




Entendendo os Danos Produzidos pela Corrosão



*do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras**

Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselheiro Permanente IBRACON
 Presidente ALCONPAT Internacional
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures

www.institutoidd.com.br 9h a 10h, SP 15.03.2013

1

Qualidade das Estruturas

- 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 revestimentos 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.

PhD Engenharia

2

Mecanismos de Envelhecimento

Relativos ao concreto:

- lixiviação
- expansão
- intemperismo

Relativos à armadura:

- carbonatação
- cloretos

3

Mecanismos de Envelhecimento

Relativos à estrutura:

regra dos 4C

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

PhD Engenharia

4

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!!!
- NACE estima que 25% a 30% desse custo deve ser atribuído à corrosão de armaduras

PhD Engenharia

5

Armadura

Concreto Armado:

1 m³ de concreto

70 a 180 kg/m³ de armadura

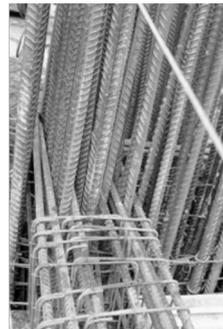
R\$ 470,00/m³ de concreto

R\$ 7,00/kg de aço

1m³ de concreto armado:

R\$ 470,00 → concreto

R\$ 750,00 → armadura/aço



6

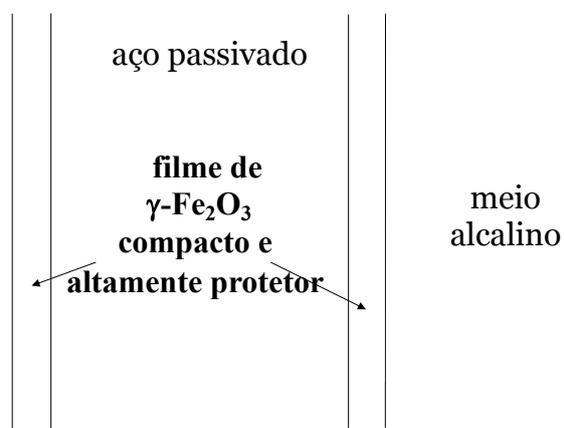
Concreto é Alcalino

- O extrato aquoso do concreto tem $\text{pH} > 12$
- Contêm concentrações elevadas de íons:
 - Hidroxilas (OH^-) 300mmol/L
 - Sódio (Na^+) 50mmol/L
 - Potássio (K^+) 70mmol/L
 - Cálcio (Ca^{++}) 200mmol/L

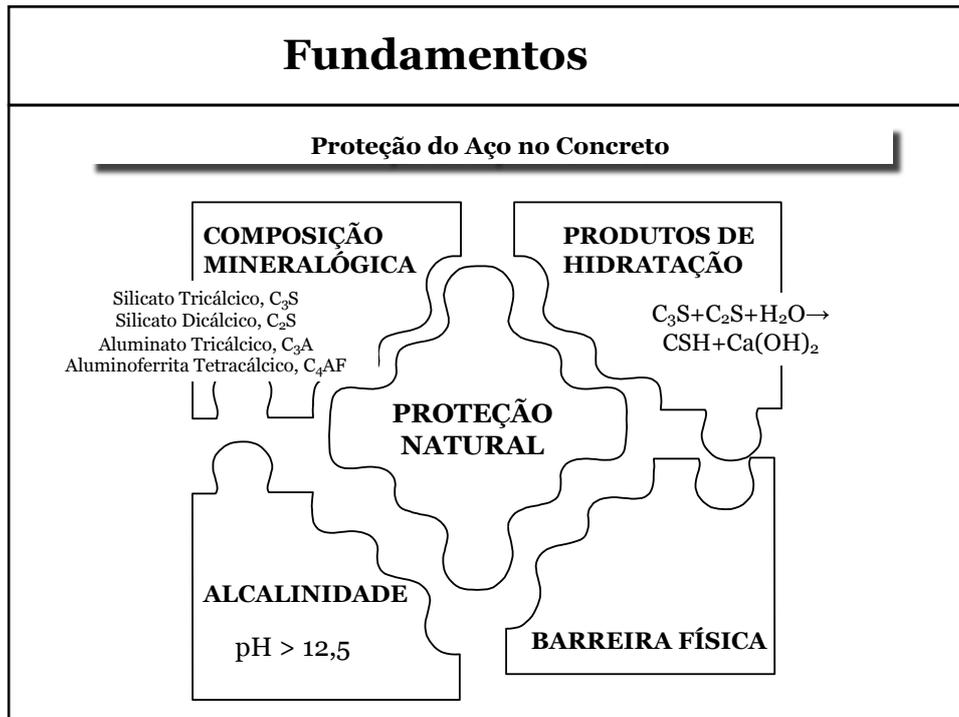
PhD Engenharia

7

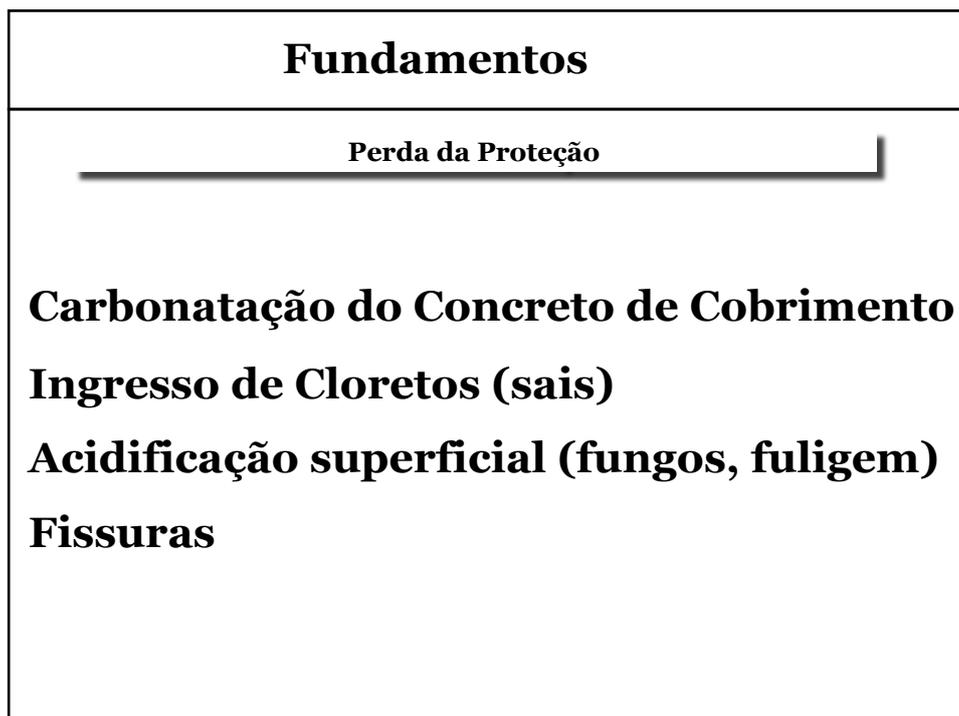
Armadura dentro de um bom concreto



8



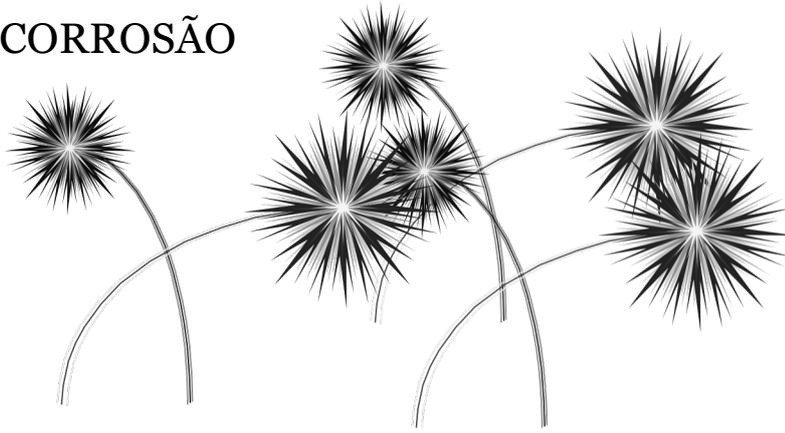
9



10

Definição

CORROSÃO

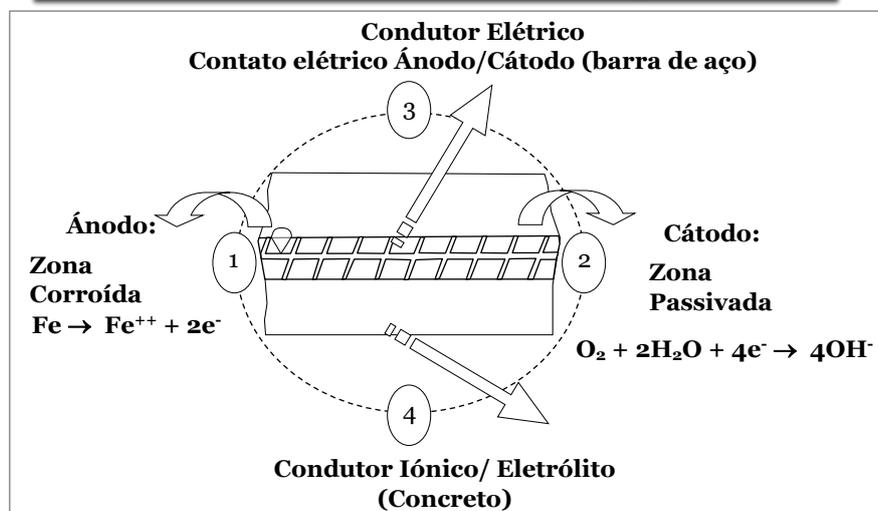


oxidação destrutiva do aço em presença de um meio úmido (água)

