

Instituto Brasileiro do Concreto

IBRACON

39 anos

www.ibracon.org.br

São Paulo 19 de Novembro de 2010

1

IBRACON

Acidentes. “Duro” Aprendizado!

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Presidente ALCONPAT Internacional
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Member **fib** (CEB-FIP) Model Code for Service Life*

2

Robert Stephenson no discurso de posse na presidência do Instituto dos Engenheiros Cívicos 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”.

3

RECURSOS PARA INSPEÇÕES

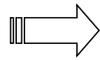
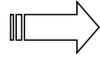
INSPEÇÃO PRELIMINAR

- Anamnese
- Observação visual
- Umidade e pH
- Direções Preferenciais
- Fissuras, ninhos, desaprumos
- Sintomatologia
- Projeto, controle, diário de obra

INSPEÇÃO DETALHADA

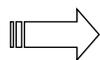
4

INSPEÇÃO DETALHADA

-  **ESTUDO DOS PROJETOS ORIGINAIS**
-  **ESTUDO DOS ANTECEDENTES**
-  **PLANO DE INSPEÇÃO e AMOSTRAGEM**
 - **PACHOMETRO**
 - **ESCLEROMETRO**
 - **ULTRASOM**
 - **CARBONATAÇÃO**
 - **RESISTIVIDADE IÔNICA**
 - **POTENCIAL de CORROSÃO**
 - **PERFIL DE CLORETOS**
 - **CORRENTE DE CORROSÃO**

5

INSPEÇÃO DETALHADA

-  **PLANO DE INSPEÇÃO e AMOSTRAGEM**
 - **FISSURAS**
 - **TOMOGRÁFIA**
 - **GAMARADIOGRÁFIA**
 - **RAYOS X**
 - **VIBRAÇÕES**
 - **EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS**
 - **f_c, E_c, PERMEABILIDADE**
 - **ANÁLISE PETROGRÁFICA**
 - **ABSORÇÃO de ÁGUA, POROSIDADE**
 - **ESCLEROMETRIA. ECO, ...**

6

EDIFÍCIO de ESCRITÓRIOS

São Paulo, 1999

Vistoria → 1998

23 anos

$f_{ck} = 18 \text{ MPa}$

Custo = 3 andares novos completos

Eng. de manutenção na prisão

7

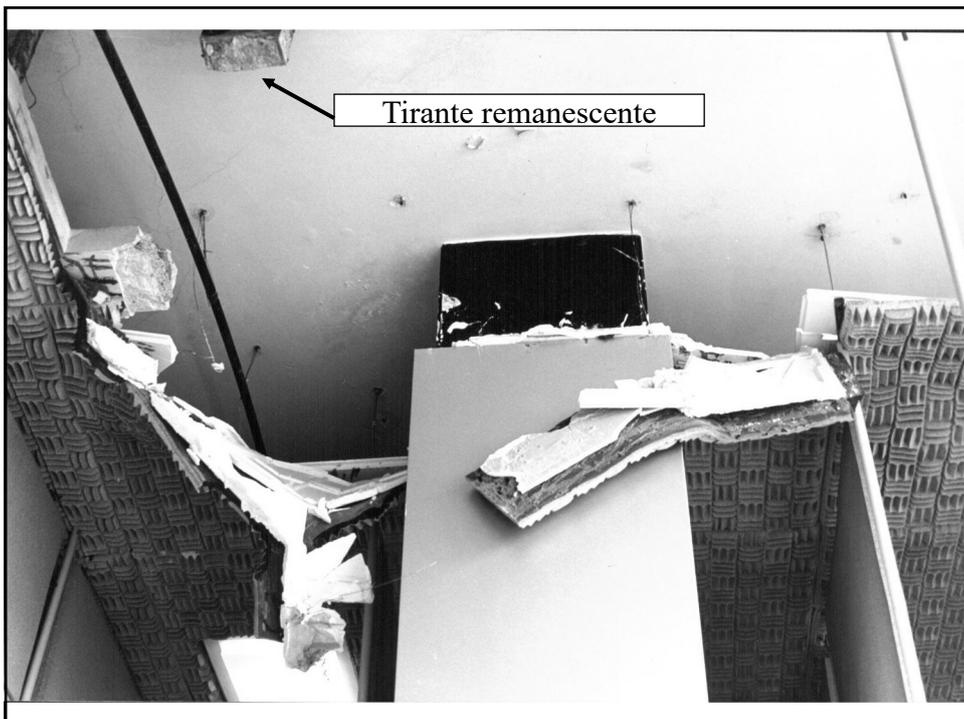
ACIDENTE

**Colapso de parte da estrutura de uma laje
suplementar no último andar de um edifício
situado na cidade de São Paulo.**

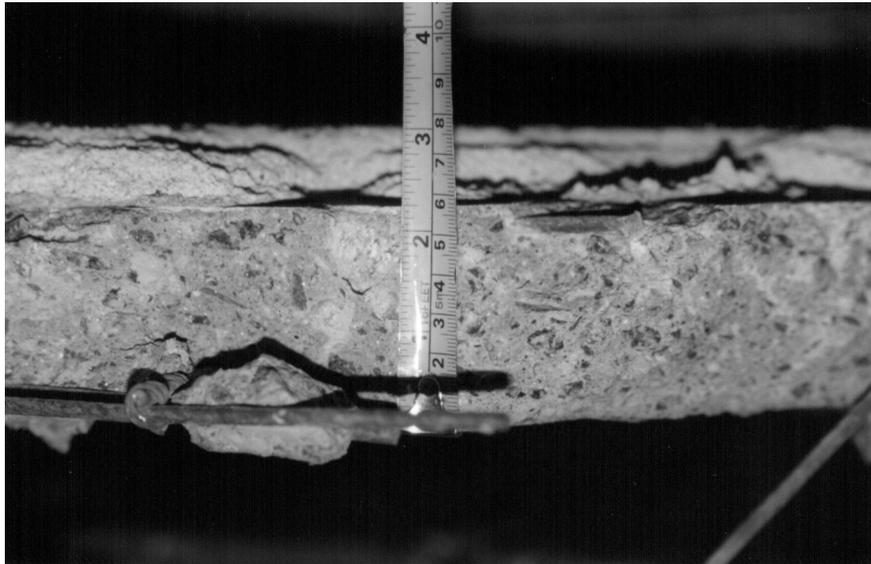
8



9

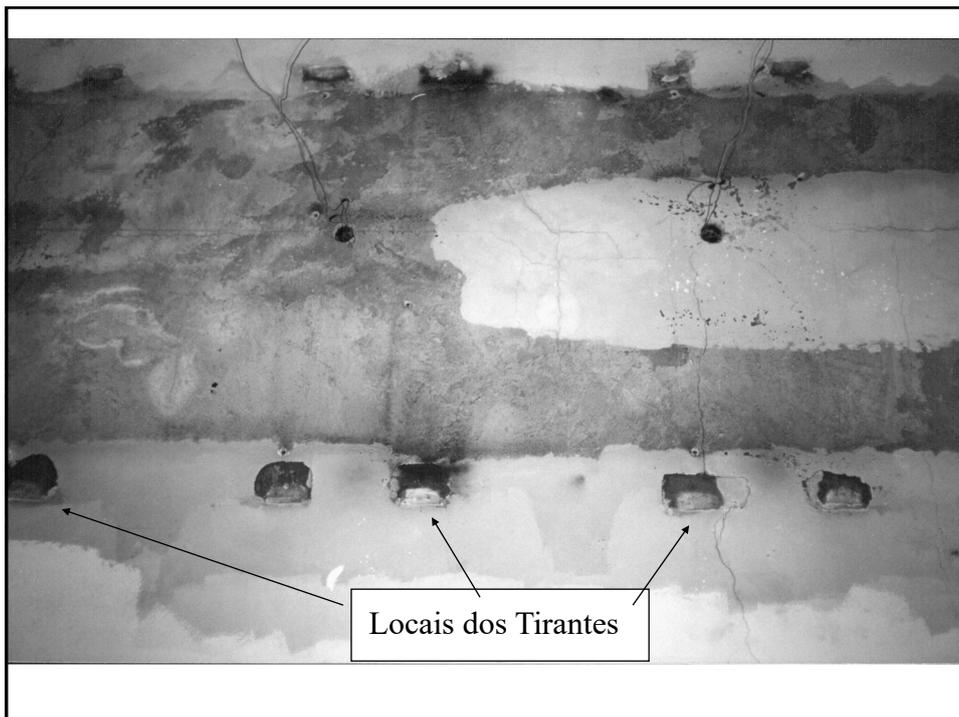


10



espessura da laje suplementar

11



12

O PROBLEMA PATOLÓGICO

**Corrosão das armaduras dos
tirantes (pendurais) de
sustentação da laje complementar,
construída em concreto armado.
Ruptura frágil sem aviso !**

13

HIPÓTESES PARA A OCORRÊNCIA DO PROBLEMA

1. Falta de manutenção permitindo o aparecimento de infiltrações que atacaram as armaduras ?
2. Problemas executivos durante o processo de construção das lajes suplementares ?
3. Solução técnica incompatível com as condições necessárias para estabilidade e durabilidade da estrutura, apesar de não infringir as normas da ABNT ?

