Utiiliza-se o termo deslocamento quando se ensaiam as estacas à tra[illegible]
caso de estacas comprimidas, o deslocamento é denominado "re[illegible]



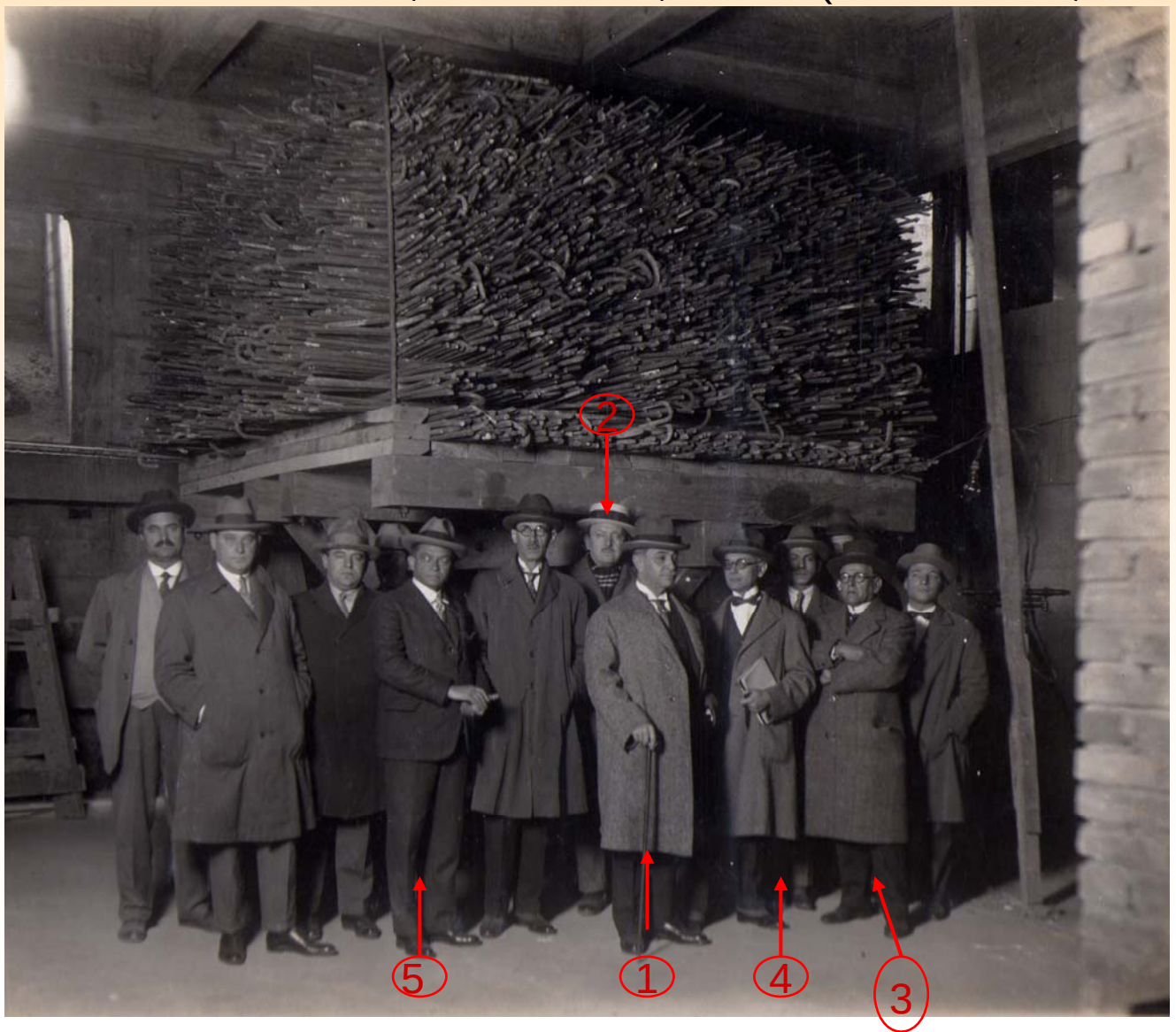
CUIDADO !!!

Não confundir **deslocamento** com **deformação**. Deslocamento refere-se a uma mudança de posição de um ponto relativamente a um sistema de referência, fixo no espaço. É uma grandeza vetorial caracterizada, portanto, por uma direção, um sentido e uma intensidade. Já a deformação é uma variação de comprimento em relação ao comprimento inicial ($\Delta L/L$), como por exemplo, quando se correlaciona a **tensão** (σ) com a **deformação** (ε) através do módulo de elasticidade E.

$$\sigma = E.\varepsilon \rightarrow \frac{P}{A} = E.\frac{\Delta L}{L}$$

Primeira prova de carga em estacas tipo Franki (1935)

É importante registrar que no passado as provas de carga eram “um acontecimento relevante” e todos queriam ser fotografados. Para registrar este aspecto mostra-se na foto abaixo a prova de carga (em sapata) das fundações do Edifício Martinelli, em 1928/29, em SP (Vasconcelos, 1985).



Prova de carga em estaca tipo Franki (Kiev 1913)

Segundo Pedro Carlos da Silva Telles em “História da Engenharia no Brasil – Século XX” entre 1907 e 1909 esteve matriculada, na Escola Politécnica de São Paulo a aluna **Alcina Maria de Moura**; não se conseguindo infelizmente saber se ela concluiu ou não o curso. O interessante desse fato é que deve ter sido a primeira presença feminina em qualquer escola de engenharia do Brasil, notando-se que na Escola Politécnica do Rio de Janeiro a primeira mulher a se formar foi **Edwiges Maria Becker**, em 1919.

Prova de carga em esta tipo Franki

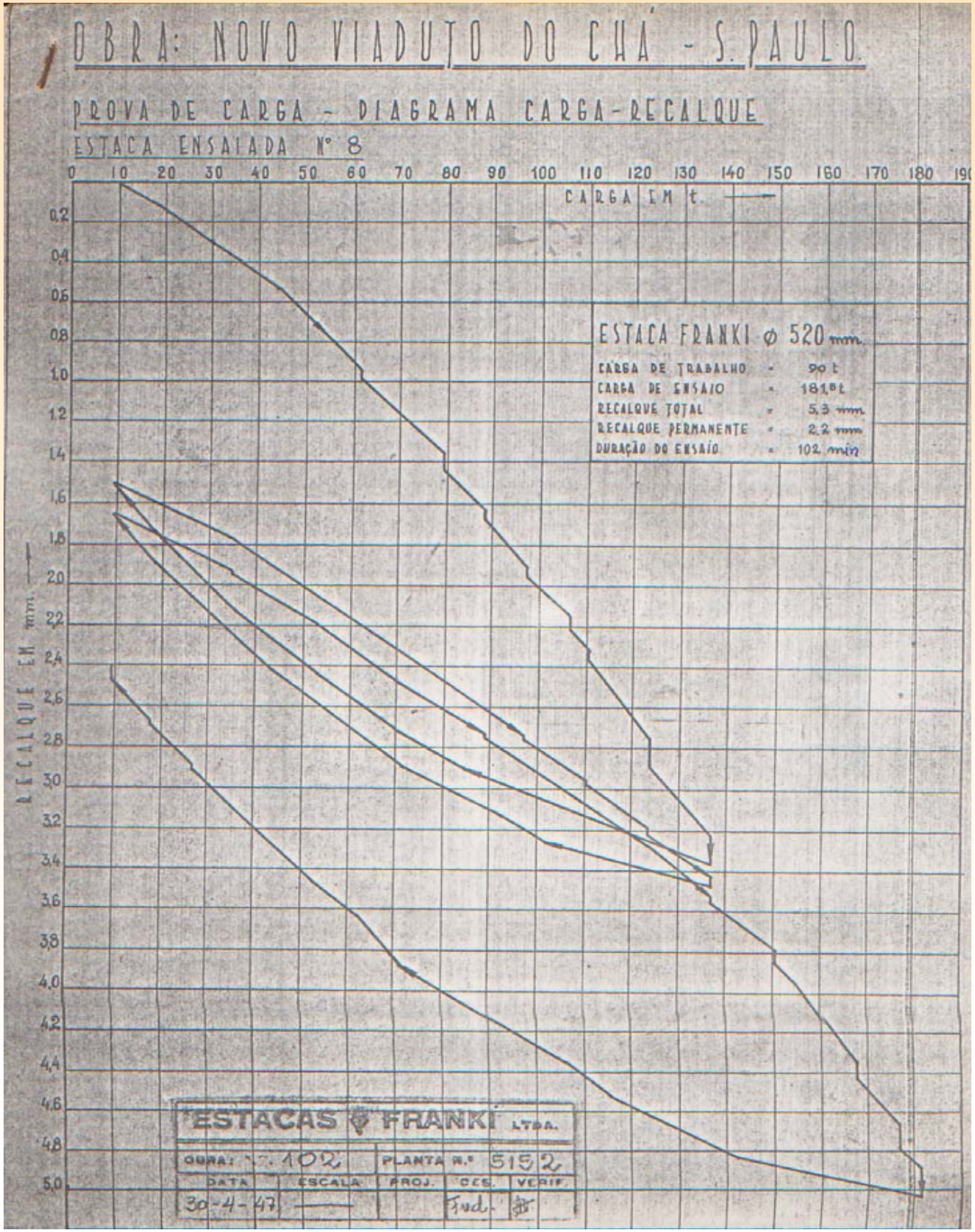
(Tóquio 1926)