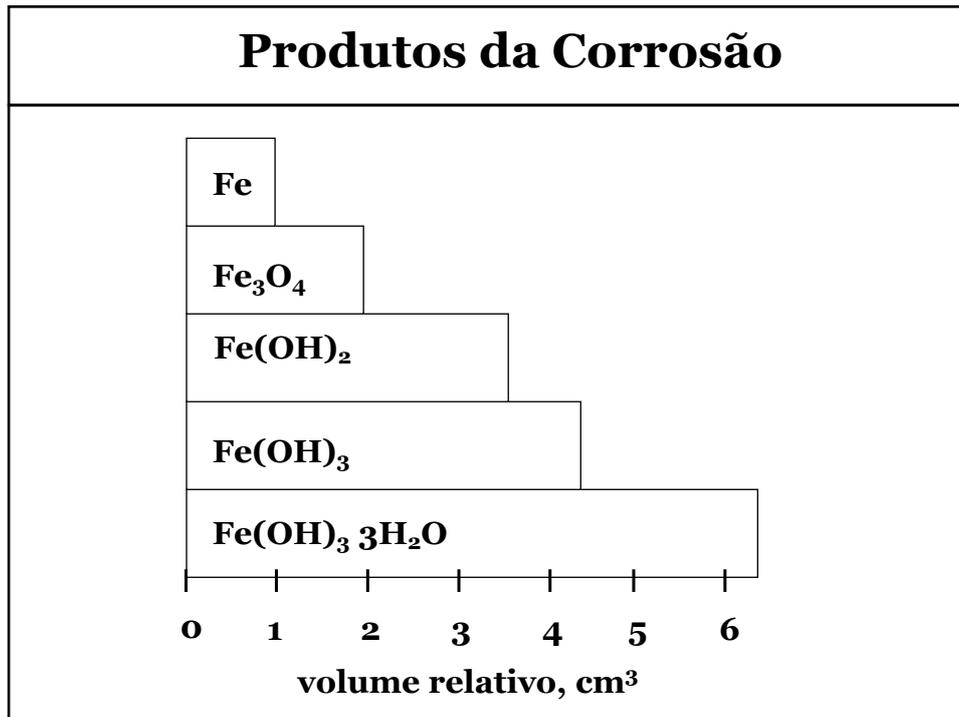
11

Corrosão da armadura no concreto

Elementos da Pilha de Corrosão Eletroquímica



13

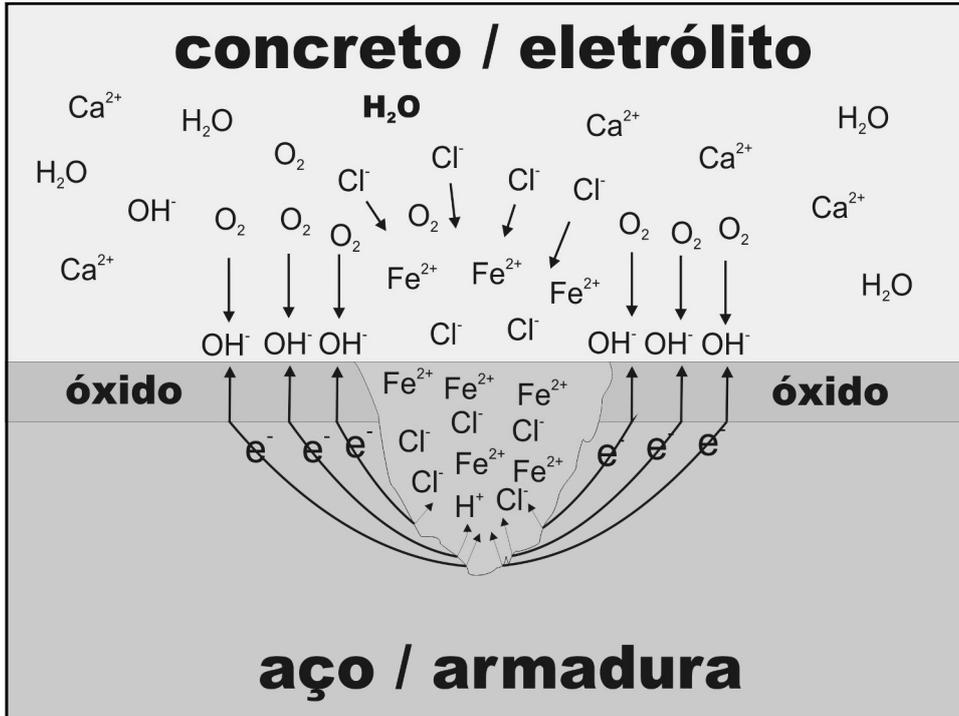


14

Cloretos

PhD Engenharia

15



16

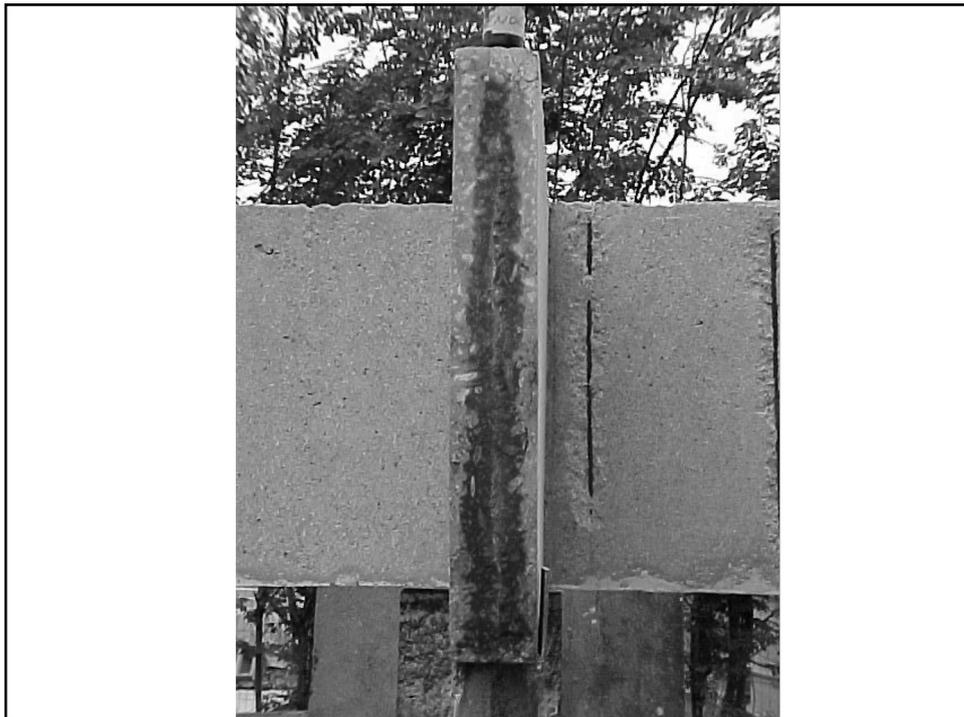


17

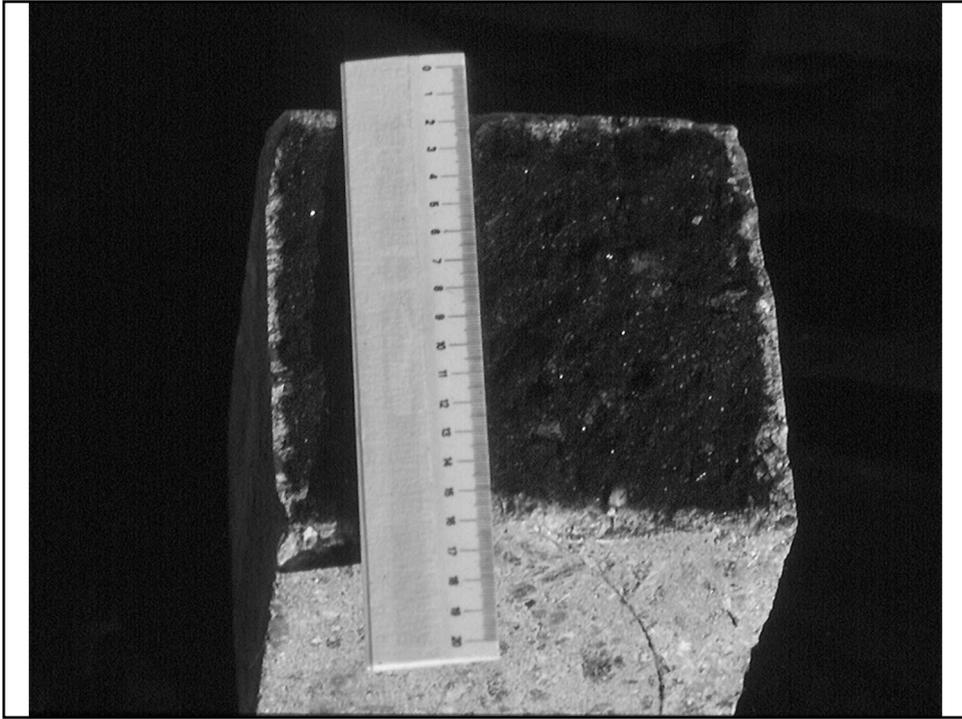
Carbonatação

PhD Engenharia

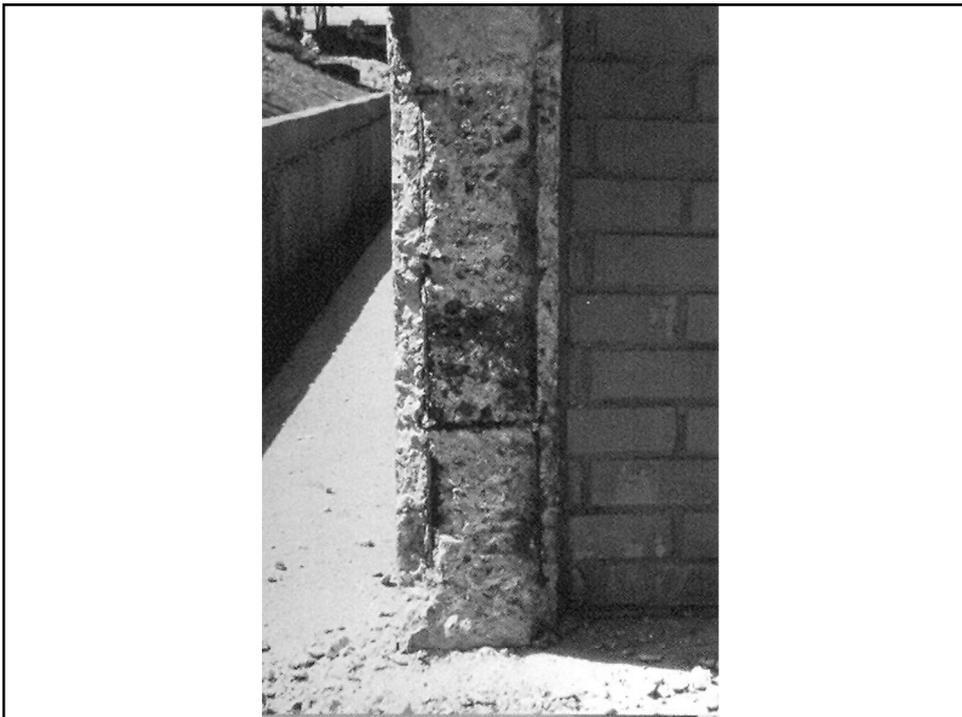
18



19



20



21

Fissuração

- ✓ Retração hidráulica
- ✓ Movimentação térmica
- ✓ Retração autógena
- ✓ Expansão por sulfatos
- ✓ Expansão álcali-agregado
- ✓ Ações mecânicas (cargas)

