

**IBRACON**

# **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”.*

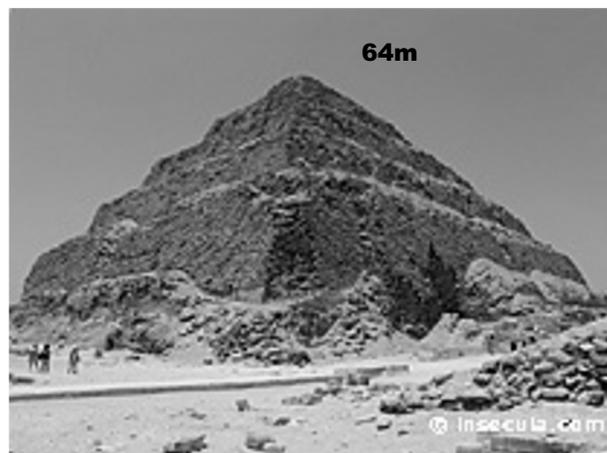
2

## Materiais Estruturais

Madeira	→	?
Argila	→	?
Cerâmica	→	?
Rocha	→	2.790 a.C.
Concreto simples	→	114 d.C.
Aço	→	1.750 d.C.
Concreto Armado	→	1.892 d.C.
Concreto Protendido	→	1.928 d.C.

3

Político, alquimista, primeiro  
Arquiteto → Imhotep



**Pirâmide escalonada de Djeser**

4



5



6

# Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

7

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.  
Coalbrookdale Bridge in Telford, Inglaterra  
*still in use today carrying occasional light transport and pedestrians*



8

**1892**

**APARECE UM  
NOVO MATERIAL**

***Concreto Armado***  
***François Hennebique***  
***patente suiça***

9



10



**Systeme  
Hennebique**  
*Paris, Rue Danton1*

**7 andares**  
**França 1901**  
**Altura 30 m**

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

11



**Palacio Salvo**  
**Montevideo**

**27 andares**  
**Uruguai 1925**  
**Altura 103 m**

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

12



*Edifício  
Martinelli*

*1929*

*106m*

*record  
mundial*

13

**Século XX**  
**1.928**

**“novo material estrutural”**

***Concreto  
Protendido***

Eugene Freyssinet

14



15



16



17

## **Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto**

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

18

**IBRACON**

# **Acidentes. PONTES**

19

## **PONTE PAULO GUERRA**

**concreto armado**

**corrosão armaduras**

**reação álcali-agregado**

***Inspeção impede colapso***

20



21



22

## **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**

23

## **Ponte Paulo Guerra**

**Diagnóstico:**

**análise da água**

**pH = 7,5       $\text{Cl}^- = 14.000 \text{ mg/L}$**

**$\text{Mg}^{++} = 900 \text{ mg/L}$        $\text{SO}_4^{++} = 1.900 \text{ mg/L}$**

**$\text{SO}_4^{++}$  no concreto = 0,35% a 0,62%**

**$\text{SO}_4^{++}$  max concreto = 0,59% p/ 3% gesso**

24

## Ponte Paulo Guerra

### Diagnóstico:

- **Cobrimento**                       $\mu$  16mm     $\sigma$  2,5mm
- **carbonatação**                       $< 12\text{mm}$
- **$E_{\text{corr}}$**                               **10 to - 450 mV**
- **$i_{\text{corr}}$**                               **0,07 to 0,31  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$**
- **ultra som**                              **1600 to 3800 m/s**

