



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.
Programa de Educação Continuada – PECE.
Curso de Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações.
GES-017 – Patologia, Recuperação e Reparo de Estruturas de Concreto.

Abertura e apresentação do curso Distribuição dos trabalhos Datas



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

Escola Politécnica

13 de maio de 2015

São Paulo SP

1

Patologia

Acidentes

Danos

Falhas de projeto

Manifestações patológicas

Lesões

Má construção

Materiais inadequados

2

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”.

3

Patologia de estruturas

- Parte da engenharia que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos da construção civil;
- Estudo multidisciplinar das partes visando o diagnóstico correto do problema;

4

Patologia de estruturas

- Profissionais e entidades envolvidas na solução de problemas patológicos:
 - Engenheiro civil;
 - Engenheiro mecânico;
 - Engenheiro químico;
 - Geólogos;
 - Físicos;
 - Metalurgistas;
 - Universidades;
 - Institutos de Pesquisa;
 - Laboratórios de controle tecnológico dos materiais;

5

Manifestações patológicas

- Podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo;
- São normalmente provocadas por agentes agressivos, esforços internos e externos ou por procedimentos equivocados de projeto, execução ou utilização;
- Na apresentação das manifestações patológicas procura-se citar: Origens, mecanismos, formas de prevenção e alternativas de correção.

6

Importância da Patologia Estrutural

Relatório HOAR – Department of Trade and Industry HMSO,
London.

1º Equipamentos de Transporte

2º Equipamentos Portuários

3º Construção Civil → 18% das perdas totais

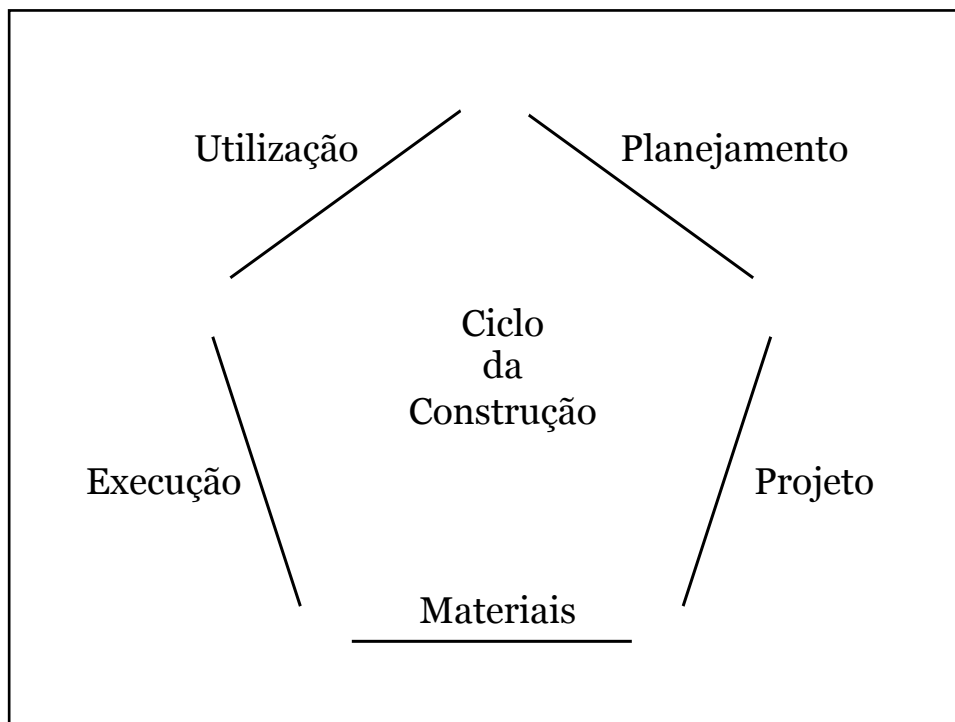
Robert Baboian – Standardization News. USA

Perdas globais → 2 a 4% do PNB

Construção Civil → aprox. 0,5% do PIB

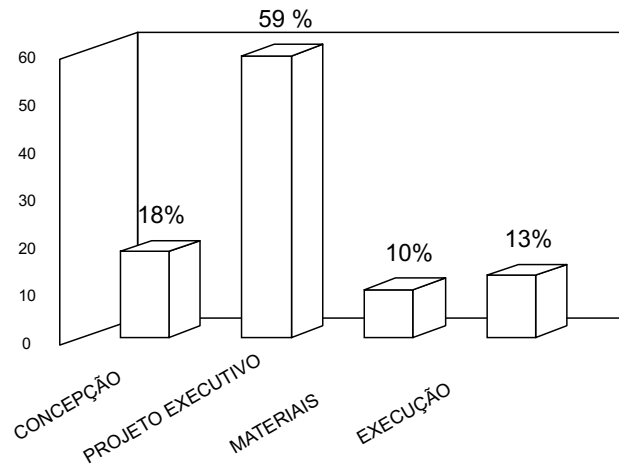
US \$ 2.500 bi → 12.5 bi → aprox. 250 mil unidades hab.

7



8

Distribuição dos custos de danos



9

Origem das Manifestações Patológicas

| ETAPA \ PAÍS | BÉLGICA | GRÃ BRETANHA | REPÚBLICA FED. ALEMÃ | DINAMARCA | RUMÂNIA |
|--------------|----------|--------------|----------------------|-----------|---------|
| Projeto | 46 a 49% | 49% | 37% | 36% | 37% |
| Mat./Comp. | 15% | 11% | 14% | 25% | 22% |
| Execução | 22% | 29% | 30% | 22% | 19% |
| Uso | 8 a 9% | 10% | 11% | 9% | 11% |

10

Objetivo do curso

- Entender melhor o comportamento das estruturas de concreto
- Apresentar metodologia de inspeção e diagnóstico
- Fornecer subsídios para projetar melhor, manter com mais eficiência e para intervir com mais critério
- Propor procedimentos de reparo, de proteção e de reforço de estruturas

11

Conceitos

- Patologia das construções é a “disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático dos defeitos, falhas, danos, lesões das construções, bem como seus sintomas, causas, origem e mecanismos.