PhD Engenharia

22

Fissuração

fib

Model Code for Service Life Design
Bulletin 34, 2006

item 3.3 → Cracks

$C \geq 50\text{mm}$

$a/c \leq 0,50$

$w_k \leq 0,3\text{mm}$

→ vida útil ≥ 50 anos!

23



24

Fissuração

↑ espessura
↓ carbonatada

NBR 6118:2007

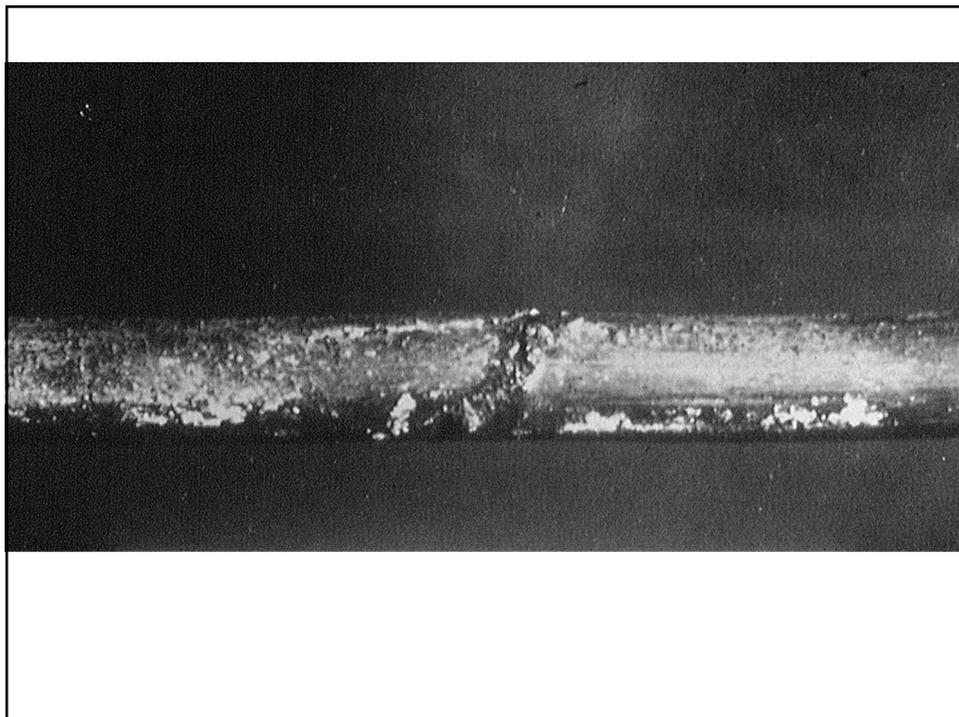
$\leq 0,3 \text{ mm}$ interiores

CEB EUROCODE *fib*

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

The diagram shows a cross-section of a concrete slab with a horizontal rebar. A vertical crack is shown on the left side of the rebar. A dashed line indicates the depth of carbonation from the top surface, labeled 'espessura carbonatada'. The diagram is enclosed in a black rectangular border.

25



26

“Tabuleiros de Pontes”

Nos locais sem fissura a penetração de cloretos a 5cm de profundidade leva, em média, 8anos para alcançar concentrações de $0,6\text{kg}/\text{m}^3$, e aos 20 anos de idade chega a $2,4\text{kg}/\text{m}^3$.

Pesquisa realizada em 57 pontes nos USA com idades de 2anos a 20anos.
Densidade de fissuras de $0,16\text{m}/\text{m}^2$ a $0,8\text{m}/\text{m}^2$. Aberturas de fissuras $< 0,3\text{mm}$.

(LINDQUIST, W.D. et ally. Effect of Cracking on Chloride Content in Concrete Bridge Decks. ACI Materials Journal, Dec. 2006. p. 467-73)

PhD Engenharia

28

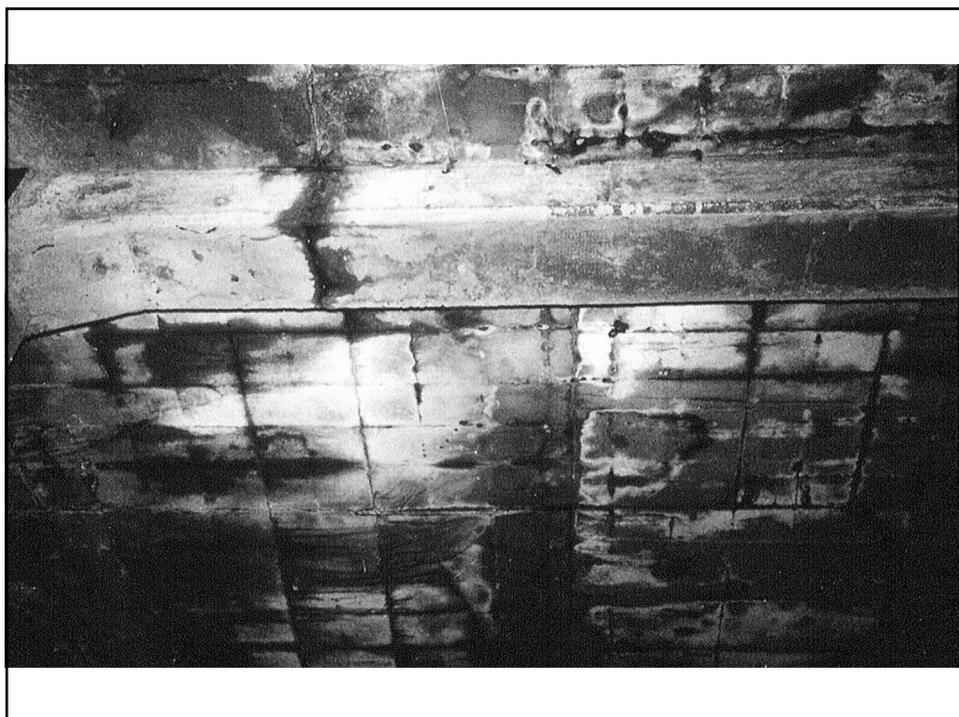
“Tabuleiros de Pontes”

Nos locais com fissura a penetração de cloretos a 5cm de profundidade leva, em média, 6 meses para alcançar concentrações de $0,6\text{kg/m}^3$, e aos 20 anos de idade chega a $5,4\text{kg/m}^3$.

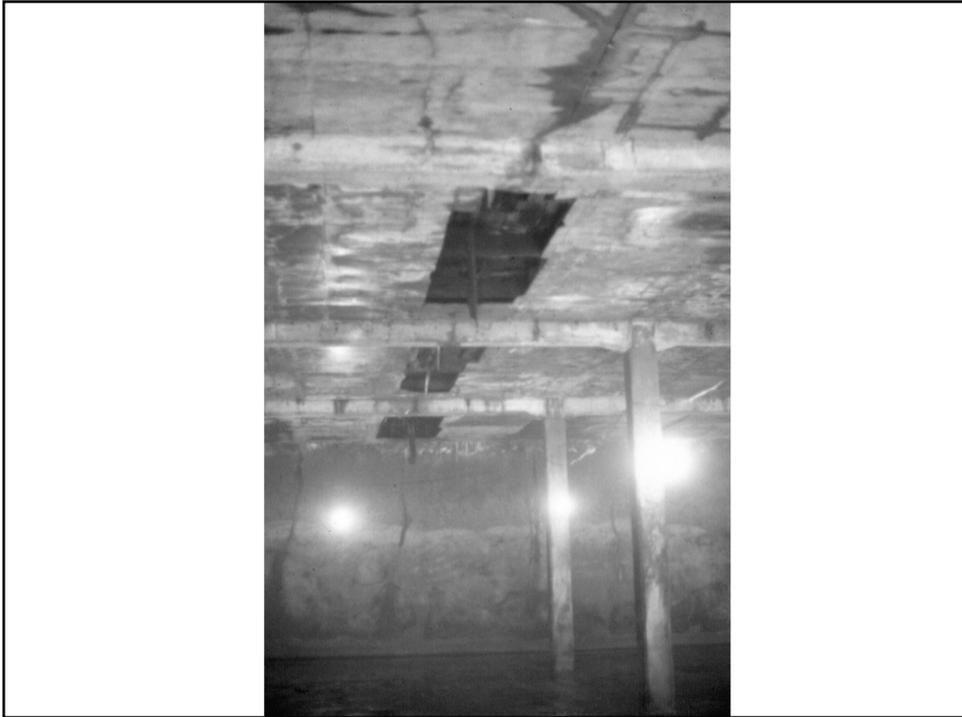
Pesquisa realizada em 57 pontes nos USA com idades de 2anos a 20anos. Densidade de fissuras de $0,16\text{m}^2$ a $0,8\text{m}^2$. Aberturas de fissuras < $0,3\text{mm}$.

