

programa
MASTER PAC
IBRACON

VALE

Home
Quem somos

Inspetor I Patologia
Corrosão de Armaduras

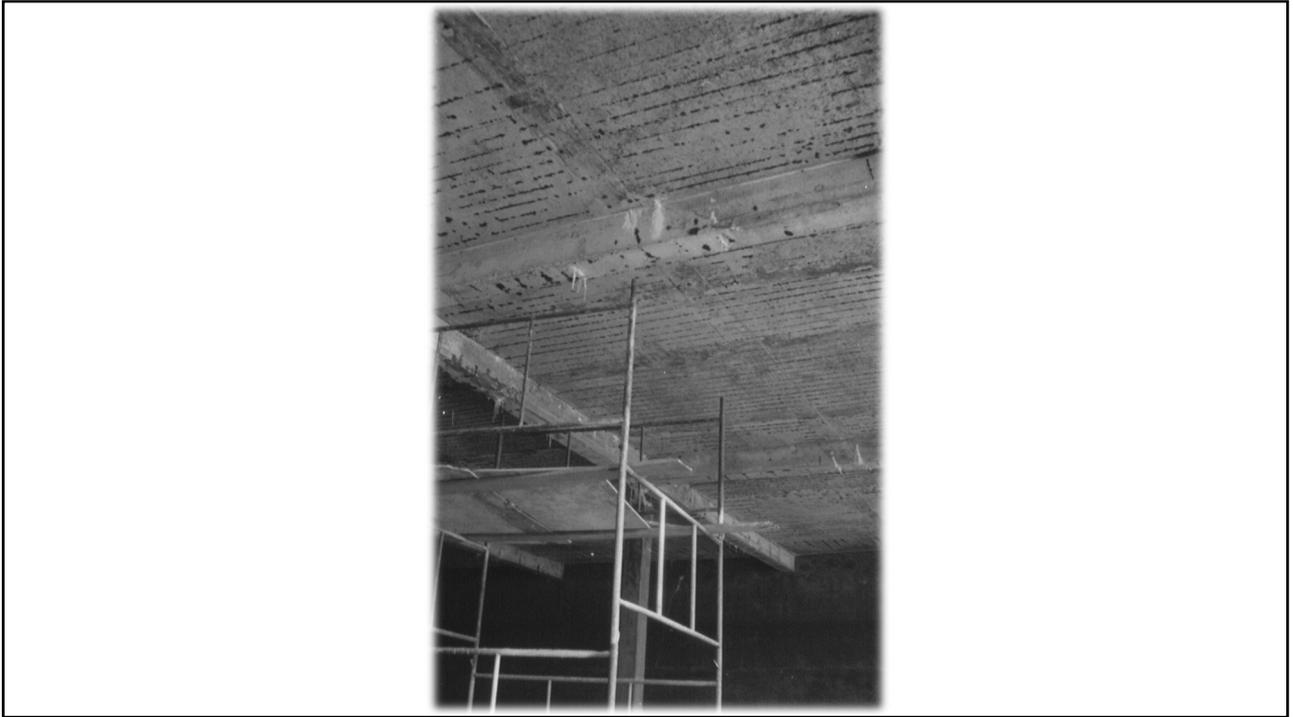
Paulo Helene
Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Gestor e Ex-Presidente ALCONPAT Internacional
Ex-Presidente e Conselheiro Permanente IBRACON
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro da CNTU, SEESP, PMSP e ABNT

Carajás, 5 de maio de 2025

1



2



3



4



5

Corrosão das armaduras nas estruturas de concreto

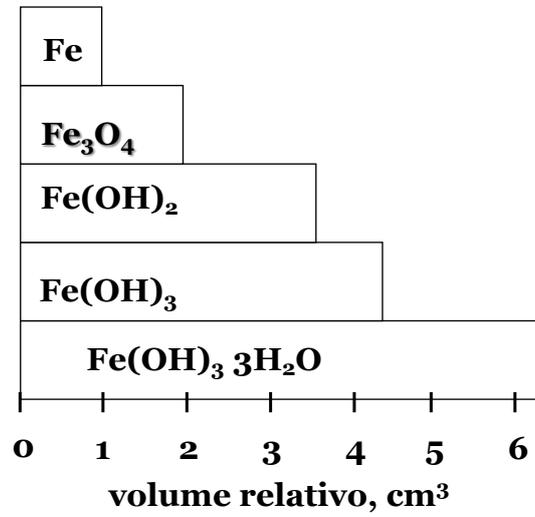
- Corrosão é o problema patológico mais importante
- NACE estima que os custos anuais derivados da corrosão alcançam nos USA

U\$400 Bilhões/ano!!!

Observação: esta apresentação está protegida pelas leis nacionais e internacionais de direitos autorais e de imagem. É proibida a gravação, reprodução, distribuição, prints e fotografia da tela de apresentação, sem permissão do autor. O objetivo é estritamente educacional.

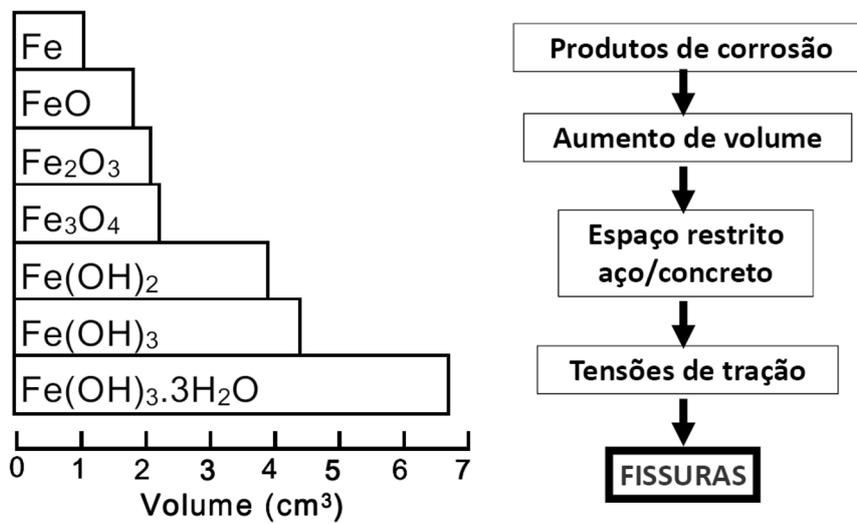
6

Produtos da Corrosão

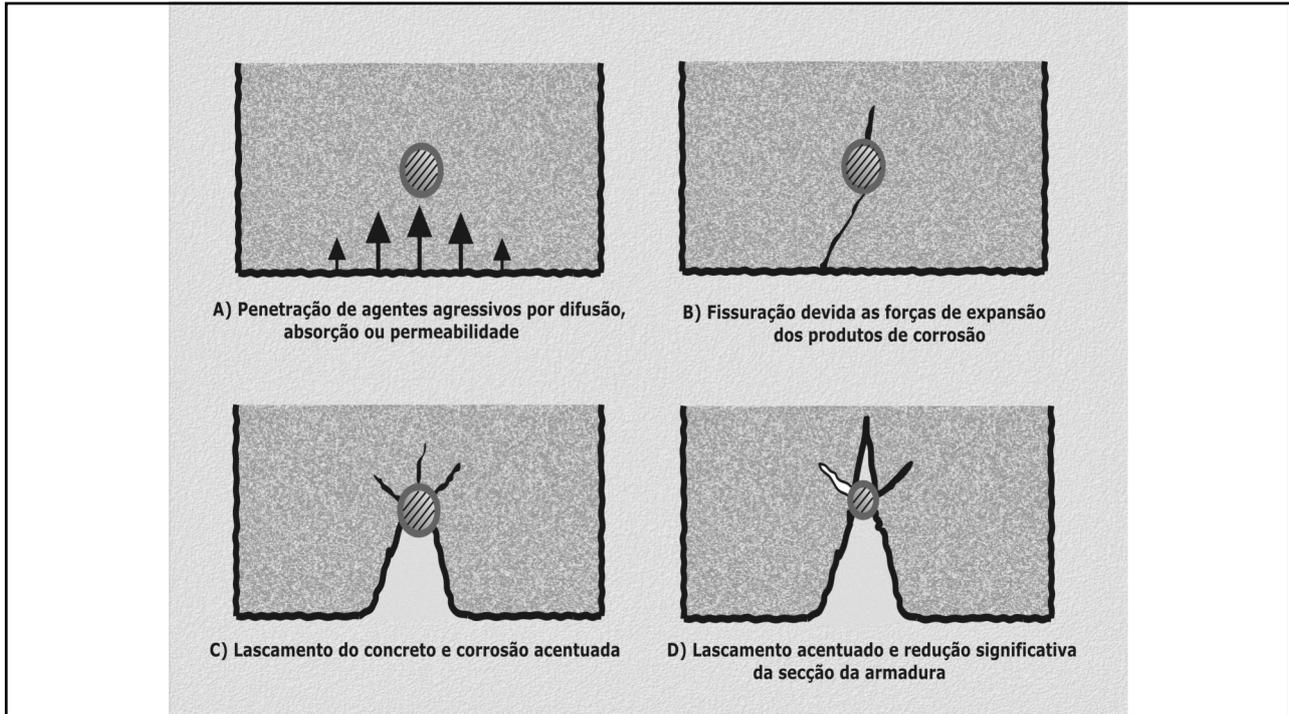


7

Corrosão da armadura



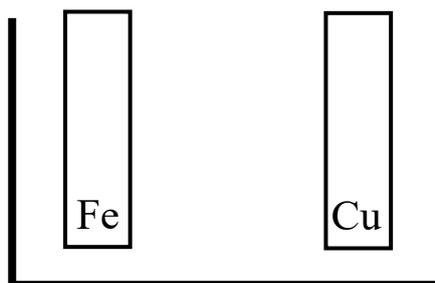
8



10

Corrosão de armaduras

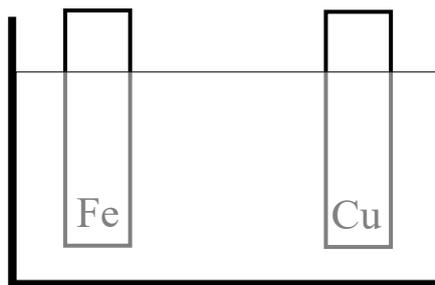
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais diferentes (ddp)