12

Patologia

pato → grego *páthos* = doença

logia → grego *lógos* = estudo, ciência

patologia → ramo da engenharia que se ocupa do estudo da natureza, origem, mecanismo e causa dos problemas e defeitos nas construções civis

13

Conceitos

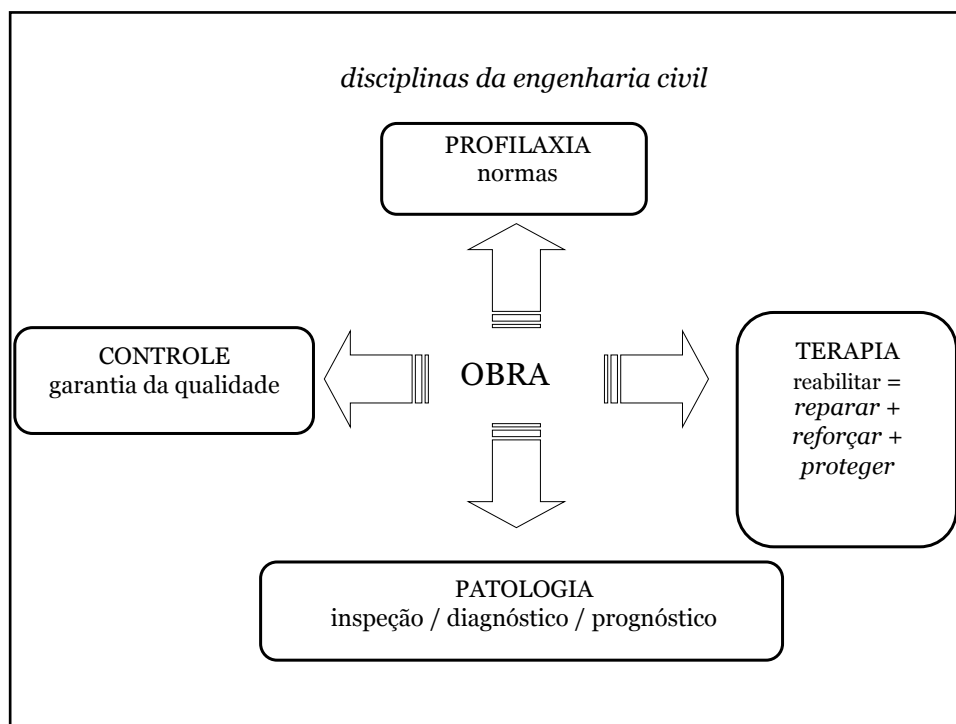
- Profilaxia das construções é a “disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como evitar problemas patológicos nas construções, ou seja, como “bem projetar”, como “bem construir”, como “bem operar” e como “bem manter”

14

Conceitos

- Terapia das construções é a “disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como intervir em construções que apresentam problemas patológicos