25

## 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”**

26



27



28



29



30



31



32

## **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”**

33

## **Ponte Paulo Guerra**

### **alternativas**

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

34

## **Ponte Paulo Guerra**

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

**> 4 MPa ?**

35

## **PONTE DOS REMÉDIOS**

**São Paulo, 1997**

**Parecer 6 meses antes**

**36 anos**

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

**Custo = 3 vezes uma ponte nova**

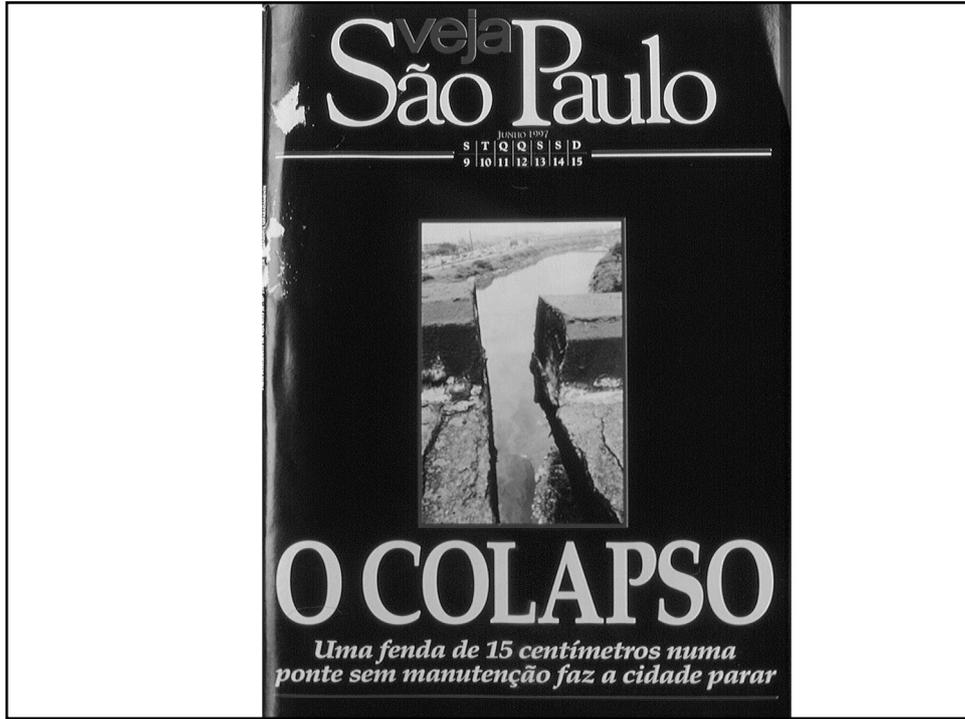
36



37



38



39



40



41



42



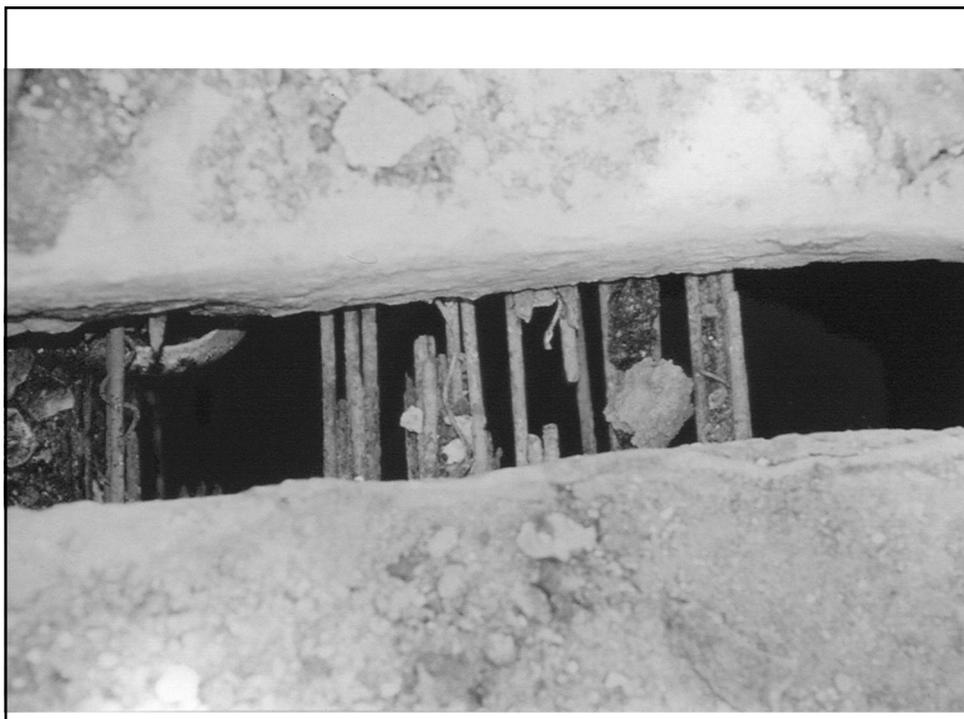
43



44



45



46



47

## VIADUTO RODOVIÁRIO

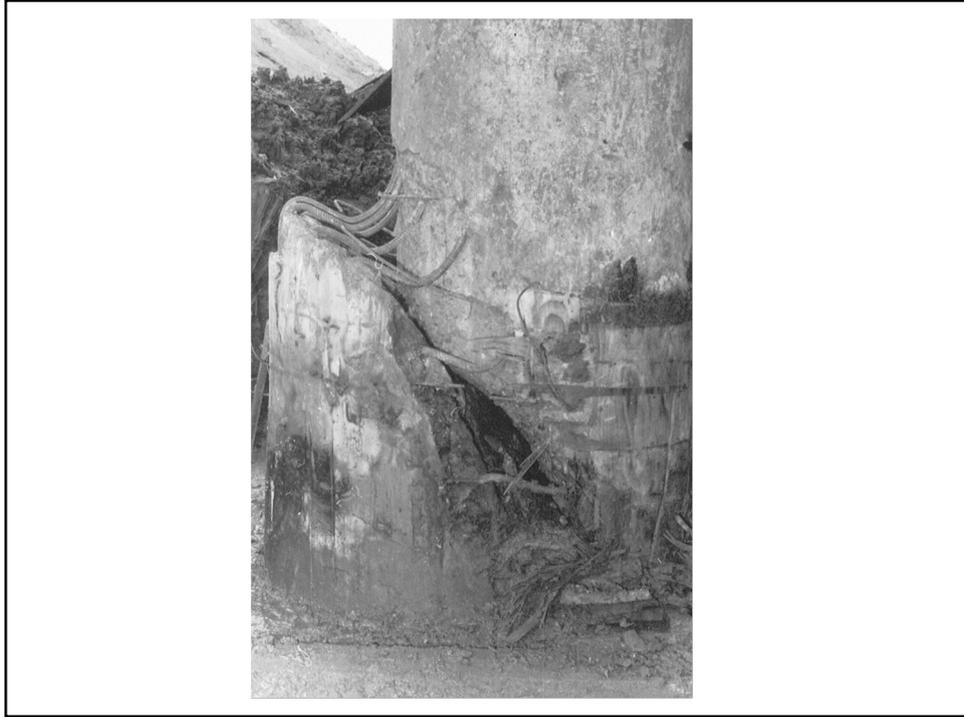
**Curitiba, 1980**

**Concreto armado  
Obra em construção**

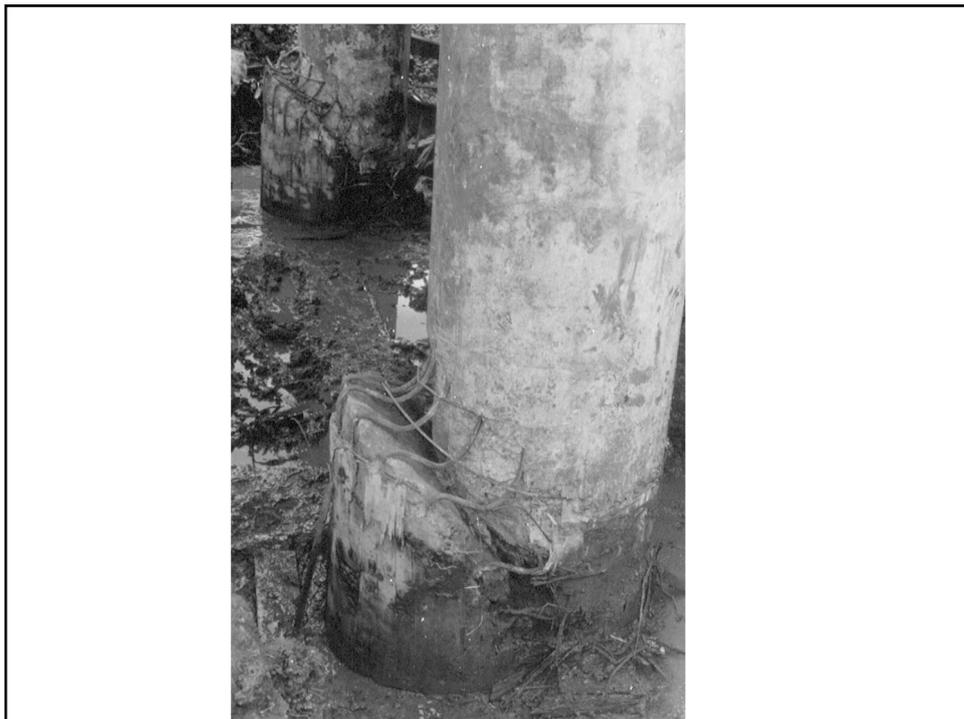
**$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$**