11

Corrosão de armaduras

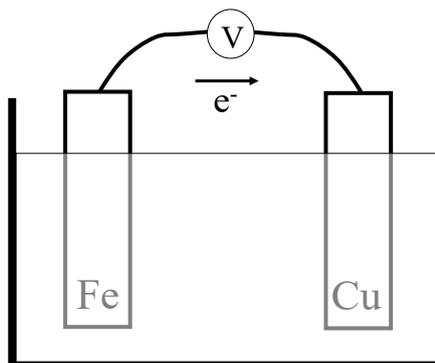
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais diferentes (ddp)
- Eletrólito



12

Corrosão de armaduras

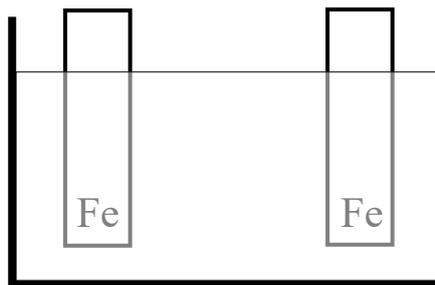
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais diferentes (ddp)
- Eletrólito
- Contato elétrico



13

Corrosão de armaduras

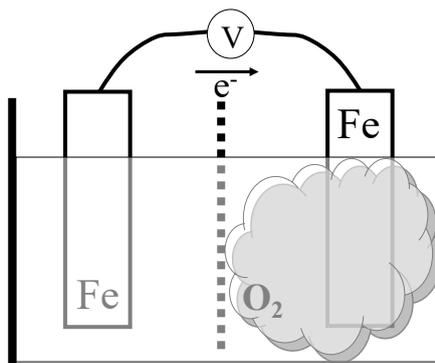
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico



14

Corrosão de armaduras

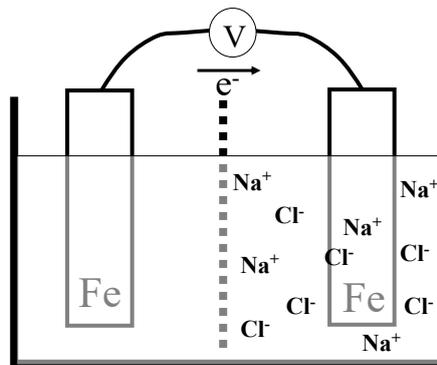
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Aeração diferencial



15

Corrosão de armaduras

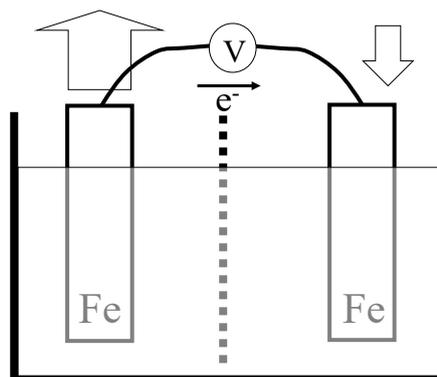
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Concentração salina diferencial



16

Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Tensão (energia) diferencial



17

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Eletrólito
 - U.R.=40% \implies 70 litros de água/m³
 - U.R.=70% \implies 95 litros de água/m³
 - U.R.=95% \implies 140 litros de água/m³

18

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Diferença de potencial (ddp)
 - Imperfeições na superfície da barra
 - Diferenças de:
 - Aeração
 - Umidade
 - Concentração salina
 - Tensão no aço

19

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Oxigênio + “água” → “ferrugem”



20

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



Mas não há corrosão !

21

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



Mas não há corrosão !



Passivação

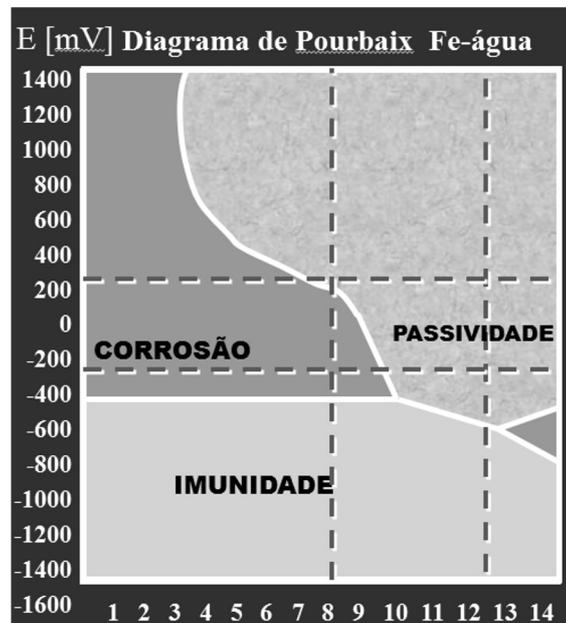
22

Passivação

- Película fina de um filme de óxido invisível, estável e aderente formado na superfície da barra
- Estado em que o aço se encontra no interior do concreto por ser um meio bastante alcalino (pH>12,1)

23

Diagrama de Pourbaix



24

Perda de passivação

- Carbonatação do concreto
- Presença de íons cloreto
- Fungos, bolores
- Fissuras

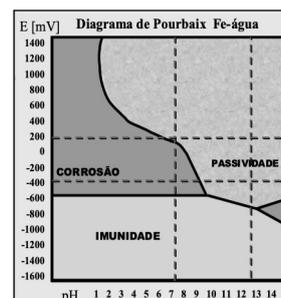
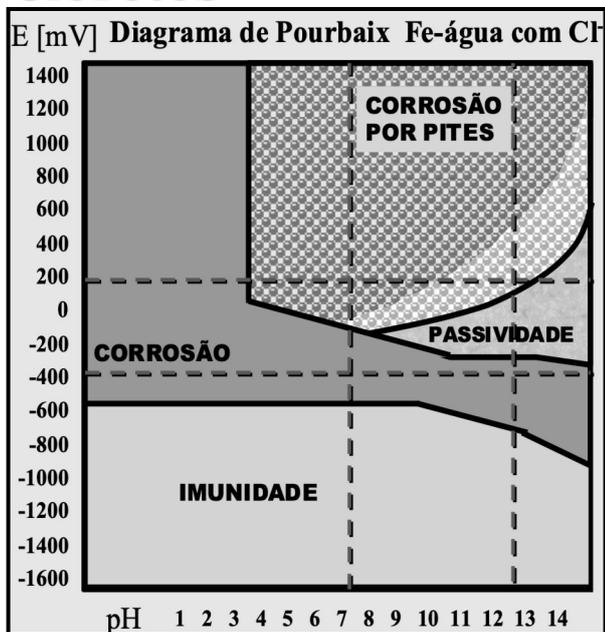
25

Cloretos

- Promove a despassivação precoce do aço, mesmo em ambientes muito alcalinos
- O teor crítico = 0,4% massa de cimento
- Origem dos cloretos no concreto:
 - Difusão de íons a partir do exterior (atmosfera marinha)
 - Aditivos aceleradores de pega (CaCl_2)
 - Uso de areia ou água contaminada
 - Tratamentos de limpeza (ácido muriático)

26

Cloretos



27

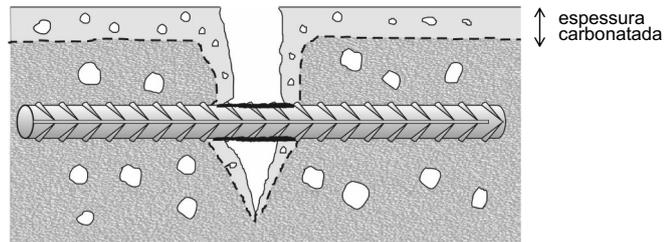


28



29

Fissuração

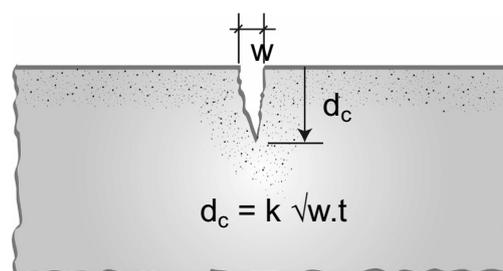


ABNT NBR 6118
 $\leq 0,3 \text{ mm}$ interiores

CEB
 $\leq 0,4 \text{ mm}$ tanto faz!