(LINDQUIST, W.D. et ally. Effect of Cracking on Chloride Content in Concrete Bridge Decks. ACI Materials Journal, Dec. 2006. p. 467-73)

29



30



31



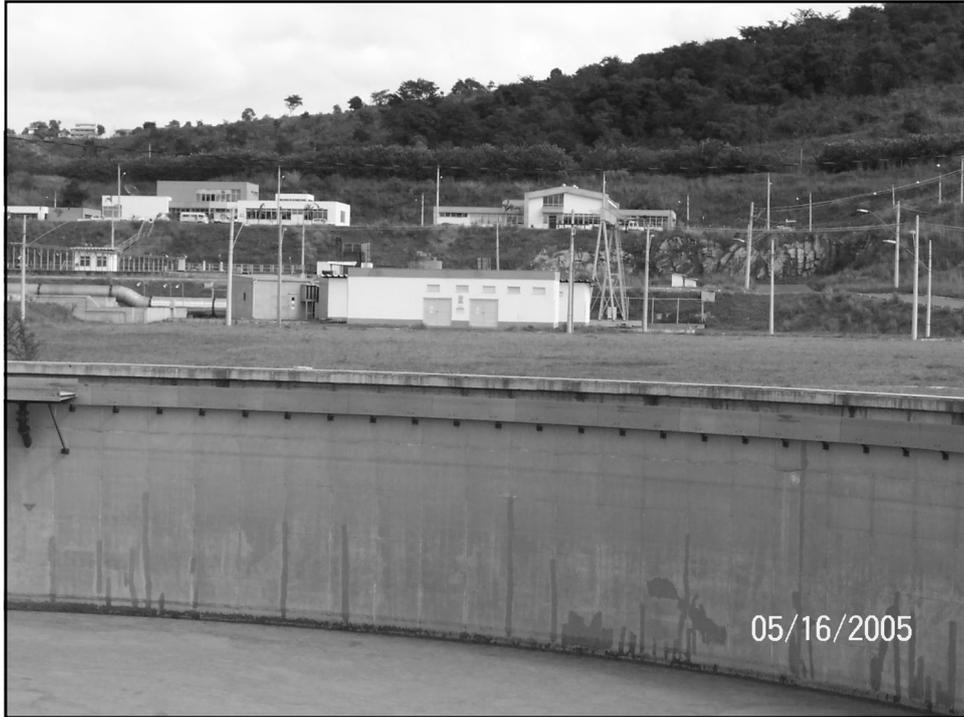
32



33



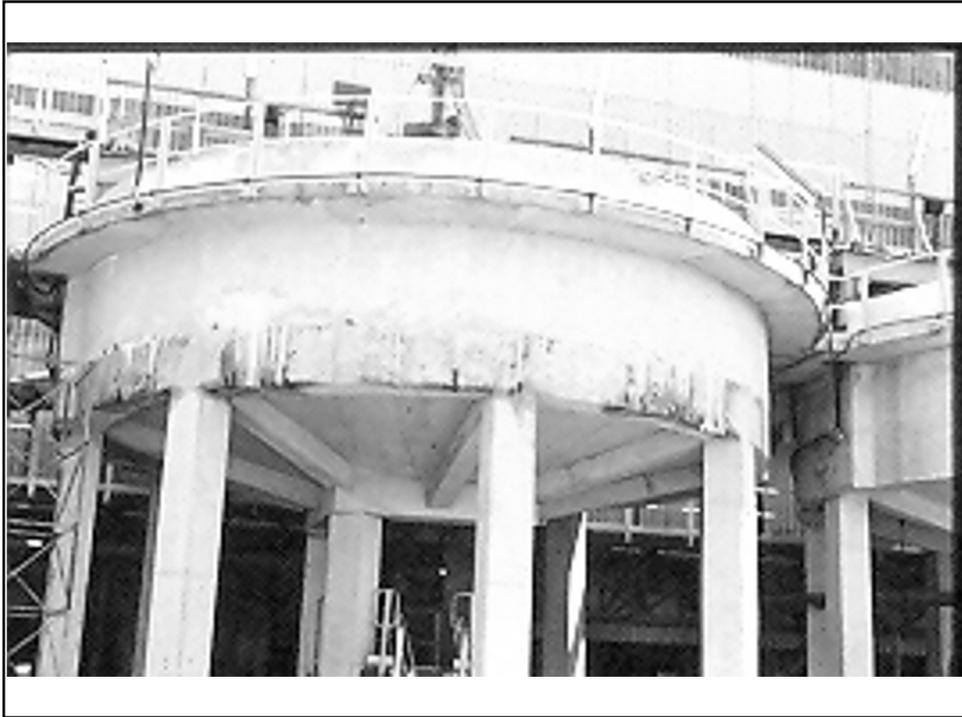
34



35



36



37



38

Qual é o
Problema?

$w_k = 0,2\text{mm}$
Classe II

Atende ou
não à norma?



39

Fissuras

Causa

Consequência

PhD Engenharia

40

ELU – Estado Limite Último

(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.

PhD Engenharia

41

ELU – Estado Limite Último

(NBR 6118 itens 10.3/16.2.3)

Deve ser verificado:

- **Perda de equilíbrio da estrutura admitida como corpo rígido;**
- **Ruptura dos elementos estruturais.**

PhD Engenharia

42

ELS – Estado limite de Serviço

(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.

PhD Engenharia

43

ELS – Estado limite de Serviço

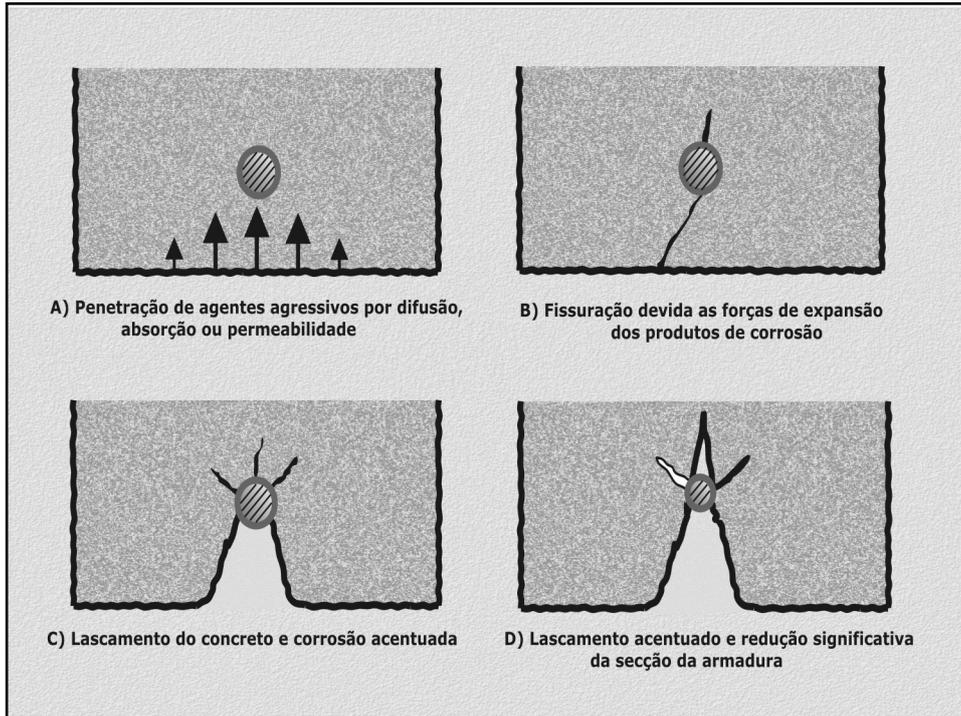
(NBR 6118 itens 10.4/16.2.4)

Devem ser verificados:

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

PhD Engenharia

44



45

Vida Útil

The diagram shows a horizontal timeline with several vertical tick marks. Two horizontal lines are drawn above the timeline, representing different service life durations. The top line ends at an earlier tick mark, while the bottom line ends at a later tick mark. A third horizontal line is drawn below the timeline, starting from a tick mark and ending at another, representing a specific period of interest.

Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

46

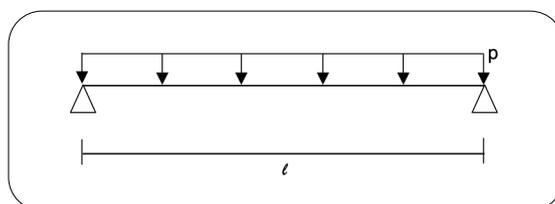
Aplicação

Comparação de duas vigas de concreto armado situadas num ambiente marinho, correspondente à Classe de Agressividade Ambiental 4 da NBR-6118:2007, e à região com risco de corrosão segundo o ACI 318:2010.

PhD Engenharia

47

Cenário



- Trata-se de uma viga simplesmente apoiada situada em ambiente marinho submetida ao seguinte carregamento:
 - Carregamento permanente: 5 kN/m (DL)
 - Carregamento acidental: 4,5 kN/m (LL)

48

Parâmetros iniciais

$b = 25,4 \text{ cm}$ (adotado)
 momento = 173 kN.m
 $h = ???$
 armadura = ???

