

PCC 2527
Patologia e Terapia das Estruturas de Concreto

Aprendendo com os Acidentes

Visão construtiva!

Paulo Helene

*Diretor Vice-Presidente do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED
Member fib (CEB-FIP) Model Code for Service Life*

1

Robert Stephenson no discurso de posse na presidência do Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha em 1856:

“...tenho esperança de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados. Nada é tão instrutivo para jovens engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção. O diagnóstico desses acidentes, o entendimento dos mecanismos de ocorrência, é mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos. Também os engenheiros experientes aprendem desses ensinamentos e lições dos acidentes que até podem ocorrer nas suas próprias obras. Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação desses problemas nos arquivos desta reconhecida Instituição”.

2

**SÉCULO XX
1900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

3



4



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1901
Altura 30 m

$f_{ck} = ?$
106 anos!!!!
*Edifício mais
antigo do mundo*

5



6



Palacio Salvo
Montevideo

27 andares

Uruguai 1925

Altura 103 m

$f_{ck} = ?$
80 anos!!!!
record mundial

7



Edificio
Martinelli

1929

106m

record
mundial

8

IBRACON

Acidentes. PONTES

9

TACOMA BRIDGE

1940

**130 anos depois da primeira
ponte em aço**

**5 anos depois da Golden Gate e
da Bay Bridge em San
Francisco**

10



11



12

**Antes da TACOMA
BRIDGE colapsar em
1940, no século XVIII / XIX
de 1779 a 1889, 10 pontes
metálicas tipo suspensas
(penseis) haviam
colapsado!**

13

**Graças às lições
aprendidas com esses
acidentes, até com perda
de vidas humanas, hoje
pode-se afirmar que as
pontes são muito mais
seguras que ontem.**

14

PUENTE LEONEL VIEIRA

**Concreto armado com cabos de
protensão galvanizados (casa
Roebeling)**

**Sistema construtivo com pré-tração
original**

Inspeção impede colapso

15



16



Puente Leonel Viera, Punta del Este, Uruguay

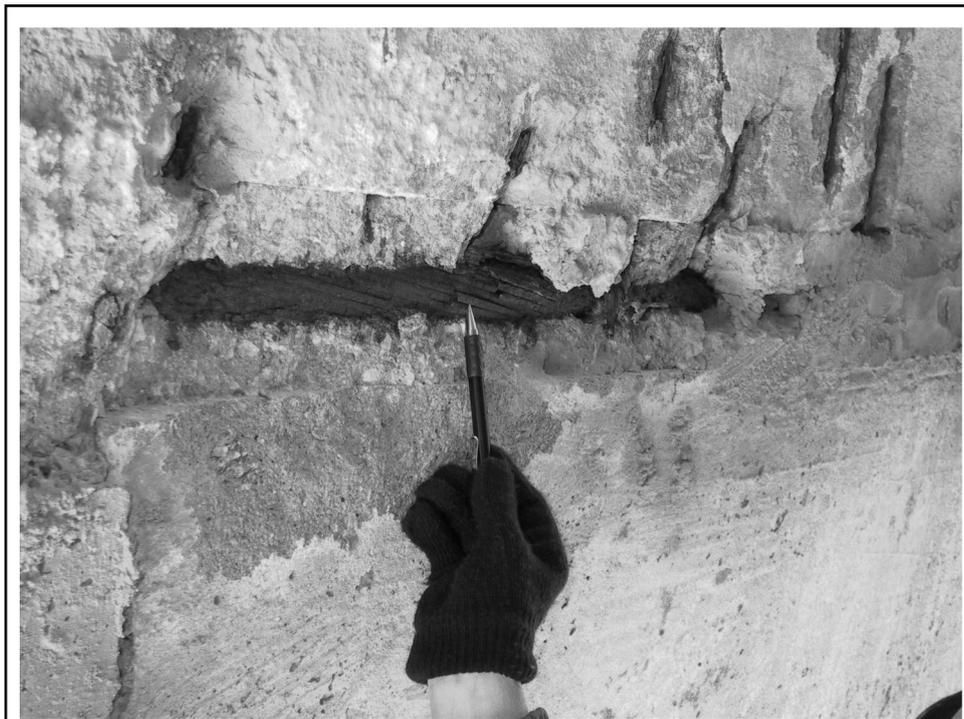
17



18



19



20

PONTE PAULO GUERRA

concreto armado

corrosão armaduras

reação álcali-agregado

Inspeção impede colapso

21



22



23

Ponte Paulo Guerra

Recife PE → 2002

inaugurada 1980 22 anos

blocos de fundação $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

Tabuleiro de concreto armado

$f_{ck} = 22 \text{ MPa}$

sobre rio, junto ao mar, fora de respingos

24

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

análise da água

pH = 7,5 Cl⁻ = 14.000 mg/L

Mg⁺⁺ = 900 mg/L SO₄⁺⁺ = 1.900 mg/L

SO₄⁺⁺ no concreto = 0,35% a 0,62%

SO₄⁺⁺ max concreto = 0,59% p/ 3% gesso

25

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

→Cobrimento μ 16mm σ 2,5mm

→carbonatação < 12mm

→E_{corr} 10 to - 450 mV

→i_{corr} 0,07 to 0,31 μA/cm²

→ ultra som 1600 to 3800 m/s

26

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

- testemunhos $\mu = 28 \text{ MPa}$
- módulo de elasticidade 5 to 30 GPa
- análise petrográfica
“evidência de reação alcali-agregado;
nenhuma evidência de etringita
secundária”

27



28



29



30



31



32



33

Ponte Paulo Guerra

Solução:

- para corrosão → classico**
- para os blocos de fundação com reação alcali-agregado em estado avançado:**
“novas fundações, novos blocos, manter tabuleiro”

34

 **Ponte Paulo Guerra**
alternativas

- demolir?**
- construir outra?**
- sais de Lítio?**
- confinar?**

35

 **Ponte Paulo Guerra**

**basta confinar os
blocos com uma
resistência de
compressão de:**

> 4 MPa ?