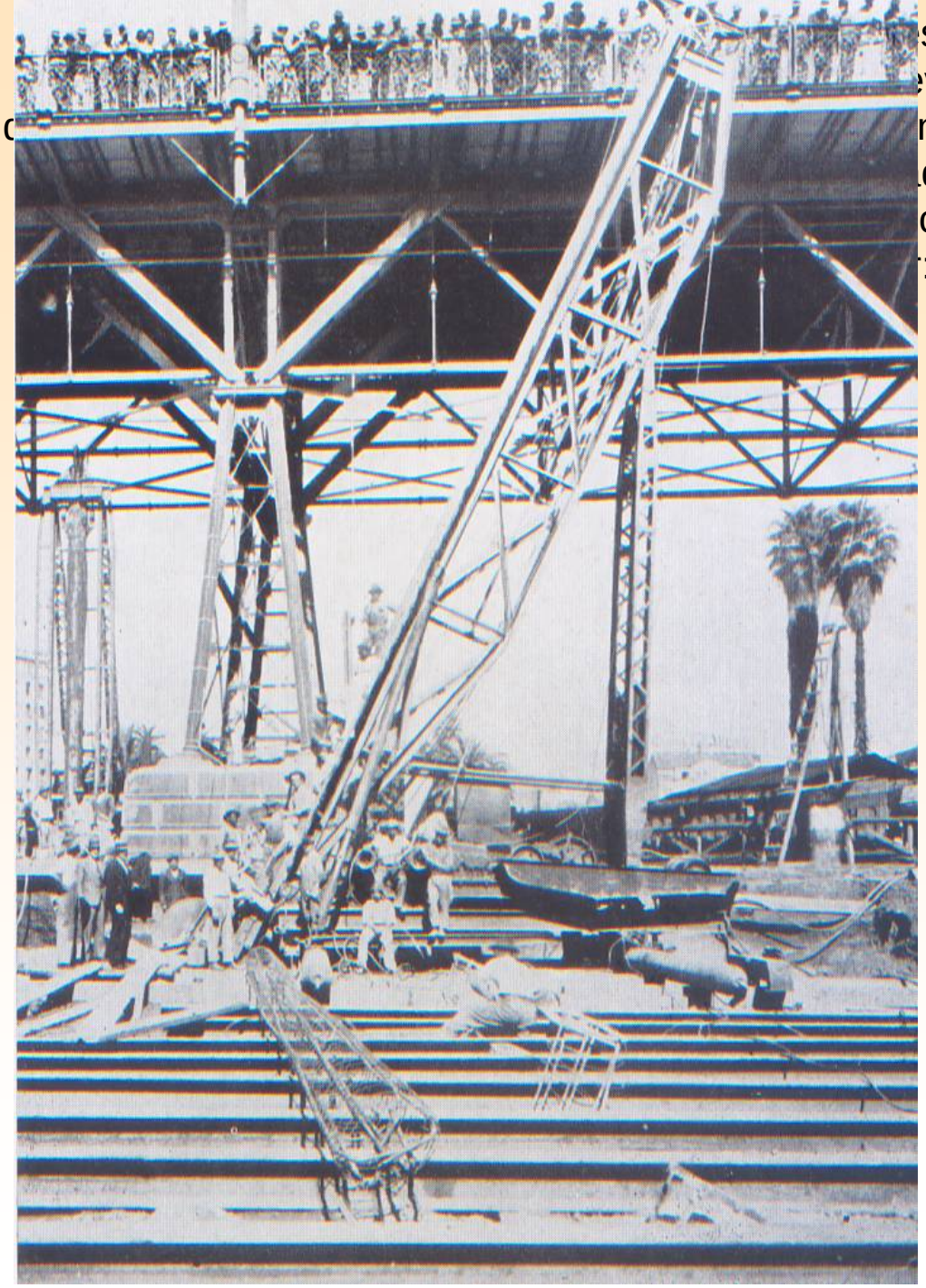
Prova de carga em estaca Franki – Edif. do Banco do Estado de São Paulo

Foto cedida pelo

Prof. David Carvalho

Federation of Piling
Specialists – February 2006


OBRA: NOVO VIADUTO DO CHÁ - S. PAULO
PROVA DE CARGA - DIAGRAMA CARGA-RECALQUE
ESTACA ENSAIADA Nº 8
CARGA EM t.
RECALQUE EM mm.
ESTACA FRANKI ø 520 mm.
CARGA DE TRABALHO - 90 t
CARGA DE ENSAIO - 181 t
RECALQUE TOTAL - 5,3 mm
RECALQUE PERMANENTE - 2,2 mm
DURAÇÃO DO ENSAIO - 102 min
ESTACAS FRANKI LTDA.
OBRA: 102
PLANTA Nº 5152
DATA 30-4-47
ESCALA
PROJ.
CÁLC. Fradi
VERIF.



s no Brasil. Apesar do prof. Milton
evantamento" de estacas Franki
ndo o fuste da base) tenha sido no
de é que este fenômeno já havia
conforme relata **Newman (1939).**
:

Em 1.945, durante a 6a Reunião da ABNT, realizada em Belo Horizonte, Nunes apresentou sua proposta “Norma para Prova de Carga em Estacas” que acabou ganhando “status” de Norma Brasileira NB-20 da ABNT, em 1.951, ficando instituído como Norma Brasileira o método de carregamento lento das estacas na prova de carga. Vargas considerava que este tipo de carregamento era essencial para poder julgar a carga admissível a partir dos recalques observados na prova de carga, pois, no carregamento rápido, intervêm deformações visco-elásticas, dependentes do coeficiente de viscosidade do solo, que nada tem a ver com as cargas admissíveis.

Resumidamente os tópicos mais importantes da NB-20/1

a) A carga deve ser aplicada em estágios sucessivos nã
provável da estaca. Eram usados apenas d
b) Em cada estágio de carga os recalqu
e após os seguintes intervalos d
aplicado novo acré
tolerân
c) O

Esta Norma sofreu quatro revisões: em 1977, em 1986, quando se incluiu o carregamento rápido e recebeu a denominação NBR 6121. Entretanto o carregamento rápido só era permitido quando fosse executada também, pelo menos uma prova de carga com carregamento lento para comparação. Esta exigência, como já se expôs acima, sempre foi defendida pelo prof. Milton Vargas, que sempre foi contra as provas de carga rápidas para definir a carga admissível de uma estaca. Em um encontro técnico ocorrido em 1990, no Instituto de Engenharia de São Paulo, quando a Comissão que estava elaborando a terceira revisão da Norma (publicada em 1991) expunha o texto para discussão, o prof. Vargas voltou a questionar a inclusão do carregamento rápido como um dos ensaios válidos para a definição da carga admissível de estacas.

bservar um
da estaca.
ruptura, deverá ser mantida
em b quanto aos intervalos de leitura.
por estágios sucessivos não superiores a 25%
anter cada estágio até a estabilização dos recalques,
dentro da precisão medida.

Resumidamente os tópicos mais importantes da NBR 12131:2006 são:

a) Não mais se fixa a carga máxima do ensaio. Esta é definida pela NBR 6122:2010 "Projeto e Execução de Fundações" no seu item 9.2.2.

b) São permitidos quatro tipos de ensaios: lento, rápido, misto e cíclico.

c) **Ensaio com carregamento lento:**

c.1) No ensaio lento segue-se basicamente o que já existia na NB-20, ou seja, em cada estágio de carga os recalques serão lidos imediatamente após a aplicação desta carga e após os seguintes intervalos de tempo: 2, 4, 8, 15, 30 minutos, 1, 2, 3, 4, etc horas contados a partir do início do estágio. Só será aplicado novo acréscimo de carga quando a diferença entre duas leituras consecutivas correspondera no máximo de 5% do deslocamento havido no mesmo estágio (entre o deslocamento da estabilização do estágio anterior e o atual).

c.2) Cada estágio de carga deverá ser mantida até a estabilização dos deslocamentos e no mínimo por 30 min.

c.3) Terminada a fase de carregamento, a carga máxima do ensaio deve ser mantida no mínimo 12 h entre a estabilização dos recalques e o início do descarregamento.

c.4) O descarregamento deve ser feito em no mínimo quatro estágios. Cada estágio é mantido até a estabilização dos deslocamentos com registro segundo os critérios estabelecidos em c.1. O tempo mínimo de cada estágio é de 15 min e após o descarregamento total, as leituras devem continuar até a sua estabilização.