14

ENSAIOS REALIZADOS

- **Teor de cloretos;**
- **Dureza superficial por esclerometria;**
- **Resistividade iônica superficial;**
- **Profundidade de carbonatação;**
- **Potencial de corrosão;**
- **Velocidade de corrosão.**

15

VERIFICAÇÃO DAS HIPÓTESES

1. Falta de Manutenção → Infiltrações:

- **Em levantamento visual, verificou-se “in loco” a existência de infiltrações na região sinistrada;**
- **Algumas fissuras na laje de cobertura continuavam com umidade;**
- **O piso da laje de cobertura encontrava-se em bom estado de conservação;**
- **A piscina de resfriamento do ar condicionado encontrava-se em bom estado visual.**

16



17



18



19



20

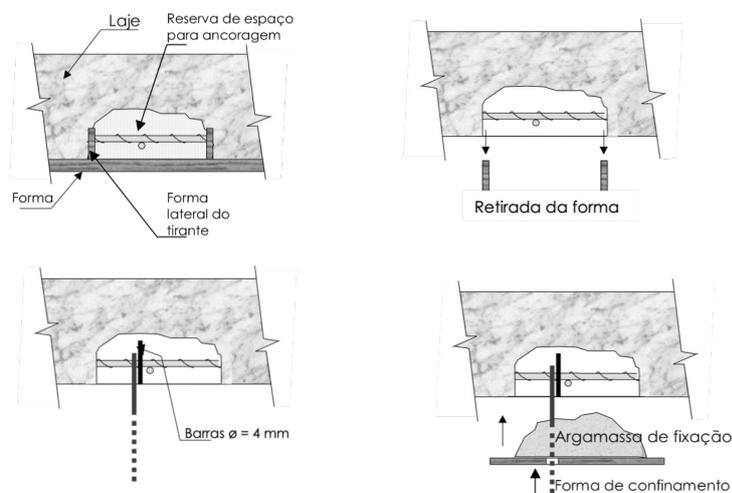
VERIFICAÇÃO DAS HIPÓTESES

Problemas executivos:

Sistema construtivo não convencional com dificuldades operacionais para confecção e fixação dos tirantes das lajes suplementares, à laje da cobertura, propiciando a existência de deficiências na região de contato tirante/lajes.

21

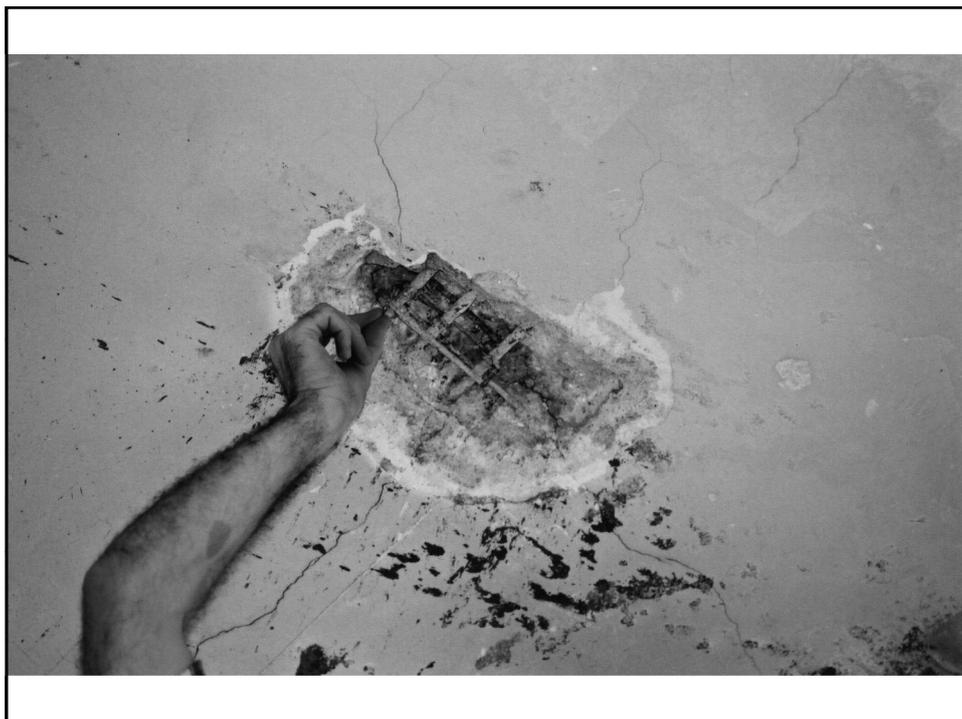
Seqüência provável de execução dos tirantes



22



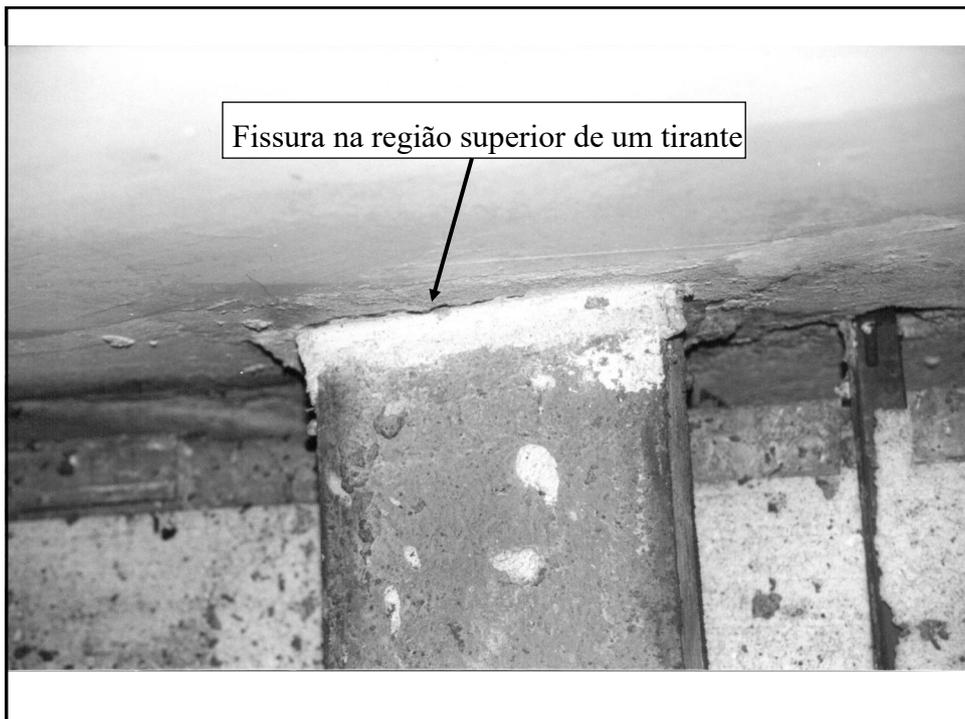
23



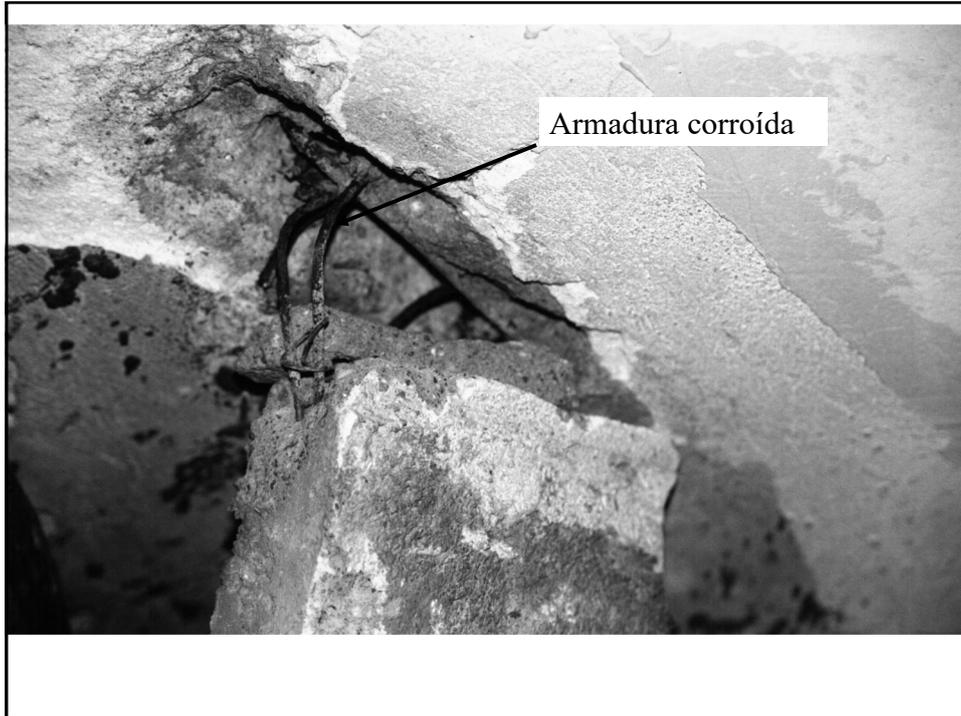
24



25



26



27

VERIFICAÇÃO DAS HIPÓTESES

3. Solução técnica inadequada do ponto de vista da durabilidade

No dimensionamento dos tirantes de concreto, foi considerada apenas a capacidade portante da armadura, para suportar (sem romper) o peso da laje suplementar.

28

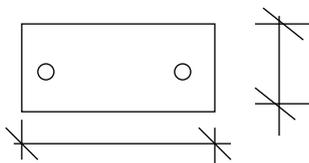
No dimensionamento de tirantes de concreto armado, a NBR 6118 e as normas anteriores que a antecederam, recomendam a verificação de duas condições de segurança :

- Segurança contra o colapso da peça;
- Segurança contra a fissuração nociva (*durabilidade*).

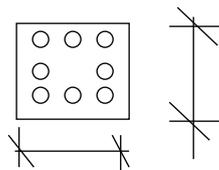
Em local protegido no interior das edificações a abertura característica de fissura ELS, pode chegar a 0,3mm, o que conduz a número menor de barras para suportar a carga da laje suplementar

29

**Situação encontrada
no caso em questão**



**Situação aconselhável
REDUNDÂNCIA**



30

A experiência recomenda que o cálculo de tirantes de concreto armado, leve em conta o enorme risco de corrosão localizada das armaduras com consequente ruptura frágil (sob tensão).