36

PONTE DOS REMÉDIOS

São Paulo, 1997

Lauda 6 meses antes

36 anos

$f_{ck} = 21 \text{ MPa}$

Custo = 3 vezes uma ponte nova

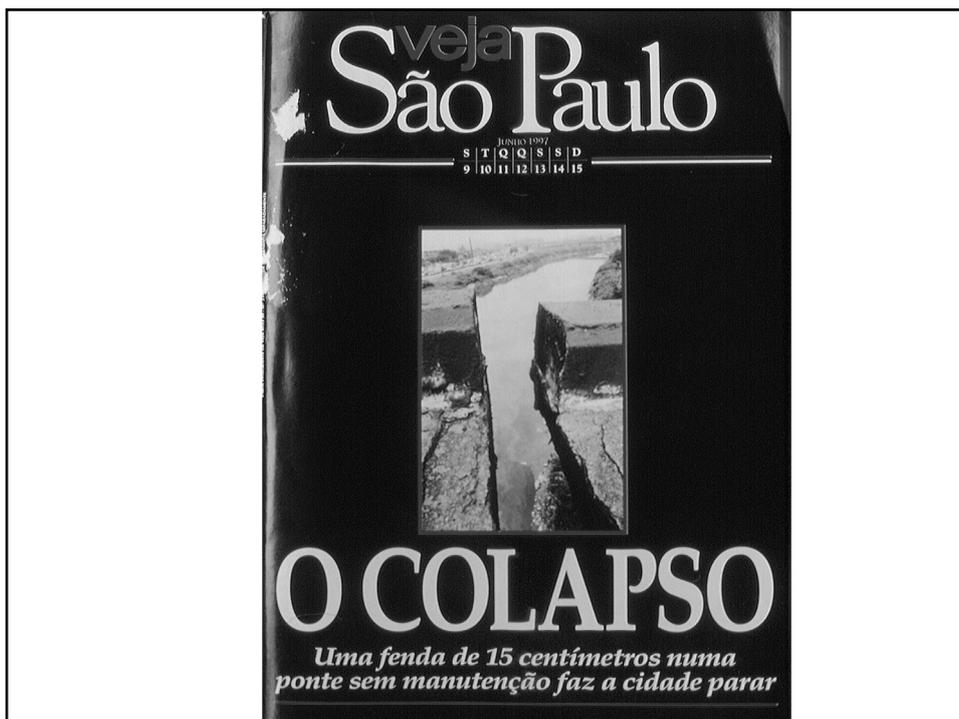
37



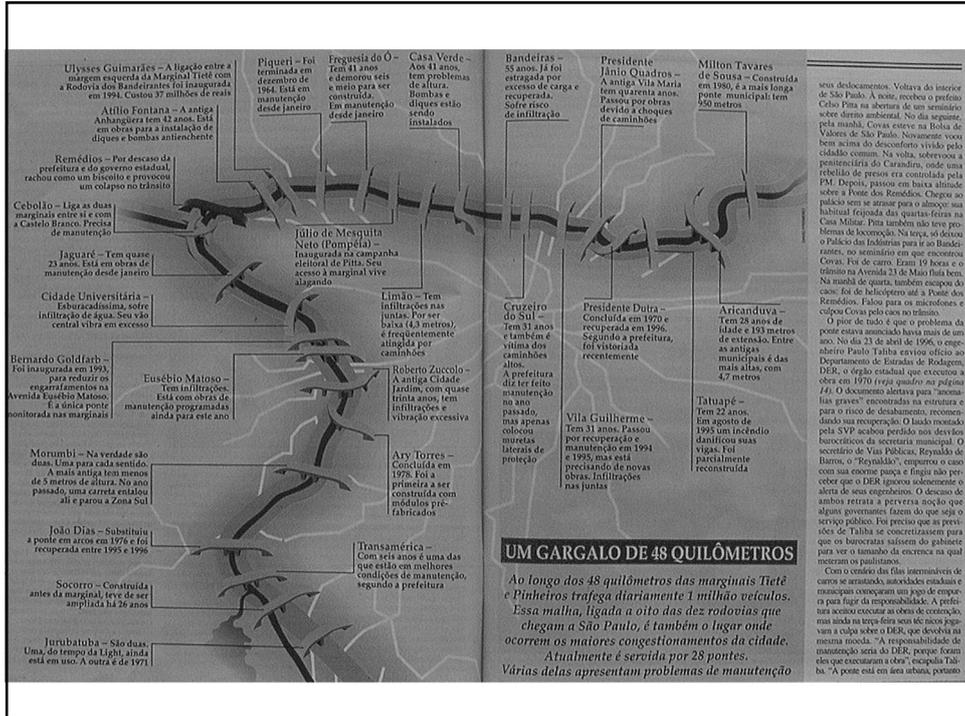
38



39



40



41



42



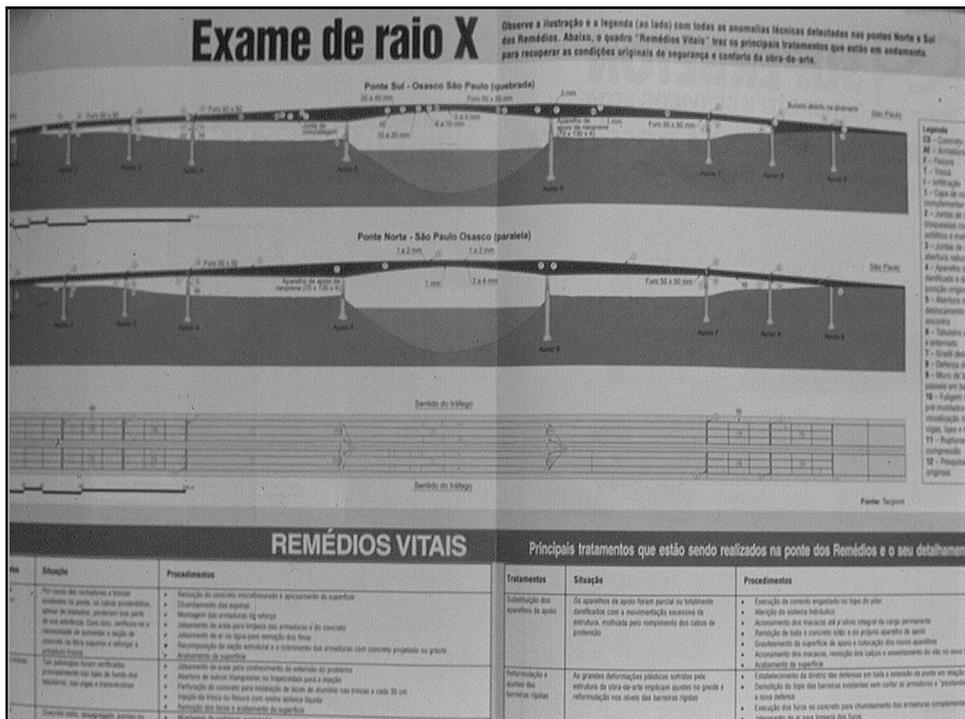
43



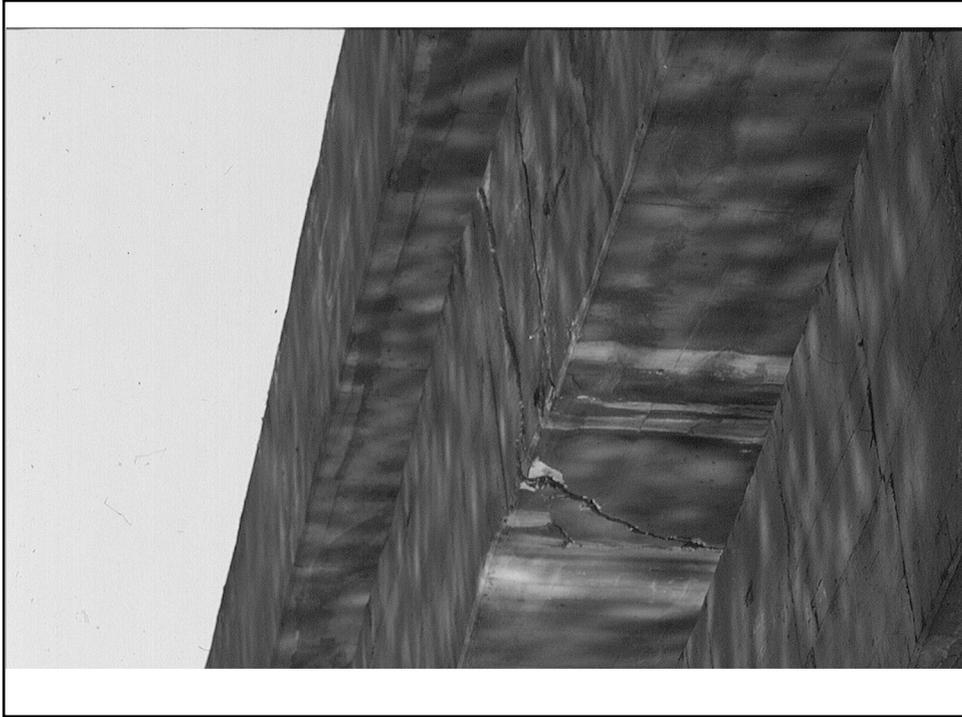
44



45



46



47



48



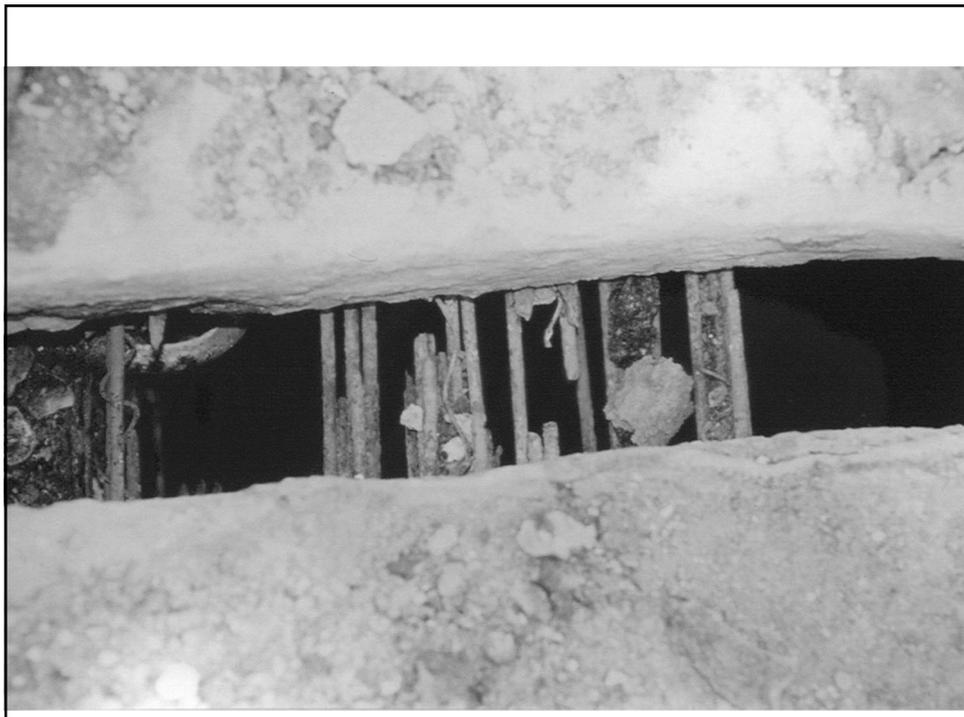
49



50



51



52



53

VIADUTO RODOVIÁRIO

Curitiba, 1980

**Concreto armado
Obra em construção**

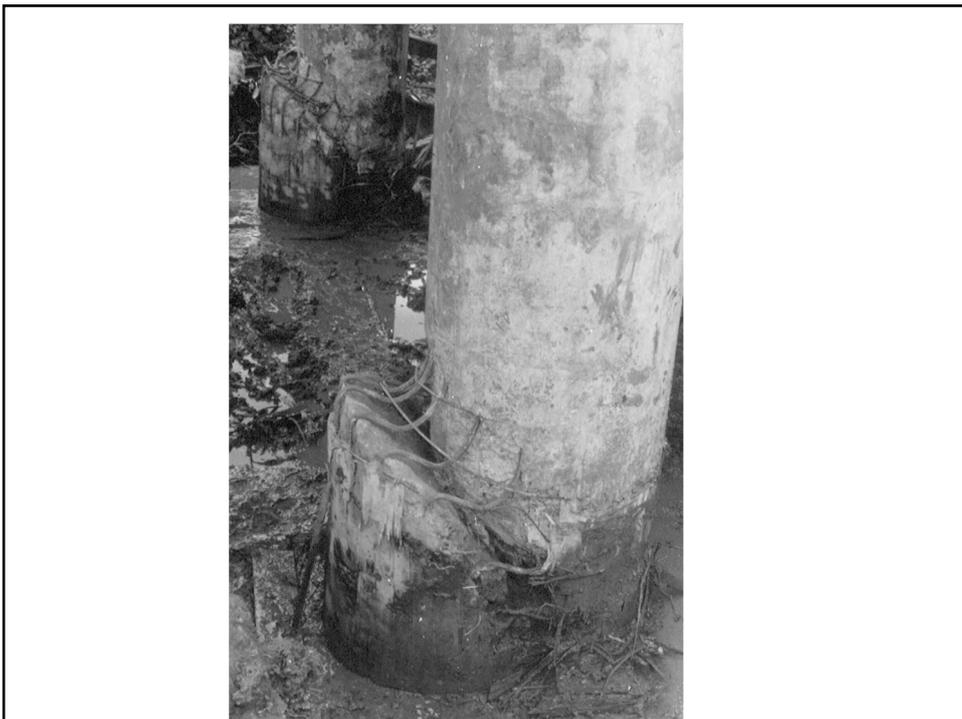
$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$