d) **Ensaio com carregamento rápido:**

d.1) No ensaio rápido a carga é aplicada em estágios de carga não superior a 10% da carga de trabalho prevista. A carga de cada estágio deve ser mantida durante 10 min, independentemente da estabilização dos deslocamentos. Em casos especiais, como fundações de linhas de transmissão, o tempo de manutenção da carga pode ser reduzido para 5 min.

d.2) Em cada estágio, os deslocamentos devem ser lidos obrigatoriamente no início e no fim do estágio.

d.3) Atingida a carga máxima do ensaio, devem ser feitas cinco leituras: a 10 min, 30 min, 90 min e 120 min. A seguir procede-se o descarregamento, que deve ser feito em cinco ou mais estágios, cada um mantido por 10 min, com leitura dos respectivos deslocamentos.

d.4) Após 10 min do descarregamento total, devem ser feitas mais duas leituras adicionais aos 30 min e aos 60 min.

e) **Ensaio com carregamento misto (lento seguido de rápido):**

e.1) Neste tipo de ensaio inicia-se com carregamento lento (conforme c.1 e c.2 até 1,2 vezes a carga de trabalho da estaca).

e.2) A seguir, o ensaio é feito com carregamento rápido conforme item d.

Ensaio cíclico (só para estacas comprimidas)

Este ensaio tanto pode ser feito com carregamento lento como rápido.

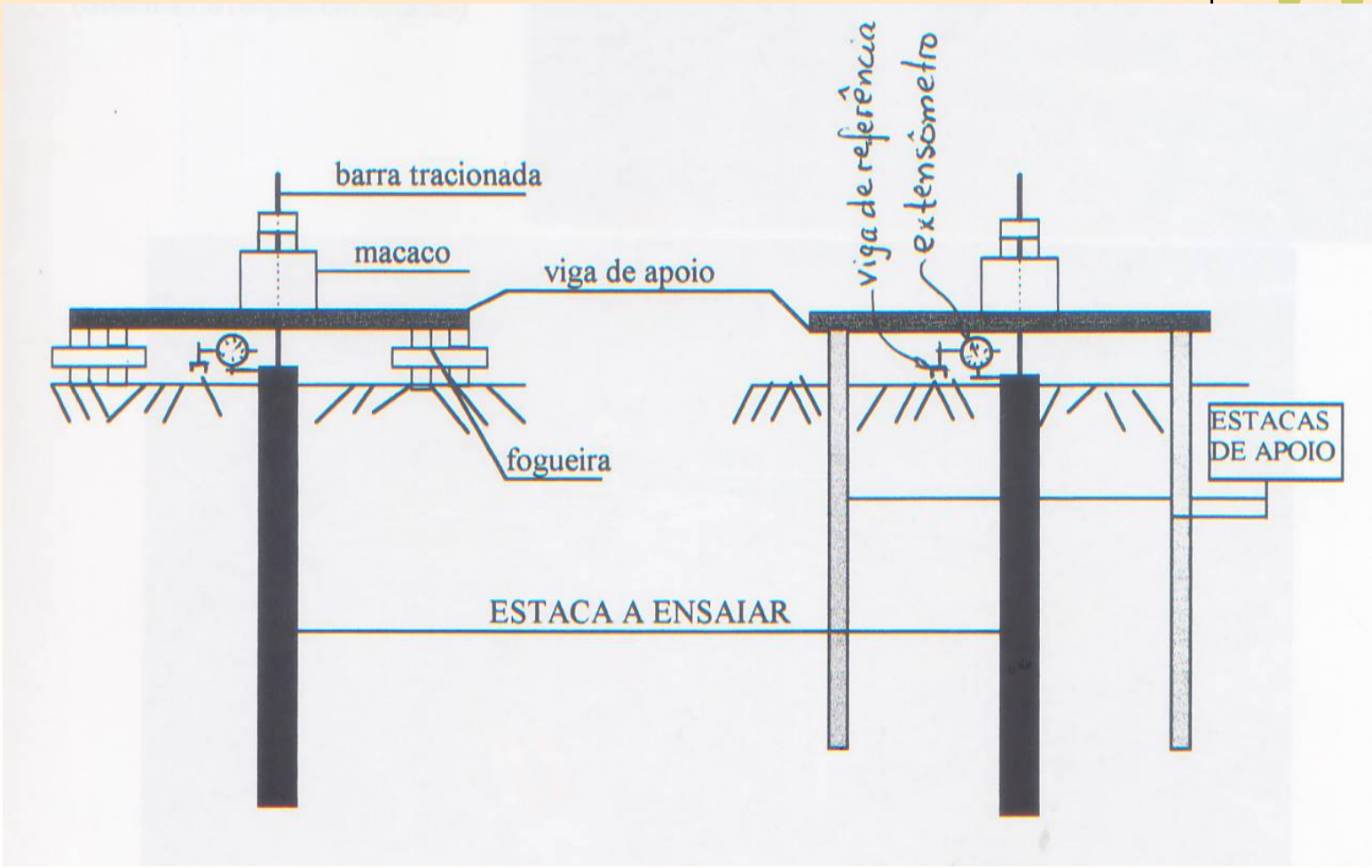
A estaca é carregada em cíclicos sucessivos de carga (lentos ou rápidos).

Em cada ciclo de carga a descarga é feita de uma só vez.

Por ser um ensaios pouco utilizado entre nós deixa-se de dar maiores detalhes que podem ser obtidos na NBR 12 131:2006

Sobre este tipo de ensaio recomenda-se a leitura do artigo do prof. Faiçal Massad no **XII COBRAMSEG, vol 3, pág 1.627 a 1.638**

SISTEMAS DE REAÇÃO
Provas de Carga à Tração



(a) reação em fogueira **(b) reação em estacas**

Sistemas de reação para provas de carga à tração.

Sistema de reação apoiado em fogueira

Sistema de reação apoiado em estacas

Prova de carga à tração em estaca inclinada (reação em estacas) 130 tf

(ver trabalho de Alonso no **SEFE III, vol 1, pág. 155 a 160**)

Sistema de reação apoiado em fogueira e estaca (120 tf)

Prova de carga à tração com macaco não vazado (reação em estacas) 330 tf

Prova de Carga à Tração — Estaca P3b
l = 6 m
Data 6.2.70

(t)
42
35
28
21
14
7
0

Carga
Descarga

0
5
10
15 (mm)

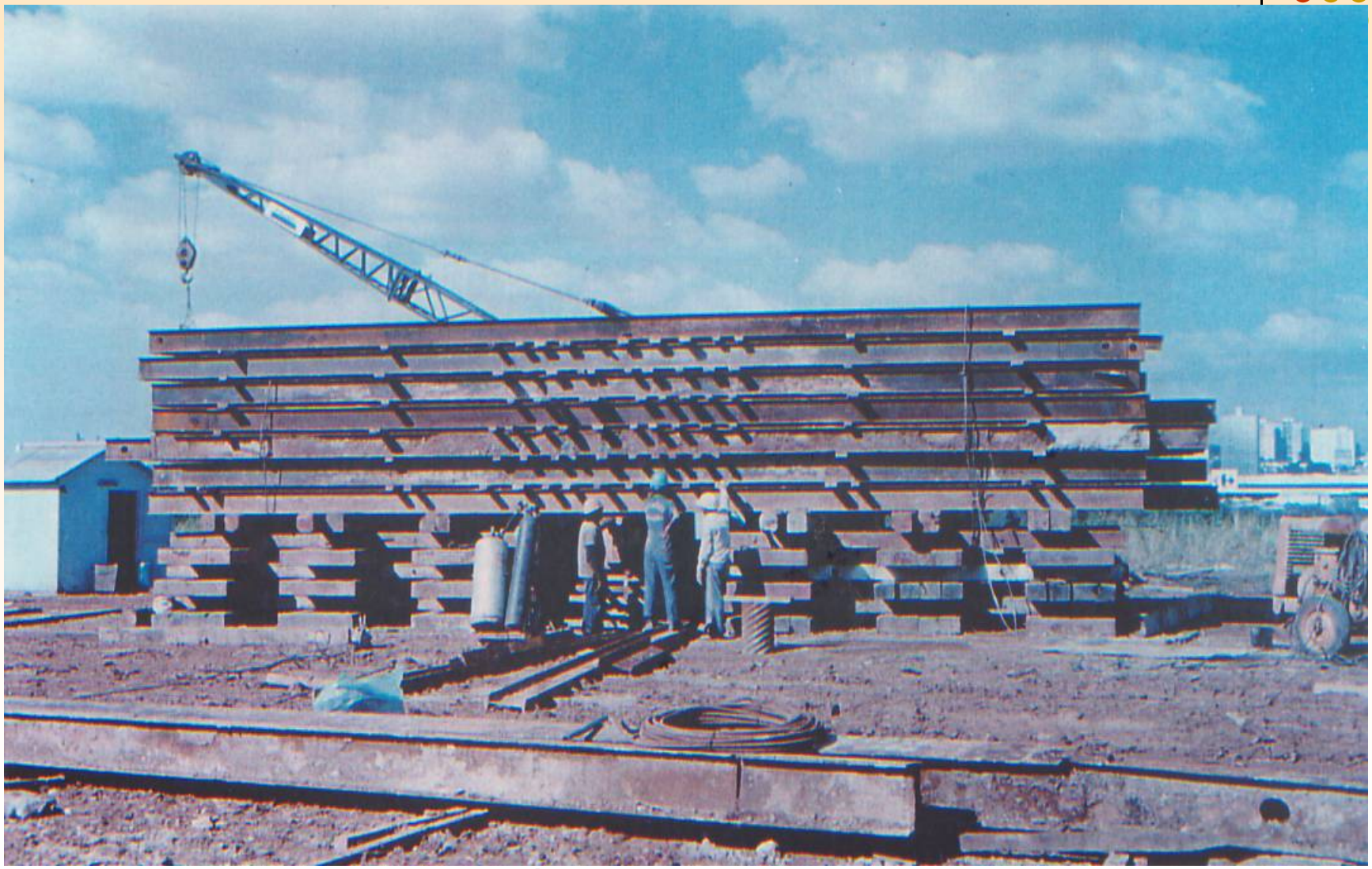
É importante lembrar que nas provas de carga à tração usa-se, geralmente, uma só viga de apoio para o macaco hidráulico. Por esta razão é necessário escorar essa viga para evitar que a mesma tombe e cause acidentes.