Requer a utilização de um número maior de barras de aço para uma mesma seção de armadura, aumentando-se assim o perímetro de contato e reduzindo-se a deformação das barras e as fissuras dela decorrente.

31

Providências adotadas após o acidente

- **Verificação do projeto estrutural (havia desenhos disponíveis da construção original);**
- **Remoção de móveis e equipamentos;**
- **Escoramento emergencial;**
- **Elaboração de laudo de segurança para desinterditar o resto do edifício junto ao CONTRU;**
- **Demolição técnica com utilização de cimento expansivo para minimizar vibrações na estrutura.**

32



33



34



35



36



37

LIÇÕES

- Atenção ao elaborar laudos técnicos em estruturas que sofreram modificações ou reformas:

ASSUMINDO RESPONSABILIDADES

- Quando executar obras de reforma que interferirem com a estrutura, mesmo que sejam apenas para fixação de materiais de acabamento, elaborar um documento contendo todas as modificações inseridas.

38



Edifício de escritórios *Brasília*

39



Edifício Escritórios

Brasília → 1999

4 anos → escritórios $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

um cabo colapsa → estrondo seco

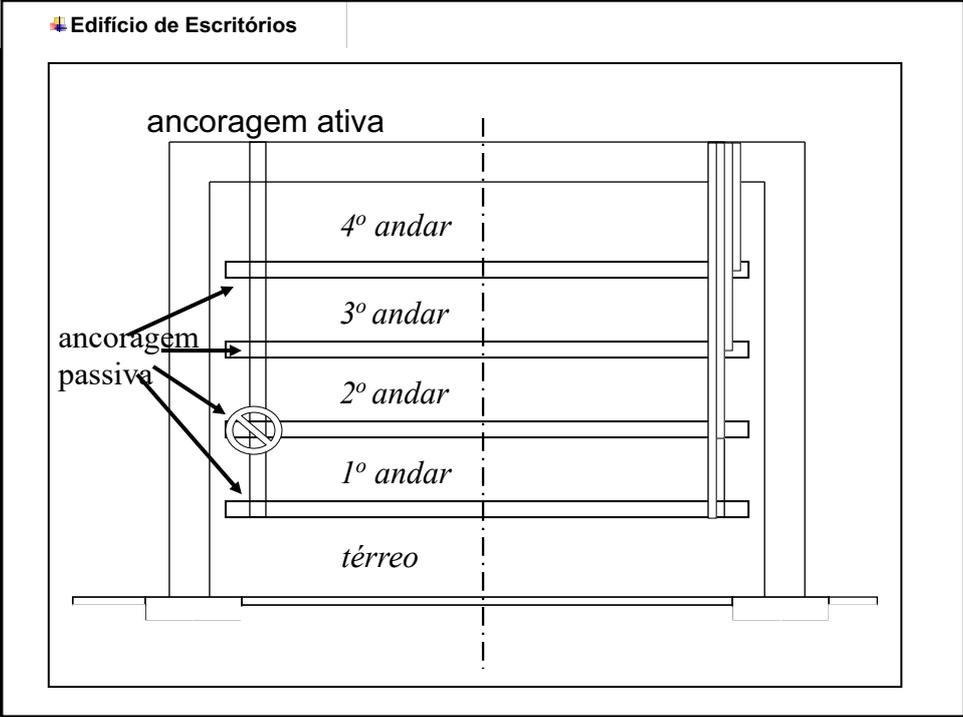
→ a laje inclina

→ mesas e cadeiras escorregam

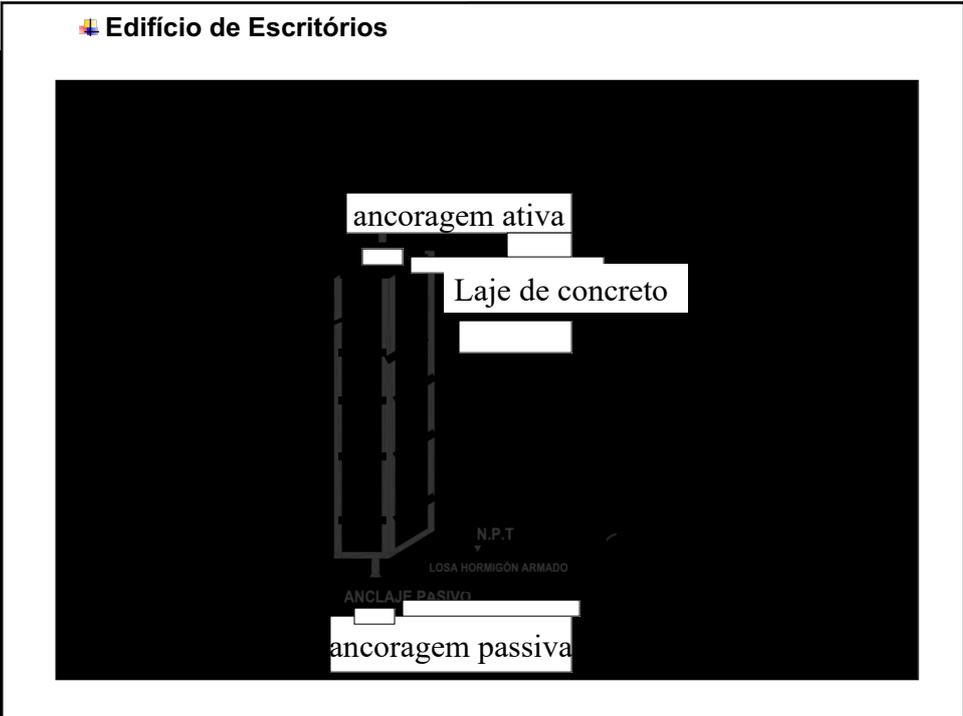
→ usuários correm muito assustados

→ grande preocupação com o estante

40



41



42

🏢 Edifício de Escritórios

16 lajes → 300 m² / por andar
4 andares mais térreo
20.000 m² área total construída
4 cabos por laje → 64 cabos por andar
256 cabos → 512 ancoragens
18 cordoalhas → $\Phi=12,5\text{mm}$ → 19.000 MPa

43

🏢 Edifício de Escritórios

18
cordoalhas

expostas na gaiola
de aço

bainha galvanizada

laje de
concreto
armado
48 cm

grout

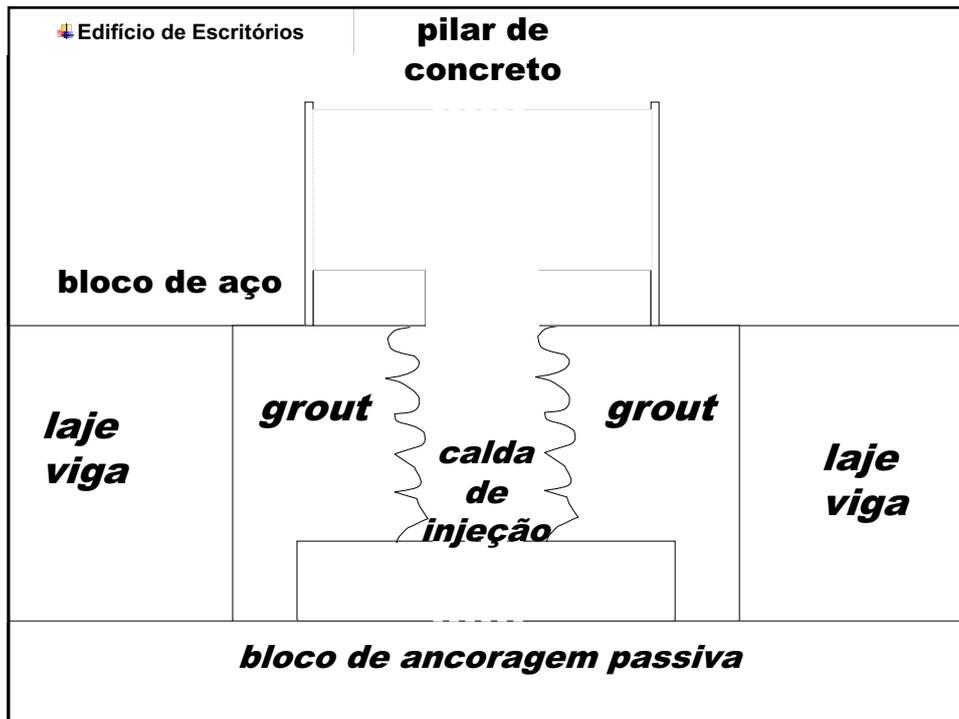
*calda
de
injeção*

grout

laje de
concreto
armado
48 cm

bloco de ancoragem passiva

44



45

Edifício de Escritórios

Inspeção e Diagnóstico

- 14 ancoragens passivas inspecionadas
- $i_{\text{corr}} = 2,25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ por perda de peso
- 36% longitude da corrosão ~ 2,5 cm
- 1 já mostrava 2 cordoalhas rompidas
- $I_{\text{coor}} \rightarrow 0,01$ a $0,96 \mu\text{A}/\text{cm}^2$
- $E_{\text{coor}} \rightarrow -50$ a -400 mV
- $\text{Cl}^- \rightarrow 0,06\%$ no concreto e $0,54\%$ no grout