Custo = 1,5 vezes uma ponte nova

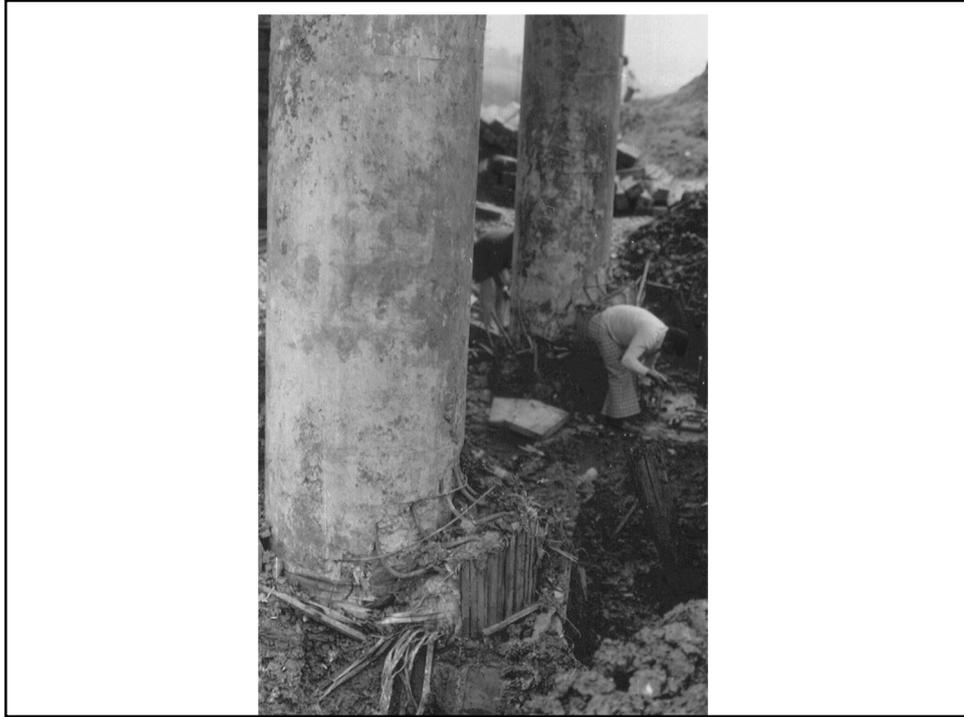
54



55



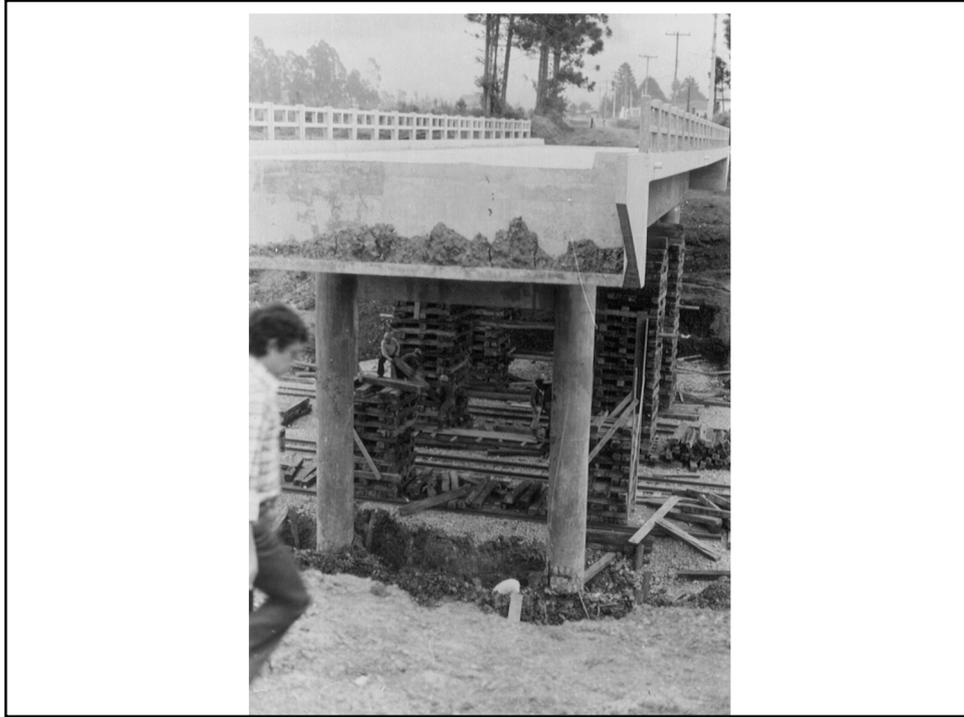
56



57



58



59

Conselhos:

- 1. É melhor aprender com os erros dos outros;**
- 2. Sem conhecimento não há evolução;**
- 3. Desenvolva o prazer por aprender;**
- 4. Pense holísticamente.**

60

IBRACON

Estructuras Metálicas

61



As colunas não suportaram o peso e a esfera nem estava cheia (75%). Uma vítima fatal.

Após o acidente, foram realizadas inspeções com medições de espessuras que indicaram valores alarmantes, com reduções de espessuras de 5 a 8mm. Também foram encontrados buracos de corrosão com até 10cm².

62

Diagnóstico:

- Severa corrosão nas colunas de suporte devido à infiltração de água internamente à proteção contra fogo “Fire Proofing”;
- Os defletores de água, instalados no topo das colunas foram mal projetados, permitindo a infiltração de água;
- As inspeções anteriores, de manutenção preventiva, não identificaram o problema que indicassem a proximidade do colapso.

63

....a maior e principal causa gerencial que, efetivamente desencadeou esse acidente, foi

uma péssima manutenção preventiva.

64

Recomendações

Nas contratações dos serviços de inspeção e manutenção preventiva é de suma importância pesquisar sobre a competência da contratada para realização das inspeções, ensaios, análises e intervenções preventivas ou corretivas.

SHELL International, 2001

65

IBRACON

Edificações

66



Daniel G. López

El derrumbe del edificio de Gaztambide causó una víctima mortal

67

MARTES 13 de Marzo de 2001 ABC Madrid

En los últimos 26 años han fallecido 33 personas a consecuencia de derrumbes de inmuebles, cornisas, marquesinas y muros en Madrid.

El pasado 7 de marzo, un ingeniero moría al derrumbar-se un edificio de cuatro plantas en la confluencia de Gaztambide con Alberto Aquilera, en pleno centro de la capital y una docena de personas resultaron heridas.

68

El 22 de enero de 1999 murió una joven de 18 años al caer sobre el coche en el que viajaba un trozo de la cornisa del teatro Calderón de Madrid.

El 27 de enero de 1993, murieron 6 personas al desplomarse la marquesina del cine Bilbao, situado en la calle Fuencarral, cuando hacían cola para comprar entradas.

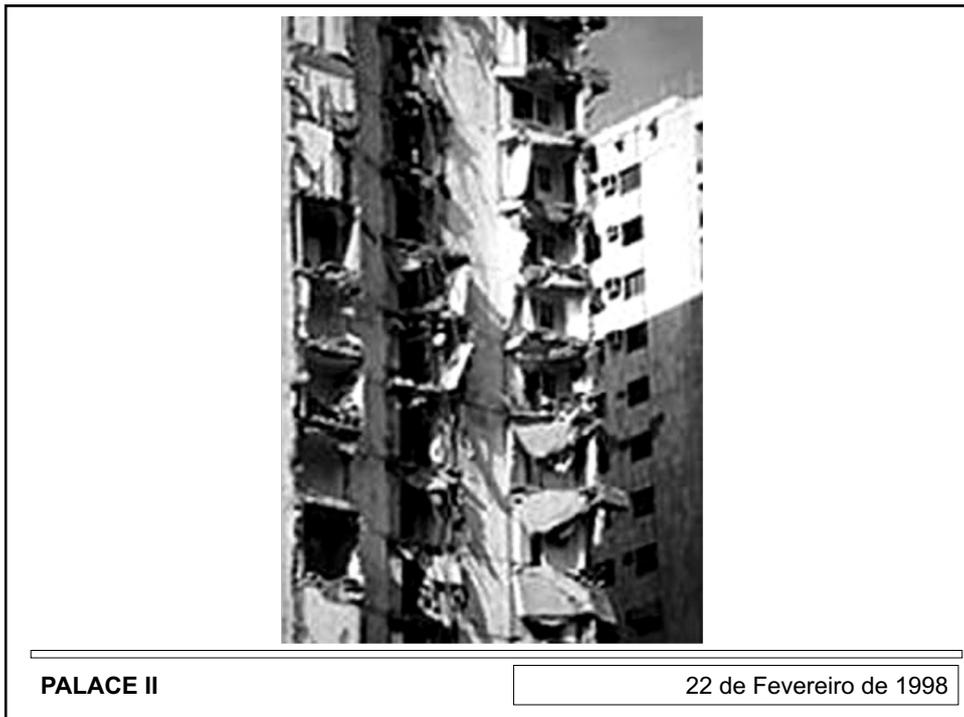
69

***Edifício Palace II
Rio de Janeiro
Carnaval de 1998
terça-feira à tarde
5anos***

70



71



PALACE II

22 de Fevereiro de 1998

72



PALACE II

22 de Fevereiro de 1998





75



76



num segundo, diz moradora

Sequência de fotos da implosão do edifício 7, que começou às 10h32 e levou cerca de cinco segundos, deixando uma pilha de entulhos da altura de um prédio de três andares, na Barra da Tijuca, no Rio. O bloco a serem demolidos demorou cerca de oito minutos para se dissipar.



Quinze anos num segundo, diz moradora

Vizinhos dormem e perdem hora

Comissão quer cassação de Naya

FOLHA DE SÃO PAULO

Vazamento atrasa liberação

Como foi a implosão





DESABAMENTO 4 Sersan é intimada a consertar prédio em 2 meses; para técnicos, problemas não foram provocados pela explosão

Laudo aponta problemas também no Palace 1

Os problemas encontrados no Palace 1

- 1. Falhas em elementos estruturais nos pilares, nos vigas e pilares
- 2. Injeções metálicas expostas e em andamento estado de corrosão
- 3. Informações necessárias nas lajes do piso do pavimento térreo
- 4. Tranchas generalizadas decorrentes de infiltrações
- 5. Instalações prediais elétrica e hidráulica em estado precário de utilização
- 6. Desaparelhamento do revestimento externo em vários pontos das fachadas
- 7. Desaparelhamento do piso do pavimento térreo

O que a Sersan foi intimada a fazer

- monitoramento da edificação com equipamentos
- apresentação do relatório de análise de materiais, especialmente sobre a capacidade do concreto e sua composição química
- apresentação do projeto de reforço estrutural, com metodologia a ser aprovada pela Secretaria Municipal de Obras (prazo de 15 dias)
- execução do reforço estrutural (60 dias) e elaboração de parecer técnico conclusivo sobre as condições de segurança (30 dias)
- retirada e reconstrução do revestimento e do pavimento danificado, o serviço deverá ser executado com agulhas para proteção aos transeuntes (60 dias)
- reparação das instalações elétrica e hidráulica (60 dias)

FERNANDA DA ESCÓSSIA
de Sucursal do Rio

Um laudo técnico divulgado ontem pela Secretaria Municipal de Urbanismo do Rio aponta problemas na estrutura do Palace 1 — como trincas nos pilares — e intimou a construtora Sersan a consertar o prédio num prazo de dois meses. Segundo o laudo, o Palace 1 — vizinho ao Palace 2, que desabou no Carnaval e foi implodido no último sábado — está com trincas nas vigas do subsolo, armações metálicas em adiantado estado de corrosão, deformações na laje do térreo, infiltrações, instalações hidráulicas e elétricas em estado precário e desprestígio dos revestimentos da fachada e do piso.