Também nas provas de carga à compressão com apenas uma viga de reação este procedimento é necessário a fim de evitar acidentes como o mostrado acima

Provas de Carga à Compressão

Antes da introdução dos tirantes ancorados no terreno para se executar provas de carga, que ocorreu a partir de 1971(ponte Rio-Niteroi), os sistemas de reação constituíam-se de cargueiras formados por caixões de areia, trilhos, sacos de areia, chapas de aço, perfis metálicos, blocos de concreto confeccionados com limalha de ferro par aumentar seu peso específico, bobinas de aço, etc.

Cargueira de chapas de aço



Cargueira com perfis metálicos – Marginal do Rio Pinheiros, 1978 (200 tf)

Cargueira com bobinas de aço – CBA Mairinque, 1975 (300 tf)

Cargueira com blocos de concreto com densidade alta + bobinas de aço
Petrobrás Alemoa, 1977 – 350 tf
(ver Danziguer, 1980 publicado na revista SOLOS E ROCHAS)

INCORPORAÇÃO
ADMINISTRAÇÃO
E PLANEJAMENTO
SPECI S.A.
COMERCIAL E IMOBILIÁRIA

BRASIL

Edifício Investimento

Pode-se ver pelas fotos acima que a montagem de uma prova de carga era dispendiosa além do que era necessário garantir sua estabilidade principalmente quando a carga aplicada à estaca se aproximava do peso total da cargueira e esta sofria grandes deslocamentos que produziam barulhos e estalos audíveis. Não era raro que alguns acidentes acontecessem e muitas vezes não se conseguia atingir a carga prevista no ensaio, seja porque a cargueira começava a levantar ou se desequilibrava, introduzindo esforços transversais na estaca ensaiada.

Cabe registrar que a carga usada para dimensionar as cargueiras, até meados da década de 70, era da ordem de grandeza de 350 tf. Isto se devia ao fato de até àquela época ainda não se utilizavam estacas escavadas com fluido estabilizante nem barretes que foram introduzidos em meados da década de 70. As estacas tipo Franki, muito utilizadas, suportavam carga máxima de 170 tf e a NB-20 prescrevia, como carga de ensaio, uma vez e meia a carga de trabalho da estaca.

Além disso, não era comum executar provas de carga em tubulões (a céu aberto e sob ar comprimido). O que se fazia, neste tipo de fundação, era retirar um bloco indeformado do solo na base alargada do mesmo para realizar ensaio de adensamento e comparar a tensão de projeto com a pressão de pré-adensamento do solo, ou, quando muito, realizar uma prova de carga em placa reagindo contra as paredes do fuste do tubulão.

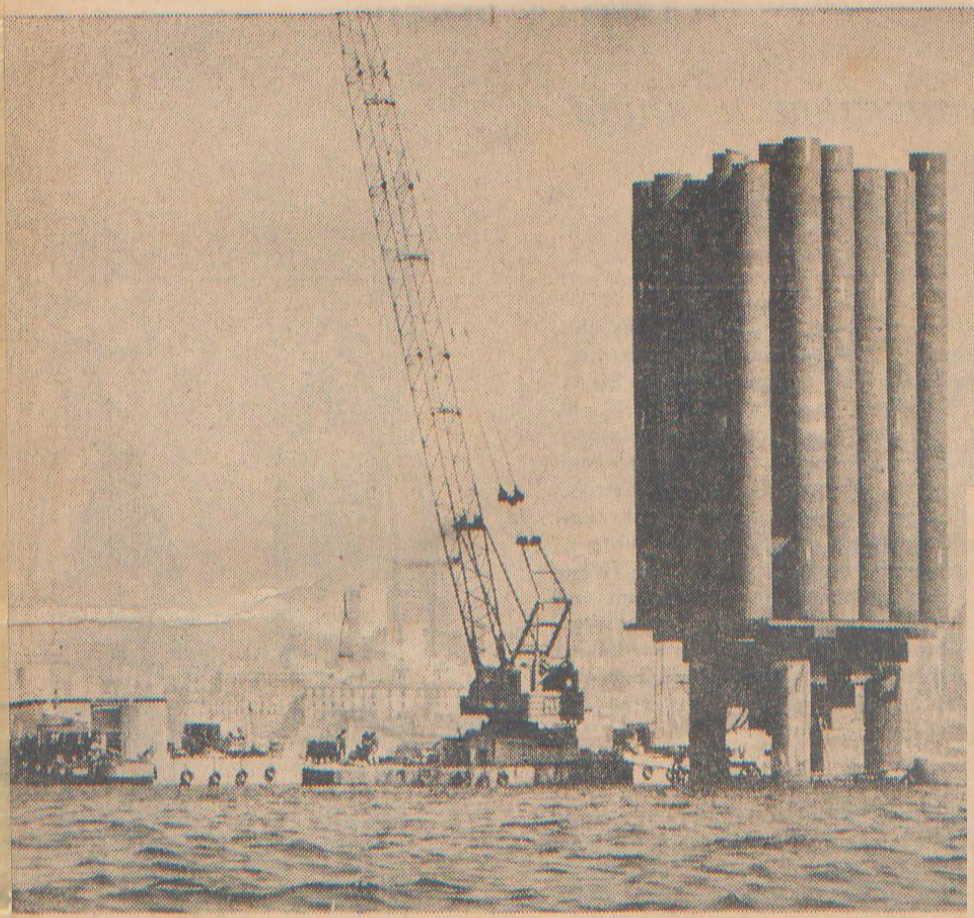
Quando da execução das fundações da ponte Rio-Niteroi, no início da década de 70, houve necessidade de ensaiar um tubulão até 2.000 tf. Por se tratar de uma obra no mar aliado ao fato de que se dispunha de tubos metálicos de grande diâmetro (que eram usadas como camisa dos tubulões) surgiu a idéia de se instalar esses tubos, com o fundo fechado, em cima de uma plataforma de concreto pré-moldado apoiada em quatro tubulões e 4 m acima do nível do mar e enche-los com água. Assim foram montados 34 desses tubos com 22 m de altura cada um.