15

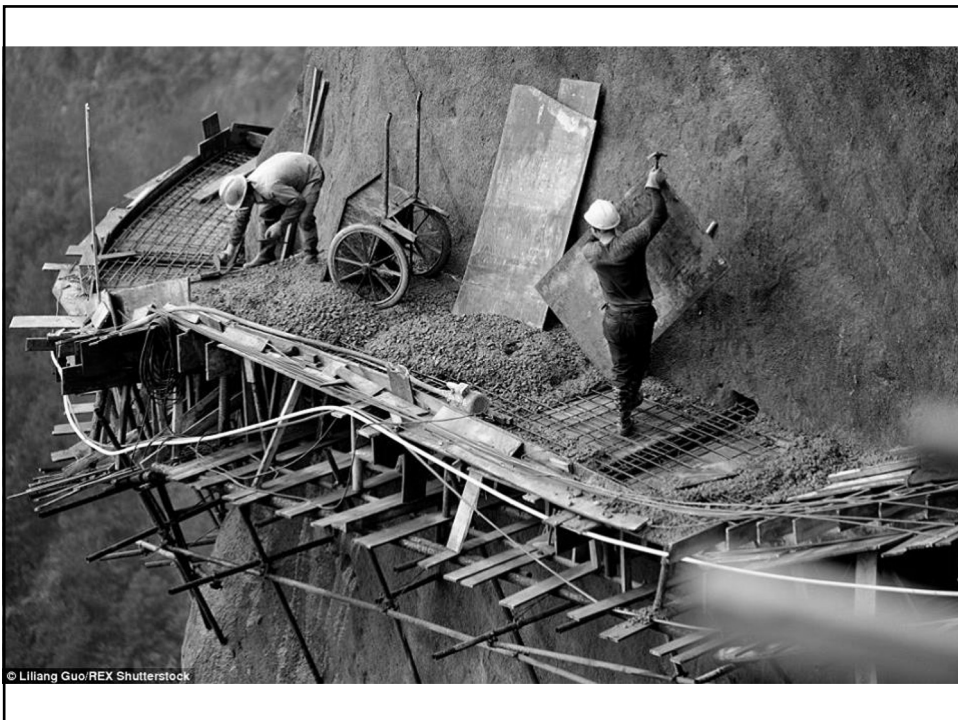


16

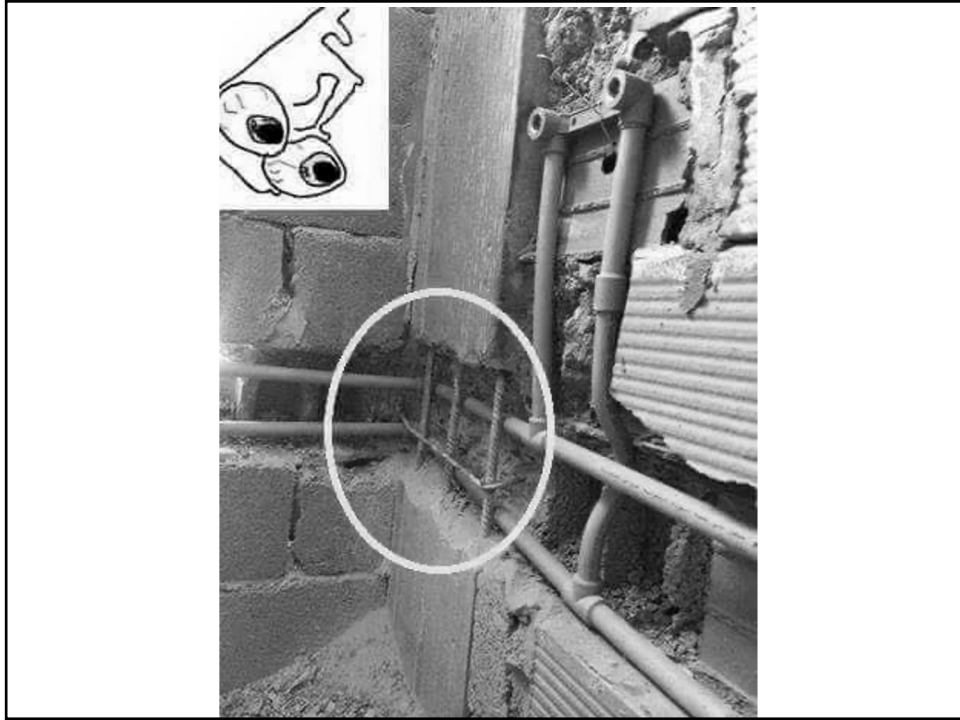
Qualidade da mão de obra



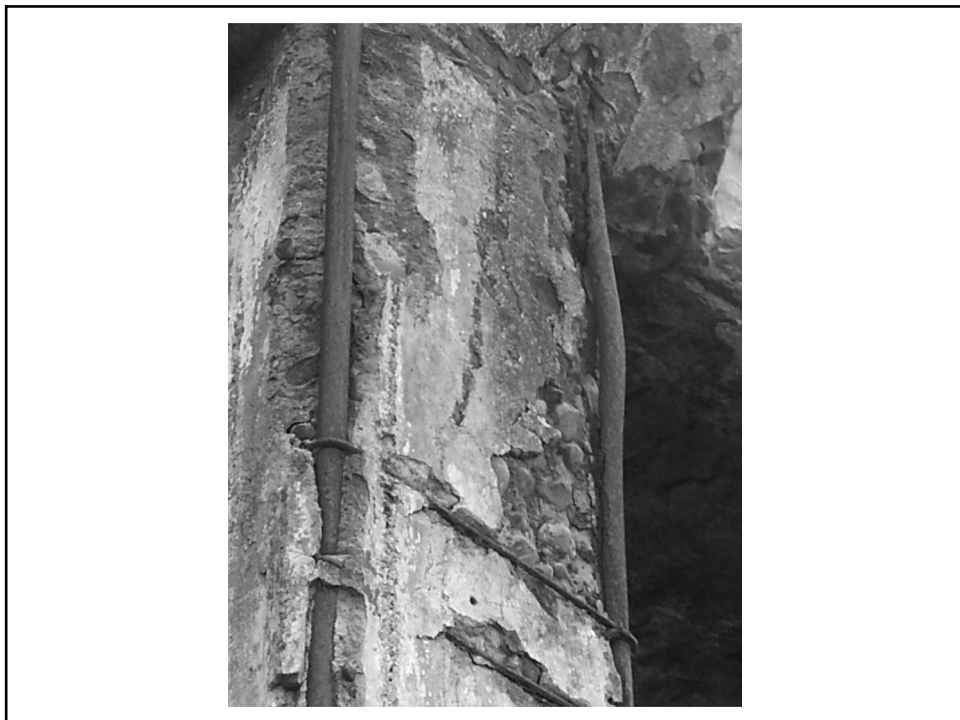
17



18



19



20

O que é Reabilitar?

- Intervenção corretiva
 - Pressupõem uma inspeção e diagnóstico
- É a Disciplina mais atrasada da engenharia
 - Não há consenso nas soluções
- Não existem critérios claros de desempenho

21

O que é Reabilitar?

De todas as disciplinas é a que mais cresce e que mais se desenvolveu na última década

22

Conceitos

- Inspeção, vistoria é o ato de observar visualmente e com instrumentos a estrutura com vistas a identificar e diagnosticar problemas patológicos ou de envelhecimento natural. Pode ser preliminar ou detalhada

23

Conceitos

- Diagnóstico é o parecer conclusivo sobre um problema patológico que pressupõe a resposta a qual o sintoma típico, qual a origem do problema, quais os agentes causadores e como foi o mecanismo de deterioração

24

Conceitos

- Prognóstico é uma previsão sobre o desenvolvimento e consequências futuras de um problema patológico frente a diferentes cenários, no mínimo frente a um cenário de não intervenção.