30

Carbonatação na fissura



Para dobrar d_c \Rightarrow $\begin{cases} w \times 4 \\ t \times 4 \end{cases}$

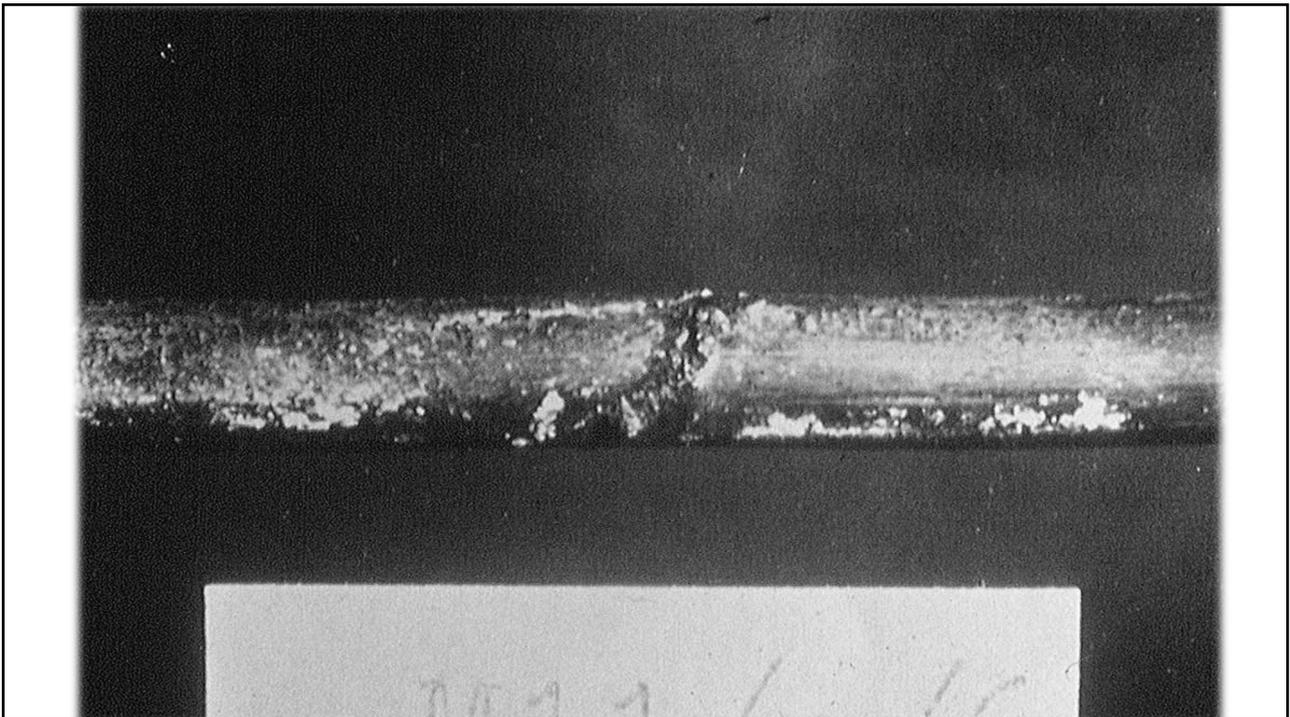
Para dobrar t \Rightarrow $\begin{cases} w : 2 \\ d_c \times \sqrt{2} \end{cases}$

31

Consequências

- cloretos
- carbonatação

32



33



34



35



36



37



38

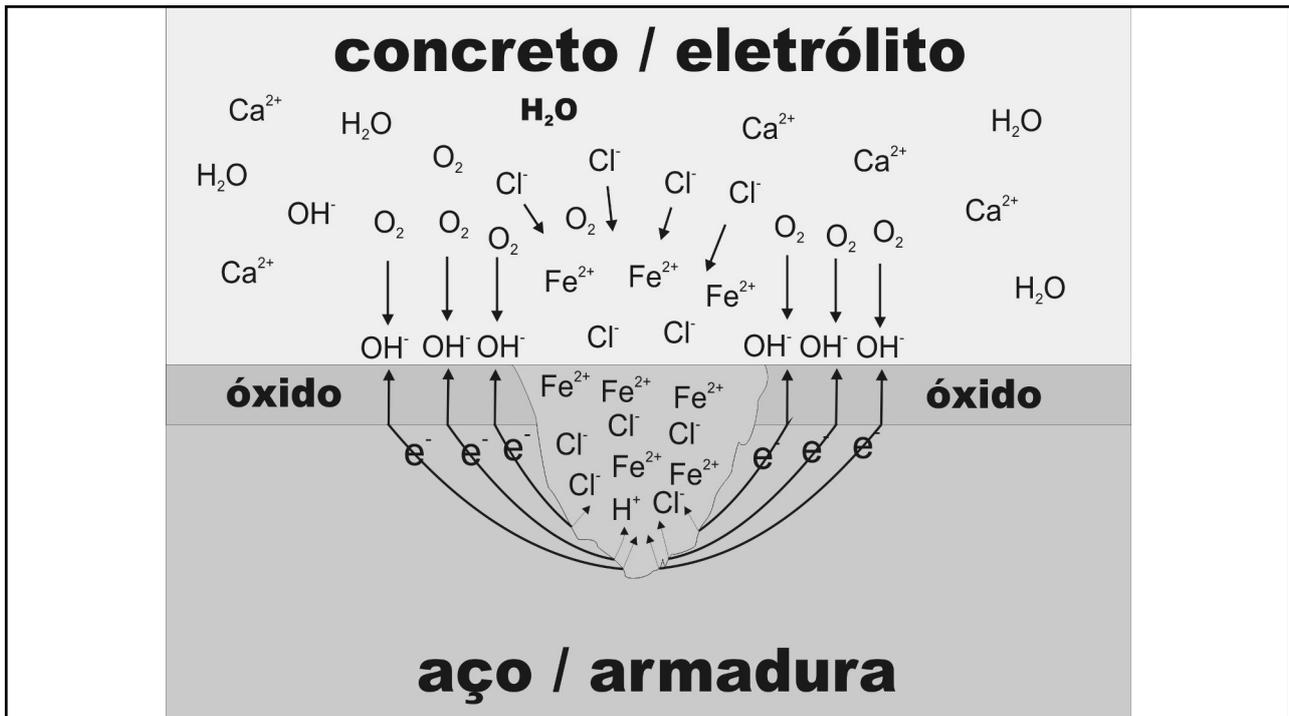
Cloretos

Carbonatação

39

Cloretos

40

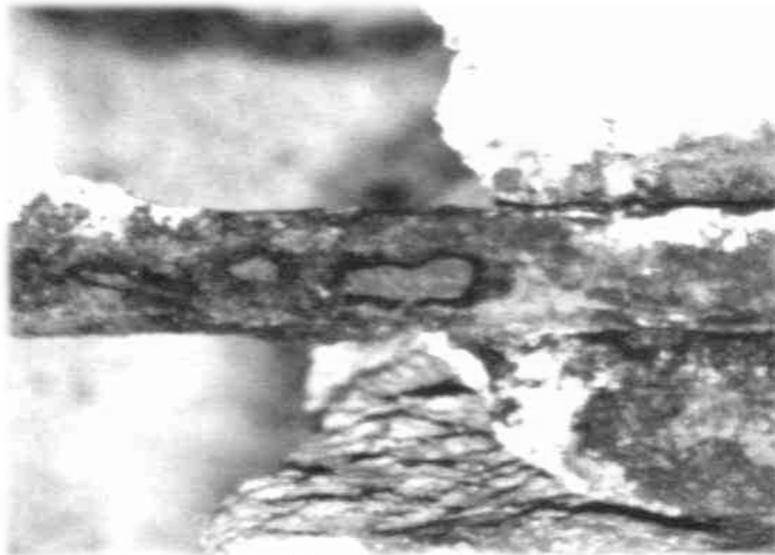


41



42

Corrosão de armaduras

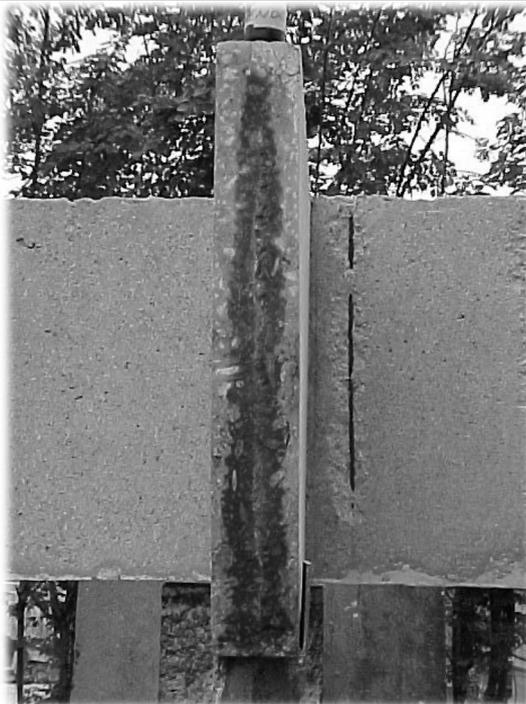


Corrosão por cloretos (pites)