Início da montagem dos tubos para a prova de carga em tubulão da ponte Rio-Niterói
(foto cedida ao autor pelo **prof. Falcão Bauer**)

PLATAFORMA DESABA E MATA OITO NA PONTE RIO- NITERÓI

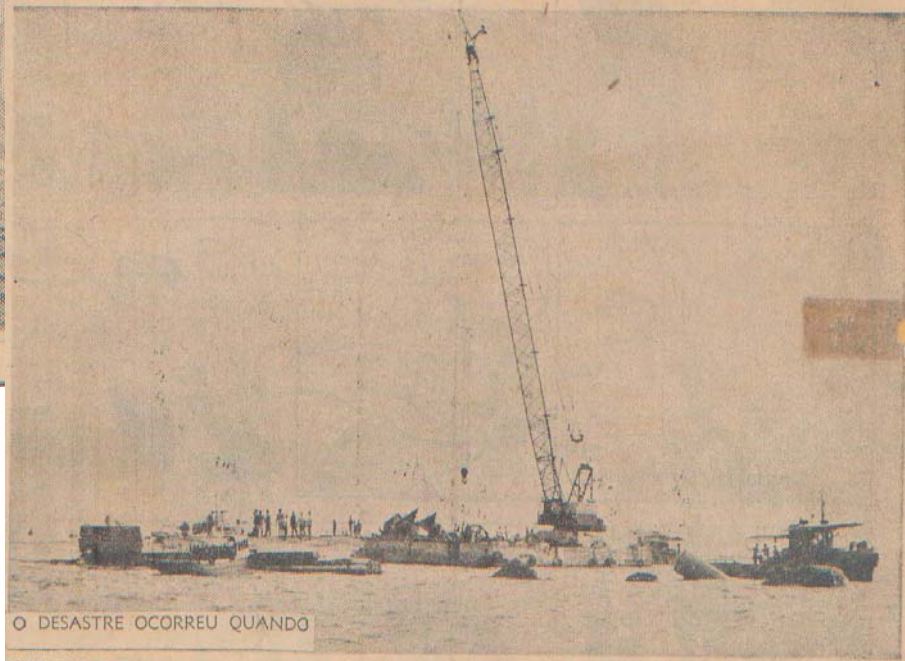
Um acidente provocado ontem à tarde, pelo desmoronamento de uma plataforma com 34 tubulões de 22 metros de altura, pesando duas mil toneladas, matou três engenheiros e cinco operários que trabalhavam na construção da Ponte Rio—Niterói, e interrompeu um teste de carga que vinha sendo realizado por técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, considerado decisivo para a obra.

Como era



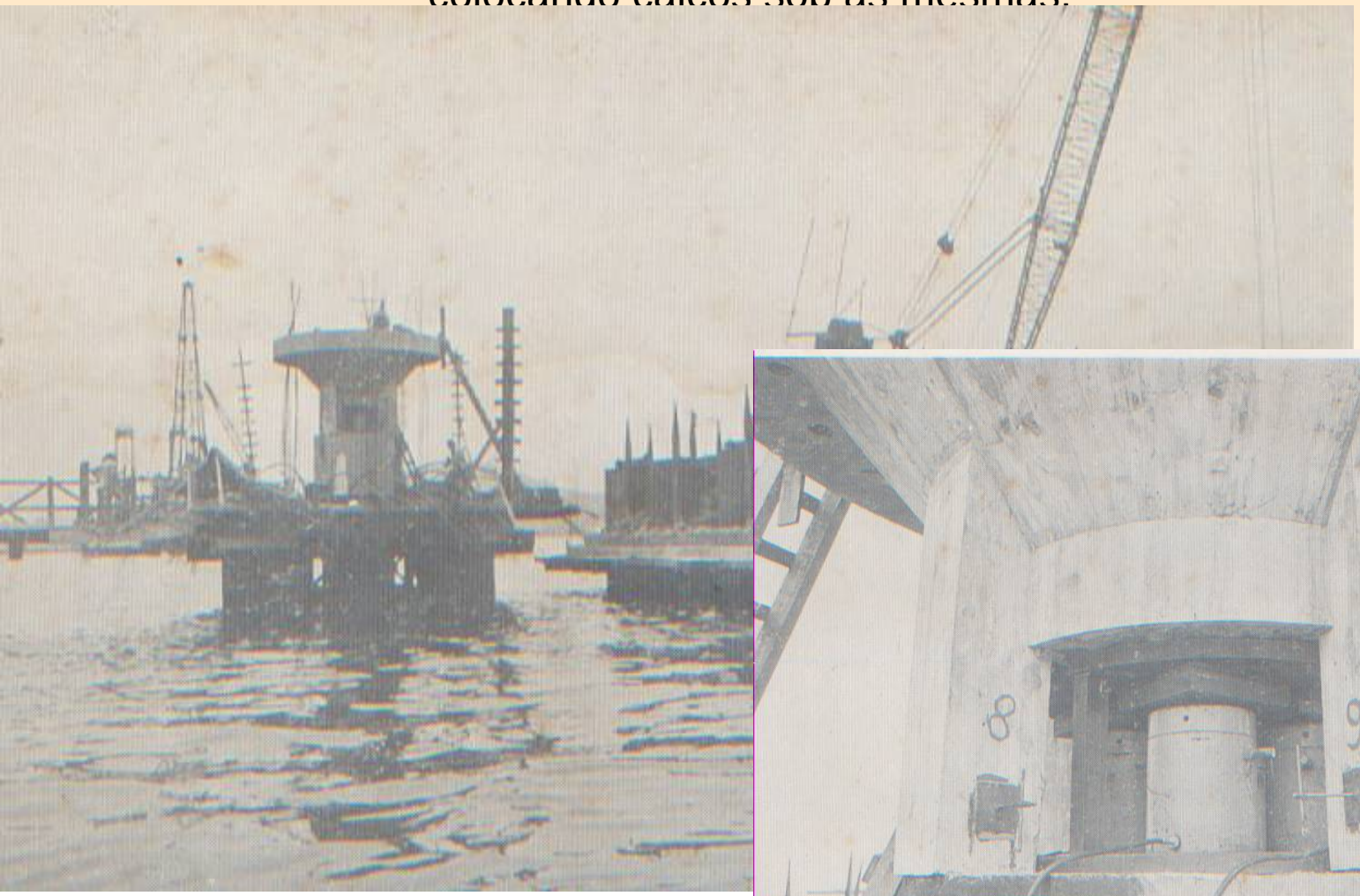
A MONTAGEM DA PLATAFORMA COMEÇOU NA SEXTA-FEIRA.