25

Conceitos

- Estudo de alternativas de intervenção
- Escolha da solução
- Projeto de intervenção
- Manual de manutenção

26

Terminologia

- Defeito, lesão, anomalia, dano, manifestação patológica, sintoma patológico – constatação de que uma ou mais partes da estrutura não cumprem, precocemente, o fim que lhes foi previsto.
- Envelhecimento natural – sintoma patológico que ocorre coincidentemente com o fim da vida útil prevista.
- Problema patológico – questão a ser resolvida.

27

Terminologia (comum e judicial)

- Vício – erro de projeto ou executivo que compromete o bom desempenho da estrutura.
- Vício oculto – Vício que não pode ser identificado antes da manifestação de suas conseqüências e danos.
- Vício de construção – relativo exclusivamente à execução

28

Tipos de intervenções nas estruturas

- Re-habilitação: é a recomposição da capacidade estrutural originária de um elemento danificado.
- Reparo: é uma intervenção específica
- Reforço: é o incremento de capacidade estrutural de um elemento.
- Proteção

29

Inspeção e técnicas empregadas

- Tecnologia dos materiais
- Métodos de ensaios destrutivos ou não destrutivos
- Sistemas de medida da geometria das estruturas
- Sistemas de medida de deformações
- Análises químicas e físicas dos materiais
- Todos os recursos da resistência dos materiais e do dimensionamento e verificação de estruturas

30

Ausência de normas nacionais e internacionais

- Não há o que normalizar até o momento pois existe muito desconhecimento e a especialidade está se estabelecendo.
- Extrapolar normas de projeto e execução podem acarretar mais problemas.
- Exige-se especial prudência dos profissionais e só conhecedores dos temas em questão devem aventurar-se nestes trabalhos (equipes multi-disciplinares)

31

Roteiro para análise de estruturas

1 – ESTRUTURA
(anamnese,
antecedentes)

- ▣ projetos
- ▣ história do carregamento
- ▣ especificações
- ▣ dosagens
- ▣ controles
- ▣ idade e tempo do sintoma
- ▣ disposições geométricas
- ▣ cobrimentos / bitolas
- ▣ diário de obra

32

Roteiro para análise de estruturas

2 – Classificar
agressividade ambiental

- ☐ temperatura Δ dia
- ☐ temperatura Δ sazonal
- ☐ umidade relativa
- ☐ precipitação pluviométrica
- ☐ agentes agressivos
- ☐ poeira em suspensão (pH)
- ☐ tipo de contato
- ☐ construções vizinhas

33

Roteiro para análise de estruturas

3 – Inspeção preliminar
(visual + ensaios
simples de campo)

- ☐ mancha
- ☐ erosão úmida
- ☐ lascamento
- ☐ esfoliação
- ☐ corrosão de armadura
- ☐ gel exsudado
- ☐ eflorescência
- ☐ cristalização

☐ (continua)

34

Roteiro para análise de estruturas

3 – Inspeção preliminar

- ☐ desagregação química
- ☐ desgaste por abrasão seco
- ☐ bolhas
- ☐ fissuração
- ☐ pH
- ☐ carbonatação
- ☐ impactos mecânicos

35

Concretagem



36

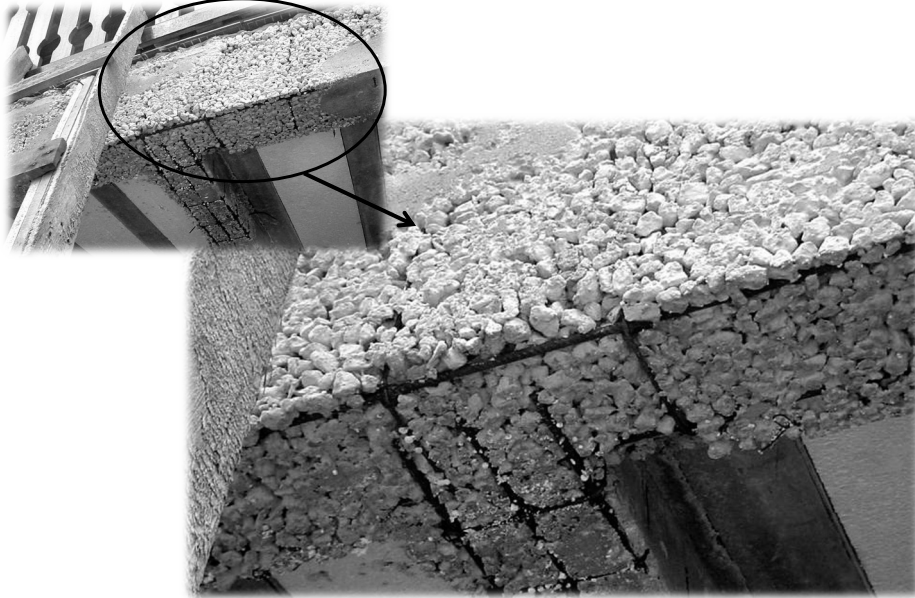


37



38

Falhas de concretagem



39

Falhas de concretagem



40

Roteiro para análise de estruturas

4 – Inspeção detalhada
com ensaios em
laboratório e campo

- ▣ provas de carga
- ▣ monitoramento
- ▣ análise química
- ▣ análise térmica
- ▣ espectrometria infravermelha
- ▣ raios x
- ▣ microscopia ótica
- ▣ microscopia eletrônica
- ▣ propriedades mecânicas

▣ (continua)

41

Roteiro para análise de estruturas

4 – Inspeção detalhada
com ensaios em
laboratório e campo

- ▣ variação dimensional
- ▣ absorção capilar
- ▣ permeabilidade
- ▣ traço/composição
- ▣ porosidade
- ▣ sais solúveis
- ▣ agentes agressivos

42

Roteiro para análise de estruturas

5 – Diagnóstico (origem do problema, *sintomas*, *agentes causadores*, *mecanismo*)