46

Conclusão e Solução

**Alto risco de
corrosão em
todas as
ancoragens**

**Projeto errado
Materiais
inadequados
(com Cl⁻)**

**Troca de
todas as
ancoragens**

**\$ 9,5 vezes
o custo
inicial**

47



PONTE do SOCORRO

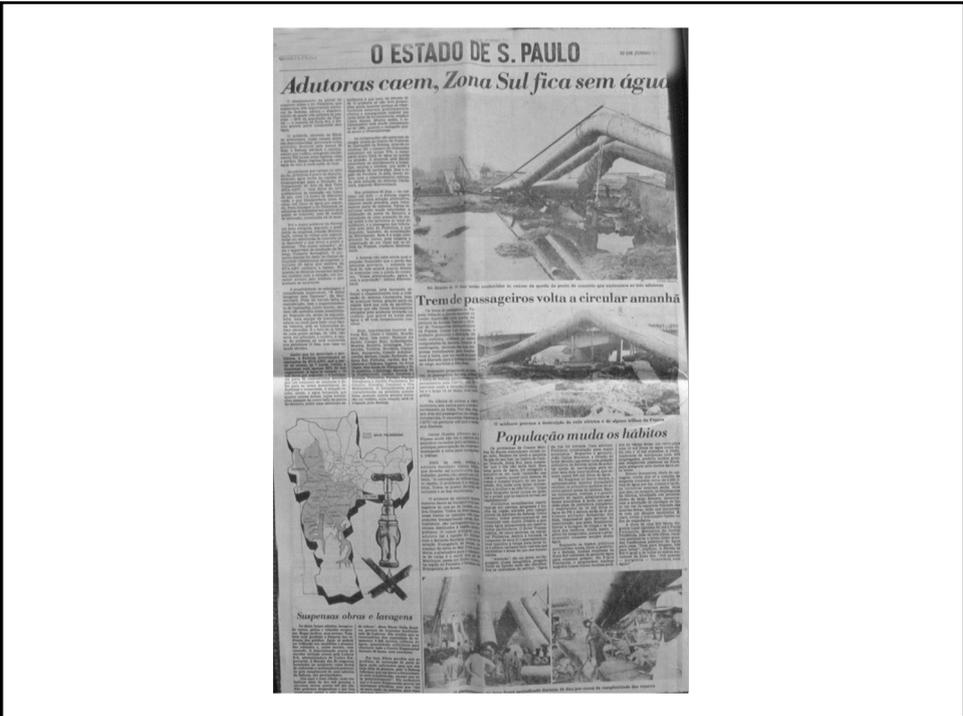
São Paulo, 28 junho 1988

- laudo 5 meses antes
- 27 anos, $f_{ck} = 16$ MPa
- Inspeções 81, 83, 84, 87,
Janeiro 88
- Vão de “52 m.”
- custo = incomensurável