Como ficou

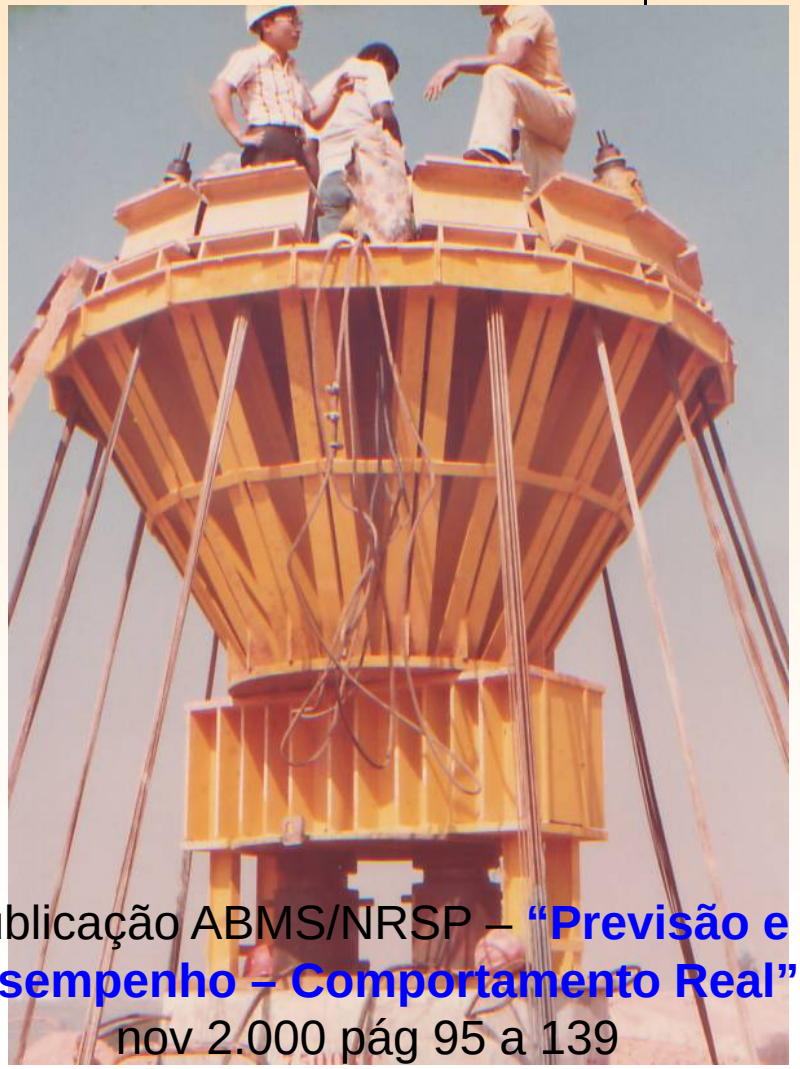


O DESASTRE OCORREU QUANDO FALTAVA ENCHER DE ÁGUA O ÚLTIMO DOS 34 TUBULÕES QUE PESARIAM DUAS MIL TONELADAS

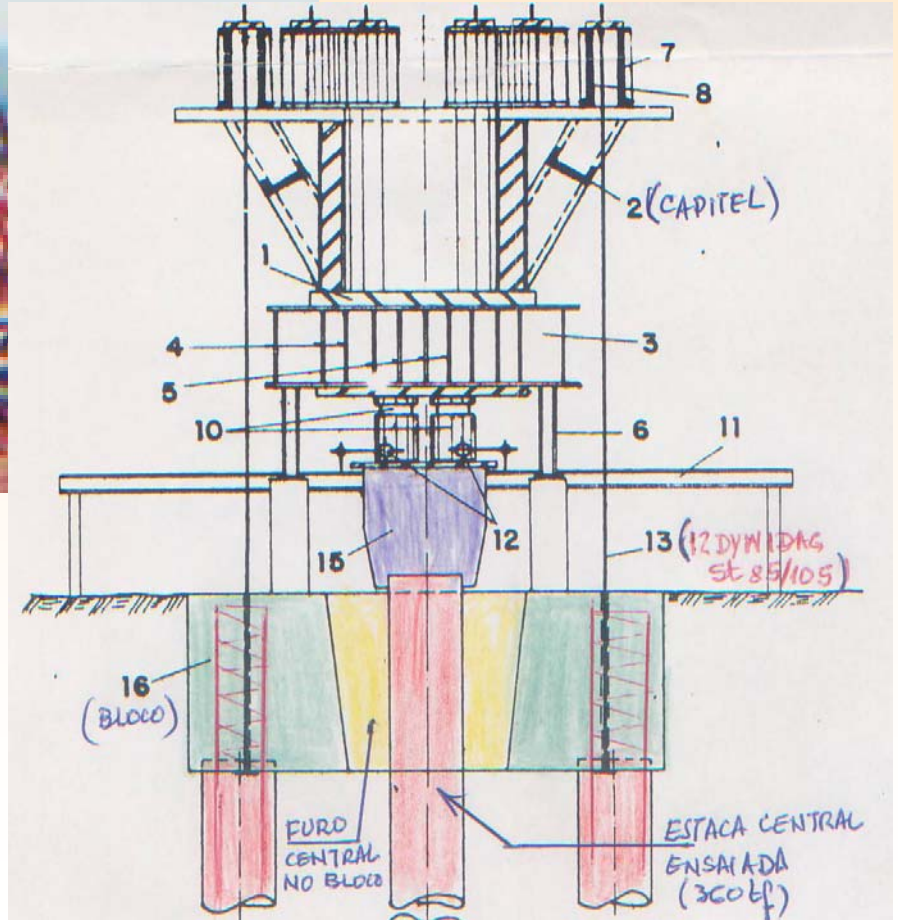
Nesta época (início dos anos 70) já se começavam a empregar tirantes ancorados no solo. Assim a prova de carga foi retomada, desta vez usando como sistema de reação um “capitel” tronco cônico de concreto armado solidário a quatro colunas de apoio de tal sorte que a qualquer momento era possível transferir a carga dos macacos hidráulicos para essas colunas colocando calços sob as mesmas.

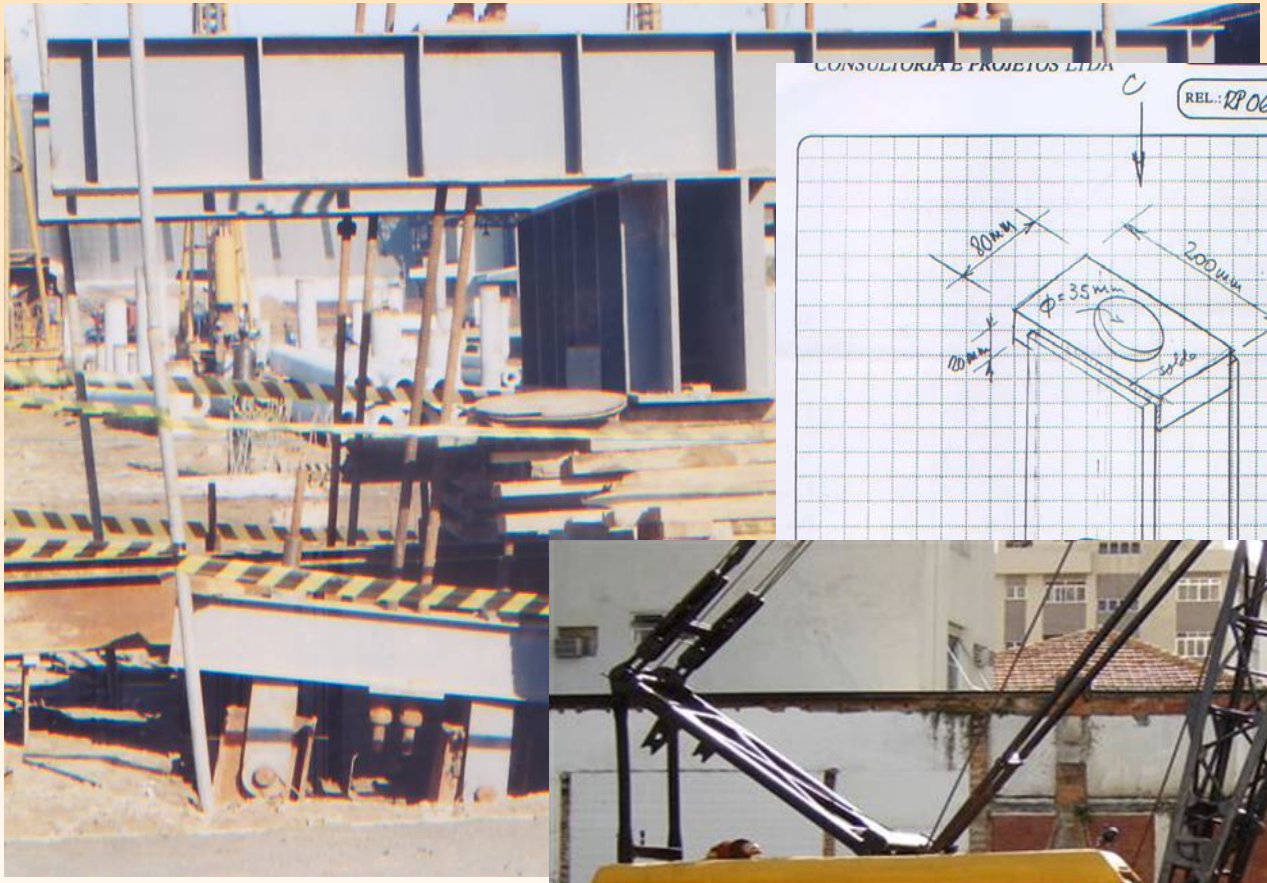


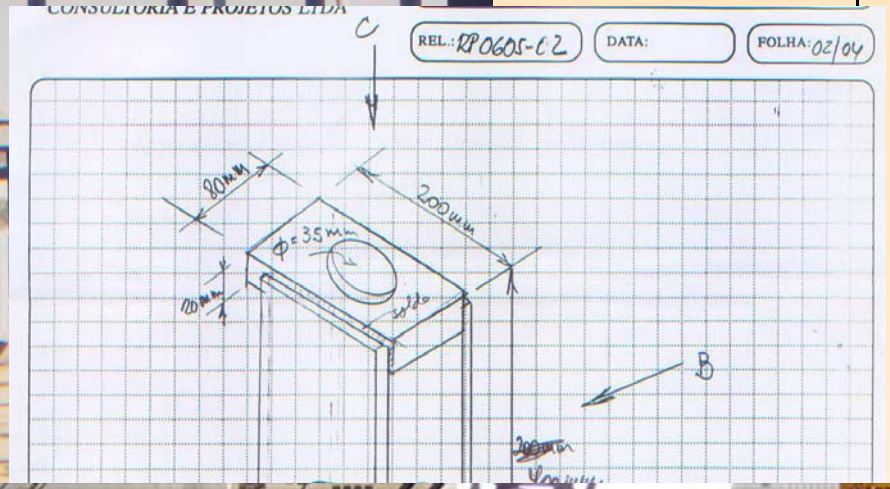
Os inconvenientes do “capitel” de concreto eram sua confecção e peso que implicava na impossibilidade de reaproveitá-lo em outras provas de carga. Assim, surgiu naturalmente o primeiro “capitel” metálico (da Tecnosolo) para realização de provas de carga até 1.000 tf. Este capitel podia ser transportado normalmente em uma carreta para qualquer obra.