Para os engenheiros que visitaram o prédio, os problemas não estruturais e não foram provocados pela explosão do Palace 2. O laudo afirma que o projeto de construção do Palace 1 é igual ao do prédio implodido, o que caracte-

teriza uma situação de risco para a segurança de moradores.

“Chegamos à conclusão de que tem que ser feita uma obra rápida, para que não aconteça o colapso que aconteceu com o Palace 2”, disse Marcel Iglicky, diretor do departamento de Vistoria da Secretaria de Urbanismo. Segundo ele, o Palace 1 apresenta hoje situação estável. Iglicky foi evasivo ao ser questionado sobre as possibilidades de um desabamento do prédio.

“A partir do momento em que mantemos a interdição e elaboramos um laudo, é porque a gente tem certeza de que tem condições de recuperá-lo. Não cogitamos perder mais um prédio, mas não temos bola de cristal para saber.”

A estrutura do Palace 1 está sendo monitorada por técnicos com equipamentos especializados. O prédio, interditado desde o desabamento do Palace 2, permanecerá fechado por medida de segurança, até que as obras de reforço estrutural sejam feitas.

A construtora Sersan deverá também apresentar um relatório com análise de materiais e reforçar as instalações hidráulicas e elétricas. A intimação foi enviada no escritório da construtora.

Se não começar a cumprir em 24 horas as determinações da prefeitura, a Sersan poderá ser multada em até R\$ 240.000. A multa é dobrada a cada dia de atraso.

A assessoria do prefeito Lúcia Paulo Gonde (PFL) informou que, caso a Sersan não obedeça às determinações, a prefeitura pagará as despesas da obra e cobrará judicialmente da construtora.

O laudo divulgado ontem é apenas preliminar e não se refere a problemas referentes ao solo nem a materiais utilizados na construção. Uma empresa especializada foi contratada pela prefeitura para avaliar a composição do concreto e de outros materiais. Não há previsão para a divulgação dos laudos dos materiais e das causas do desabamento do Palace 2.

81



PALACE 1

82



83

***Edifício Areia Branca
Recife, Pernambuco
14 de outubro de 2004
quinta-feira às 20:30h
1977 → 1979
25 anos
12 andares + térreo + 1 garagem***

86



EDIFÍCIO AREIA BRANCA - Pernambuco

87



88



Escombros - manhã seguinte do desabamento

89



90



91



92



93



94

Cronologia:

10 → domingo → estrondo;

12 → terça → síndico ao estacionar observa alagamento e fissuras na parede da cisterna

13 → quarta → calculista inspeciona: fissuras vigas, esmagamento alvenaria. Recomenda reforçar

13/14 → quarta/quinta → muitos ruídos de rupturas metálicas não deixam moradores dormir

14 → quinta 1:30h da madrugada → Síndico registra ocorrência e chama defesa civil

14 → quinta 2:40h → Defesa civil inspeciona e não encontra evidências.

95



Vista geral do subsolo

96



Trinca na viga do teto do subsolo junto ao res. inferior

97



Vista geral do reservatório inferior e alagamento

98



Moradores acompanham a vistoria efetuada pela CONDECIPE

99

Cronologia:

14 → quinta 8h → Síndico e moradores decidem deixar o prédio

14 → quinta de manhã → Síndico desliga elevadores e esvazia os reservatórios de água

14 → quinta 10:20h → Defesa civil inspeciona o prédio junto com moradores. Calculista e empresa de reforço aguardam no local autorização para iniciar trabalhos

14 → quinta 15h → início dos trabalhos com escavação dos pilares centrais junto à cisterna

14 → quinta 17h → fissura aparece na viga de contorno, escavação de 1,40m mostra armaduras flambadas no pilar

14 → quinta 19h → início do reforço do pilar com cintamento e graute. Escavação do segundo pilar que estava íntegro

100

Cronologia:

14 → quinta 20:20h → segundo pilar apresenta estrondo e o concreto começa a destacar fissurar. Operários e uma moradora que acompanhava os trabalhos correm para a rua;

14 → quinta 20:25h → uma série de estrondos precede o desabamento do edifício que dá uma “paradinha” no 6 andar, gira uns poucos graus e segue desmoronando-se;

14 → quinta 20:30h → edifício totalmente desabado, 4 vítimas e inúmeros sonhos destruídos

101

Diagnóstico:

Projeto de acordo com NB 1 / 1960

30 pilares (6 x 5)

Sapatas diretas a -1,8m

Pescoços de pilares contraventados por cinta 10cm x 40cm

$\sigma_R = 135 \text{ kgf/cm}^2 = 13,5\text{MPa}$ média = 15MPa

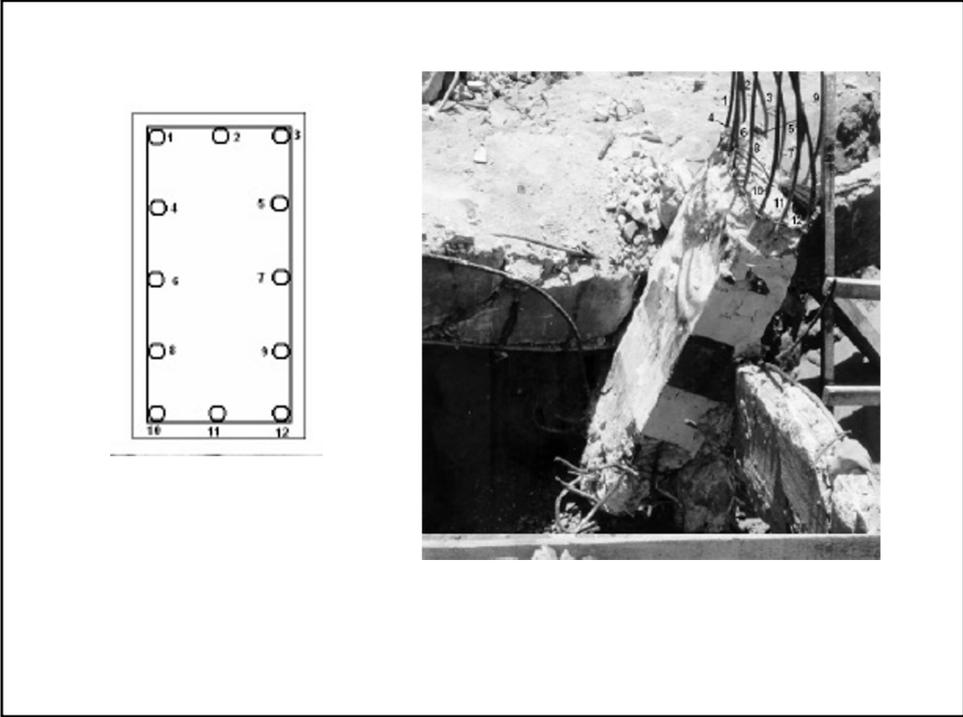
Cobrimentos de 1,5cm em pilares

Pilares 20cm x 50cm

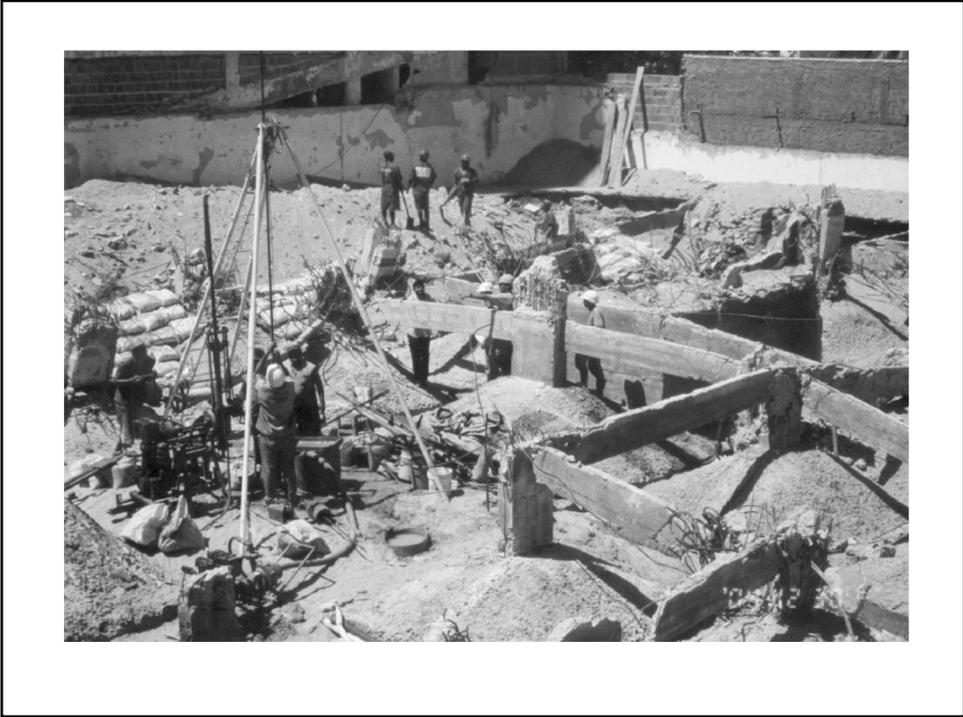
12 barras de 16mm com estribos de 4,2mm cada 15cm