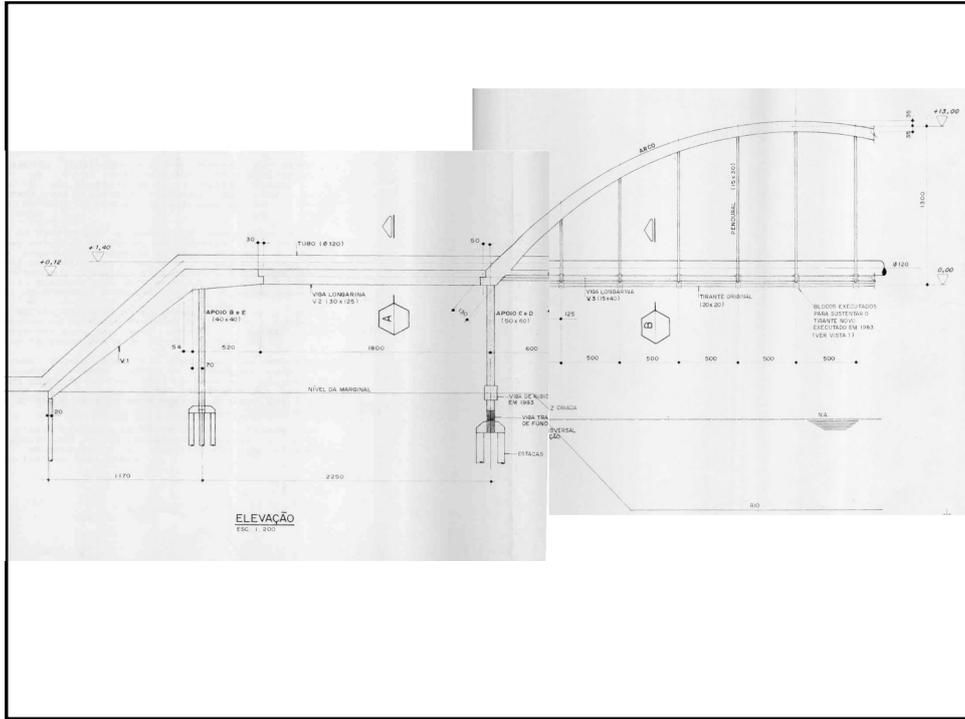
48



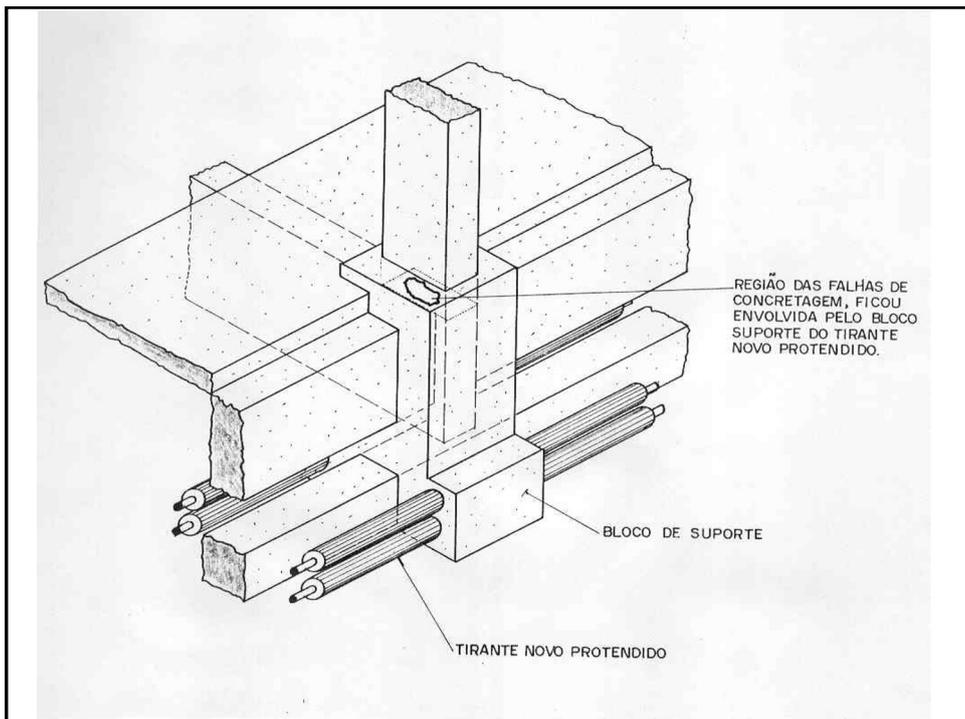
49



50



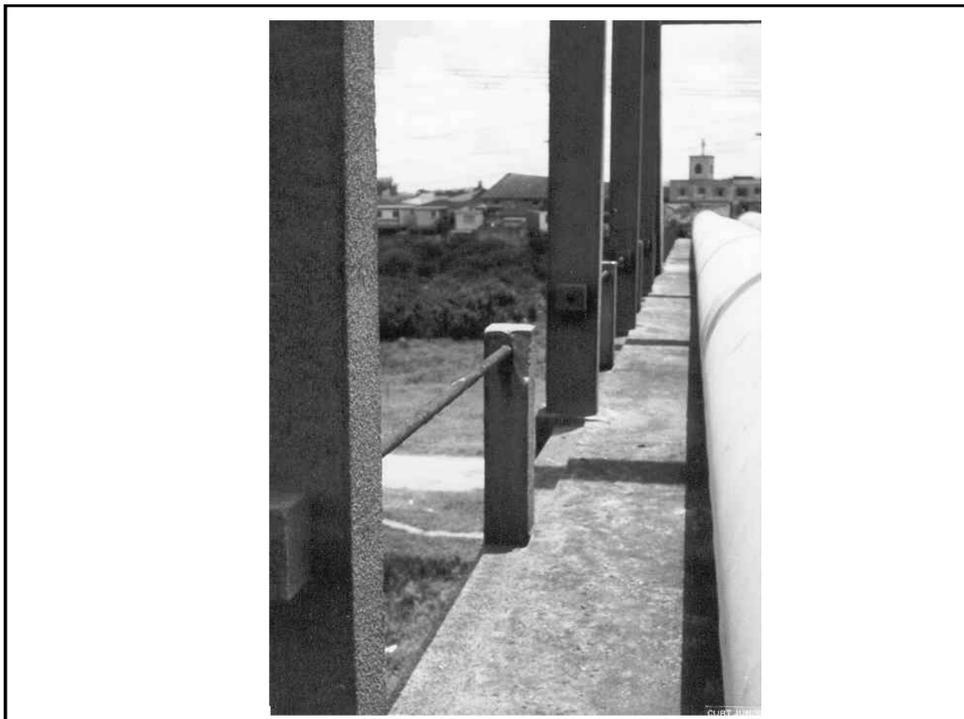
51



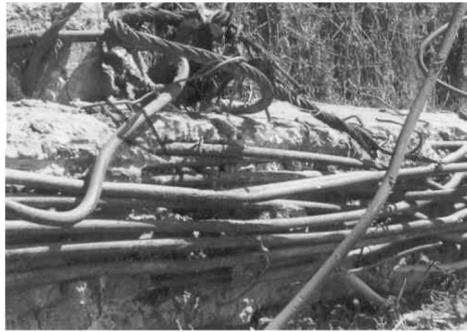
52



53



54



55

PONTE DOS REMÉDIOS

São Paulo, 1997

Laudo 6 meses antes

36 anos

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

Custo = 3 vezes uma ponte nova

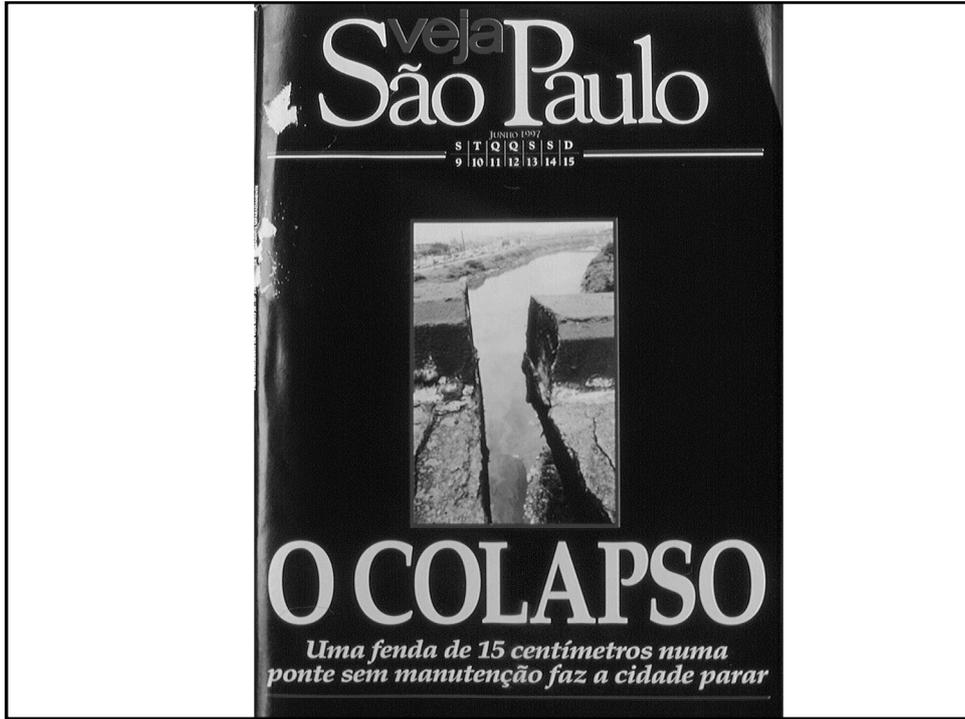
56



57



58



59



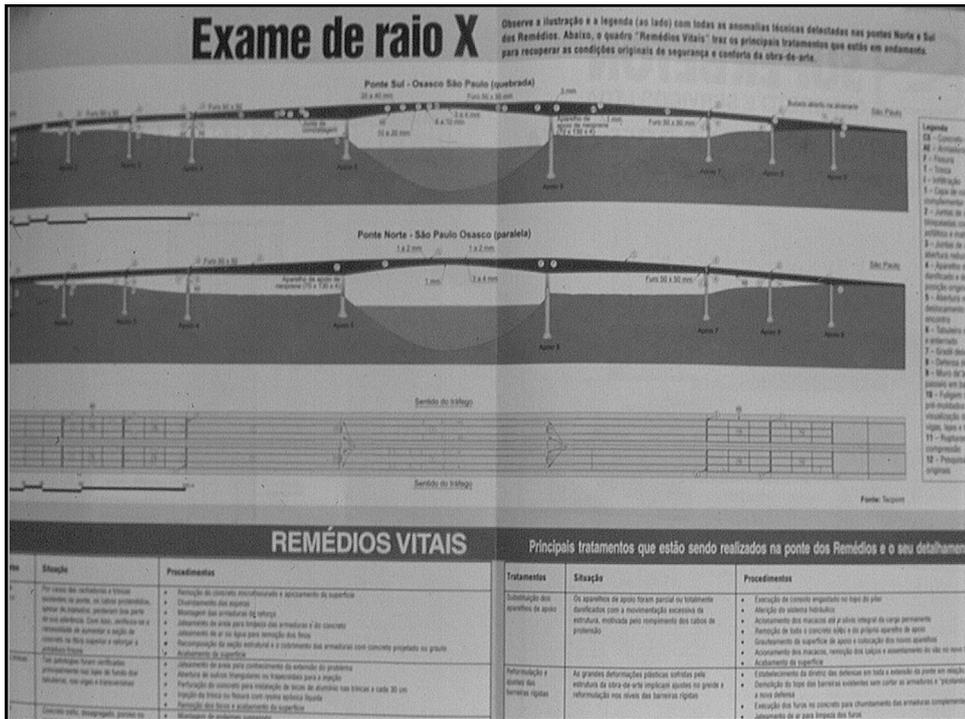
60



61



62



63



Rachadura no vão central vista pelo lado externo