Publicação ABMS/NRSP – **“Previsão e Desempenho – Comportamento Real”**
nov 2.000 pág 95 a 139


7
8
2 (CAPITEL)
1
4
3
5
10
6
11
12
13 (12 DYWIDAG St 85/105)
15
16 (BLOCO)
FURO CENTRAL NO BLOCO
ESTACA CENTRAL ENSAIADA (3 COEF)



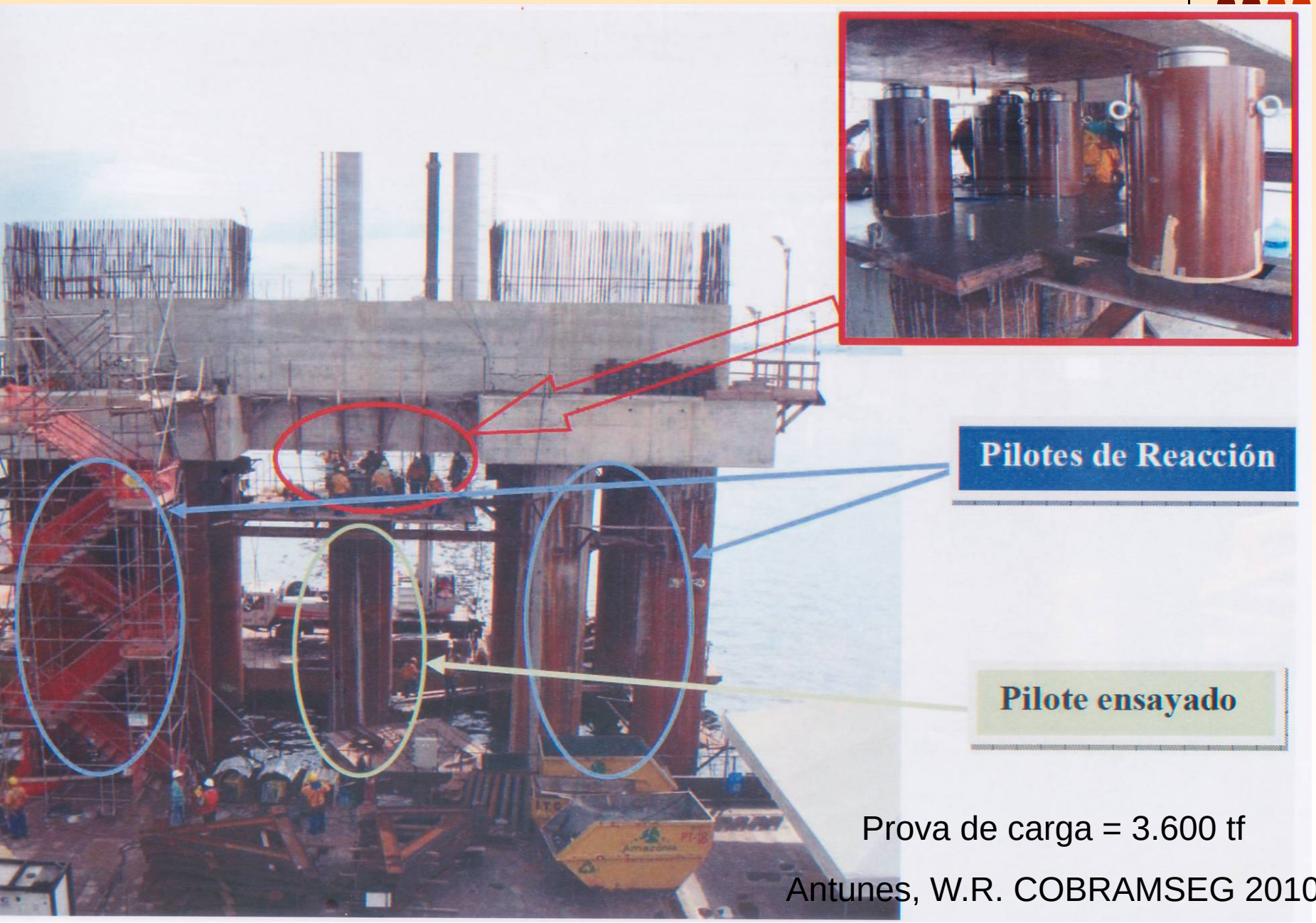

REL.: RP 0605-02
DATA:
FOLHA: 02/04
C
80mm
200mm
Φ=35mm
B

FUNDAMENTA
6 2006

Isto não deve ser feito !!!

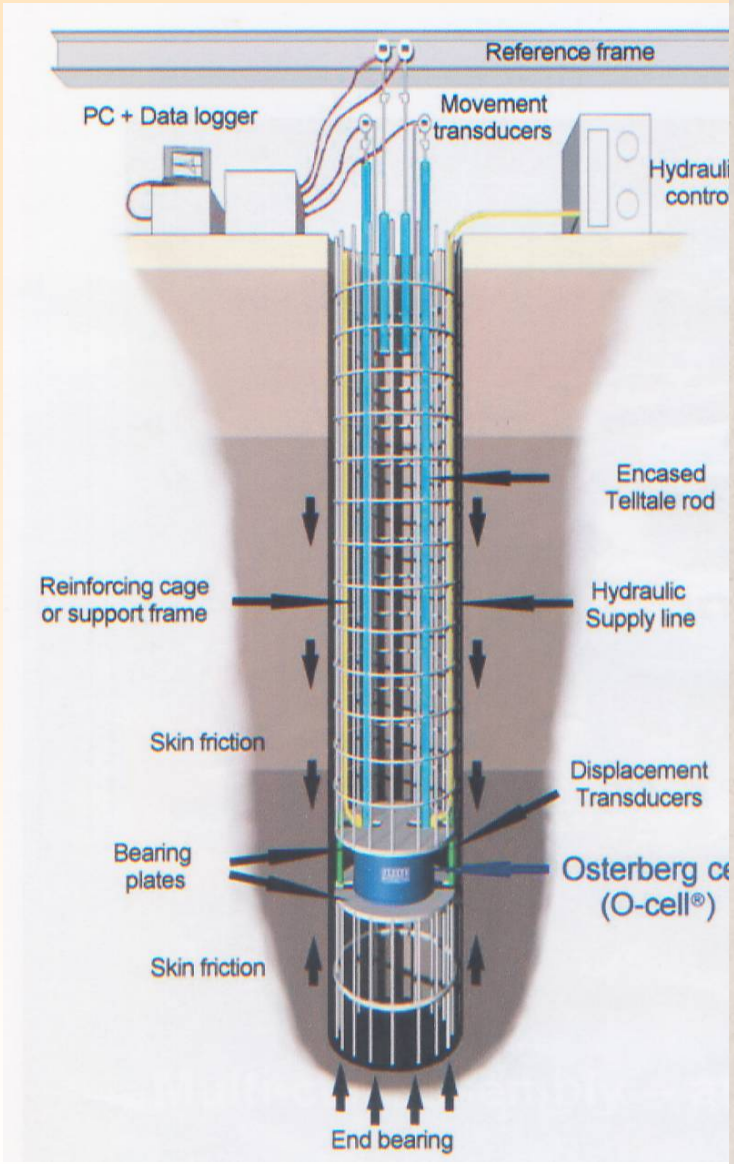
TREVI 2.000 tn. Test
for Tagus Bridge

7
6
5

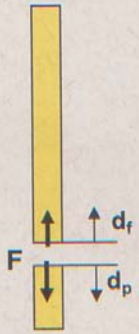


Prova de carga = 3.600 tf

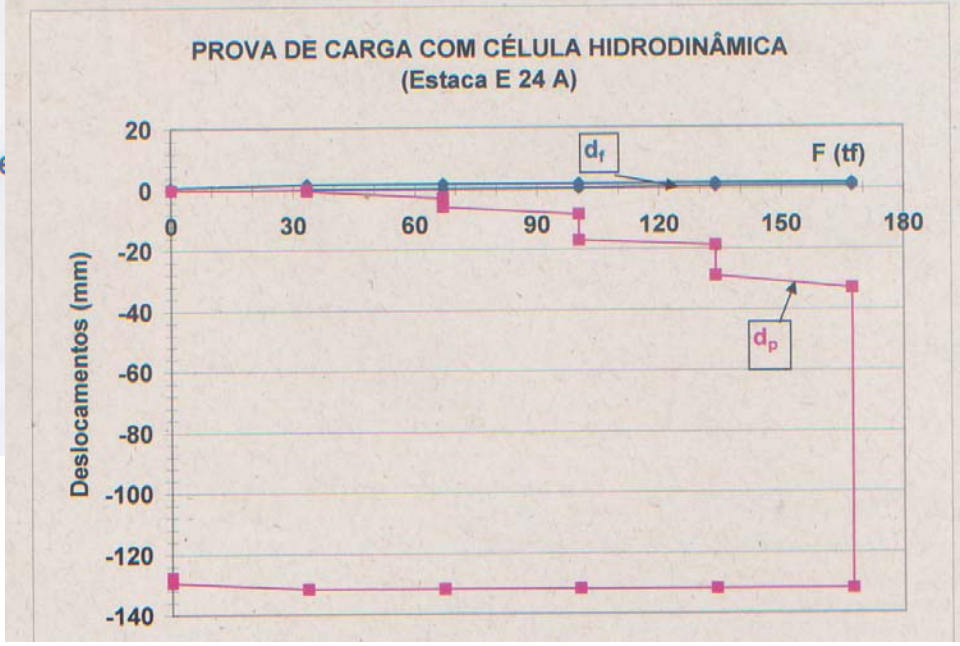
Antunes, W.R. COBRAMSEG 2010



F (tf)	df (mm)	dp (mm)
0	0	0
33,5	0,01	0,00
33,5	0,06	-0,43
67,0	0,07	-2,87
67,0	0,10	-5,79
100,4	0,20	-8,33
100,4	0,23	-17,06
133,9	0,69	-18,86
133,9	0,73	-28,87
167,4	0,76	-33,01
167,4	1,65	-131,80
133,9	1,65	-131,80
133,9	1,65	-131,80
100,4	1,65	-131,79
100,4	1,65	-131,79
67,0	1,65	-131,79
67,0	1,65	-131,79
33,5	1,65	-131,57
33,5	1,65	-131,56
0,0	0,78	-129,38
0,0	0,78	-127,69