Aço CA-50 para NBR 6118
Aço CA-42 para ACI 318

49

Exigência das Normas

ACI 318

splash zone

- cobrimento*:
- 60mm
- classe de concreto:
- $f_c = 35 \text{ MPa}$

NBR 6118

zona maré

- cobrimento:
- 50mm
- classe de concreto:
- $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

50

Exigência das Normas

ACI 318

(f_c) :

$$f_{cr} = f_c + 1,34S$$

$$f_{cr} = f_c + 2,33S - 3,45$$

(5.3.2.1)

módulo de elasticidade

$$E_c = 4700 * f_c^{1/2}$$

$$E_c = 27,8 \text{ GPa}$$

NBR 6118

f_{ck} :

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65S$$

(NBR-12655 5.5.3.2.1)

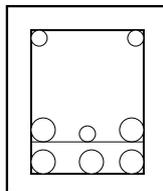
módulo de elasticidade

$$E_{cs} = 4760 * f_{ck}^{1/2}$$

$$E_{cs} = 30,1 \text{ GPa}$$

51

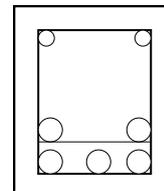
Dimensionamento



Aço = + 12%

C1 = 0%

C2 = - 10%



ACI 318

h = 36 cm

armadura

5 ϕ 20mm + 1 ϕ 16mm

satisfaz flecha / fluência

NBR 6118

h = 36 cm

h = 40 cm (dutilidade)

armadura

5 ϕ 20mm

satisfaz flecha / fluência

52

Dimensionamento
Vida Útil
ambiente de agressividade forte grau IV

35 MPa
 ○
 6 cm

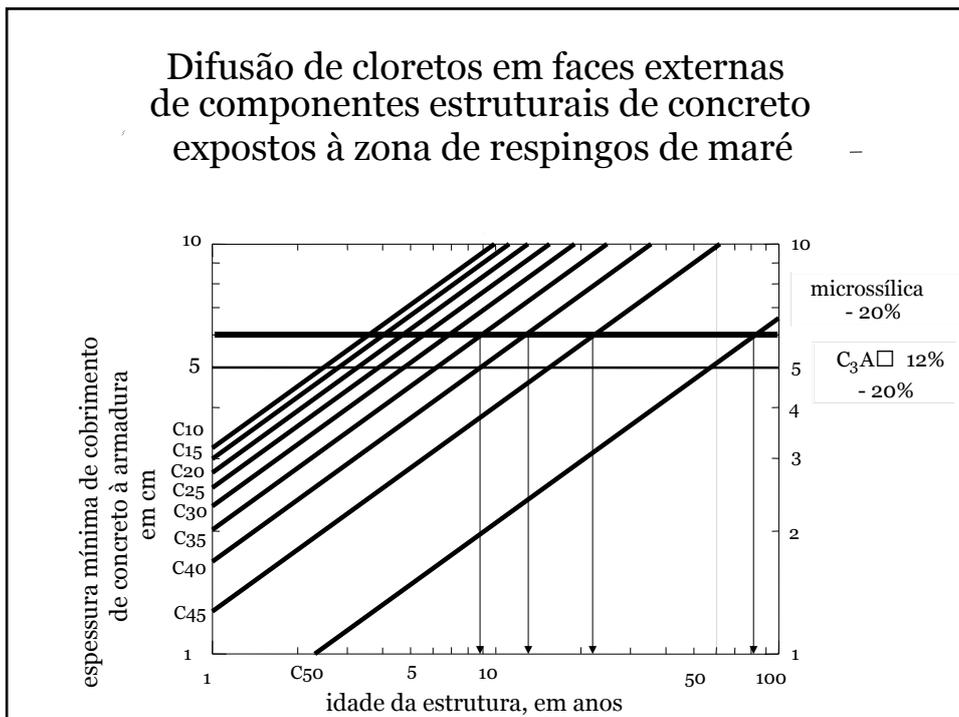
ACI 318

40 MPa
 ○
 5 cm

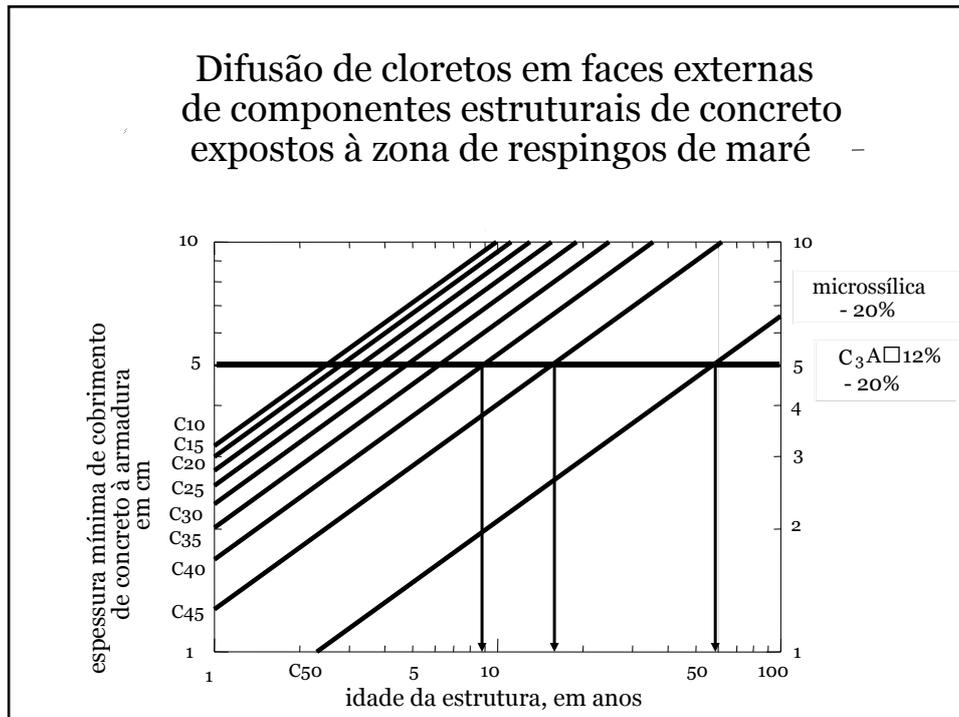
NBR 6118

PhD Engenharia

53



54



55

Corrosão da Armadura

→ Sob tensão

→ Despassivada

- Carbonatação
- Cloretos
- Fissuração

PhD Engenharia

56

Fissuração sob tensão

⇒ **FRAGILIZAÇÃO do AÇO**

(PRE) CONCEITOS USUAIS

- ⇒
- **ESTRUTURAS PROTENDIDAS**
 - **Estruturas Armadas**
 - **CLORETOS**
 - **Carbonatação**

PhD Engenharia

57

Silo de cereais

Santa Catarina, 1995

Laudo de vistoria 2 meses antes

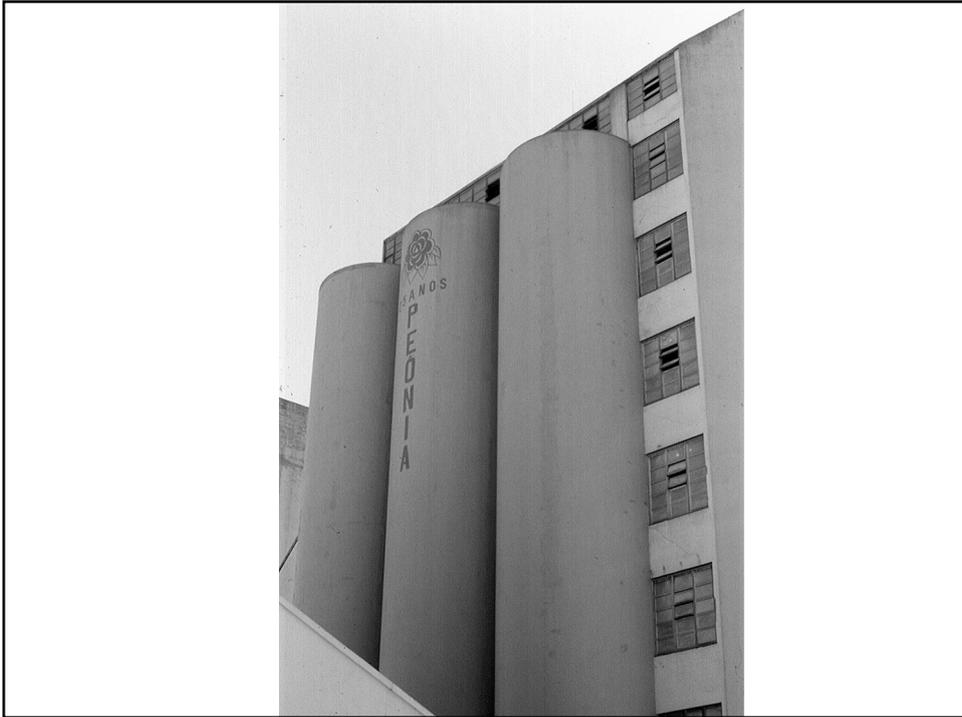
21 anos

$f_{ck} = 16$ MPa

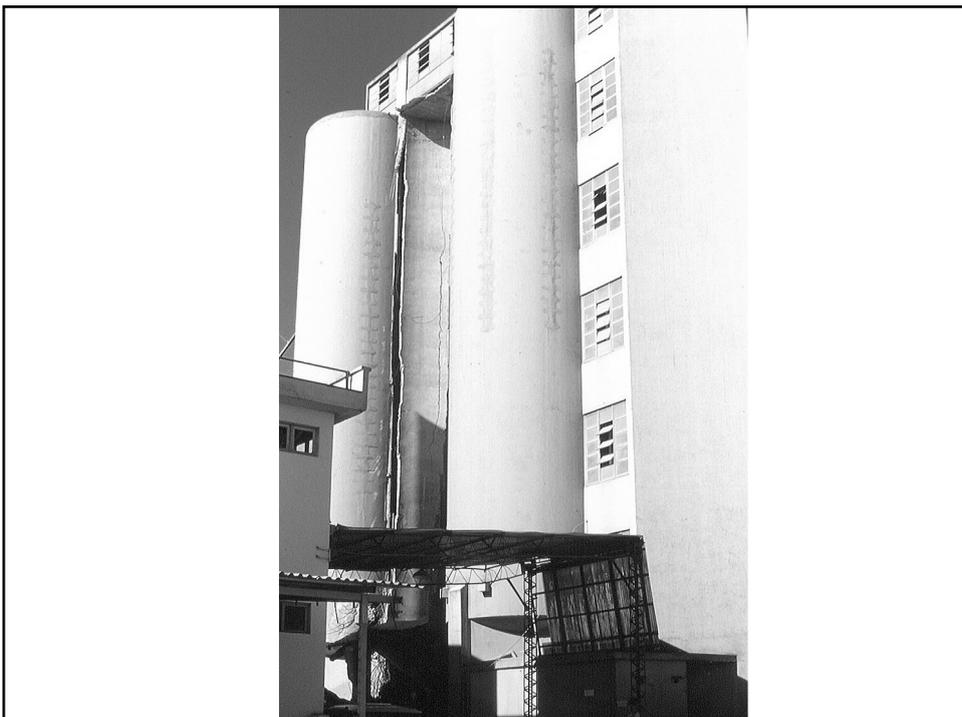
Custo = 1,2 novo

PhD Engenharia

58



59



60



61

Marquises

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

PhD Engenharia

62

O de processo final 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**

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

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 26**

Marquise cai e mata nove em Porto Alegre

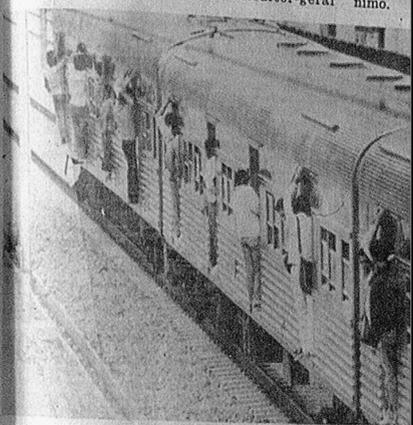
Nove pessoas morreram, entre as quais uma criança, dez ficaram gravemente feridas e outras 30 sofrem escoriações leves com o desabamento, ontem à tarde, da marquise da Loja Arapuá, no centro de Porto Alegre, na rua Doutor Flores. No momento do acidente, muitas crianças estavam na frente do prédio, recebendo doces de funcio-