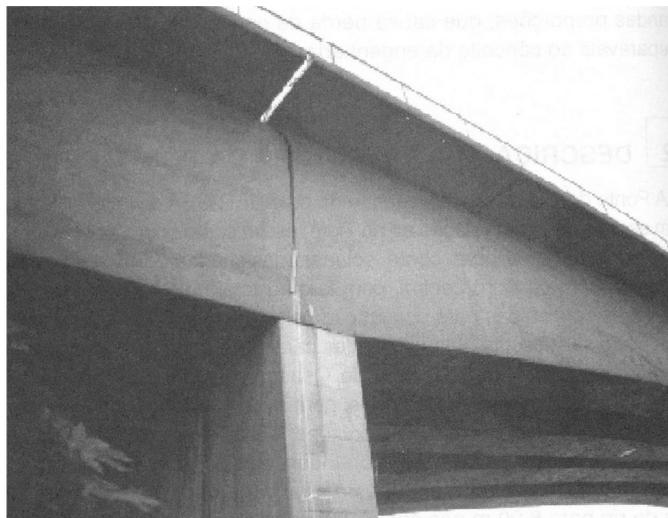
64



Detalhe da rachadura no vão central da vista pelo lado interno

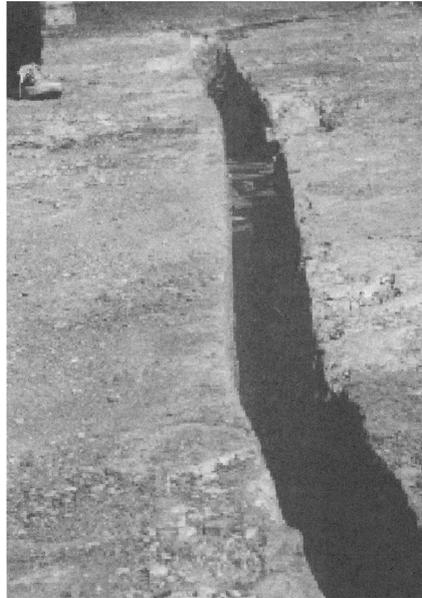
65

Ponte dos Remédios



Vista lateral da rachadura

66



Vista superior da rachadura

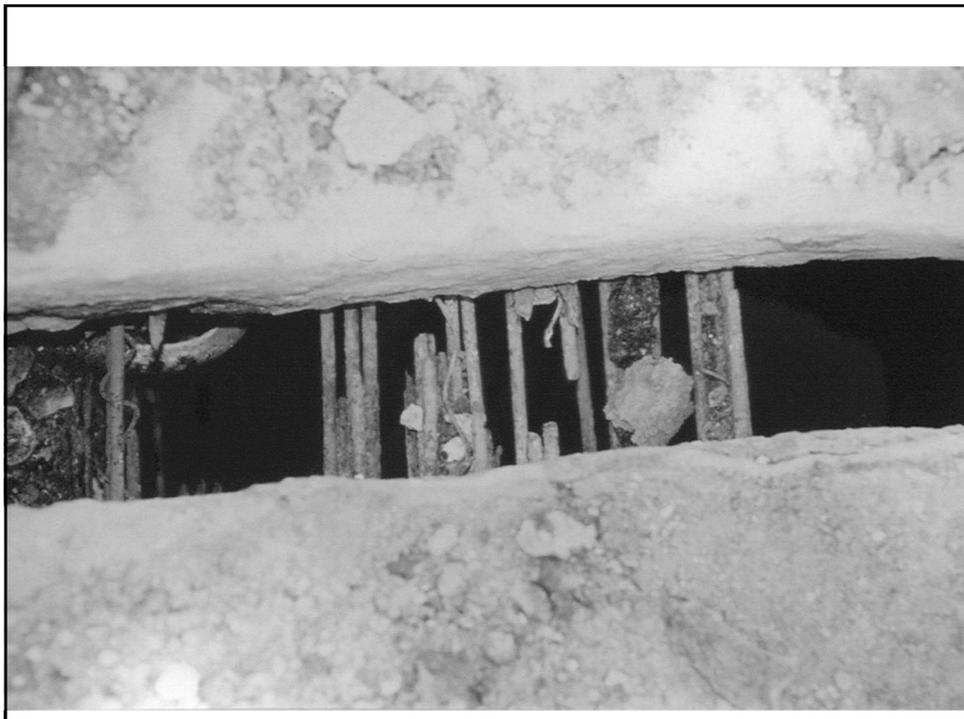
67



68



69



70



71

SILO de CEREAIS

Santa Catarina, 1995

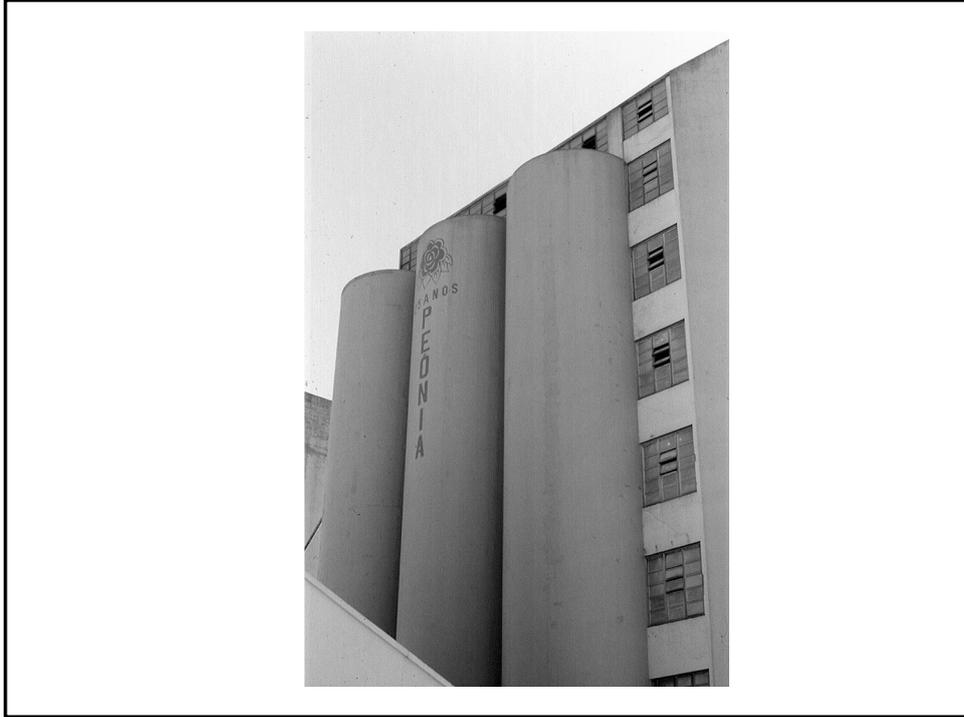
Laudo de vistoria 2 meses antes

21 anos

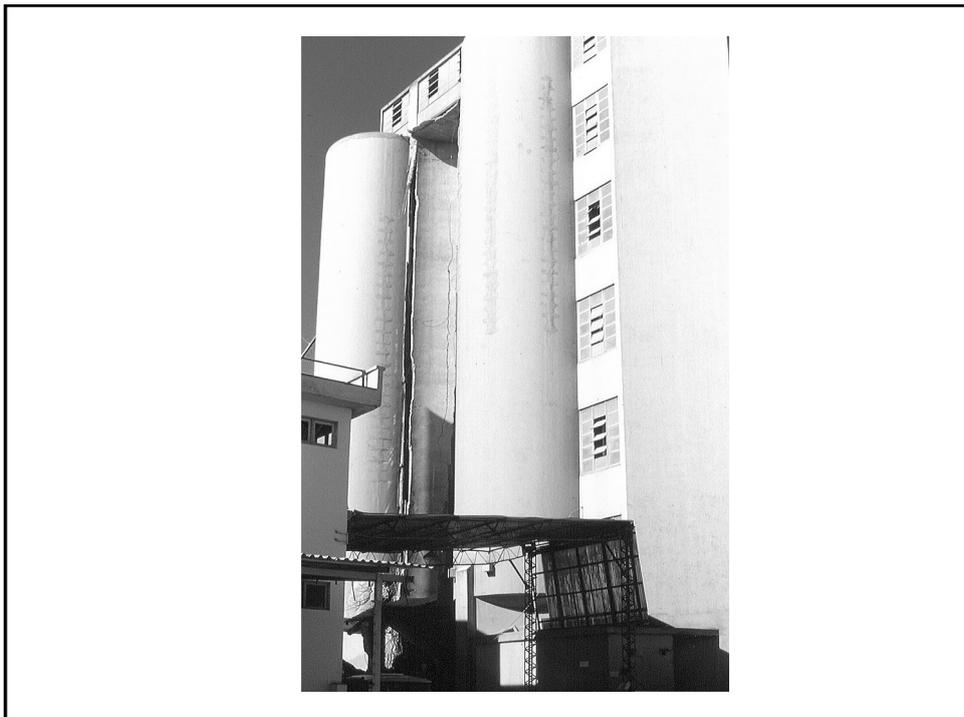
$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$