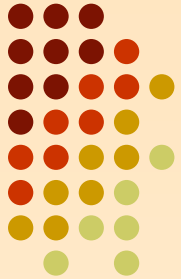


SEFE IV – vol 1, pág 416 a 425



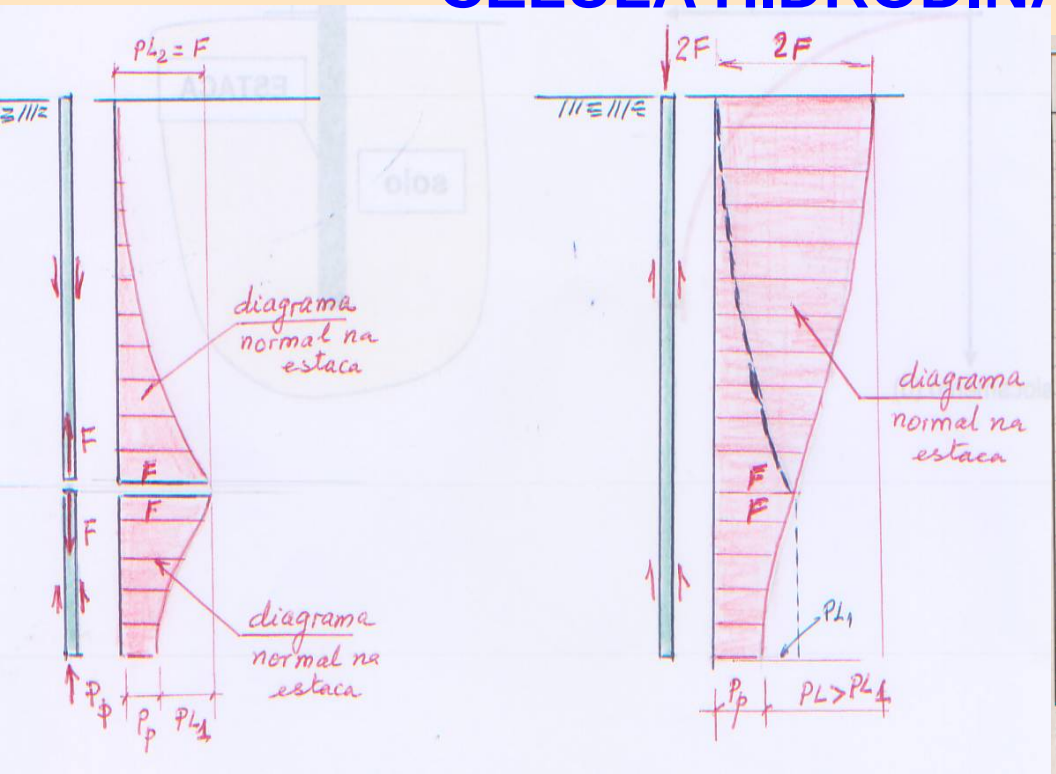
LOCAFAZ
3383 3838
SALMER
10 4 2008

COMENTÁRIOS FINAIS E TENDÊNCIAS FUTURAS

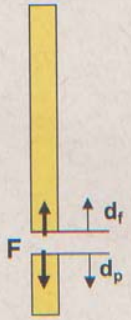


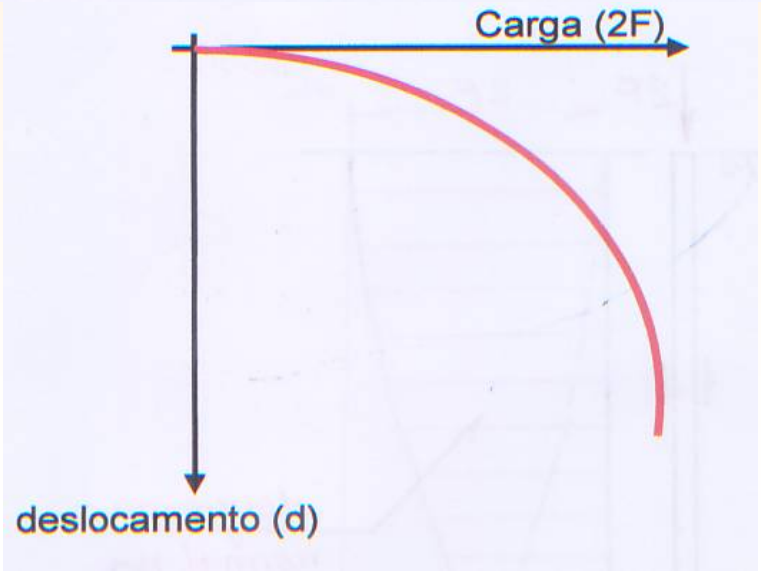
- **Mudança a partir dos anos 96/97** →função da necessidade de introduzir as estacas hélice contínua como uma solução natural de fundações.
- **Porquê** →rompiam uma prática antiga entre os consultores/executores/contratantes → estacas “prova” com gráfico de cravação, negas, repiques, análise do solo da base dos tubulões, etc.
- **Só aceitavam prova de carga lenta** →inviável diante dos prazos sempre apertados da obra → prova de carga mista → idéia do prof. Victor de Mello de 1975 (adormecida na Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia. → SOLOS e ROCHAS 1997) permitiu fazer a prova de carga à noite sem interferir com prazo da obra
- **Banco de Dados** COBRAMSEG´s XII e XIII e SEFE´s IV, V, e VI.

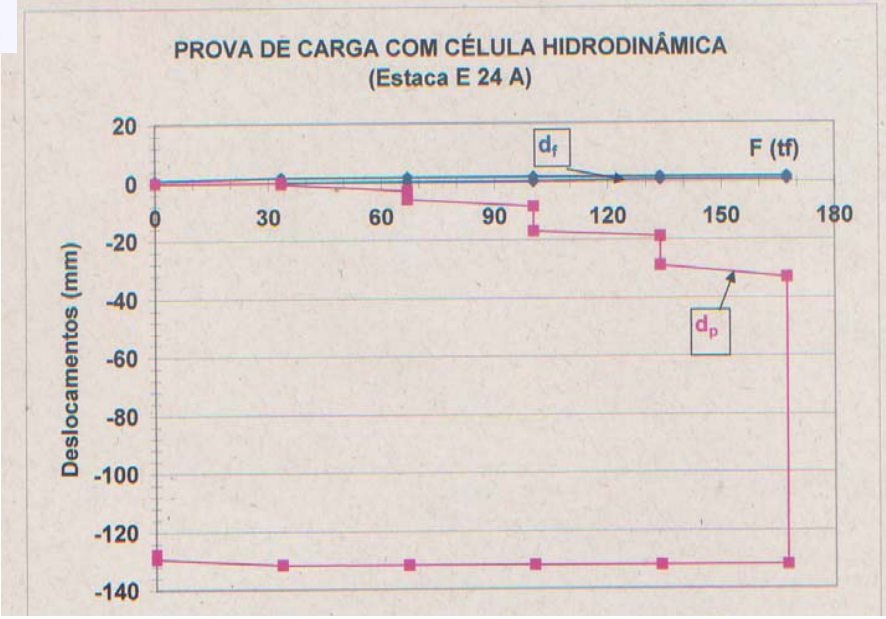
CÉLULA HIDRODINÂMICA



F (tf)	df (mm)	dp (mm)
0	0	0
33,5	0,01	0,00
33,5	0,06	-0,43
67,0	0,07	-2,87
67,0	0,10	-5,79
100,4	0,20	-8,33
100,4	0,23	-17,06
133,9	0,69	-18,86
133,9	0,73	-28,87
167,4	0,76	-33,01
167,4	1,65	-131,80
133,9	1,65	-131,80
133,9	1,65	-131,80
100,4	1,65	-131,79
100,4	1,65	-131,79
67,0	1,65	-131,79
67,0	1,65	-131,79
33,5	1,65	-131,57
33,5	1,65	-131,56
0,0	0,78	-129,38
0,0	0,78	-127,69







OBRIGADO PELA ATENÇÃO !!!!!!

1997 Fábrica da Renault

São José dos Pinhais – PR.

1ª Prova de carga em hélice contínua com 1.000 tf e célula hidrodinâmica

Hospital Anchieta

Taguatinga- Brasília (2000)

Publicação ABMS/NRSP – **"Previsão e Desempenho – Comportamento Real"**

nov 2.000 pág 95 a 139