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

celas 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, en-

quanto não sair a lei regulamentadora 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, Carlos de Campos. O parecer foi publicado hoje. Em consulta a uma pessoa das altas esferas do governo, não se soube se o presidente Sarney aprovou o parecer do consultor-geral



O subúrbio da CBTU entre Jundiá e Paranaipicoba: o perigo, a violência e

CADERNO 2
Cícero Dias fala de pintar e viver
Aos 82 anos de idade e 60 de pintura, o artista

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 p

Mais o Suplê
Ciclismo
Cálculo e Técnico
Classificados
Comportamento
Condição
Economia
Educação
Esportes
Espócio

Mancha de lama invade a lagoa Rodrigo de Freitas, depois da chuva que atingiu o Rio durante a madrugada e a manhã de ontem

Marquises desabam e matam 2 no ABC

O desabamento ontem à tarde de duas marquises de um prédio no centro de São Caetano do Sul (SP) matou duas pessoas que passavam pela rua e deixou outras duas feridas. As causas do acidente ainda são desconhecidas. Laudo deverá ficar pronto em 15 dias.

No Rio, uma mulher morreu e três pessoas ficaram feridas no desabamento de duas casas no Andaraí (zona norte), após temporal ontem de manhã.

A chuva, que começou de madrugada, parou a cidade. Houve congestionamentos de até 20 km devido ao alagamento de vários acessos ao centro.

Para o prefeito Luiz Paulo Conde (PFL), que decretou estado de alerta, "os mesmos lugares que enchiam enchiam há 180 anos". **São Paulo**

Reforma vai dar reajuste salarial aos 3 Poderes

O primeiro efeito da reforma administrativa, aprovada antontem, será o reajuste de até 59% para a cúpula de Executivo, Legislativo e Judiciário.

O novo teto salarial da administração federal deverá ficar em R\$ 12.720, segundo negociação em curso nos Três Poderes, da qual resultará um inédito projeto de lei de iniciativa conjunta. O aumento poderá ocorrer em abril. **Pág. 1-9**

GUIA DA FOLHA SP
186 bares
300 restaurantes
54 filmes
29

ÍNDICE

Brasil	100
Argentina	111
Canadá	108
Chile	105
Colômbia	102
Costa Rica	101
Equador	100
El Salvador	100
Estados Unidos	100
Guatemala	100
Haiti	100
Honduras	100
Japão	100
Paraguai	100
Peru	100
Uruguai	100
Venezuela	100

Opinião da Folha
Lida os editoriais "Difícil sintoma fina", sobre entrada de capitais; "Demagogia e justiça", sobre o caso do Balace; e "Prata nas estradas", acerca de roubo de cargas. **Pág. 1-2**

Campanha começa com pichações
Pág. 1-8

Destroços das duas marquises de 30 metros de comprimento que desabaram da fachada de loja no centro de São Caetano do Sul

ZARILLOMIOVA

DESABAMENTOS

Marquise esmagou um bancário de 23 anos

A peça de concreto tinha o peso de quatro toneladas

Por **ULISSES ALMEIDA NENE**
Edição de Política/21

Várias falhas na construção da marquise do prédio do Lloyd's Bank International acabaram causando a morte de uma pessoa e ferimentos em outra, no início da manhã de ontem, no centro de Porto Alegre. A marquise, com 12 metros de extensão, dois de largura e 50 centímetros de espessura e pesando quatro toneladas, desabou e esmagou o bancário Júlio César Machado Casarero, 23 anos, que ainda chegou a ser socorrido por FMS e populares, mas morreu a caminho do Hospital de Pronto Socorro. Felício José de Sá 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. As Thômin, Naquela Área, estão concentrados vários bancos e Júlio César trabalhava no Bradesco, como gerente do Posto de Serviço das Tintas Remor, na Asa Sul Brasileira. 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 Mercantil caminhando pelo meio da rua, segundo afirmou, para evitar os guardachuvas das pessoas que transitavam pelas calçadas. Nem bem ele passou em frente ao Lloyd's ouviu o estrondo, como uma bomba. Apavorado, viu as quatro toneladas desabarem 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, em trinta, fazendo muita força conseguiram erguer um pouco de 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 teve o 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 às 10h ainda havia a expectativa de que houvesse mais pessoas mortas sob os escombros. Doze bombeiros, em três viaturas do 11 Grupoamento de Incêndios, comandados pelo Tenente Medeiros, compareceram no local para removê-los a marquise demolida, 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 Davidson, concedeu uma entrevista à imprensa, às 10h. Ele explicou que pertencem ao banco seis dos quinze andares do prédio, que foi construído em 1974. Os funcionários da agência foram chiapassados e o gerente informou que já estão sendo procuradas instalações provisórias para o Lloyd's, a 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.

Engenheiro e Arquitetura (CREA), Luis Fernando Odebreit, 30 anos, e Luis 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 querem adiantar qualquer conclusão.

Já Romão 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 a sua volta, enumerou várias falhas que, numa rápida averiguação, puderam ser constatadas: "O cascalho utilizado na marquise é muito grúdo; a ferragem, muito fina, está distrita. 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.

65

Loja desaba e mata nove no S

Muita gente participou da promoção que deu início à queda de uma das paredes da loja. A queda ocorreu às 10h30, quando a loja estava cheia de clientes. O prédio pertence ao empresário J. A. de S. e foi construído em 1974. A queda ocorreu em uma das paredes da loja, que estava sendo decorada para a inauguração de uma nova seção. A queda ocorreu em uma das paredes da loja, que estava sendo decorada para a inauguração de uma nova seção. A queda ocorreu em uma das paredes da loja, que estava sendo decorada para a inauguração de uma nova seção.

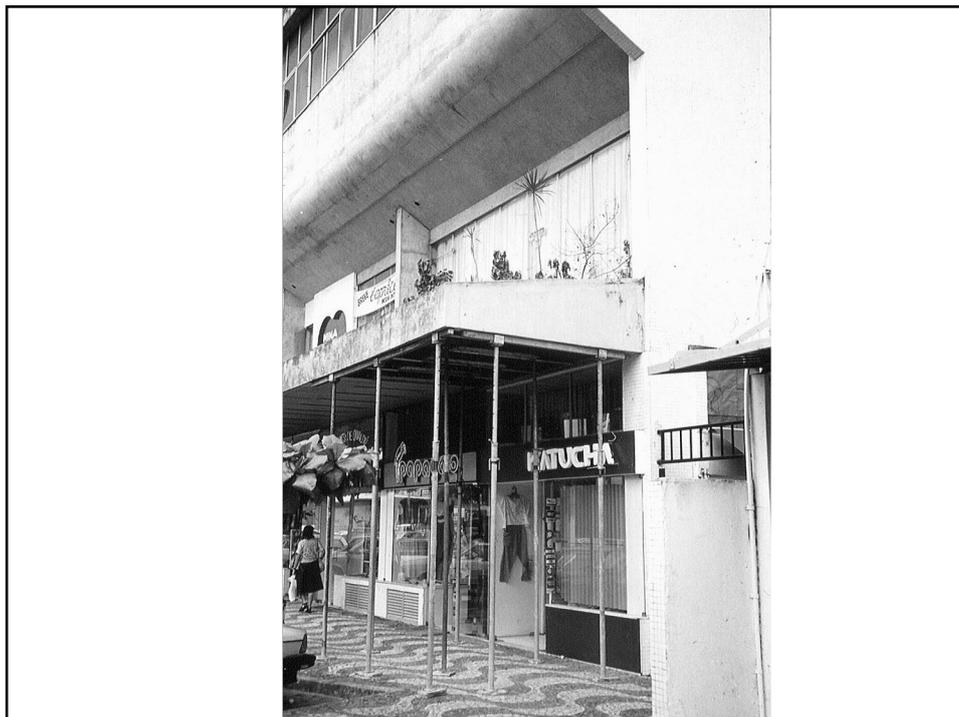
Relatório da Dersa fica pronto este mês

O relatório da Dersa sobre o acidente da loja desaba e mata nove no S está pronto e será entregue ao governador no próximo mês. O relatório contém todas as informações sobre o acidente, incluindo as causas e as responsabilidades envolvidas.

Bloqueio da BR-116 terá policiamento

O bloqueio da BR-116 será acompanhado por um policiamento reforçado para garantir a segurança dos participantes e evitar qualquer tipo de violência. O bloqueio ocorrerá na próxima semana e afetará o tráfego na região.