- ▣ Planejamento inadequado
- ▣ Projeto errado ou omissos
- ▣ Materiais e componentes inadequados
- ▣ Execução e controle insatisfatórios
- ▣ Utilização (operação e manutenção) inadequada

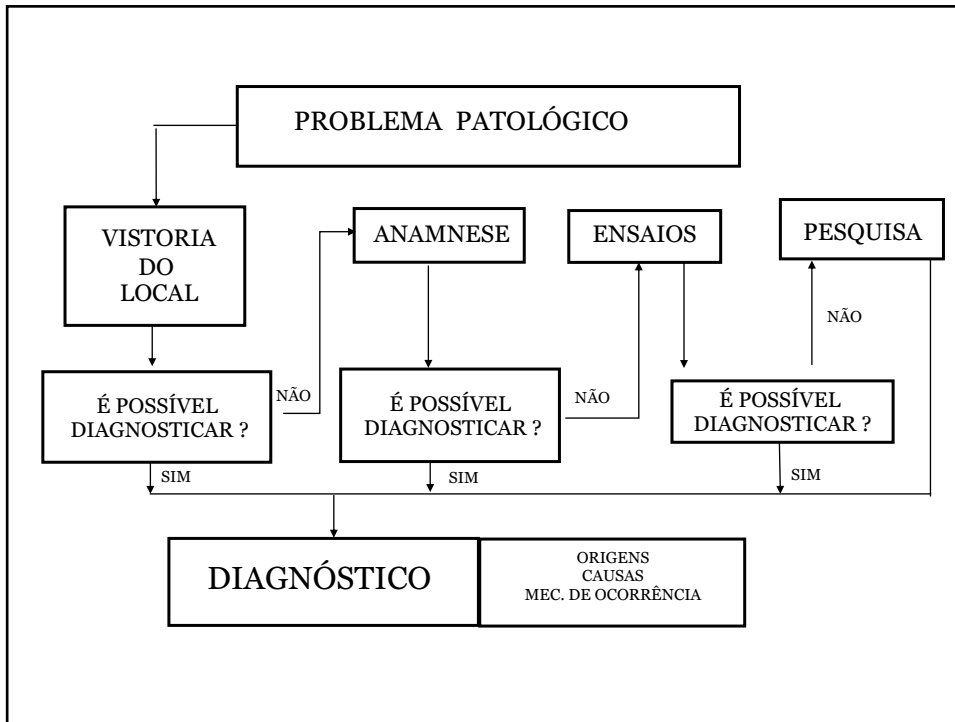
43

Roteiro para análise de estruturas

6 - RECOMENDAÇÕES

- ▣ Medidas de segurança
- ▣ Reparos
- ▣ Reabilitação, recuperação
- ▣ Reforço
- ▣ Proteção
- ▣ Uso com restrições
- ▣ Demolição
- ▣ Medidas preventivas

44



45



46

| Nº | Sintoma | Causa | Origem | Mecanismo/Fenômeno |
|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | Corrosão de Armaduras | Fissuras do concreto | Projeto/Execução | Reação Expansiva do ferro com O ₂ e H ₂ O |
| | | Carbonatação do concreto | Projeto/Materiais/Execução | |
| | | Agentes Agressivos | Projeto/Execução/Materiais/Use | |

47



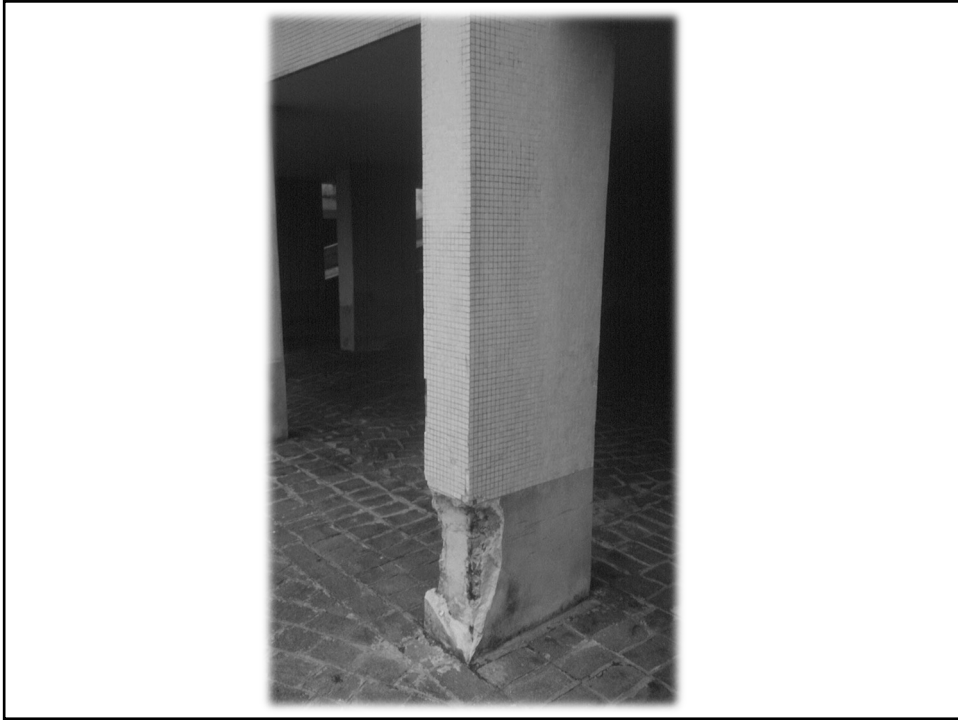
48



49



50



51



52



53



54



55

Atenção com o cobrimento da armadura



56



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.
Programa de Educação Continuada – PECE.
Curso de Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações.
GES-017 – Patologia, Recuperação e Reparo de Estruturas de Concreto.

MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO



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*

Escola Politécnica

22/05/2013

São Paulo SP

57

Estruturas de Concreto Armado e Protendido

Conceitos

- ✓ Envelhecimento natural *previsto; não incomoda*
- ✓ Envelhecimento precoce *não previsto; caro*
- ✓ Vida útil *60anos → normal*
- ✓ Estrutura avisa *saber “ouvir”*

PECE-EPUSP

58

NBR 6118:2003

"mecanismos de deterioração e envelhecimento"

6.3.2 Concreto

- ✓ lixiviação;
- ✓ expansão → sulfatos
- ✓ expansão → AAR
- ✓ Intemperismo

6.3.3 Aço

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

6.3.4 Estrutura

ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, fator humano

PECE-EPUSP

59

6.3.2 Concreto → *Lixiviação*

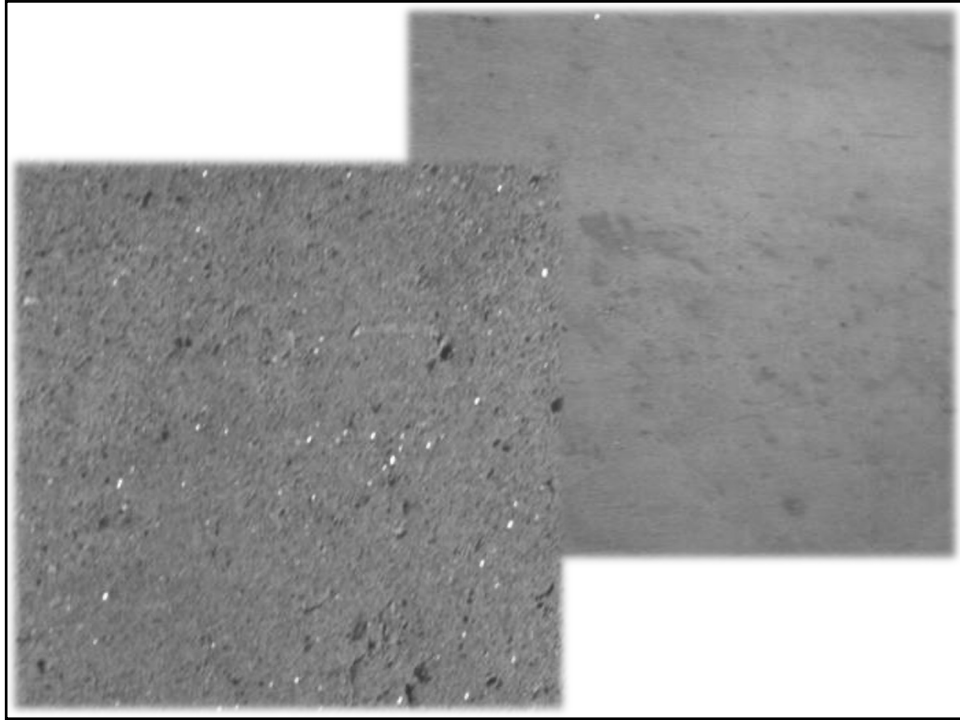


Cobertura do
Prédio da FAU-USP



Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP

60



61

6.3.2 Concreto → *Lixiviação*

Mecanismo

- carreamento de sais solúveis pela água, Ca(OH)_2

Manifestação, Sintoma, Vício

- Manchas esbranquiçadas na superfície CaCO_3
- Eflorescência, pode até formar estalactites
- Aumento da porosidade interna do concreto
 - Redução do pH com risco de corrosão

62

6.3.2 Concreto → ***Lixiviação***

Como evitar, Prevenção, Profilaxia

- Reduzir relação a/c, usar adições
- Melhorar condições de cura;
- Impermeabilizar evitando água.

PECE-EPUSP

63

6.3.2 Concreto → ***Lixiviação***

Como corrigir:

- de onde vem a água?
- porque o concreto está poroso e permeável?
- porque fissurou?
- é fissura “viva” ou “morta”?
- é aparente, respeitar estética?
- é estrutural, precisa monolitismo?

Inspeção, Diagnóstico e Projeto de Intervenção Corretiva

Procedimento de Manutenção

64

Ataque ácido

- Remoção da pasta e exposição dos agregados;
- Aumento da porosidade do concreto;
- Diminuição da resistência;
- Despassivação e posterior corrosão das armaduras.