**Custo = 1,5 vezes uma ponte nova**

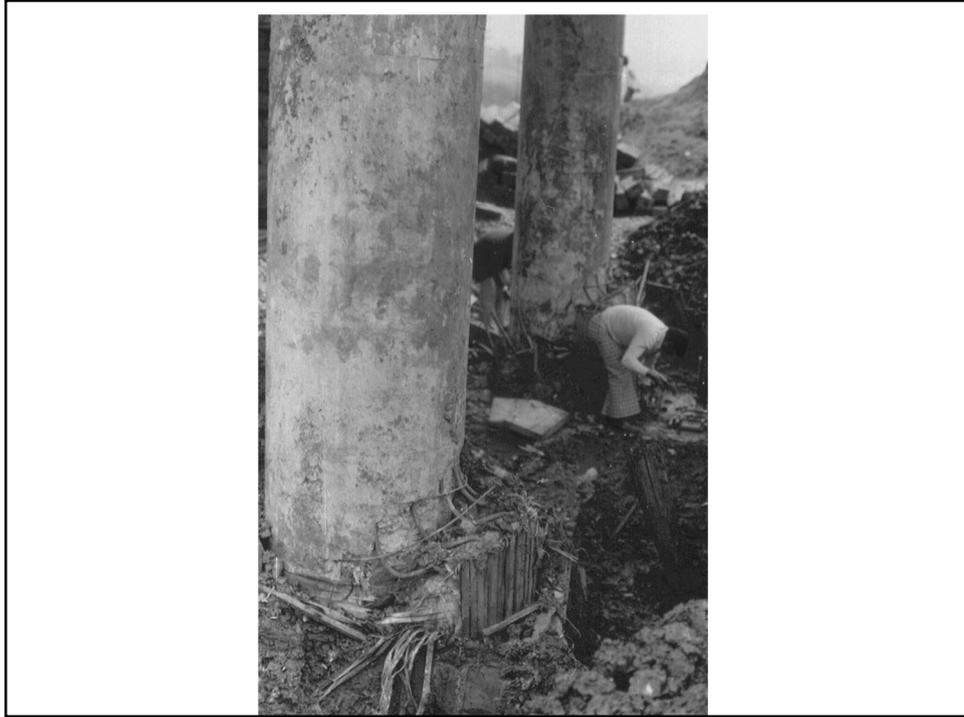
48



49



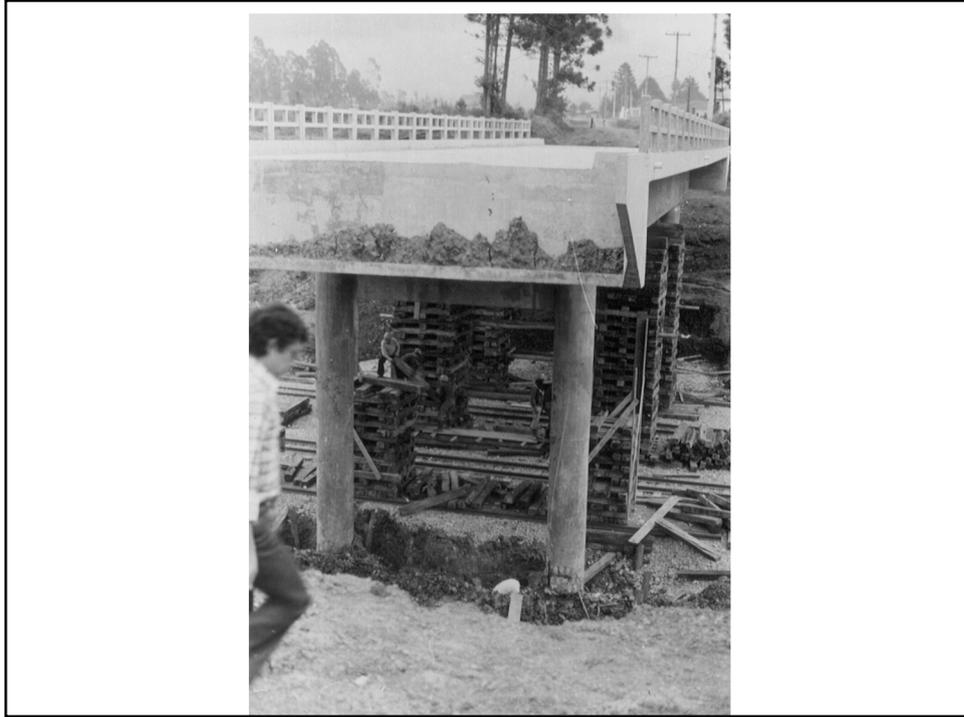
50



51



52



53

## **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.**

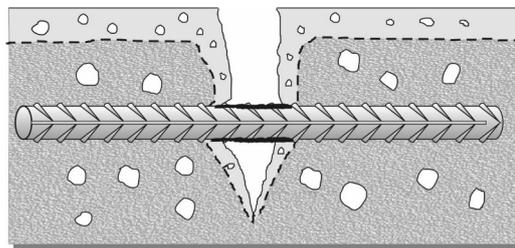
54

**IBRACON**

# Marquises

55

## FISSURAÇÃO



espessura  
carbonatada  
ou  
com cloretos

**NBR 6118 (+ 25%)**

$\leq 0,1 \text{ mm}$  ou  $0,2 \text{ mm}$     agressivos  
 $\leq 0,3 \text{ mm}$                     exteriores (rural)  
 $\leq 0,3 \text{ mm}$                     interiores

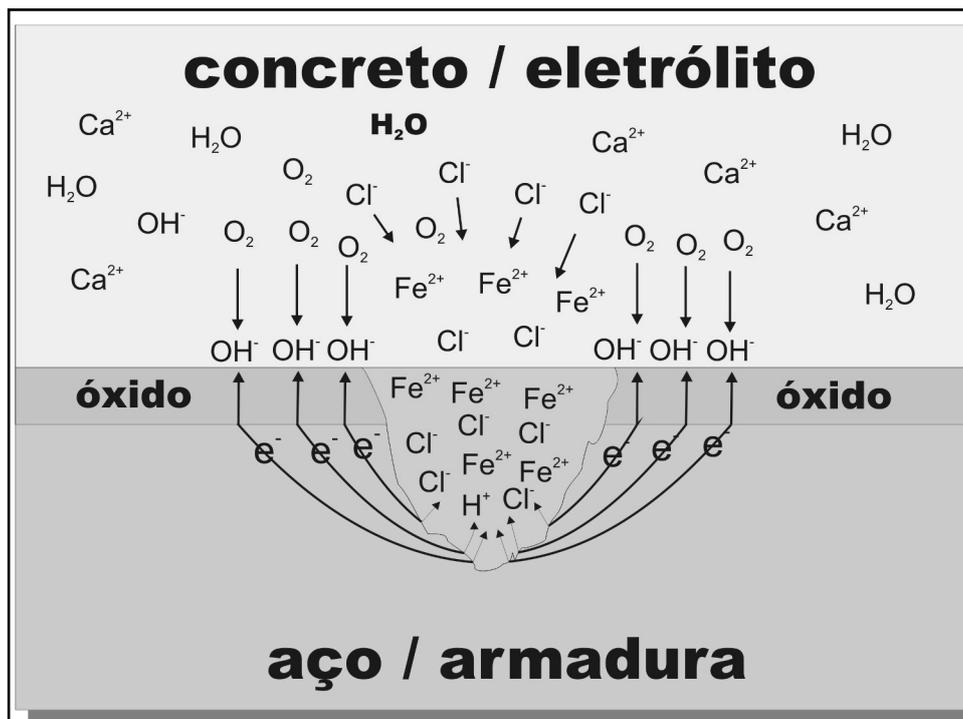
ACI 318  $\rightarrow$  não limita!