66



67

Edifício de escritórios

São Paulo, 1999

Vistoria → 1998

23 anos

$f_{ck} = 18$ MPa

Custo = 3 andares novos completos

Eng. de manutenção na prisão

PhD Engenharia

68

Acidente

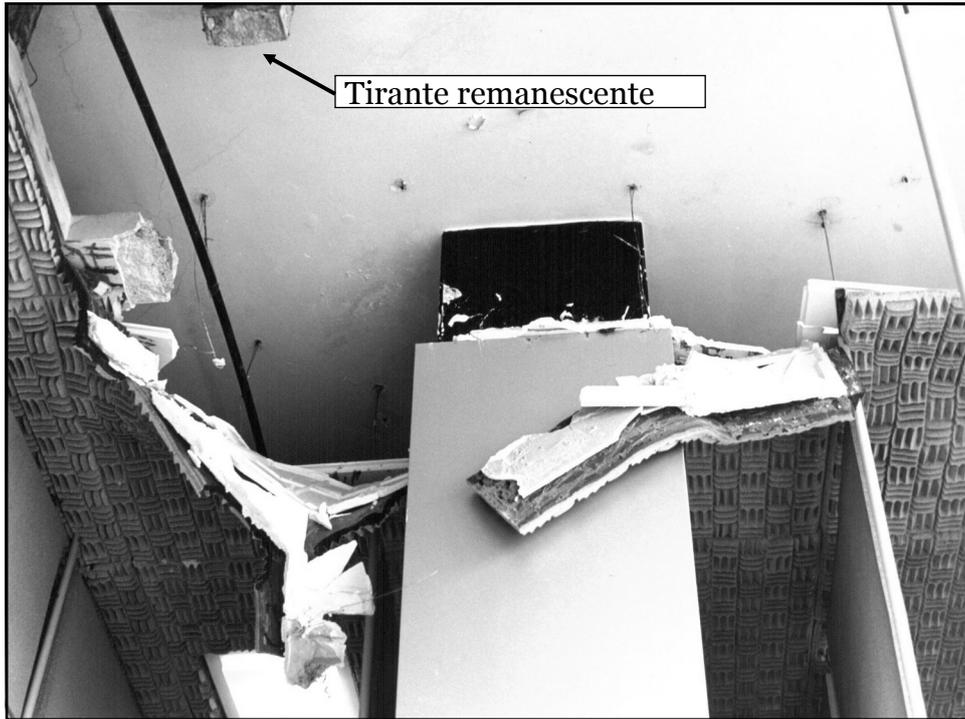
Colapso de parte da estrutura de uma laje suplementar no último andar de um edifício situado na cidade de São Paulo.

PhD Engenharia

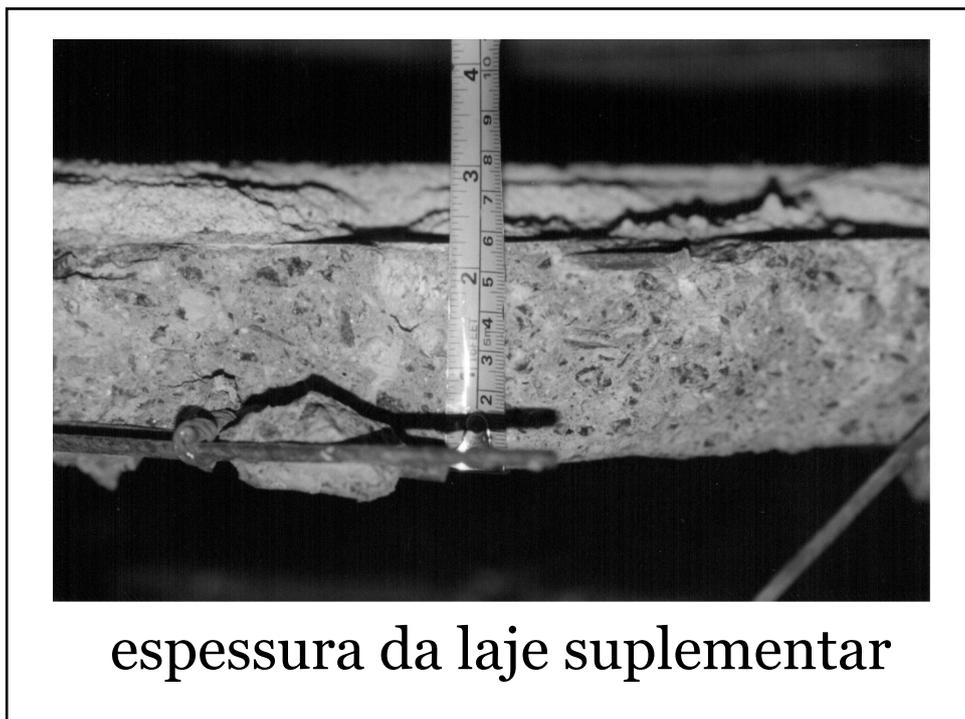
69



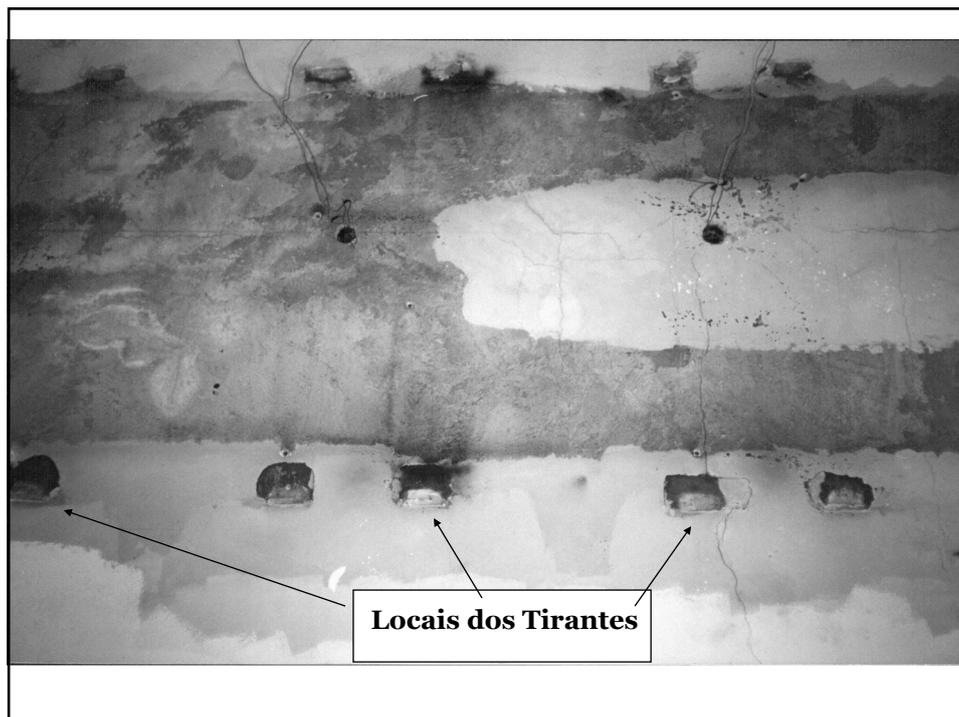
70



71



72



73

Diagnóstico

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

Ruptura frágil sem aviso !

PhD Engenharia

74

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.**

75



76



77



78



79



80

Ensaaios realizados

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

PhD Engenharia

82

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.

PhD Engenharia

83



84



85



86



87

Verificação das hipóteses

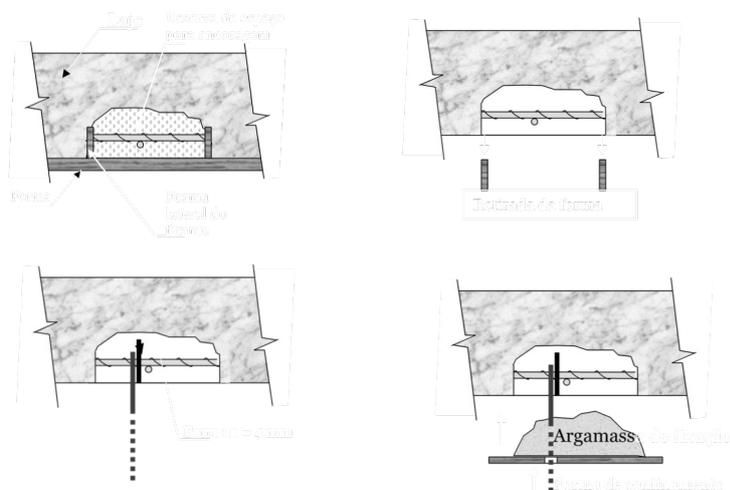
2. Problemas de execução:

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.