PhD Engenharia

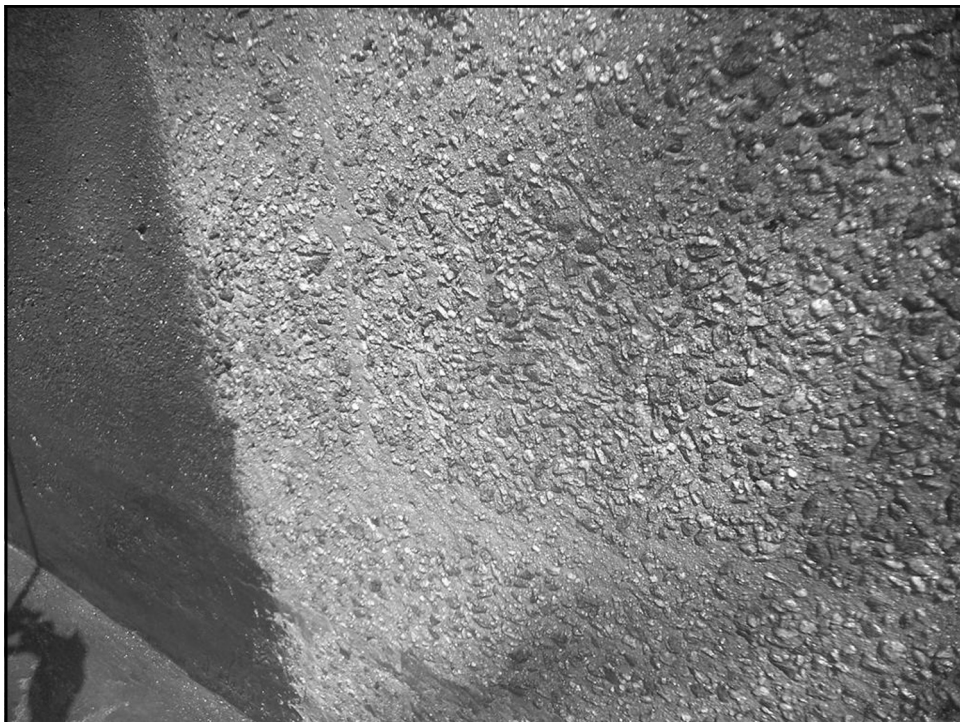
65



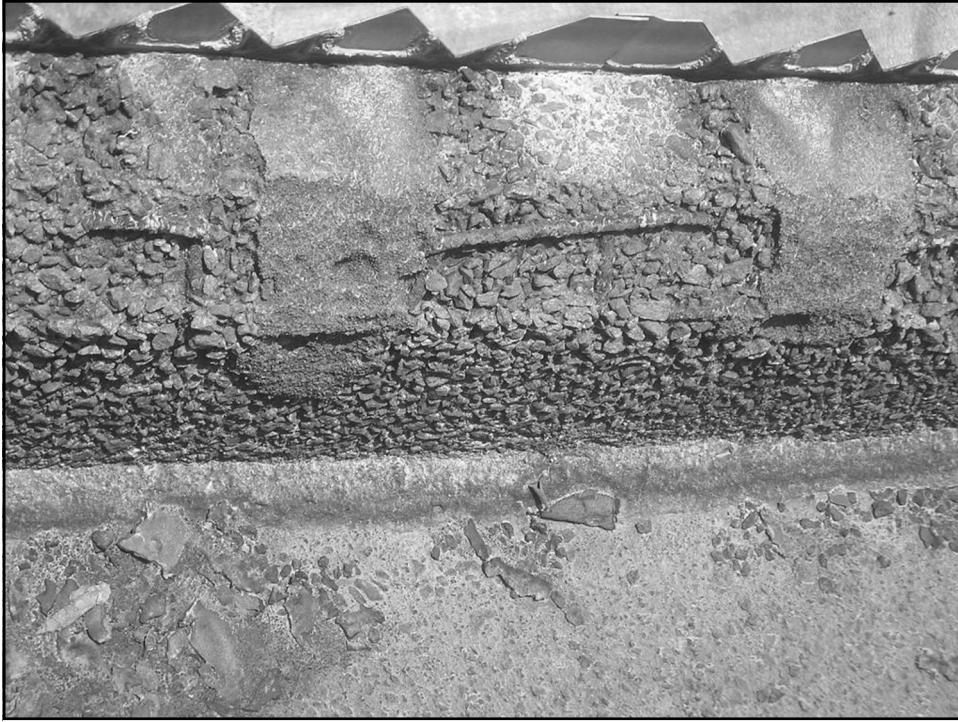
66



67



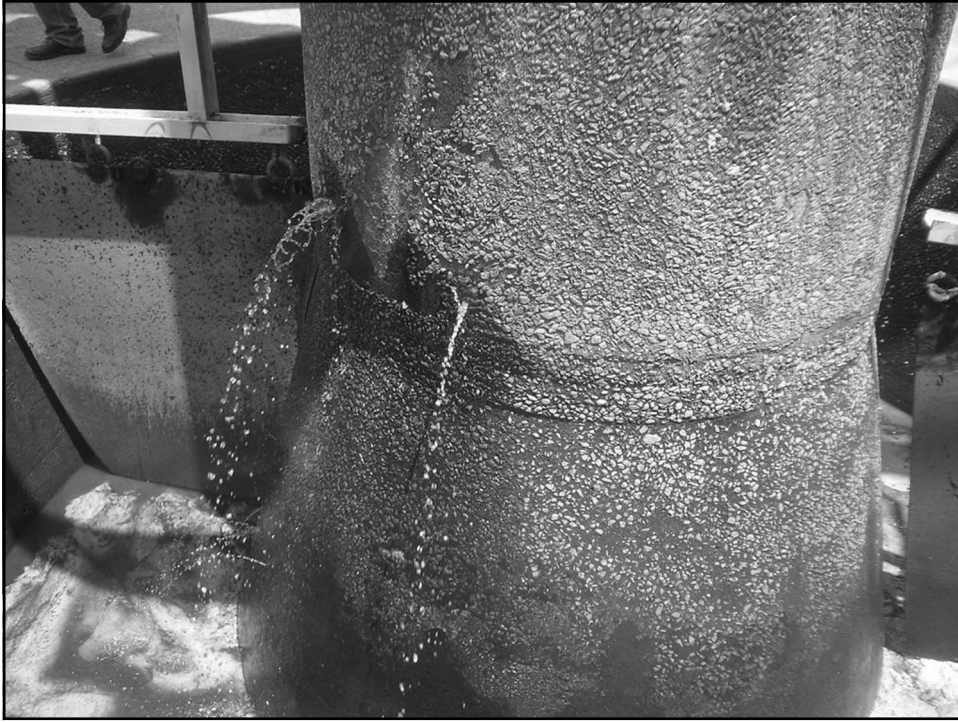
68



69



70



71



72

Ataque ácido

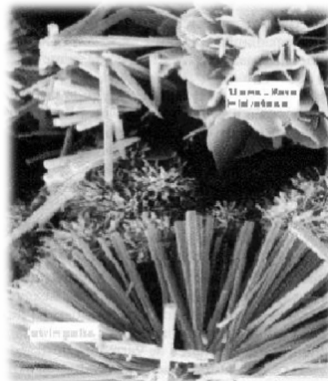


73

6.3.2 Concreto → *Expansão*

Reações expansivas

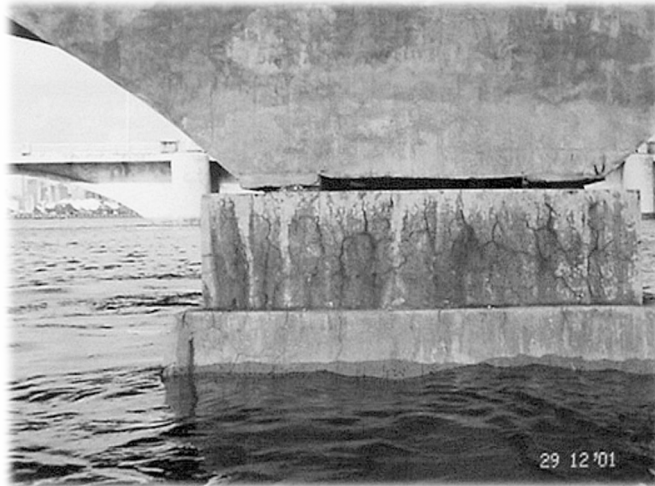
Sulfatos, SO_4^{-2}



PECE-EPUSP

74

6.3.2 Concreto → *Expansão*
Reação Álcali-Agregado AAR



75



76



77



78



79

PONTE PAULO GUERRA

concreto armado

corrosão armaduras

reação álcali-agregado

Inspeção impede colapso

PECE-EPUSP

80



81



82

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

PECE-EPUSP

83

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

análise da água

pH = 7,5 Cl⁻ = 14.000 mg/L
Mg⁺⁺ = 900 mg/L SO₄⁺⁺ = 1.900 mg/L
SO₄⁺⁺ no concreto = 0,35% a 0,62%
SO₄⁺⁺ max concreto = 0,59% p/ 3% gesso

PECE-EPUSP

84

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

- Cobrimento m 16mm s 2,5mm
- carbonatação < 12mm
- E_{corr} 10 to - 450 mV