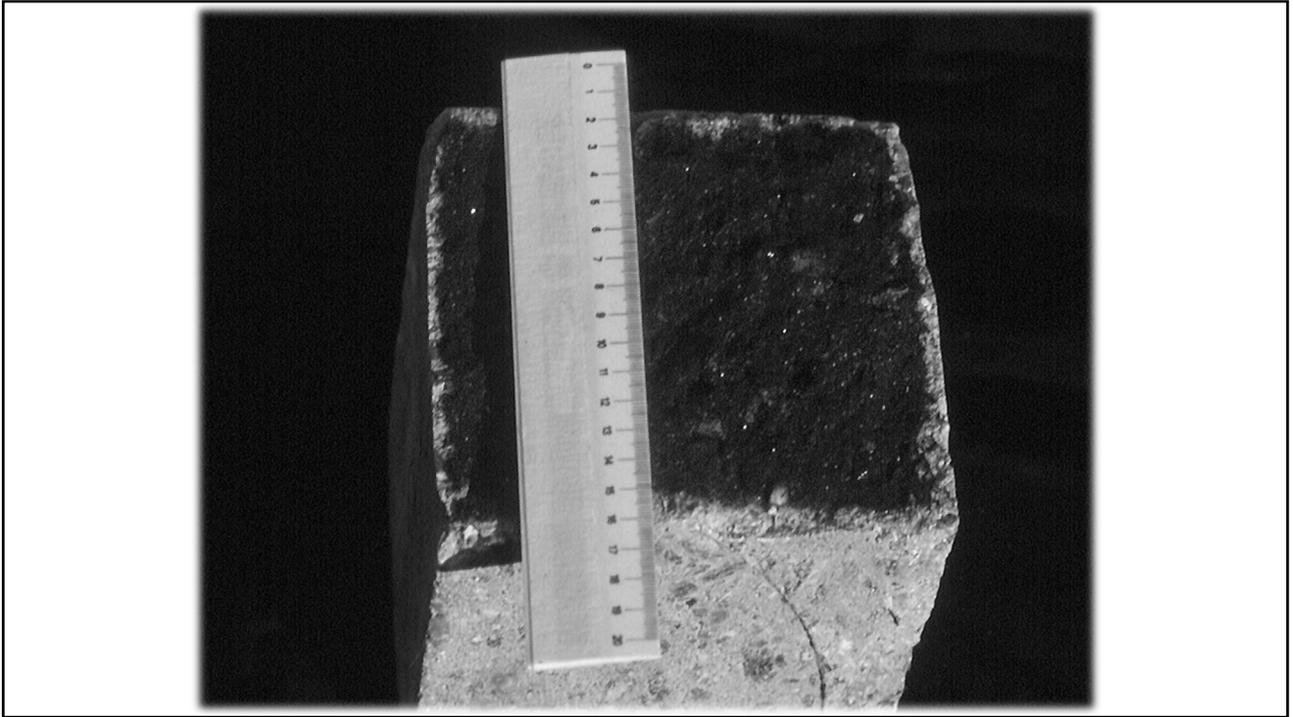
43

Carbonatação

44



45

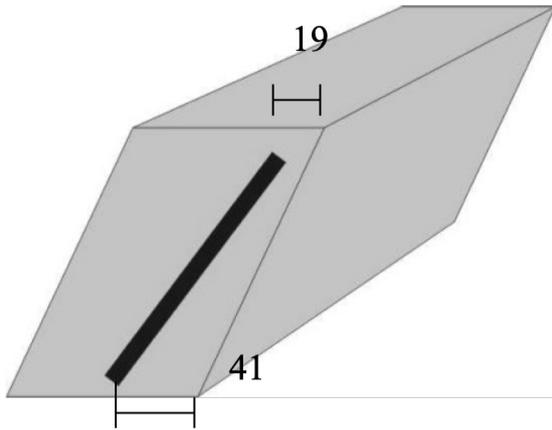


46



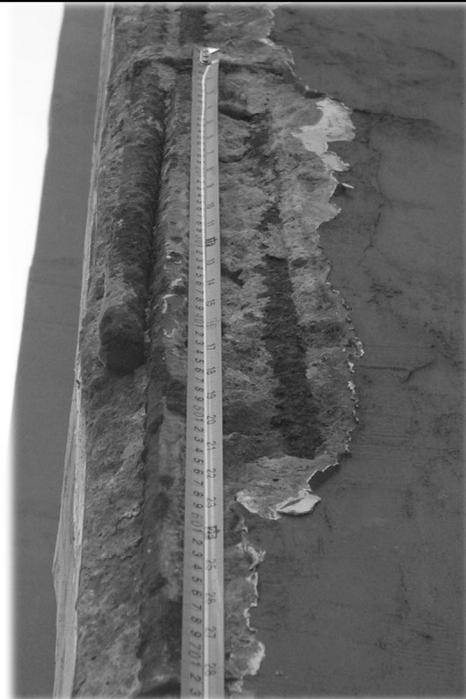
47

Corrosão de armaduras



48

Corrosão de armaduras

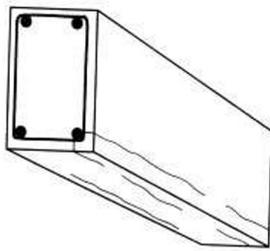


49

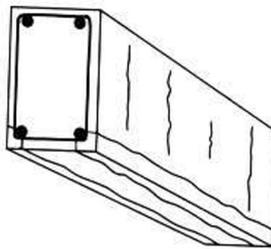


50

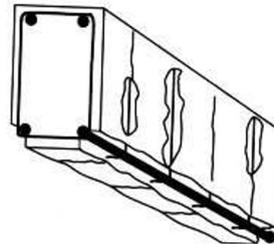
Corrosão das armaduras



Fissuras paralelas da direção dos esforços principais
 $\varnothing \leq 2\%$



Fissuras paralelas da direção dos esforços principais e estribos
 $2\% \leq \varnothing \leq 5\%$



Desprendimento do cobrimento de concreto com exposição da armadura
 $\varnothing \geq 5\%$

Representação esquemática das manifestações patológicas observadas em vigas de concreto afetadas por corrosão

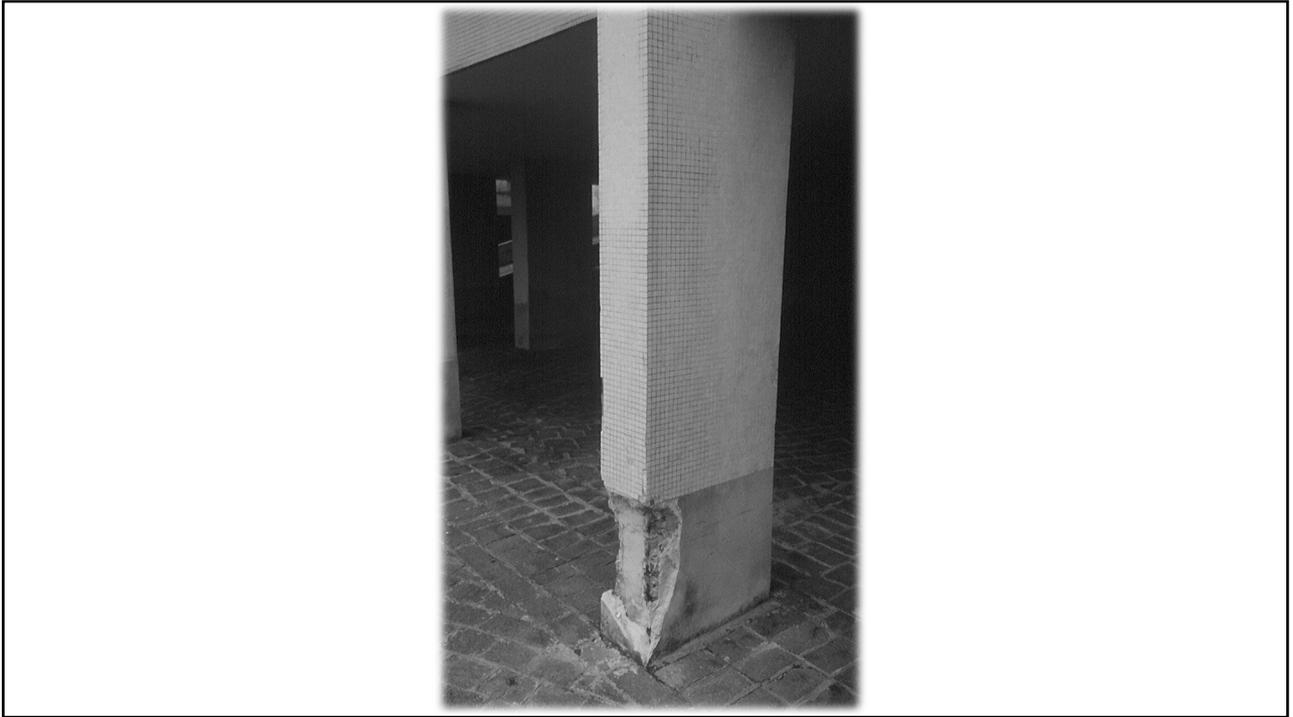
51



52



53



54



55

**Qual é o
Problema?**

**Atende ou
não à norma?**



56

Fissuras

CAUSA

CONSEQUÊNCIA

57

ELU – Estado Limite Último

(ABNT NBR 6118 itens 3.2.1)

Estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.