**fib (CEB-FIP)**  $\leq 0,4 \text{ mm}$             tanto faz!

56

# Cloretos

57



58



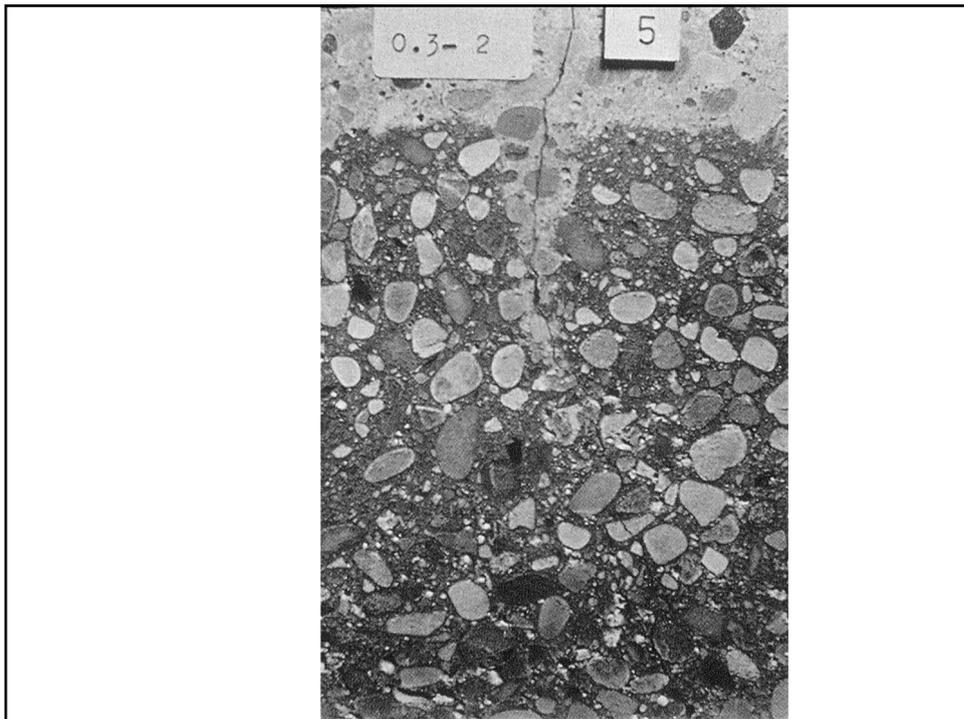
59

# ***Carbonatação***

60



61



62



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

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. **Página 14**

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 14**

**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 Antartica 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-

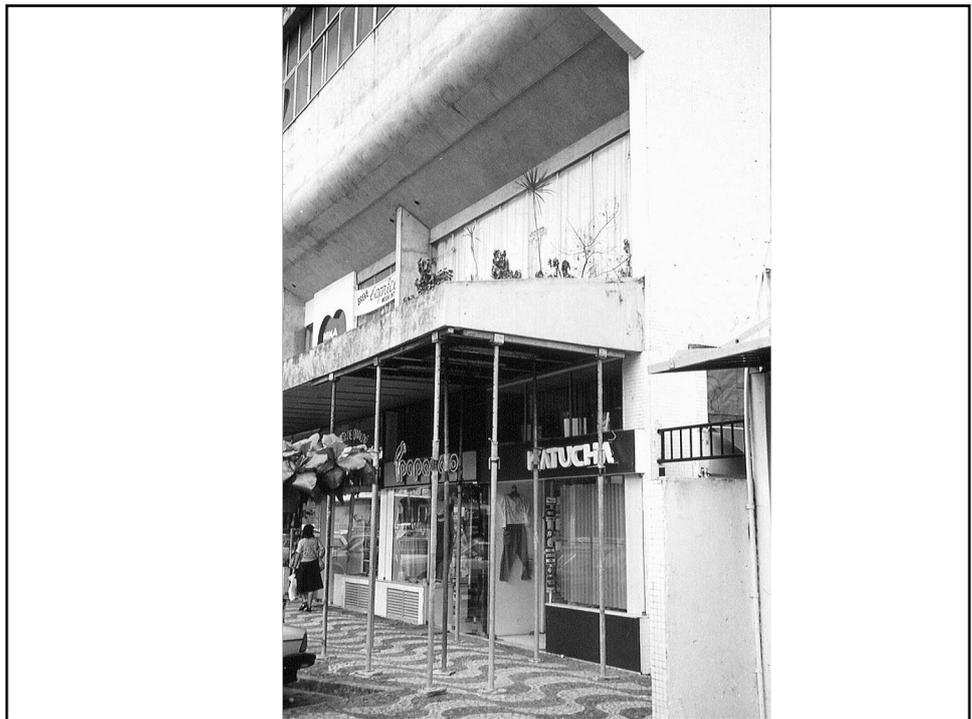
**Notas e Informações**  
Apesar de todo o autoritarismo e de todo o temor que parecia inspirar, o governo do general Augusto Pinochet realizou um plebiscito livre e