Custo = 1,2 novo

72



73



74



75

RECOMENDAÇÕES

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

76

PUENTE LEONEL VIEIRA

**Concreto armado/protendido com
cabos de protensão galvanizados
(casa Roebling)**

**Sistema construtivo com pré-tração
original**

Inspeção impede colapso

77



78



Puente Leonel Viera, Punta del Este, Uruguay

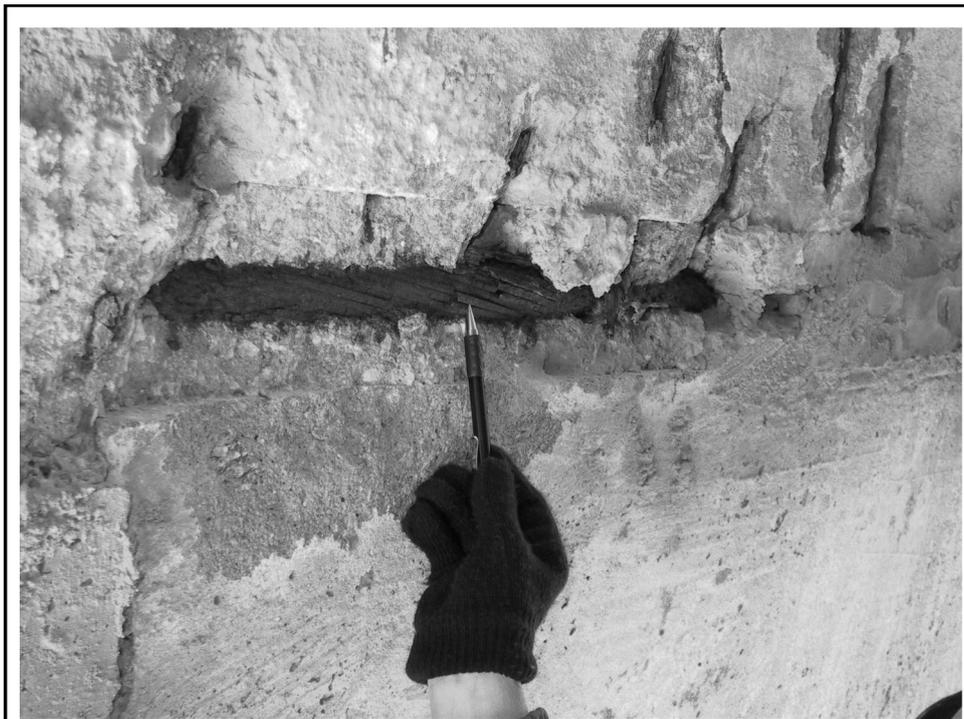
79



80



81



82

FISSURAÇÃO SOB TENSÃO

 **FRAGILIZAÇÃO do AÇO**

 **(PRE) CONCEITOS USUAIS**

■ **ESTRUTURAS PROTENDIDAS**

■ **Estruturas Armadas**

■ **CLORETOS**

■ **Carbonatação**

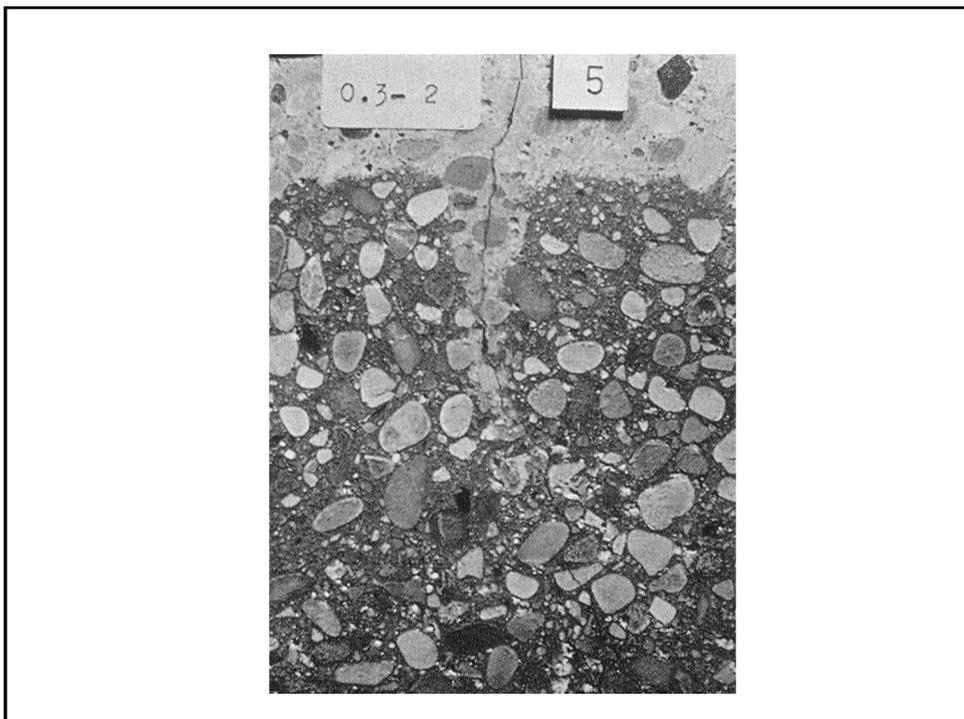
83

Carbonatação

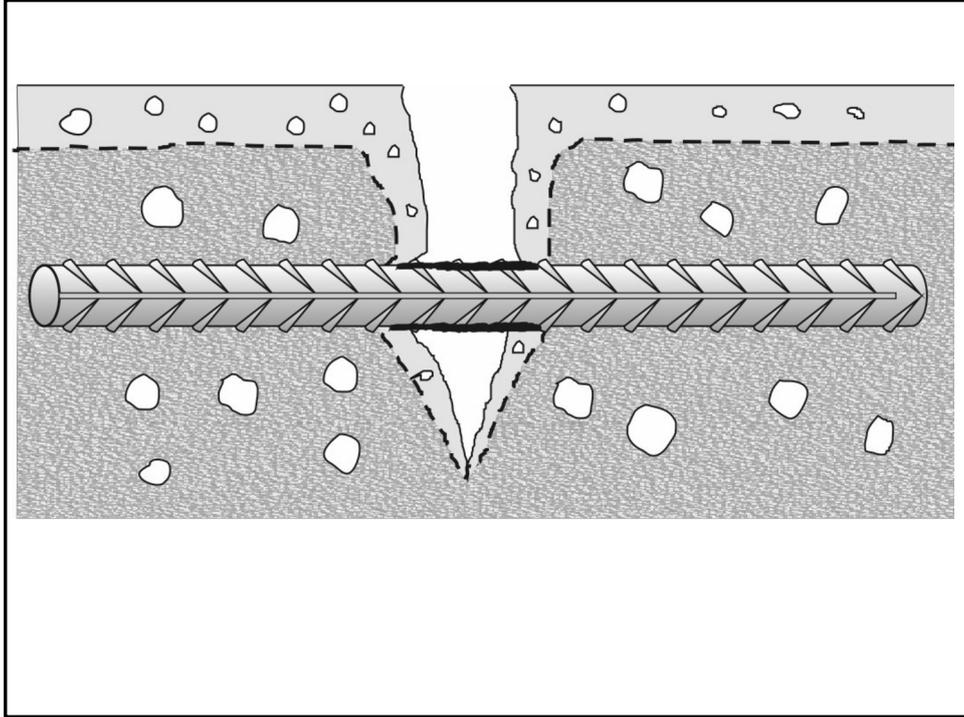
84



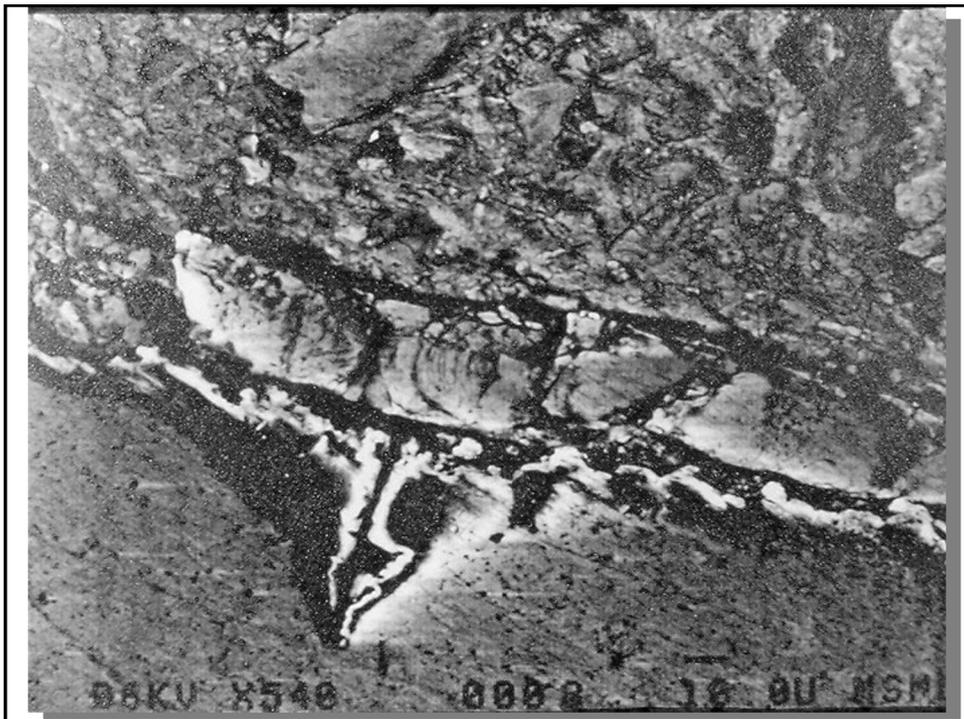
85



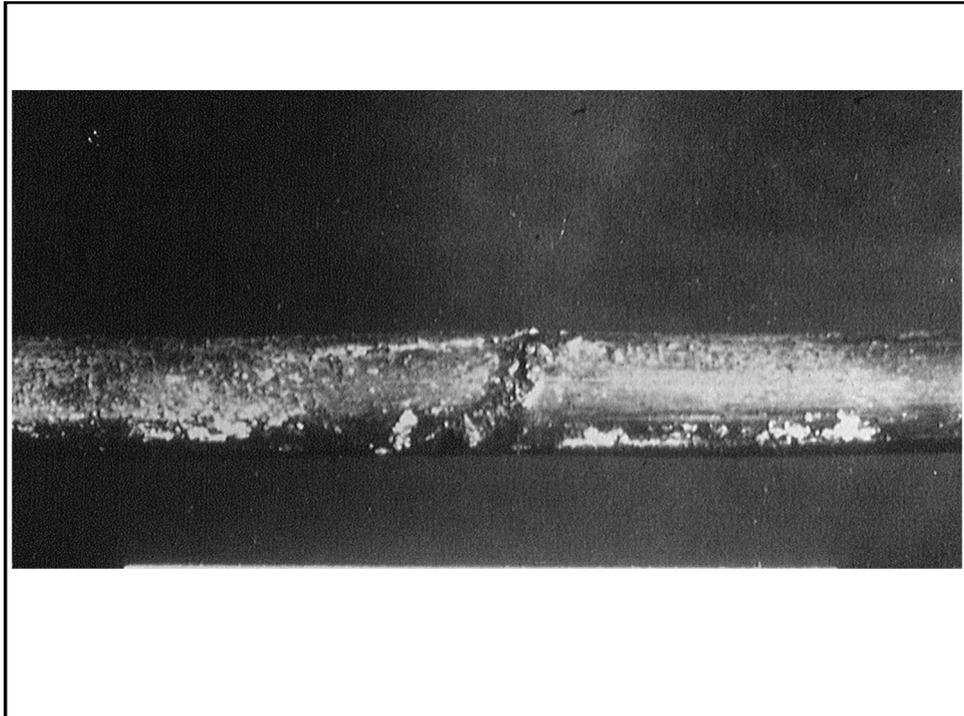
86



87



88



89

Prevenção:

NBR 6118:2003 → Não será o caso de rever as tolerâncias de abertura máxima característica de fissura para componentes estruturais fletidos e tracionados onde ocorra risco de umidade e corrosão?

90

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

91



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

92



93



Escombros - manhã seguinte do desabamento

94



95



96



97



98



Edificações Vizinhas

99

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 secas 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.

100



Vista geral do subsolo

101



Trinca na viga do teto do subsolo junto a cisterna

102



Vista geral do reservatório inferior (cisterna) e alagamento

103



Moradores acompanham a vistoria efetuada pela Defesa Civil

104

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

105



106

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;

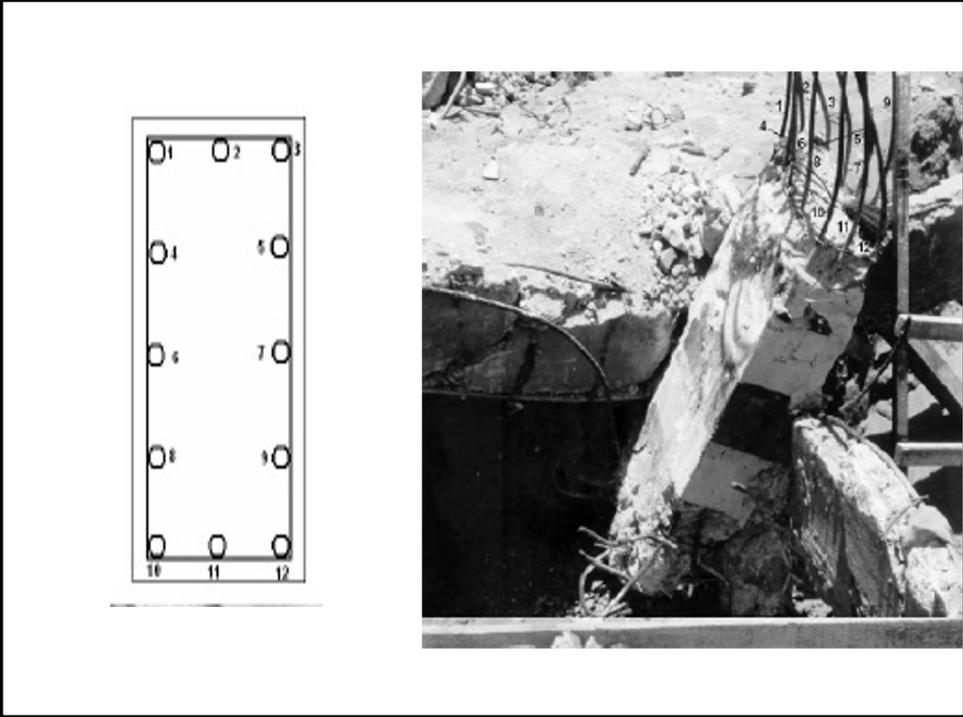
14 → quinta 20:30h → edifício totalmente desabado, 4 vítimas e inúmeros sonhos destruídos