58

ELS – Estado limite de Serviço

(ABNT NBR 6118 item 10.4)

Estados limites de serviço são aqueles relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e à boa utilização funcional das mesmas, seja em relação às máquinas e aos equipamentos utilizados.

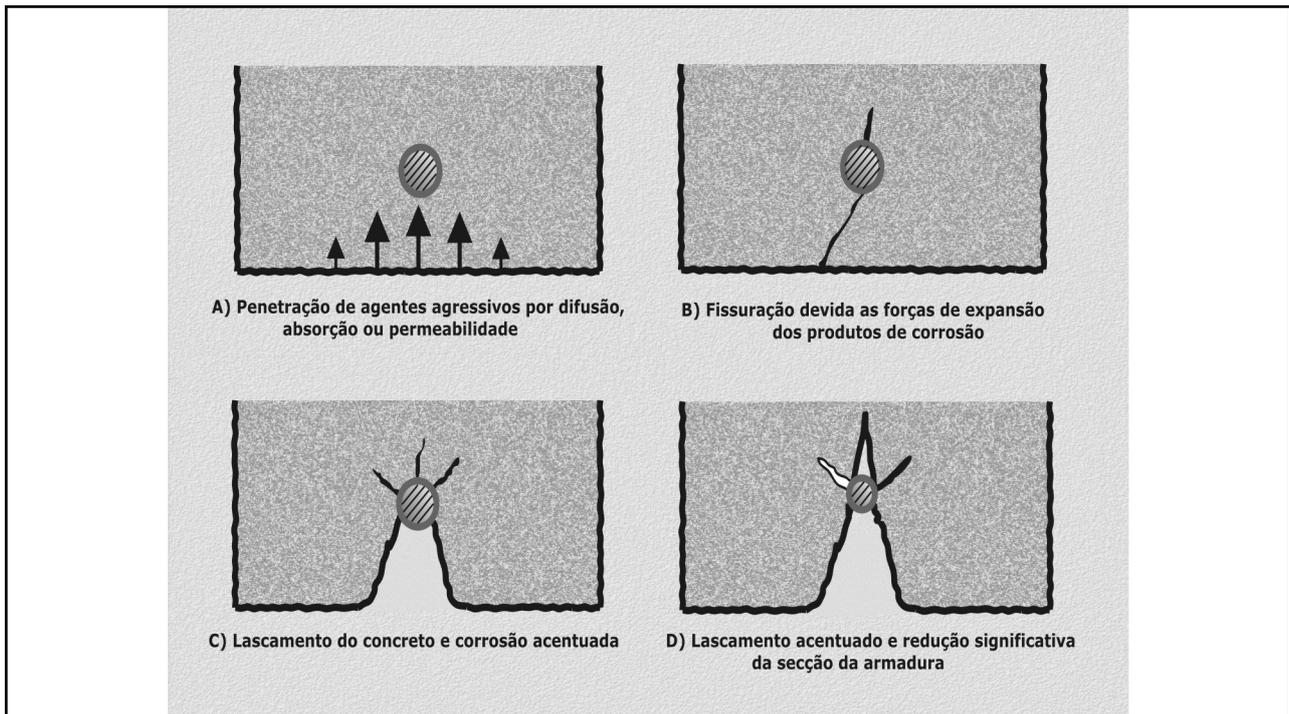
59

ELS – Estado limite de Serviço (ABNT NBR 6118 itens 10.4/16.2.4)

Devem ser verificados:

- Deformações excessivas (item 13.3); (1/250 a 1/750);
- Fissuração (item 13.4); w_k (0,4mm; 0,2mm);
- Vibração excessiva;
- Outros ????????

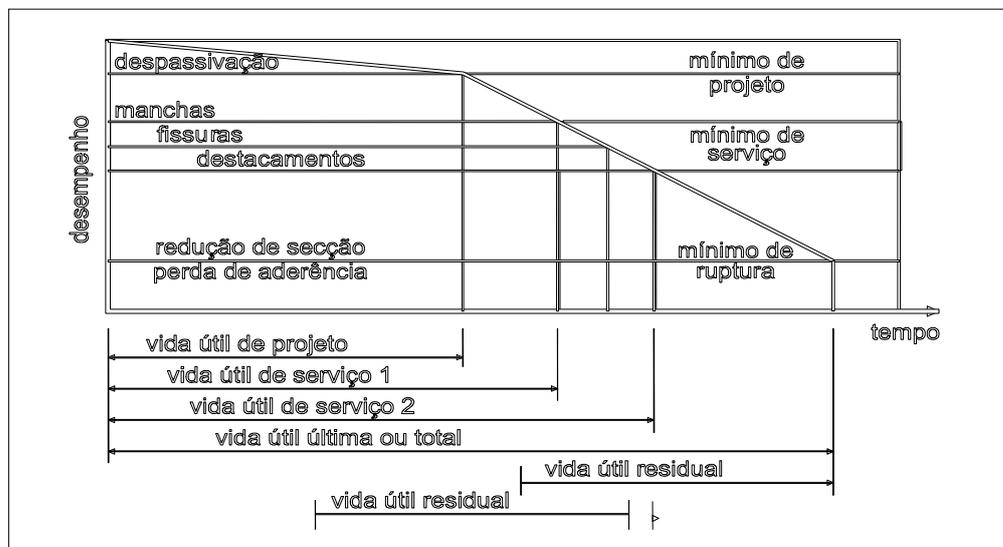
60



61

comentários

Modelo de Vida Útil para corrosão da armadura



62

prevenção

Relativos à estrutura:

regra dos 4C

- Compactação ou adensamento
- Cura efetiva
- Composição ou traço do concreto
- Cobrimento

63

prevenção

Estrutura

- a) prever drenagem eficiente;
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- d) garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- e) detalhar adequadamente as armaduras;
- f) controlar a fissuração das peças;
- g) prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas; e
- h) definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.