Corrosão dos estribos e flambagem da armadura

102



103



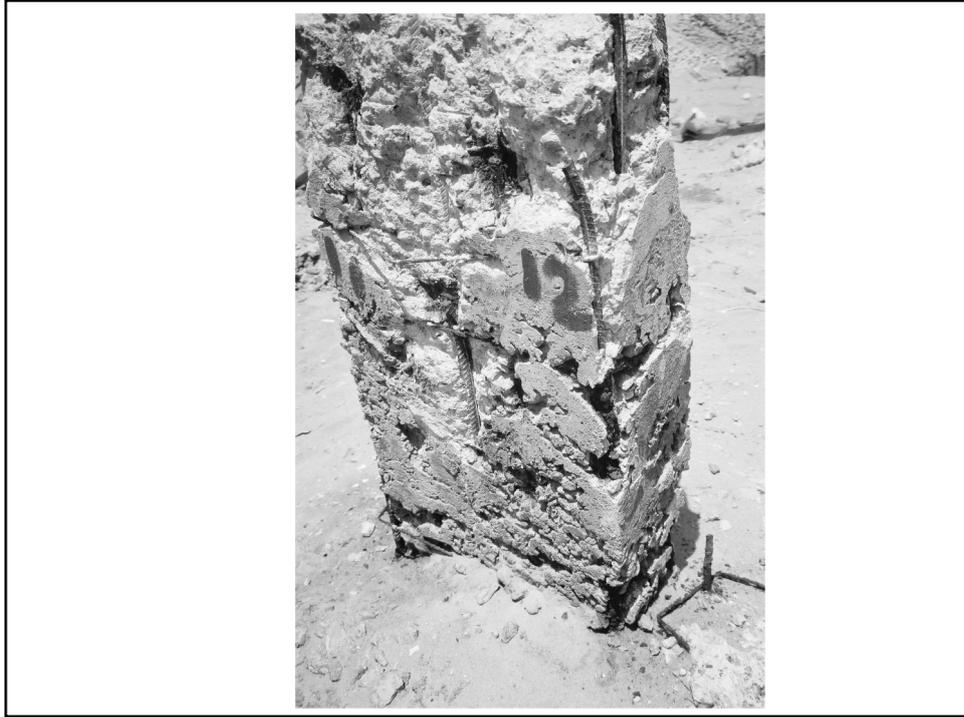
104



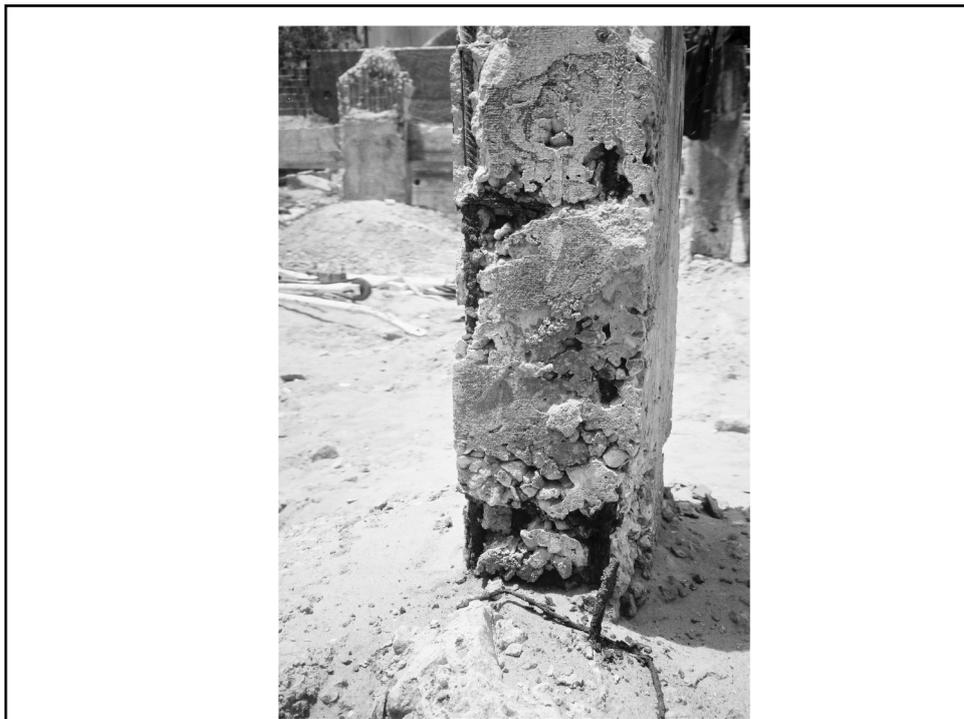
105



106



107



108



109



110



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

111



112

Lições Aprendidas:

- 1. Projetista → concepção do projeto;**
- 2. Projetista → especificar manutenção;**
- 3. Proprietário → realizar manutenção.**

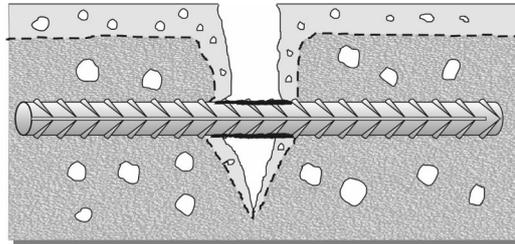
113

IBRACON

Marquises

114

FISSURAÇÃO



espessura
carbonatada
ou
com cloretos

NBR 6118 (+ 25%)

≤ 0,1 mm ou 0,2 mm agressivos
≤ 0,3 mm exteriores (rural)
≤ 0,3 mm interiores

ACI 318 → não limita!

fib (CEB-FIP) ≤ 0,4 mm tanto faz!