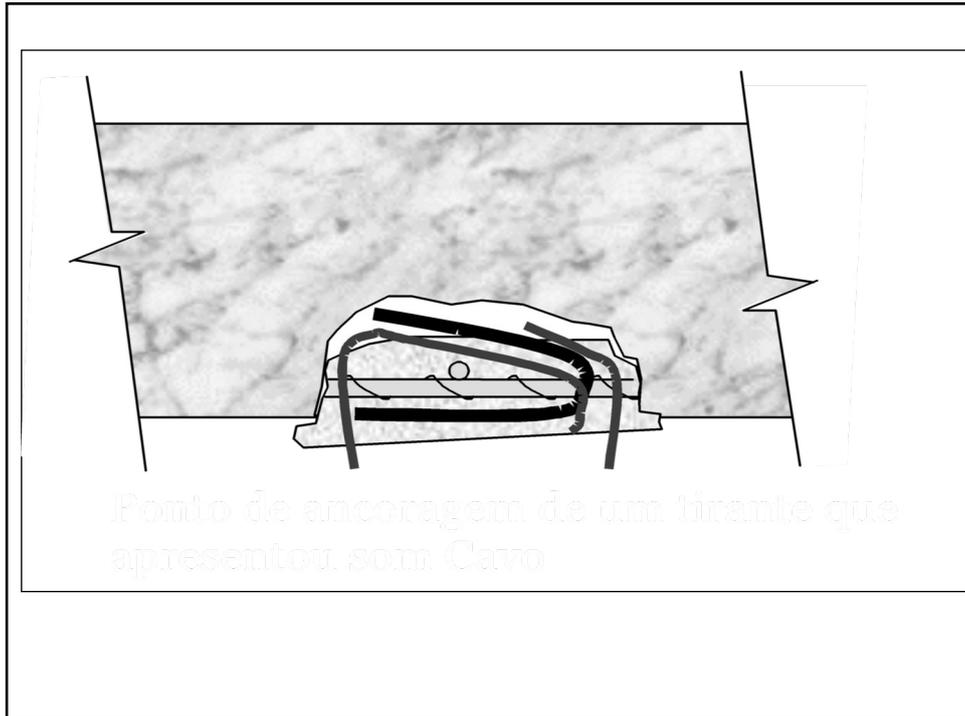
PhD Engenharia

88

Seqüência provável de execução dos tirantes



89



90



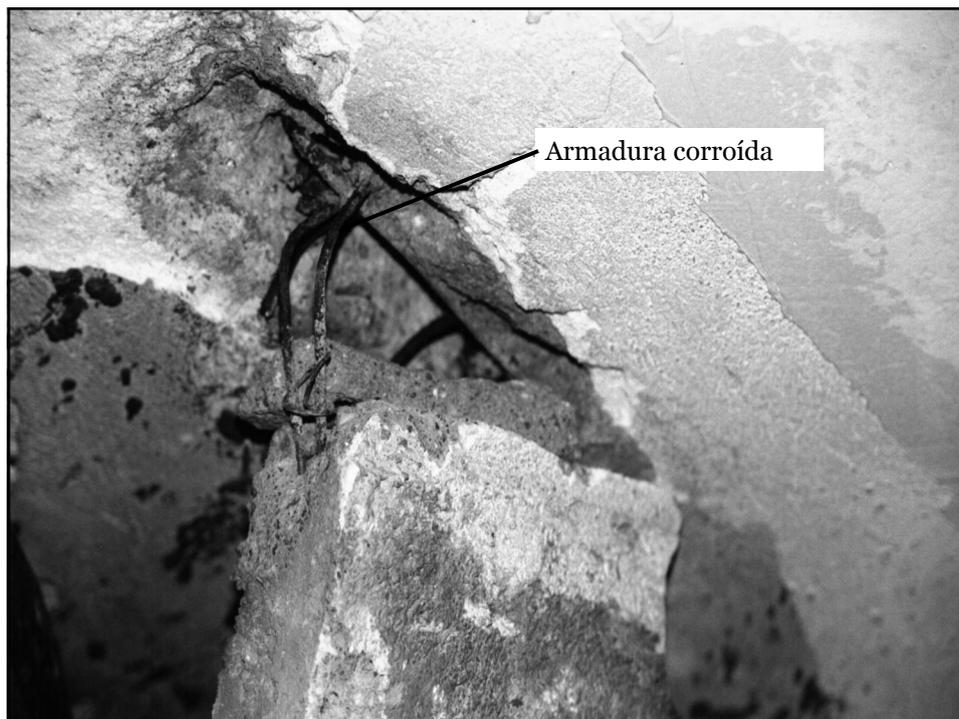
91



92



93



94

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.

95

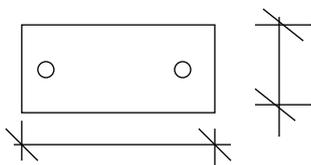
No dimensionamento de tirantes de concreto armado, a NBR 6118 e as normas anteriores que a antecederam, recomendam a verificação de duas condições de segurança :

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

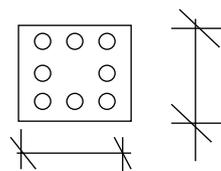
Em local protegido no interior das edificações a abertura característica de fissura ELS, pode chegar a 0,3mm, o que conduz a número menor de barras para suportar a carga da laje suplementar

96

**Situação encontrada
no caso em questão**



**Situação aconselhável
redundância**



PhD Engenharia

97

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 para uma mesma seção de armadura, aumentando-se assim o perímetro de contato e reduzindo-se a deformação das barras e as fissuras decorrentes.

PhD Engenharia

98

Edifício de escritórios *Brasília*

PhD Engenharia

99

Edifício Escritórios

Brasília → 1999

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

um cabo colapsa → estrondo seco

→ a laje inclina

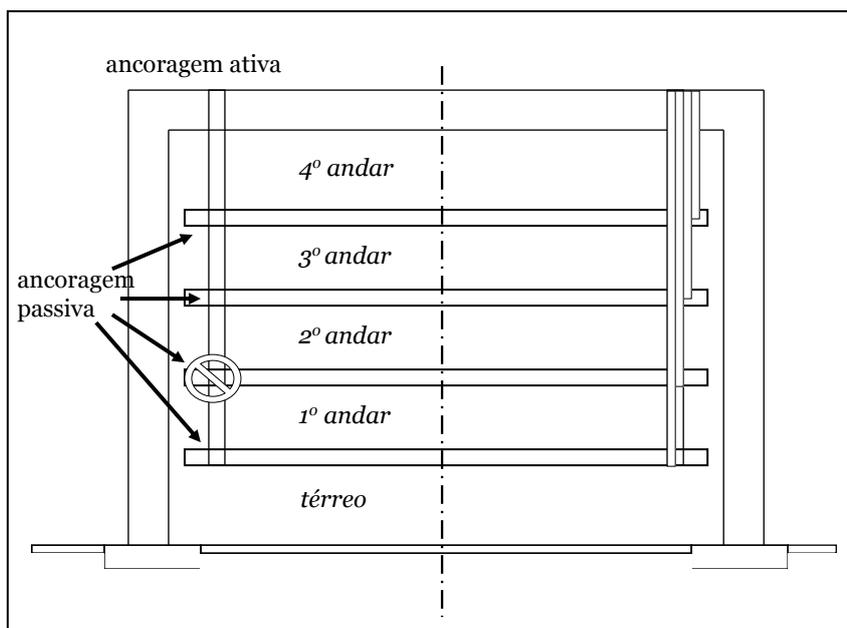
→ mesas e cadeiras escorregam

→ usuários correm muito assustados

→ grande preocupação com o estante

100

Edifício de Escritórios



101

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

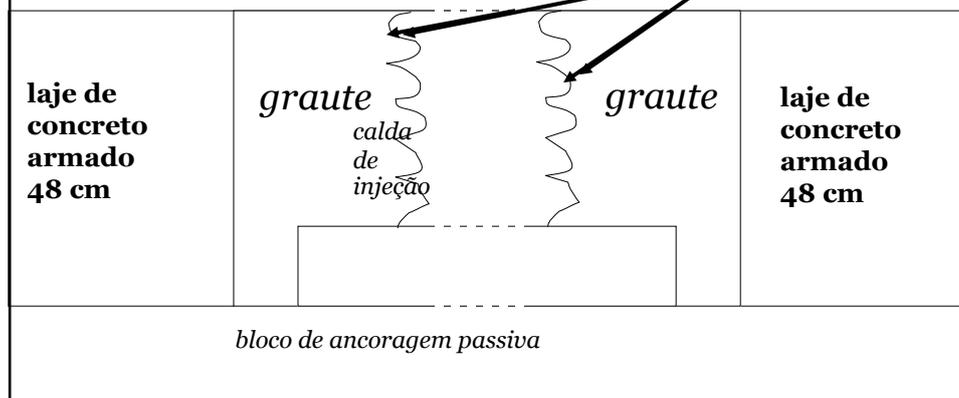
102

Edifício de Escritórios

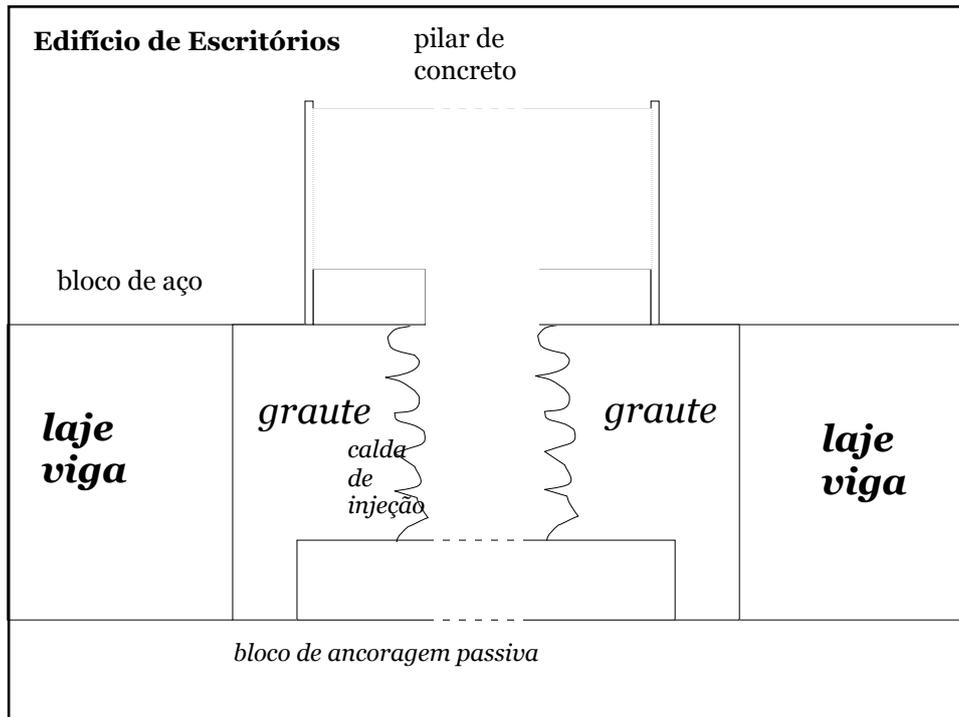
18
cordoalhas

expostas na gaiola
de aço

bainha galvanizada



103



104

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 graute

105

Edifício de Escritórios

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**

106

Recomendações

**ATENÇÃO A SOLUÇÕES com
TIRANTES em umidade alta (não avisam)**

DIMENSIONAR para NÃO fissuração (!)

PROTEGER (Como ?)

**INSPECIONAR PERIODICAMENTE
(Como ?)**

PhD Engenharia

107

Prudência

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

PhD Engenharia