64

Edifícios de Escritórios

São Paulo

Vistoria

23 anos

$f_{ck} = 18$ MPa

Custo = 3 andares novos completos

Eng. de manutenção na prisão

65

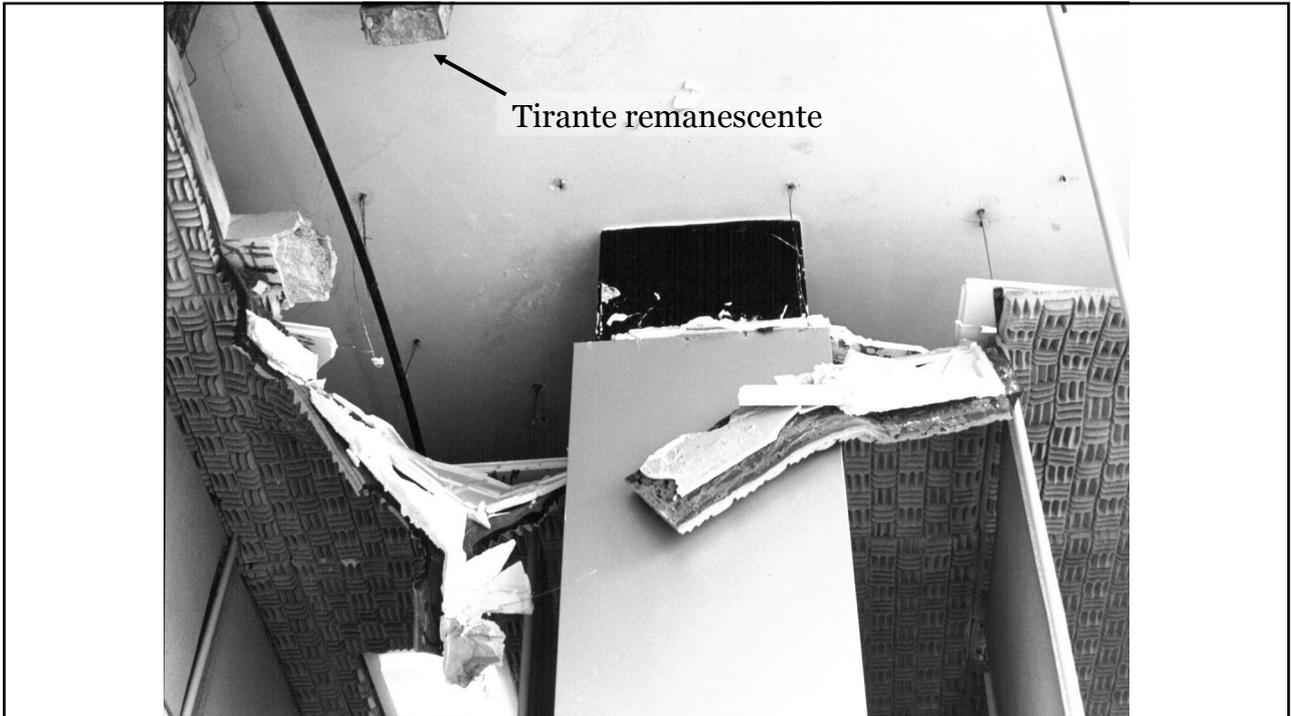
Acidente

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

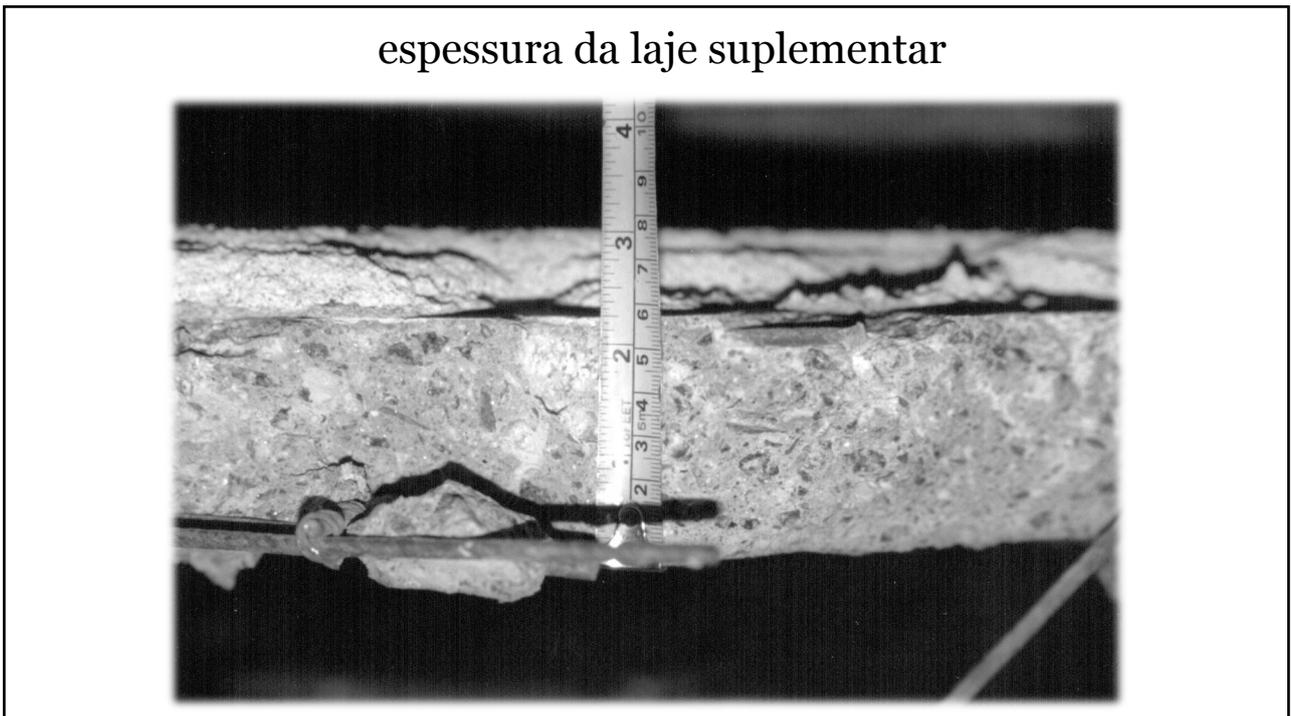
66



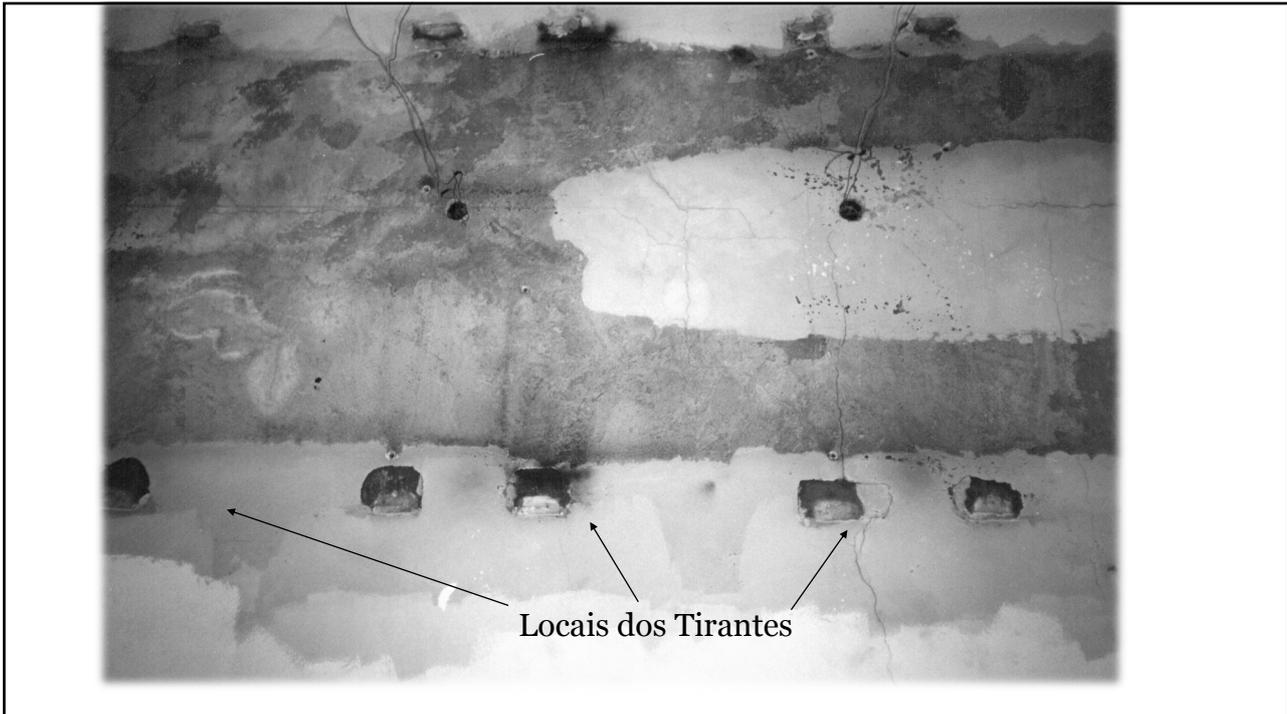
67



68



69



70

O Problema Patológico

**Corrosão das armaduras dos tirantes
(pendurais) de sustentação da laje
suplementar, construída em concreto
armado.**

Ruptura frágil sem aviso !

71

Ensaaios realizados

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

72

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.**

73



74



75



76



77

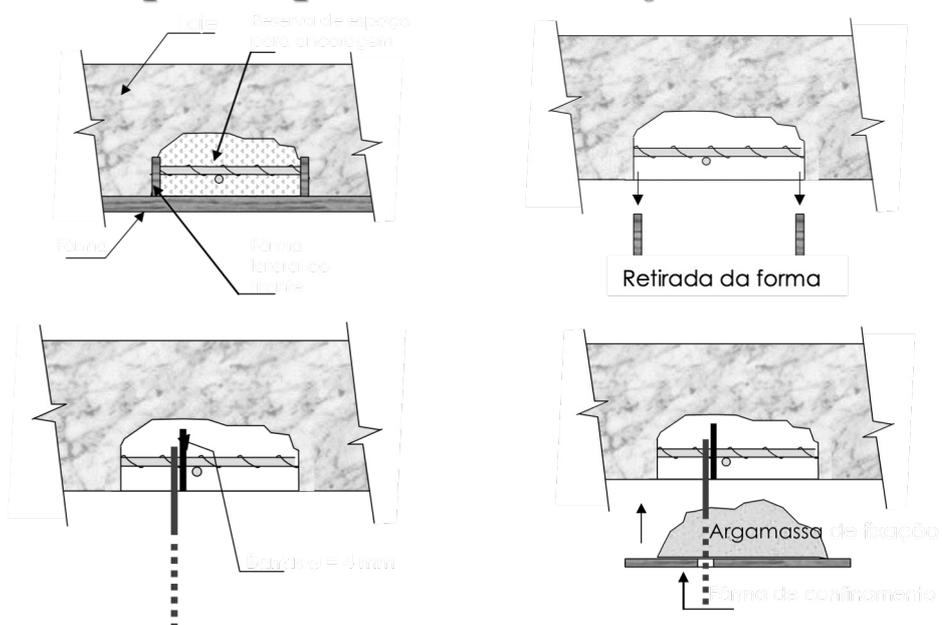
Verificação das hipóteses

Problemas executivos:

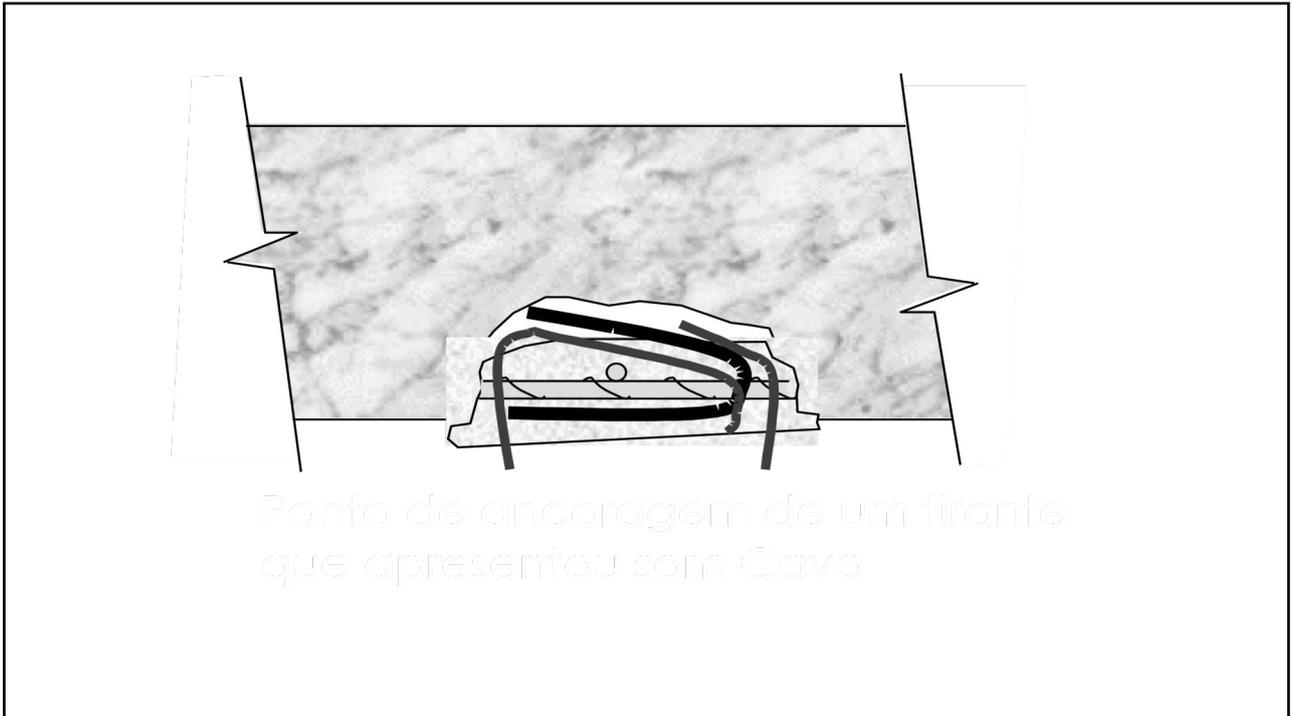
Sistema construtivo não convencional com dificuldades operacionais para confecção e fixação dos tirantes das lajes suplementares, à laje da cobertura, propiciando a existência de deficiências na região de contato tirante/lajes.

78

Sequência provável de execução dos tirantes



79



80



81



82



83



84

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.

85

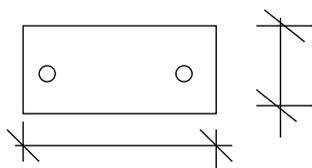
No dimensionamento de tirantes de concreto armado, a ABNT NBR 6118 e as normas anteriores que a antecederam recomendam a verificação de duas condições de segurança :

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

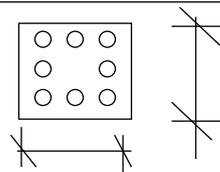
Em local protegido no interior das edificações, a abertura característica de fissura ELS pode chegar a 0,3mm, o que conduz a um número menor de barras para suportar a carga da laje suplementar

86

**Situação encontrada
no caso em questão**



**Situação aconselhável
redundância**



87

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

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

88

Marquises

**Rio de Janeiro,
Porto Alegre,
São Paulo,
Recife,
Salvador...**

97

DESABAMENTOS

Marquise esmagou um bancário de 23 anos

A peça de concreto tinha o peso de quatro toneladas

Por ULLISES ALMEIDA NENE

Edição de Política 7/1

Várias falhas na construção da marquise do prédio do Lloyd's Bank International acabaram causando a morte de uma pessoa e ferimentos em outras, no início da manhã de ontem, no centro de Porto Alegre. A marquise, com 12 metros de extensão, dois de largura e 35 centímetros de espessura e pesando quatro toneladas, desabou e esmagou o bancário Júlio César Machado Camargo, 23 anos, que ainda chegou a ser socorrido por PMs e populares, mas morreu a caminho do Hospital de Pronto Socorro. Felício José Ponte, 27 anos, residente em Novo Hamburgo, escapou por pouco. Ele sofreu escoriações nos braços e nas costas, ao ser atingido de raspão pelo concreto. Felício foi medicado no HPS e liberado, informou o Inspetor Laudelino, do plantão policial do hospital.

Uma bomba. A tragédia só não foi bem maior porque

o movimento na Rua General Câmara, onde está localizado o banco, ainda era pequeno às 7h30min. Naquela área, estão concentrados vários bancos e Júlio César trabalhava no Bradesco, como gerente do Posto de Serviço das Tólias Remor, na Av. Alsácia Hraidi. Ele estava caminhando para o Bradesco da General Câmara, onde participaria de uma reunião de trabalho, quando foi atingido pela marquise do prédio número 249, do Lloyd's Bank.

O bancário Felício José Dupont, 27 anos, presenciou o fato. Ele seguiu para o Banco Meridional caminhando pelo meio da rua, segundo afirmou, para evitar os guarda-chuvas das pessoas que transitavam pelas calçadas. Nem bem ele passou em frente ao Lloyd's e ouviu o estrondo, como uma bomba. Agarrado, viu as quatro toneladas desabar no chão. Logo ele e as pessoas que se aglomeraram no local notaram que havia alguém embaixo da marquise. Quando perceberam que o rapaz estava vivo, os populares, uma trista, fazendo muita força conseguiram erguer um pouco o concreto e retirar Júlio César. "Por mais



O horário do desabamento impediu a tragédia maior

um ou dois metros ele teria se salvado", comentou Felício, explicando que Júlio foi atingido pela ponta da marquise. A agência para onde ele ia fica ao lado do Lloyd's. Júlio César foi carregado pelo soldado PM Moacir da Silva e Felício para a viatura 418 e transportado nela para o HPS. Mas, quando a viatura tomava a Avenida Osvaldo Aranha em direção ao hospital, Felício percebeu que ele expirou. O rapaz leve e crânio esmagado, várias costelas quebradas e o seu rosto foi cortado pelo logotipo de ferro do banco. Ele era casado e deixa a esposa grávida de seu primeiro filho.

Até as 10h ainda havia a expectativa de que houvesse mais pessoas mortas sob os escombros. Dose bombeiros, em três viaturas do 17º Grupamento de Incêndios, comandados pelo Tenente Medeiros, compareceram no local para removem a marquise desmoronada, um trabalho vagaroso que levou quase toda a manhã para ser concluído.

Perícias

Abalado e bastante nervoso, o gerente do Lloyd's Bank International, Alan Davó, concedeu uma entrevista à imprensa. Ele explicou que pertencem ao banco seis das quinze andares do prédio, que foi construído em 1974. Os funcionários da agência foram desalojados e o gerente informou que já estão sendo procuradas instalações provisórias para o Lloyd's, e que uma equipe especializada do próprio banco fará uma avaliação da atual sede para determinar as condições em que se encontra. Alan não soube informar quem são os responsáveis pela construção do edifício.

Vários engenheiros e técnicos se dirigiram até o prédio para ver o que tinha acontecido.



Júlio César era funcionário do Bradesco

Engenharia e Arquitetura (CREA), Luis Fernando Osório, 30 anos, e Luiz Augusto Ercole, 38 anos, fizeram um levantamento técnico dos escombros. Segundo eles, para um processo administrativo que a entidade moverá para apurar as responsabilidades pelo desabamento, porém não quiseram adiantar qualquer conclusão.

Já Romeu Fachin, da Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV), disse que os técnicos da Secretaria estavam ali apenas fazendo "uma verificação", nada para fins de inquérito ou processo. Mas, juntamente com diversos colegas à sua volta, enumerou várias falhas que, numa rápida averiguação, poderiam ser constatadas: "O cascalho utilizado na marquise é muito grão; a ferragem, muito fina, está disposta de maneira inadequada; há sobrecarga de enchimento; e é quase certo que as tubulações de escoamento d'água estejam entupidas". Por isto, o engenheiro da SMOV acredita que as chuvas que caíram



Loja desaba e mata nove no S

Muita gente participou da promoção que distribuiu balas e bombons às crianças.

Porto Alegre, 23 de fevereiro. Uma promoção promovida pela loja de doces e bombons "Bela Vista" acabou em tragédia. Um prédio de três andares desabou no início da manhã de ontem, matando nove pessoas e ferindo outras.

O prédio, conhecido como "Loja Bela Vista", estava sendo usado para uma promoção de distribuição de balas e bombons às crianças. Muitas pessoas estavam presentes no local quando o desabamento ocorreu.

As vítimas foram identificadas como: [Nomes das vítimas].

O desabamento ocorreu no início da manhã de ontem, por volta das 7h30min. O prédio estava sendo usado para uma promoção de distribuição de balas e bombons às crianças.

O prédio desabou no início da manhã de ontem, por volta das 7h30min. O prédio estava sendo usado para uma promoção de distribuição de balas e bombons às crianças.

Relatório da Dersa fica pronto este mês

Relatório da Dersa fica pronto este mês

O relatório técnico da Dersa sobre o acidente da loja desaba e mata nove no S está pronto e será entregue ao governador no decorrer deste mês.

O relatório contém todas as informações técnicas e científicas necessárias para a compreensão dos fatos e a identificação das causas do acidente.

O relatório será entregue ao governador no decorrer deste mês.

Bloqueio da BR-116 terá policiamento

Bloqueio da BR-116 terá policiamento

O bloqueio da BR-116, entre Porto Alegre e Bagé, será acompanhado por um policiamento reforçado para garantir a segurança dos usuários da rodovia.