**46**  
Mais o Supl  
Cidade e Tecnol  
Classificaçõe  
Comportament  
Economia  
Educação  
Espaco  
Esportes

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



65



66

***Marquise Hotel Canadá***  
***Copacabana***  
***Rio de Janeiro***  
***2007***

67



MARQUISE DO HOTEL CANADÁ - RJ

2006

68



**QUEDA DA MARQUISE DO HOTEL CANADÁ - RJ**

26 de Fevereiro de 2007

69



**QUEDA DA MARQUISE DO HOTEL CANADÁ - RJ**

26 de Fevereiro de 2007

70

## **SILO de CEREAIS**

**Santa Catarina, Itajaí, 1995**

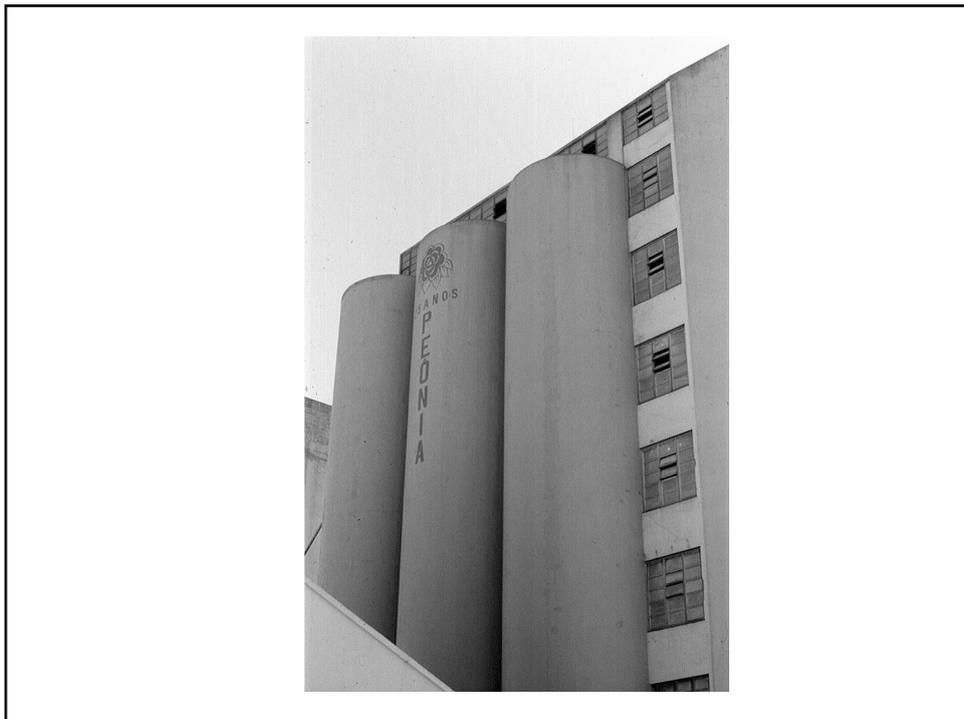
**Laudo de vistoria 2 meses antes**

**21 anos**

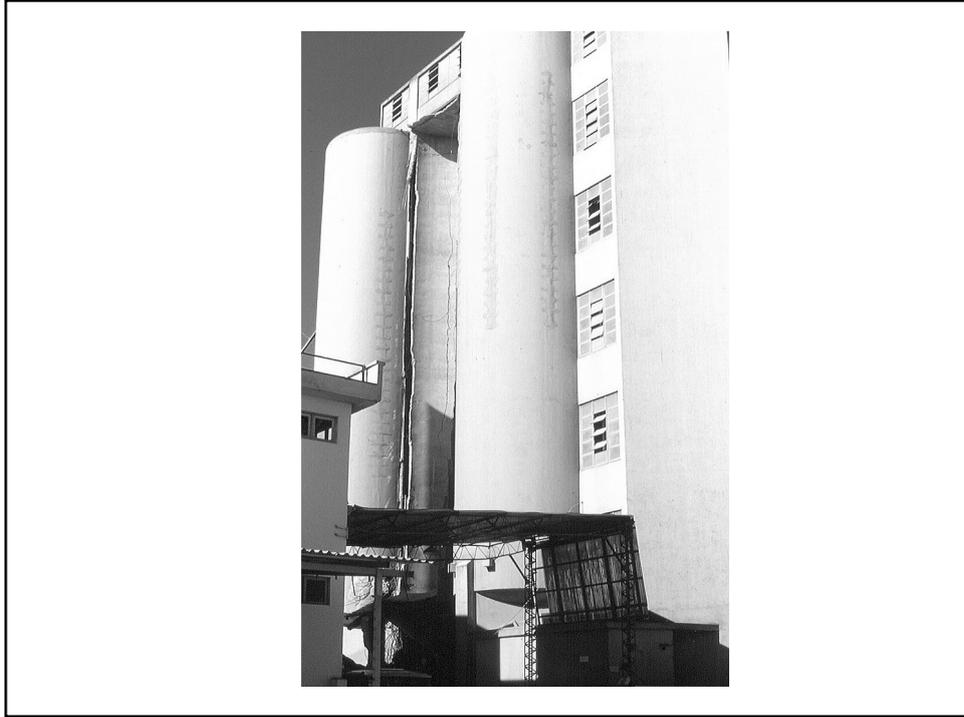
**$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$**

**Custo = 1,2 novo**

71



72



73



74

## RECOMENDAÇÕES

- 📌 **ATENÇÃO A SOLUÇÕES com TIRANTES em umidade alta (não avisam)**
- 📌 **DIMENSIONAR para NÃO fissuração (!)**
- 📌 **PROTEGER (Como ?)**
- 📌 **INSPECIONAR PERIODICAMENTE (Como ?)**

75

**IBRACON**

# Estruturas Metálicas

76



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 10cm<sup>2</sup>.

77

## 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.

78

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

uma péssima manutenção preventiva.

79

### ***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*

80

**IBRACON**

# **Edificações**

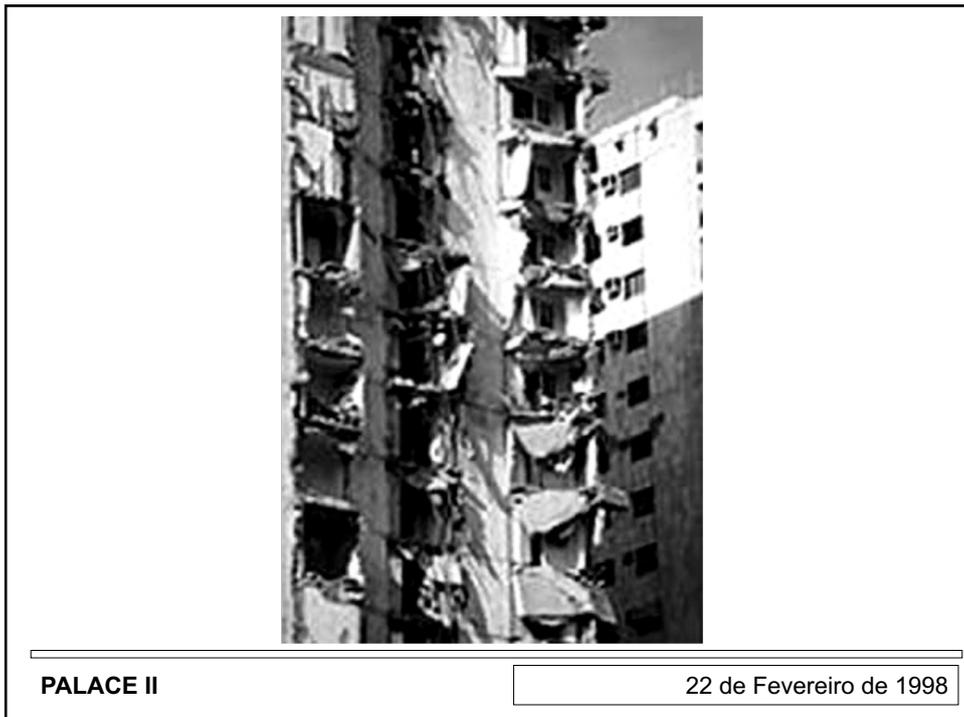
81

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

82



83



**PALACE II**

22 de Fevereiro de 1998

84



**PALACE II**

22 de Fevereiro de 1998





87



88





91



92

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. Dependimento do revestimento externo em vários dias fachadas
- 7. Dependimento 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 reconquista 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 avançado 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 são 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 caracteriza 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.

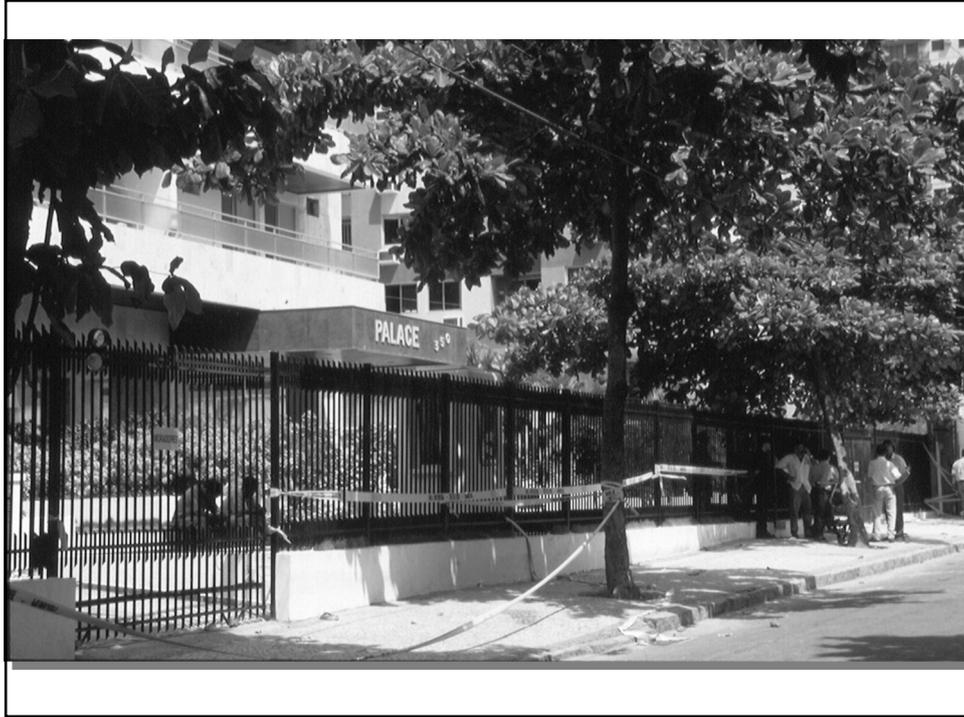
Se não começar a cumprir em 24 horas as determinações da prefeitura, a Sersan poderá ser multada em até R\$ 240.000. A multa é dobrada a cada dia de atraso.