115

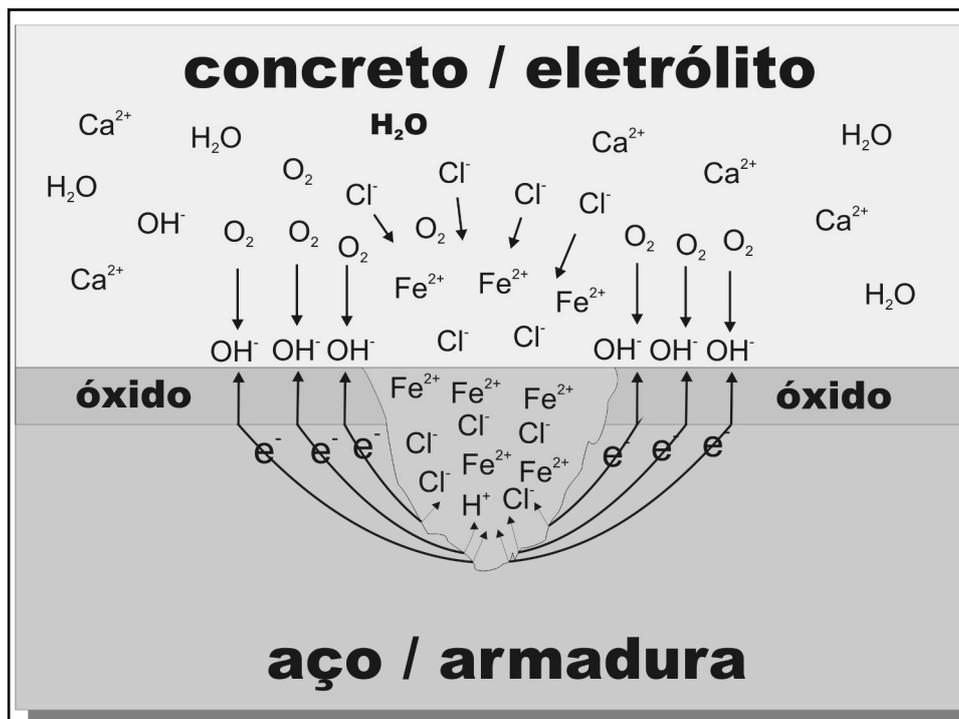
Cloretos

Carbonatação

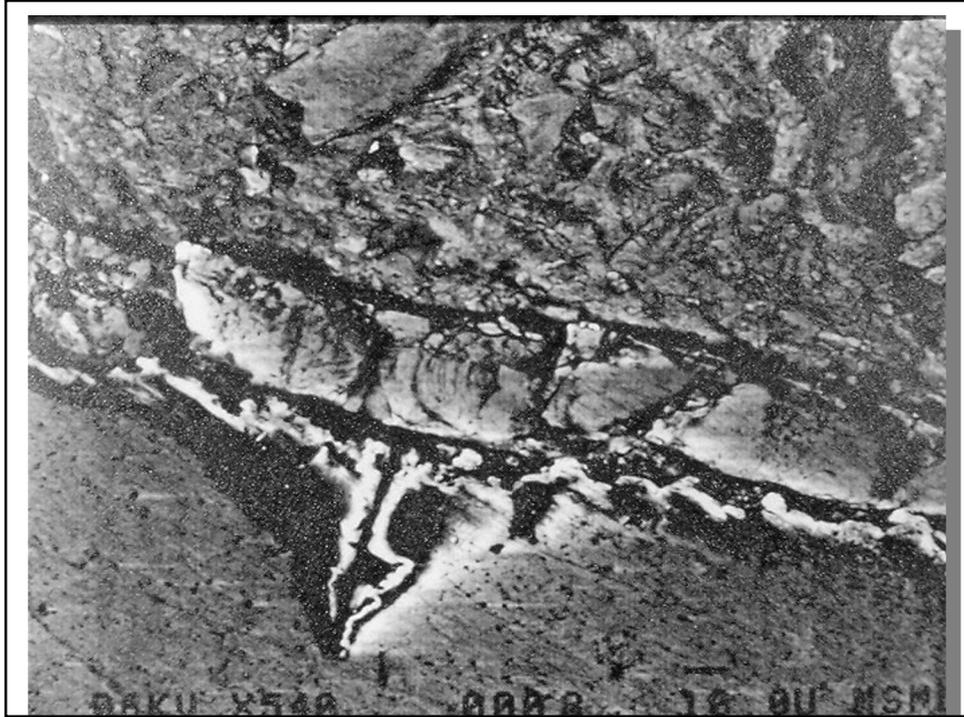
116

Cloretos

117



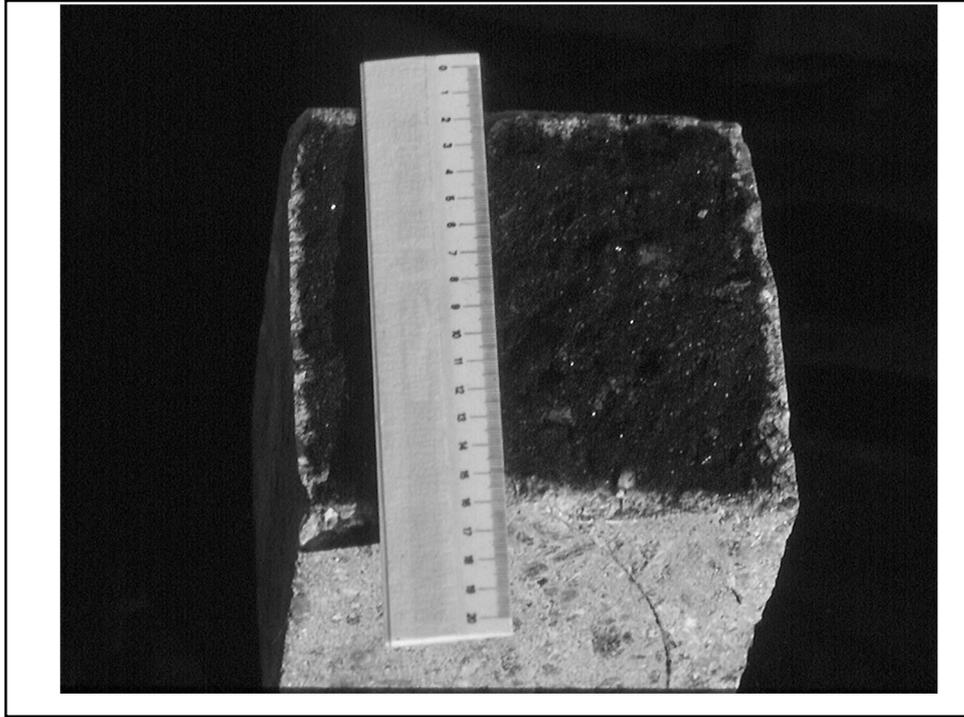
118



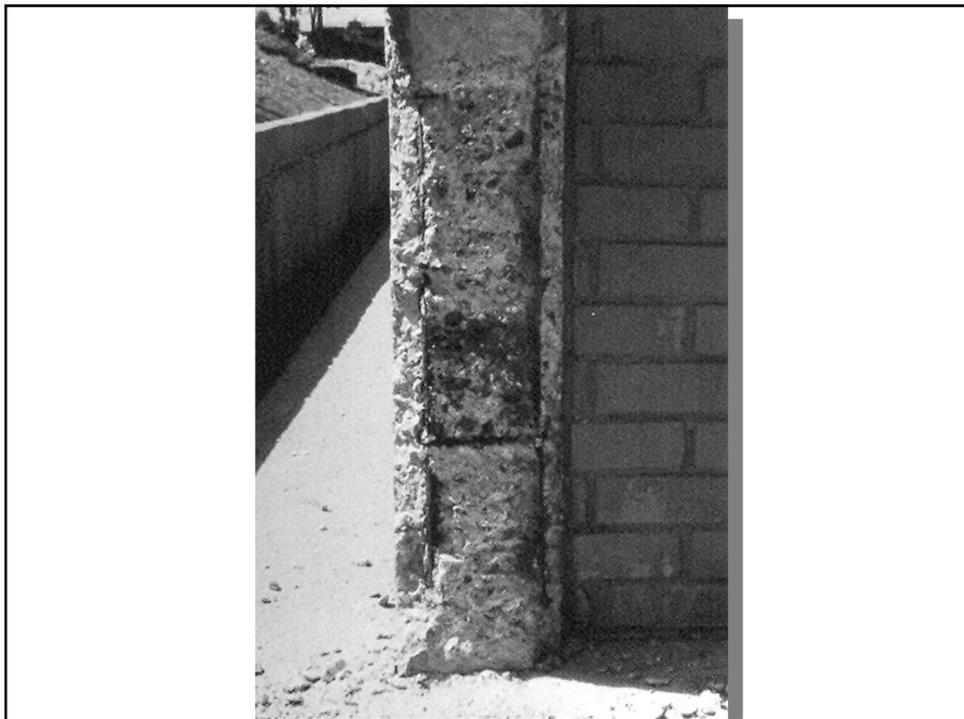
119

Carbonatação

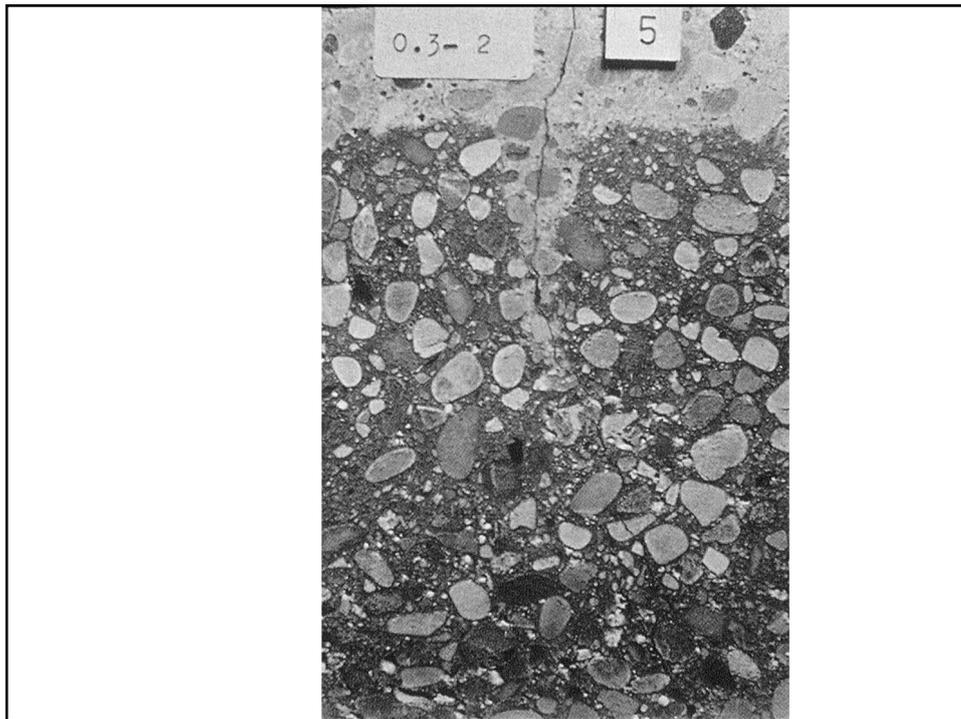
120



121



122



123

Consequências

- ***cloretos***
- ***carbonatação***

124



Corrosão localizada e intensa pois trata-se de um pequeno ânodo para fortes cátodos.

125

O processo renal e as leis de execução penal e de economia popular. Com as alterações, acaba a lei Fleury, que permitia aos réus primários responder processo em liberdade. **Página 4**

ves para os empregados do Departamento Nacional de Produção Mineral. Ontem, o presidente José Sarney resolveu conceder-lhes um reajuste salarial entre 95% e 120%. **Página 24**

obediência a nova Carta, será permitido o registro de candidaturas variadas por tribunais regionais porque a Constituição anterior fixava prazo de um ano para o domicílio eleitoral.

ceiras não precisarão cumprir o limite do tabelamento dos juros de 12% ao ano imposto pela nova Constituição. O Banco Central emitiu ontem uma circular estabelecendo que, enquanto não sair a lei reguladora do sistema financeiro, continuarão a valer as normas atuais. O esclarecimento foi feito depois que o presidente José Sarney aprovou o parecer do consultor-geral da República, com a publicação. **Página 10**

Agricultura e Saúde brigam pelos dietéticos
Os refrigerantes dietéticos são disputados por dois ministérios. O da Saúde publica hoje no Diário Oficial uma liberação para o comércio, pela Antarctica e pela Coca-Cola. O da Agricultura avisa: mandará apreendê-los. **Página 24**

Bom tempo para viajar no feriado
Quem vai passear no fim de semana pode contar com bom tempo. Os bancos fecham hoje e só reabrem terça. Os postos de gasolina estão liberados para funcionar domingo e segunda. **Página 13**

TURISMO
Boston é conhecida pela Universidade de Harvard, a mais tradicional dos Estados Unidos, e a tonalidade vermelha de seus prédios. Mas a capital de Massachusetts, na região da Nova

Marquise cai e mata nove em Porto Alegre
Nove pessoas morreram, entre as quais uma criança, dez ficaram gravemente feridas e outras 30 sofrem escoriações leves com o desabamento, ontem à tarde, da marquise da Loja Arapuá, no centro de Porto Alegre, na rua Doutor Flores. No momento do acidente, muitas crianças estavam na frente do prédio, recebendo doces de funcionários, numa promoção da loja. O estrondo provocado pela queda das lajes de concreto espalhou o pânico entre as pessoas que passavam, dificultando o trabalho do Corpo de Bombeiros de remoção das vítimas. Técnicos do Instituto de Criminalística da Polícia Civil estiveram no local, mas o resultado da perícia ainda demorará dias. **Página 14**

Ombúrio da CBTU entre Jundiaí e Paranapiacaba: o perigo, a violência e

Para PM, fogo no trem foi planejado
A Polícia Militar acredita que o incêndio do trem da CBTU na quarta-feira tenha sido uma ação premeditada, pos-

Notas e Informações
Apesar de todo o autoritarismo e de todo o temor que parecia inspirar, o governo do general Augusto Pinochet realizou um plebiscito livre e

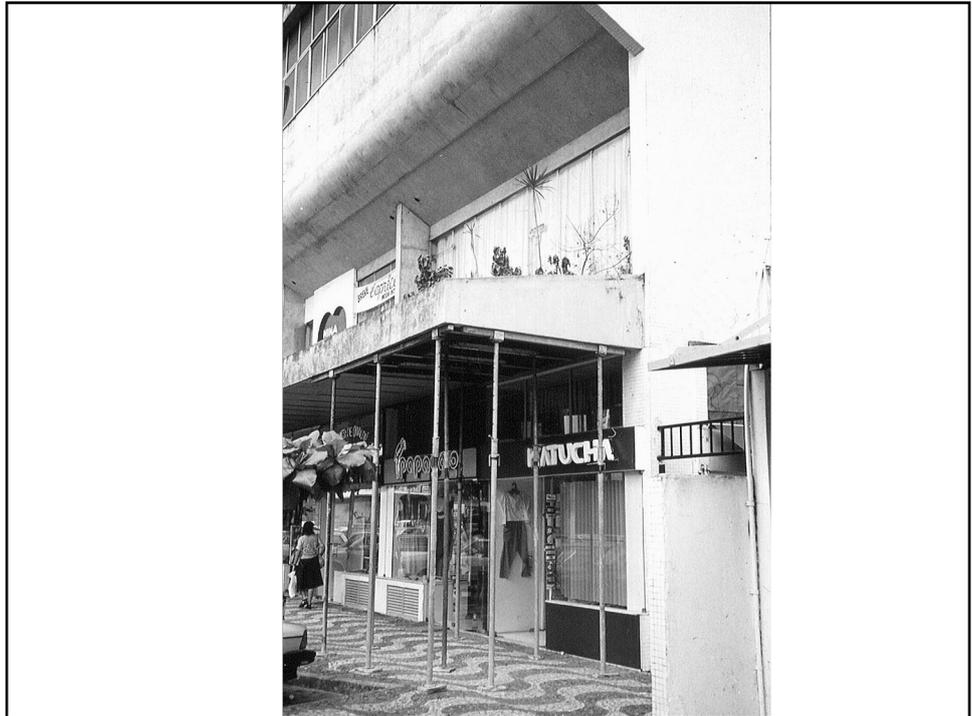
46
Mais o Supl
Cidade e Tecnol
Classificaçõe
Comportamento
Economia
Educação
Espaço
Esportes