107

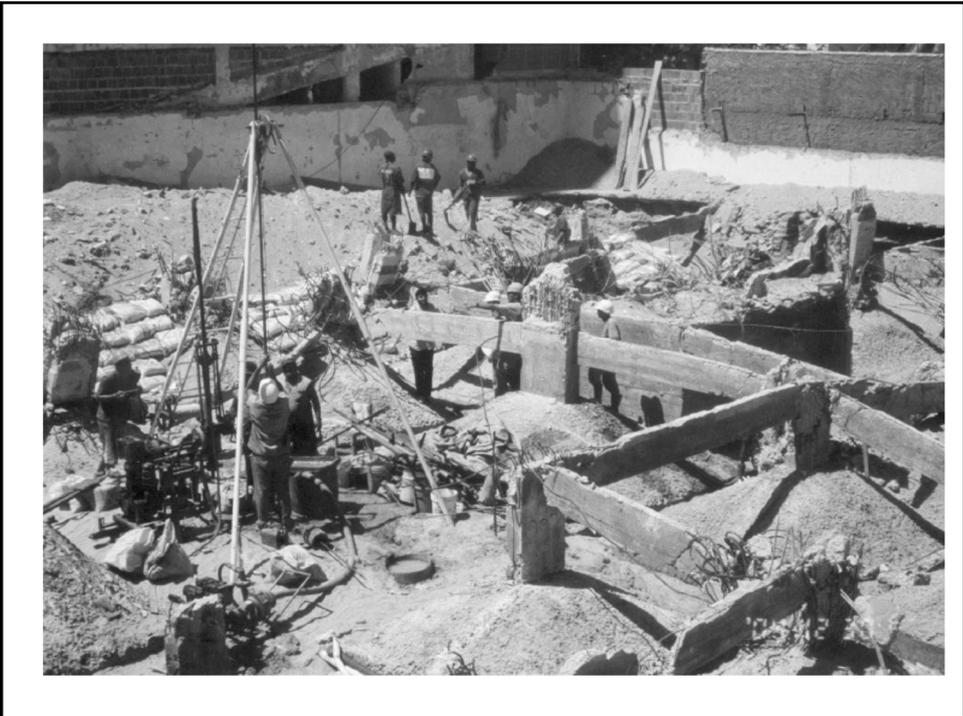
Diagnóstico:

- 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

108



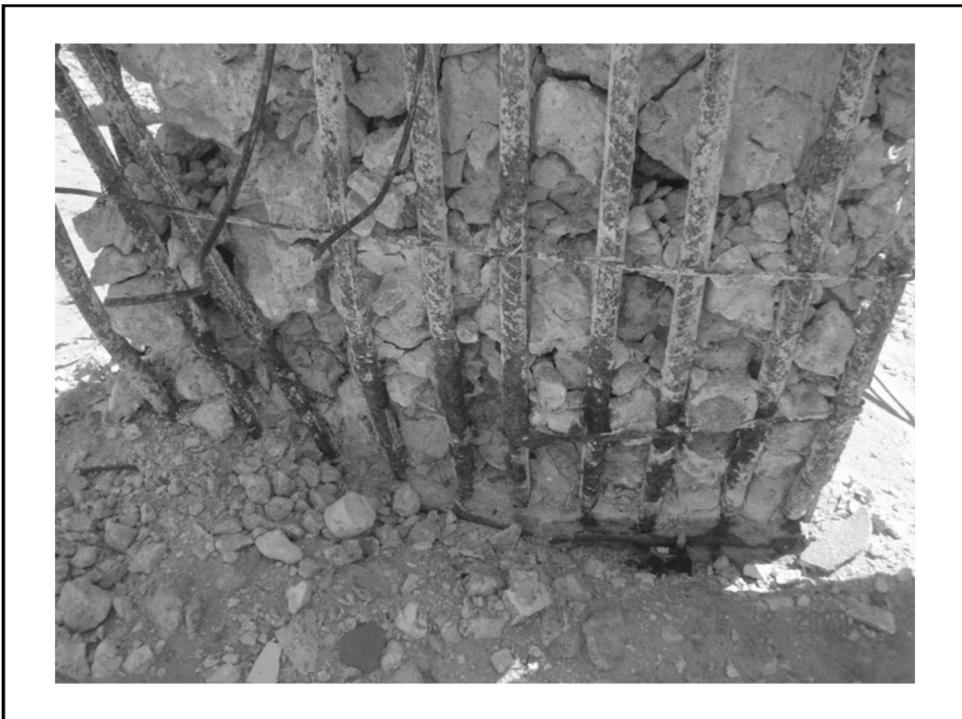
109



110



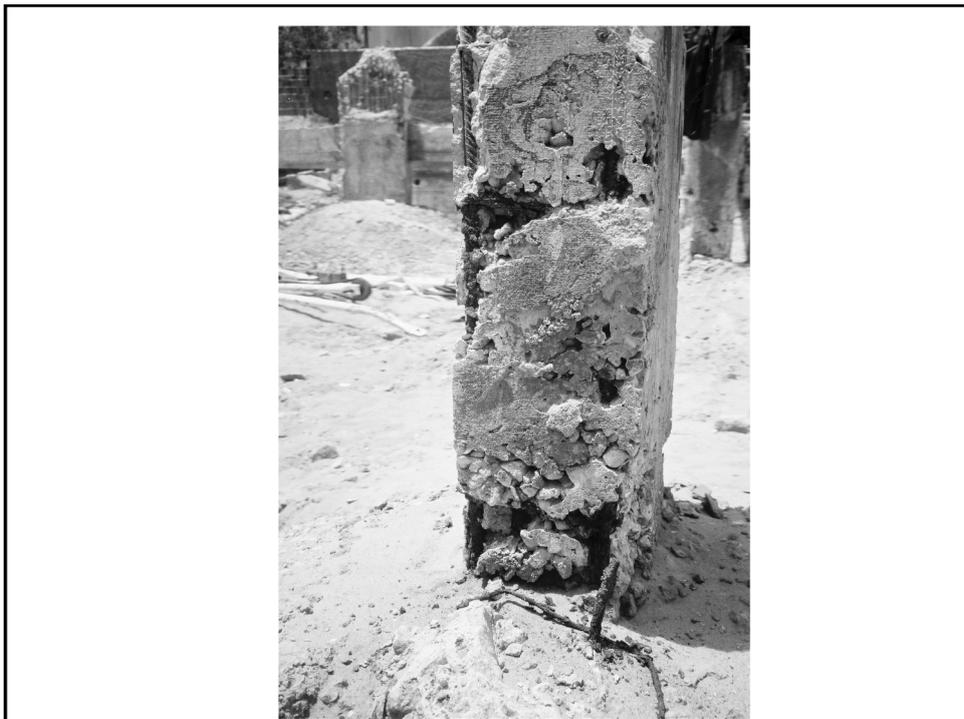
111



112



113



114



115



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

116



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

117



> 20cm!!!



118

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

119



Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

120



121



122



123



124



125



126



127



128



129



130



131

Edifício de
apartamentos
São Paulo
38 anos
Pilar rompido

132



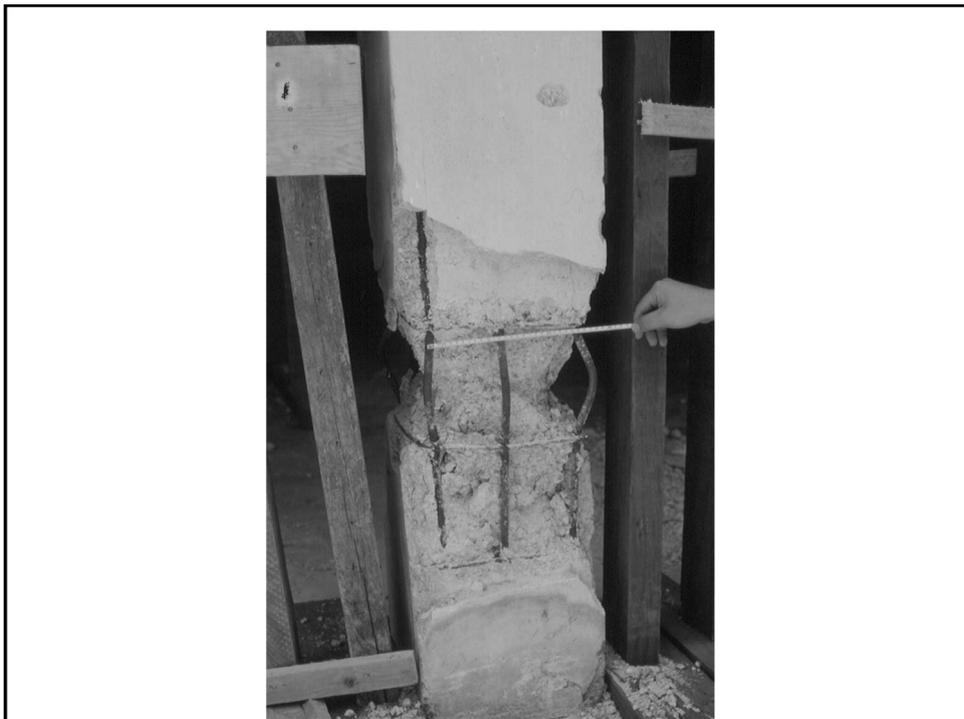
133



134



135



136



137

Lições Aprendidas

1. É melhor aprender com os erros dos outros;
2. Sem conhecimento não há evolução;
3. Vale a pena desenvolver o prazer por aprender;
4. Sempre é bom pensar holísticamente.

138