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.



**PALACE 1**



95

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

98



**EDIFÍCIO AREIA BRANCA - Pernambuco**

99



100



*Escombros - manhã seguinte do desabamento*

101



102



103



104



105



Edificações Vizinhas

106

## **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.**

107



*Vista geral do subsolo*

108



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

109



*Vista geral do reservatório inferior e alagamento*

110



*Moradores acompanham a vistoria efetuada pela CONDECIPE*

111

## **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**

112

## **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**

113



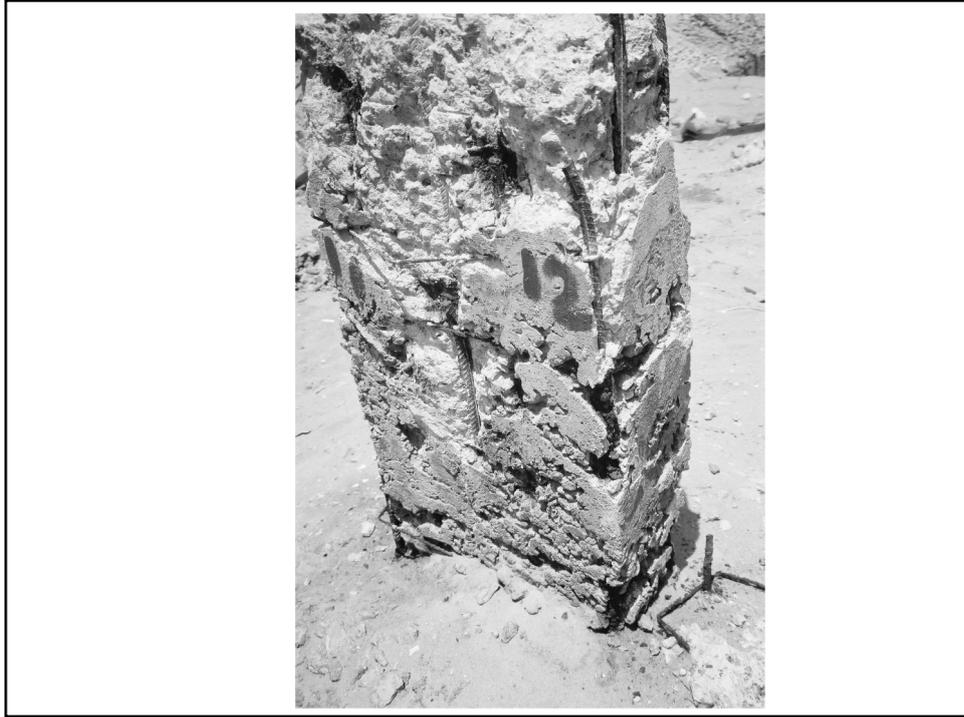
114



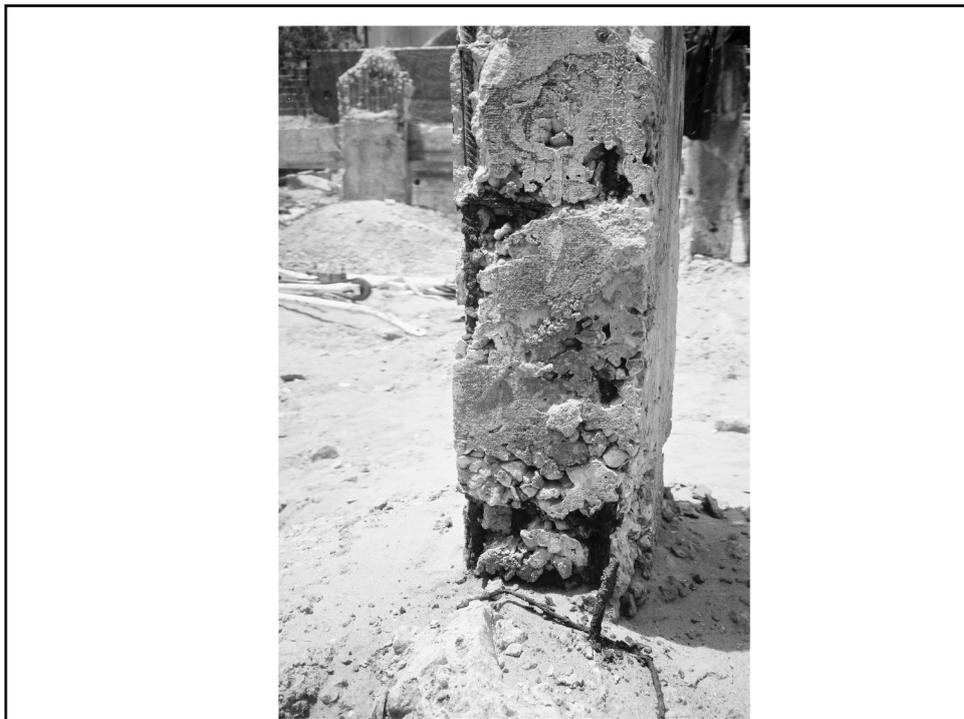
115



116



117



118



119



120



*Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar*

121

**Edifício Solar da  
Piedade, vizinho ao  
Areia Branca  
Recife, Pernambuco  
novembro de 2004  
inspeção impede colapso**