CADERNO 2
Cícero Dias fala de pintar e viver
Aos 82 anos de idade e 60

126



127



128

Marquise Hotel Canadá
Copacabana
Rio de Janeiro
2007

129



MARQUISE DO HOTEL CANADÁ - RJ

2006

130



QUEDA DA MARQUISE DO HOTEL CANADÁ - RJ

26 de Fevereiro de 2007

131



QUEDA DA MARQUISE DO HOTEL CANADÁ - RJ

26 de Fevereiro de 2007

132

Lições Aprendidas:

- 1. Projetista → concepção do projeto;**
- 2. Projetista → especificar manutenção;**
- 3. Proprietário → realizar manutenção.**

133

IBRACON

Grandes Edifícios

134

Pavilhão de Exposições da Gameleira

Arq. Oscar Niemeyer

Belo Horizonte, MG

Obra em Construção

04 de fevereiro de 1971

64 mortos

mais de 100 feridos

135



240m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

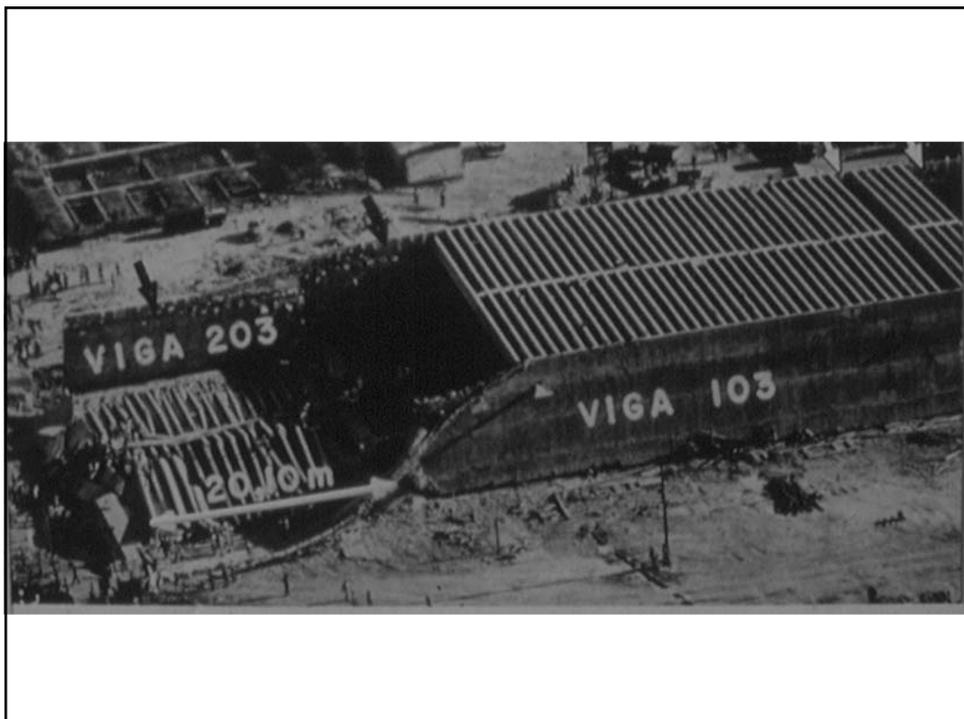
136



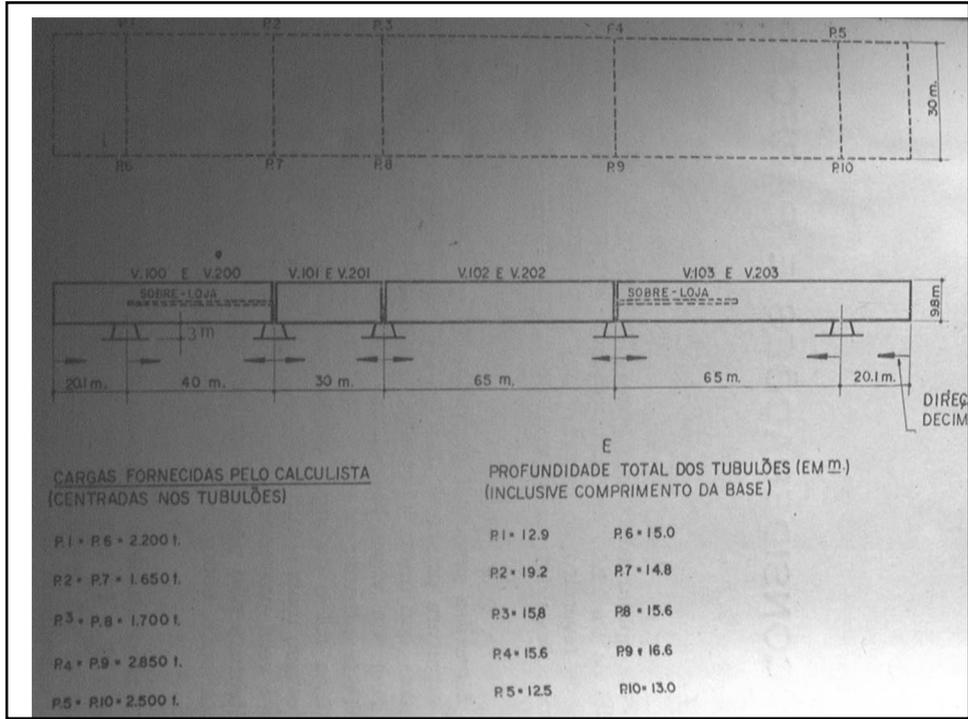
PAVILHÃO DA GAMELEIRA

4 de Fevereiro de 1971

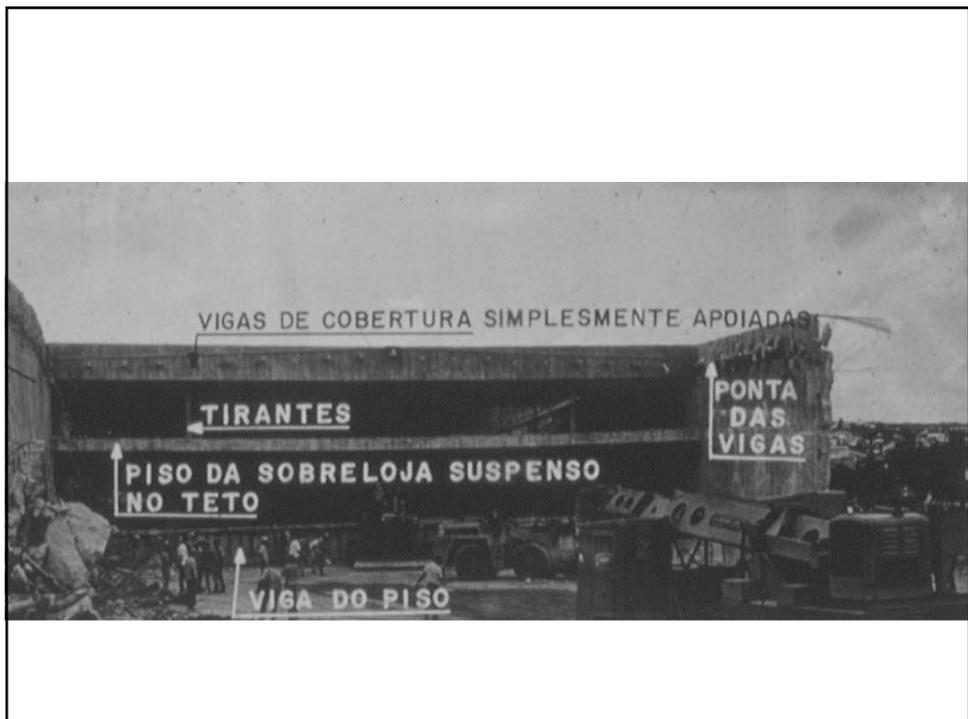
137



138



139



140

Sintomas:

1. Fissuras nas vigas, inclinadas finas e próximas dos apoios;
2. Escoramento “preso”;

Ausência plano de descimbramento

Pilares com até 2.850 tf

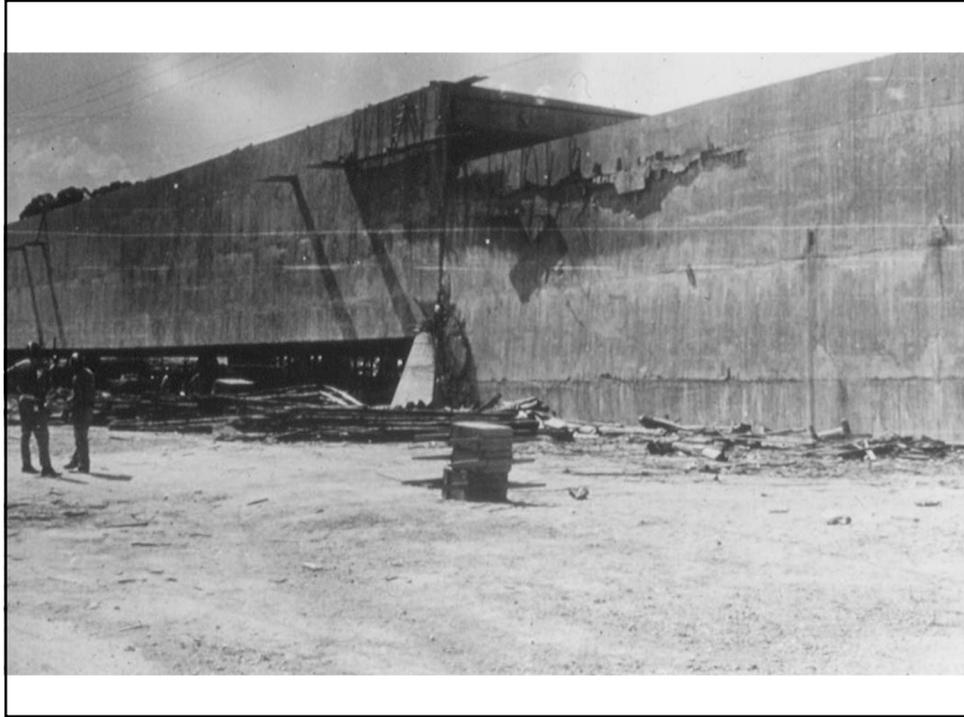
141



PAVILHÃO DA GAMELEIRA

4 de Fevereiro de 1971

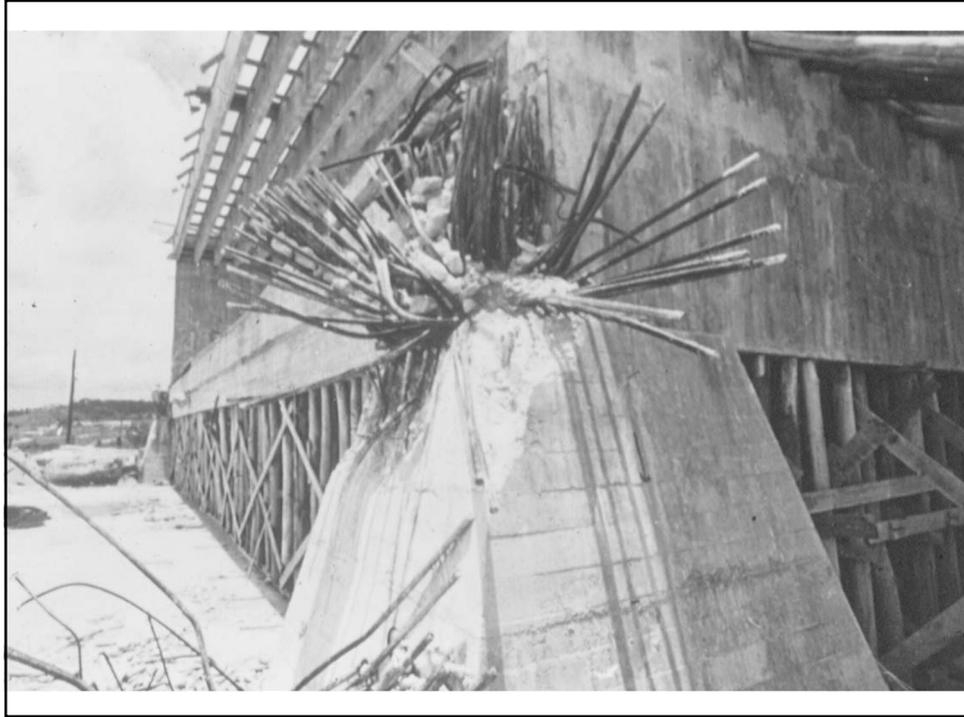
142



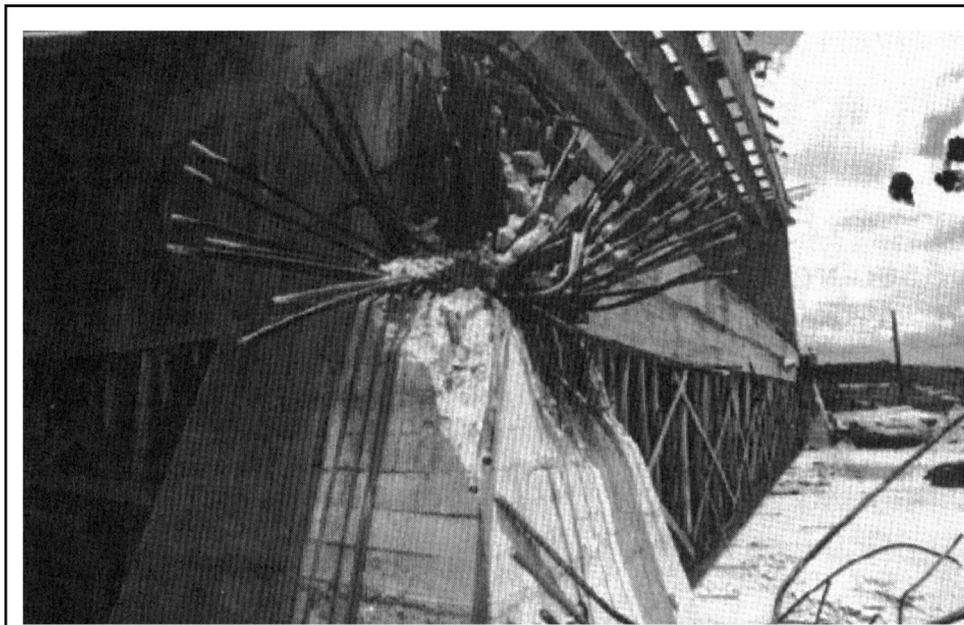
143



144



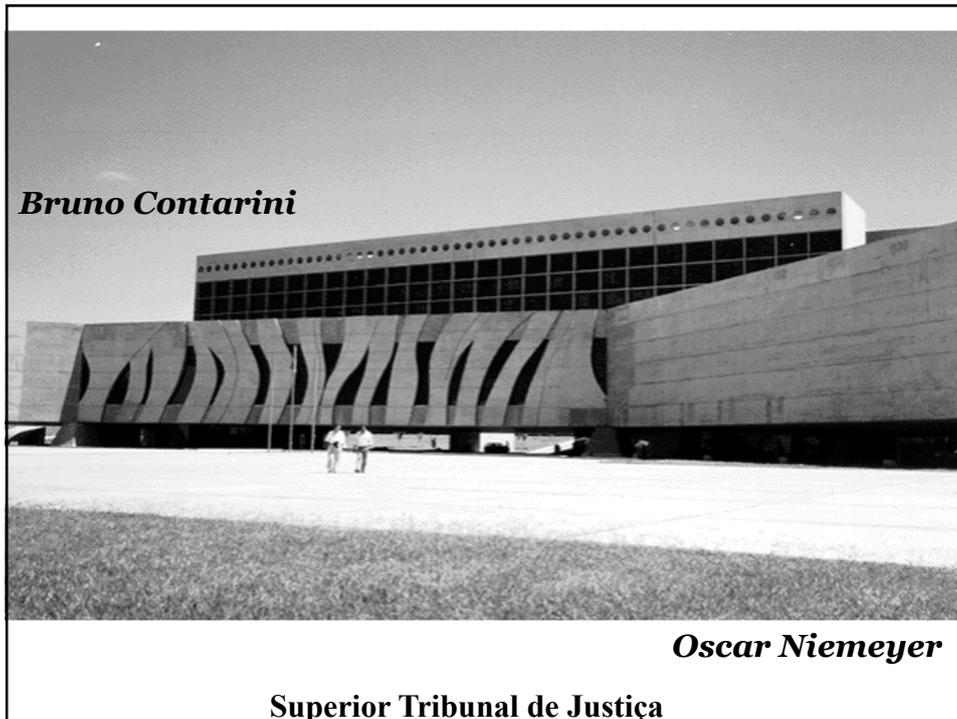
145



PAVILHÃO DA GAMELEIRA

4 de Fevereiro de 1971

146



147

Lições Aprendidas:

- 1. Projetista → concepção do projeto;**
- 2. Projetista → detalhamento da armadura;**
- 3. Projetista → plano descimbramento;**
- 4. Construtor → respeito aos sintomas;**
- 5. Construtor → Conhecer o projeto (flechas, fissuras, estabilidade geral, congestionamento das armaduras, etc.);**
- 6. Fiscalização → fissuras de cisalhamento são de pequena abertura;**

148

Lição Renovada

“O GRITO DA ESTRUTURA”

O mundo do veterinário é o de decifrar murmúrios, miados, mugidos, olhares ou uma inclinação de cabeça. É adivinhar sentimentos nos irracionais, é uma aproximação com os instintos. É identificar a origem de uma dor ou uma tristeza através da observação de uma indisposição para alimentar. É entender o porquê de uma renúncia à vida. O animal sofre, perde a alegria e tem-se que fazer algo urgente para salvá-lo.

No mundo do engenheiro também deve haver esta comunicação silenciosa. Identificar e avaliar uma patologia estrutural requer sensibilidade para o imponderável, para o imensurável. Não há números nem análise computacional que permita uma avaliação impessoal. O recado da estrutura vem através de uma fissura, um deslocamento, um desaprumo, um recalque, uma mancha, um destacamento, ou uma perda de nível.

São manifestações silenciosas. O grito por socorro de uma fissura de pilar pode ser extremamente incomodo para quem a identifica, mas pode passar despercebido para o inexperiente. Esse grito não chega a seu conhecimento, quando muito, avalia ser “um probleminha” e em muitas ocasiões providencia para que se esconda o sinal com uma massa ou pintura. Manda a estrutura calar.

149

Nos últimos quarenta anos têm-se notícias, com certa regularidade, de sinistros e catástrofes nas obras de engenharia -- O Pavilhão da Gameleira em Belo Horizonte, mais de 60 mortes. No mesmo ano de 1971 o Elevado Paulo de Frontin no Rio, mais de 20 mortes. O Edifício Palace II também no Rio e tantos outros pavilhões, igrejas, edifícios, marquizes. Ainda não saiu totalmente da mídia o mais recente, o desabamento do túnel da Estação Pinheiros do Metrô de São Paulo.

Sem exceções, todas estas obras pediram por socorro e ninguém ouviu. O pilar 5 do Pavilhão da Gameleira estava afundando. O grito por socorro do pilar não foi suficiente para paralisar a obra. Havia um cronograma a ser cumprido. O Palace II no Rio por mais de dois anos gritou por socorro. Os responsáveis, construtora e síndicos do condomínio, optaram por aplicar um analgésico. Algum técnico se dispôs a aplicar uma “massinha” barata onde saia fragmentos de um dos pilares. Por dias, até semanas, o túnel do Metrô de São Paulo clamou por socorro. Fissurou o solo no entorno, incomodou a vizinhança, fissurou casas, aumentou as infiltrações, por fim, fissurou o concreto projetado do túnel e mesmo assim só desabou no dia seguinte.

150

Há uma máxima jurídica que diz “a ninguém é dado o direito de desconhecer a lei”. Será que o engenheiro pode, por desinformação ou falta de experiência, ignorar o grito da estrutura?

Carlos Campos

Carlos Campos Consultoria e Construções

Obs.: Carlos de Oliveira Campos é geólogo, sócio atuante e pró-ativo do IBRACON, categoria diamante, e já exerceu a Diretoria Regional do IBRACON em Goiânia.