O policiamento será realizado por equipes de trânsito e segurança pública, com o objetivo de evitar acidentes e garantir a fluidez do tráfego.

O bloqueio da BR-116, entre Porto Alegre e Bagé, será acompanhado por um policiamento reforçado para garantir a segurança dos usuários da rodovia.



102

FOLHA DE S. PAULO sexta-feira, 13 de março de 1998 são paulo 3 ■ 3

PERIGO 2 Prefeitura diz que só vistoria prédios quando vai conceder Habite-se; polícia procura o proprietário do imóvel

Falta de ferragens pode ter causado queda

da Reportagem Local

As causas do desabamento das marquises da loja Out-Let ainda são desconhecidas. O Instituto de Criminalística fez uma perícia no local. O laudo deve ficar pronto em 15 dias.

Para o engenheiro José Galvão, da Defesa Civil, numa primeira análise, as marquises tinham ferragens insuficientes para o peso delas e apresentavam umidade. "O prédio é muito antigo, da década de 50."

Na avenida Conde Francisco Matarazzo, onde ocorreu o acidente, a prefeitura está fazendo obras para criar uma espécie de calçadão 24 horas.

Alguns vizinhos e funcionários da loja suspeitam que as obras possam ter influído no acidente. "O prédio vibrava sempre que as britadeiras trabalhavam na rua", disse a balconista da Out-Let Miriam Dalva dos Santos.

O diretor de Obras da Prefeitura de São Caetano, Elomar Darroqui, afirma que as obras não têm nenhuma relação com o acidente. "As obras foram só úteis, pois se a avenida não estivesse parcialmente interditada, mais pessoas poderiam estar passando sob as marquises no momento do desabamento", disse.

Segundo Darroqui, que frequentava o prédio ontem, a prefeitura só vistoria as obras para concessão do Habite-se.

O diretor afirmou ainda que essa vistoria não avalia condições de responsabilidade do empreiteiro que fez a obra", afirmou. Pelo Código Civil, uma construtora é responsável nos cinco primeiros anos após a conclusão da obra.

O dono da loja, Omar Abdouni, disse que é inquilino do prédio há três anos e que ele nunca havia apresentado problemas nesse período. Abdouni não confirmou a informação da funcionária de que o prédio vibrava com o trabalho das britadeiras. A polícia agora vai localizar o proprietário do prédio. (RENATOKRAUSZ)

da Reportagem Local

zinha Nakasato também sofreu pela ferida. Tereninha era casada e tinha quatro filhos.

O electricista Alotório da Silva escapou por pouco, segundo seu irmão Everaldo da Silva, 40.

Alotório sofreu apenas uma escoriação no braço. Após o acidente, ele não quis ir ao hospital e voltou para o trabalho. "De tão assustado, ele chegou aqui tremendo e usando muito", disse o irmão.

O outro ferido, Samuel Correia Bispo, teve escoriações na mão e nas costas. Ele foi levado ao PS Municipal de São Caetano.

Uma mulher que também passava sob a marquise saiu ileso por alguns milímetros. Segundo testemunhas, a mulher deu um passo para dentro da Out-Let e as marquises caíram na sua frente. (R2)

da Reportagem Local

O delegado Marco Antonio Barreiras, titular do 19 DP de São Caetano do Sul, disse que vai aguardar o laudo do IC para identificar os culpados pelo acidente na loja Out-Let.

"Se houve negligência, alguém irá responder por homicídio culposo (sem intenção)".

De acordo com o delegado, caso fique comprovado que os responsáveis já souberam de problemas nas marquises, sem tomar providências, é possível que ocorra um indiciamento por homicídio doloso (com intenção).

Barreiras deve consultar hoje o registro de imóveis para localizar os proprietários do prédio.

O delegado afirmou que presen-

de ouvir o proprietário e o inquilino do imóvel pelo menos duas vezes antes e depois de receber o laudo do IC.

O procurador-geral de Justiça de São Paulo, Luiz Antonio Marrey, designou ontem dois promotores para acompanhar o inquérito policial.

O dono da loja, Omar Abdouni, disse que o prédio pertence à família Zetune. Nenhum membro da família foi localizado ontem.

Segundo Abdouni, o edifício anteriormente havia sido alugado para uma espécie de shopping center, com várias lojas.

Com o tempo, os outros inquilinos foram saindo e o local acabou virando uma só loja. A área construída do prédio é de aproximadamente 2.000 m². (R2)

Vítima não teve tempo de correr Delegado vai ouvir dono 2 vezes

da Reportagem Local

As marquises da Out-Let caíram tão rápido que as duas pessoas que morreram nem sequer tiveram tempo de correr, segundo testemunhas.

De acordo com Alexandre Athanasio, 18, funcionário de uma farmácia vizinha à loja, o rapaz Alex dos Santos, que estava no 1º andar, já tinha passado pela marquise, mas com o barulho, deu um passo para trás e acabou atingido.

A família de Alex soube do acidente pela televisão. O pai, Benedito dos Santos, chegou à sua casa e encontrou a mulher chorando. Santos foi à delegacia e, após confirmar que era mesmo seu filho, ficou em estado de choque.

A família da dona da casa Ter-

Técnica de relaxamento no trânsito: ligar o rádio.

APRIMA MÚSICAS ORGANIZADAS

scallim

A rádio anti-stress.

103

Lições

- Utilizar cobrimentos superiores a 50 mm;
- Utilizar concretos com a/c inferiores a 0,5 com $f_{ck} > 35$ MPa;
- Utilizar armadura de compressão suficiente para “pendurar” a marquise;
- Inspeccionar periodicamente (POA, BUE, NY, Salvador, etc.)

104



105



106



107

Reparo Estrutural !?



Todo reparo estrutural deve ser realizado com argamassa, graute ou concreto com resistência bem superior à do elemento. No mínimo igual.

108

Reparo Estrutural !?



Todo reparo estrutural deve ser realizado com argamassa, graute ou concreto com resistência bem superior à do elemento. No mínimo igual.

109

CONSTRUTOR

precisa ter consciência de
que a consequência de seus
atos pode levar anos para
aparecer!

110

Edifício Areia Branca

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

111



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

112



113



Escombros - manhã seguinte do desabamento

114



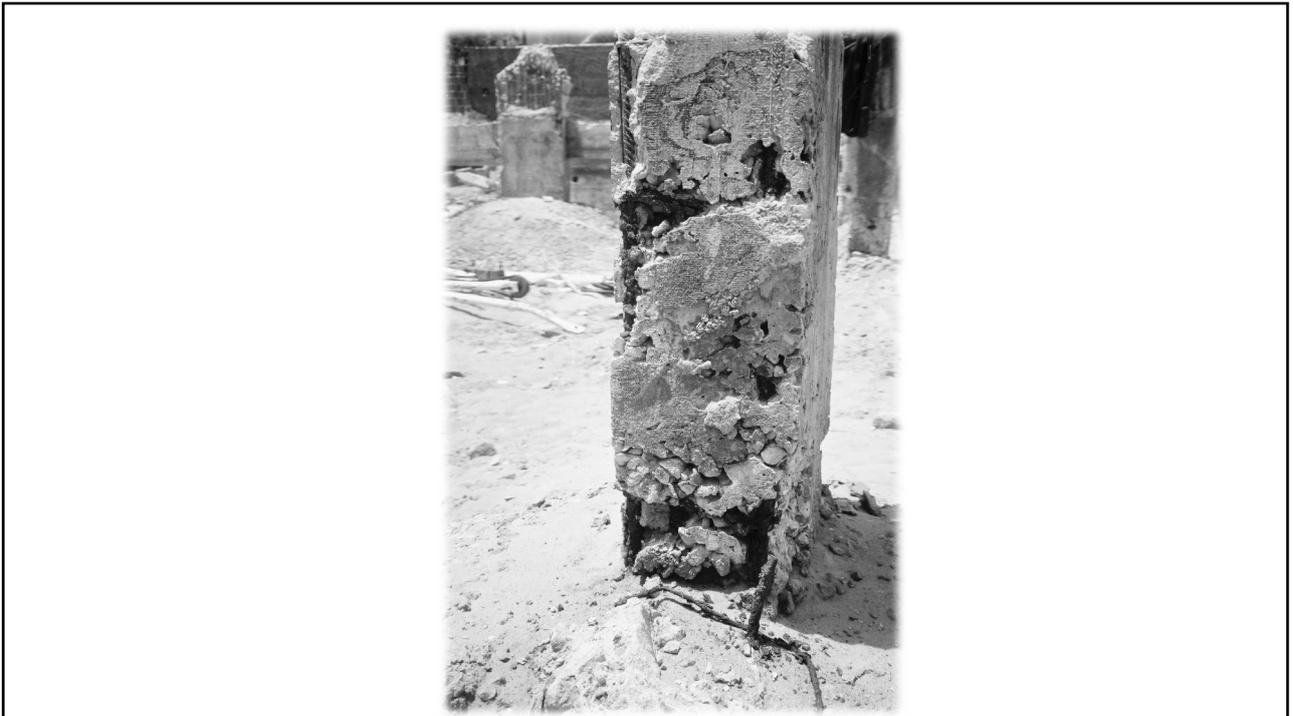
115



116



117



118



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

119



120



121



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

122

OBRIGADO!

PhD
Engenharia

"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23 11.9.5045.4940

123