122



Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

123



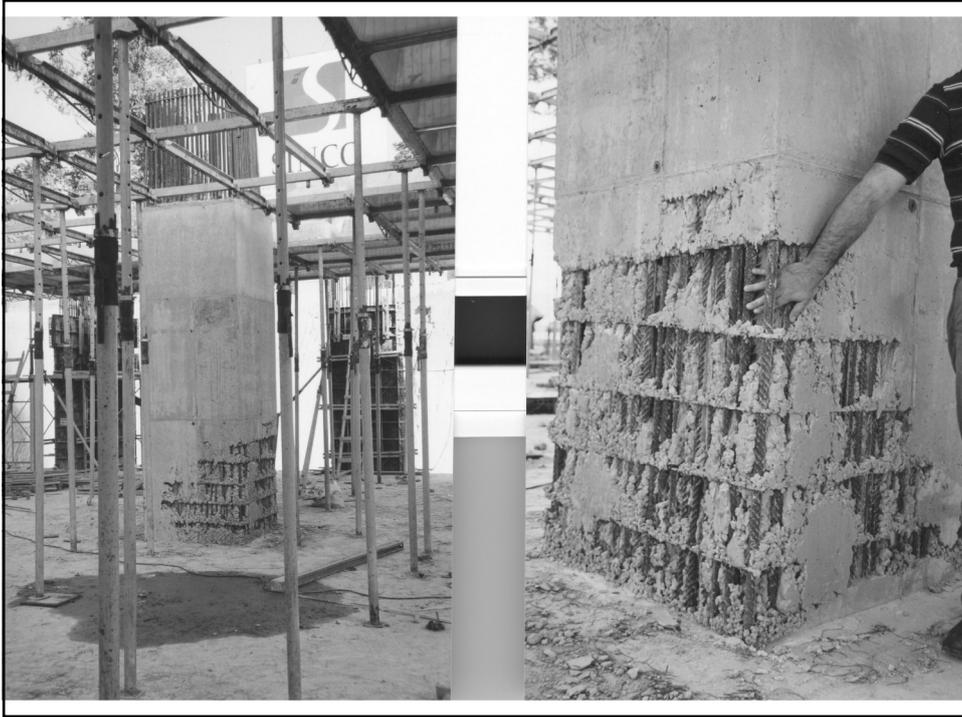
124



125



126



127



128



129

**IBRACON**

# **Grandes Edifícios**

130

# **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***

131



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

132



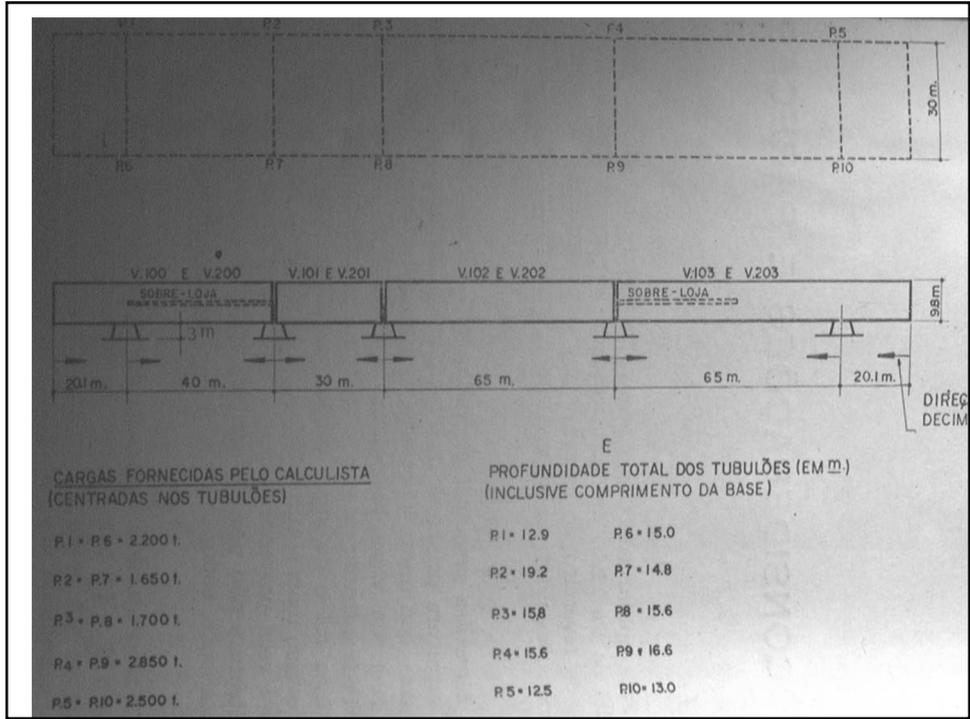
PAVILHÃO DA GAMELEIRA

4 de Fevereiro de 1971

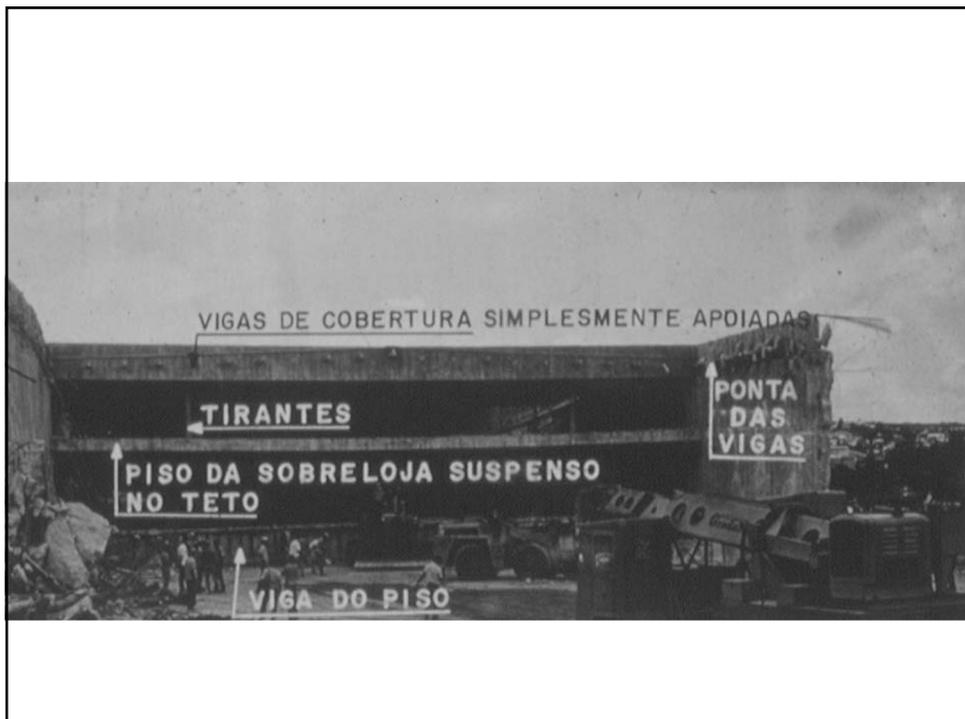
133



134



135



136

## Sintomas:

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

*Ausência plano de descimbramento*

*Pilares com até 2.850 tf*

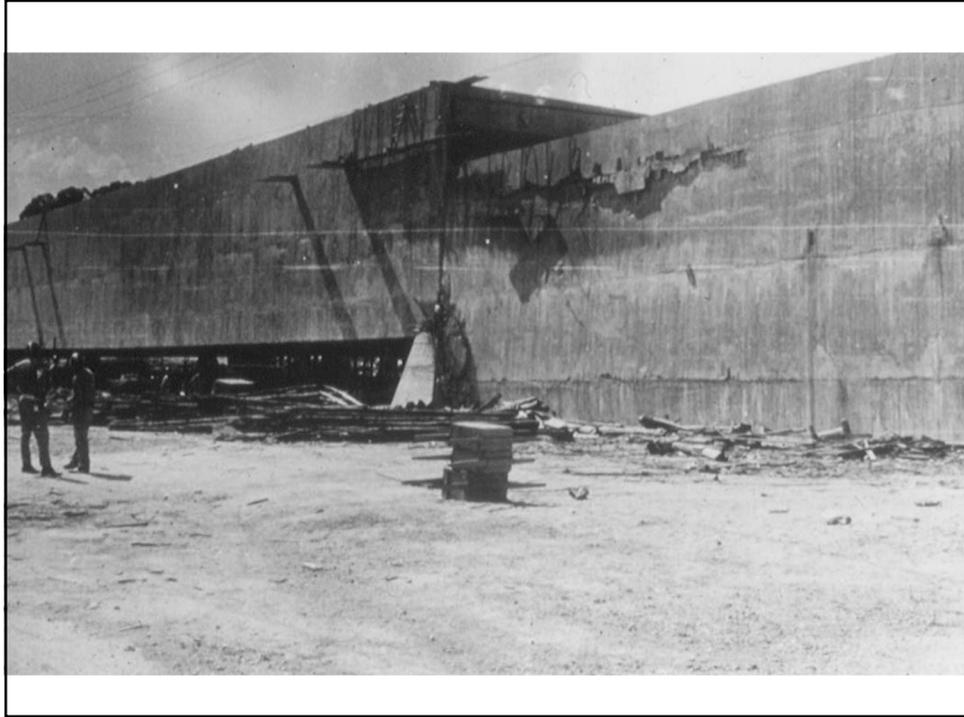
137



PAVILHÃO DA GAMELEIRA

4 de Fevereiro de 1971

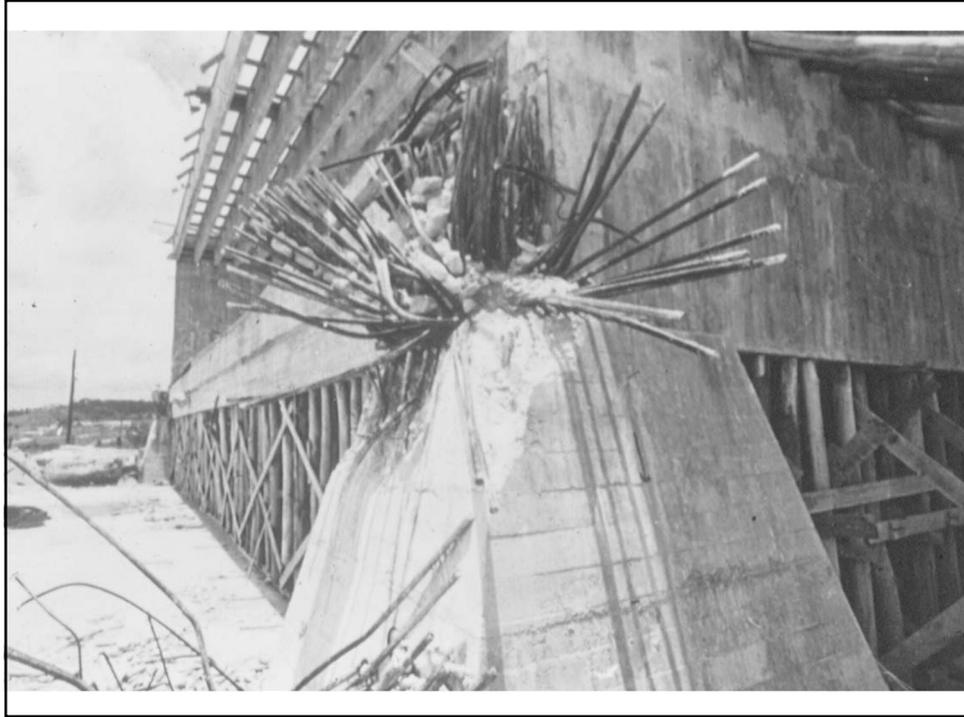
138



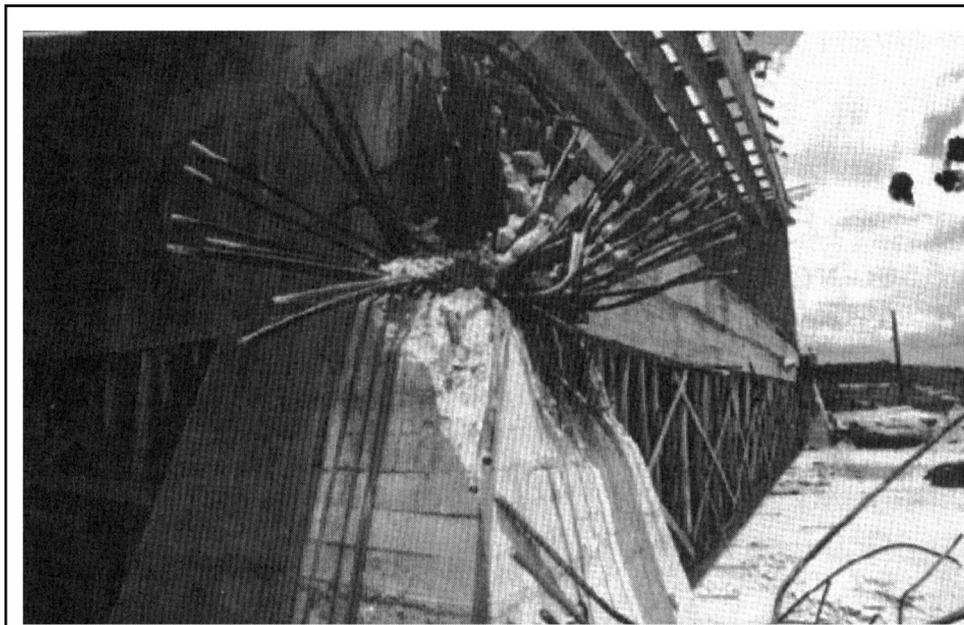
139



140



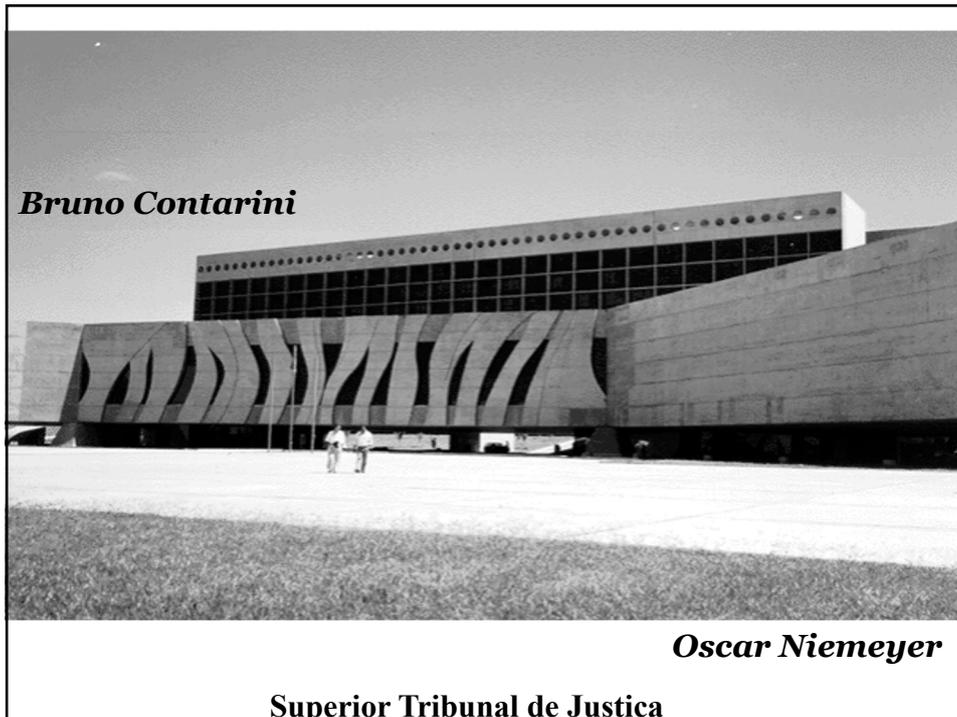
141



**PAVILHÃO DA GAMELEIRA**

4 de Fevereiro de 1971

142



143

## 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.

144

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 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 saía 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.

145

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.*

146



147