- i_{corr} 0,07 to 0,31
mA/cm²
- ultra som 1600 to 3800 m/s

PECE-EPUSP

85

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

- testemunhos m = 28 MPa
- módulo de elasticidade 5 to 30 GPa
- análise petrográfica
 “evidência de reação alcali-agregado;
 nenhuma evidência de etringita
 secundária”

PECE-EPUSP

86



87



88



89



90



91



92

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”

PECE-EPUSP

93

Ponte Paulo Guerra alternativas

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

PECE-EPUSP

94

Ponte Paulo Guerra

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

> 4 MPa ?

PECE-EPUSP

95

6.3.3 Aço → *Corrosão de Armaduras*

Despassivação por carbonatação

- Ca(OH)_2 --- $\text{pH} \geq 12$
(aço passivado)
- $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



96



97

6.3.3 Aço →
***Corrosão de
Armaduras***

Despassivação
por cloretos



98



99

Cloretos

Carbonatação

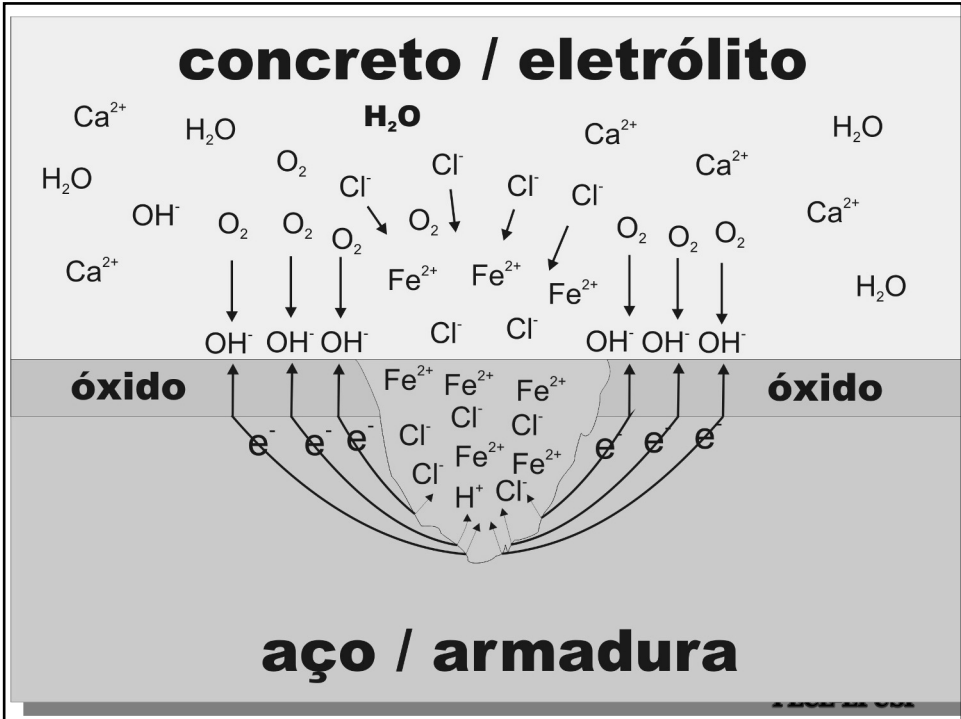
PECE-EPUSP

100

Cloretos

PECE-EPUSP

101



102

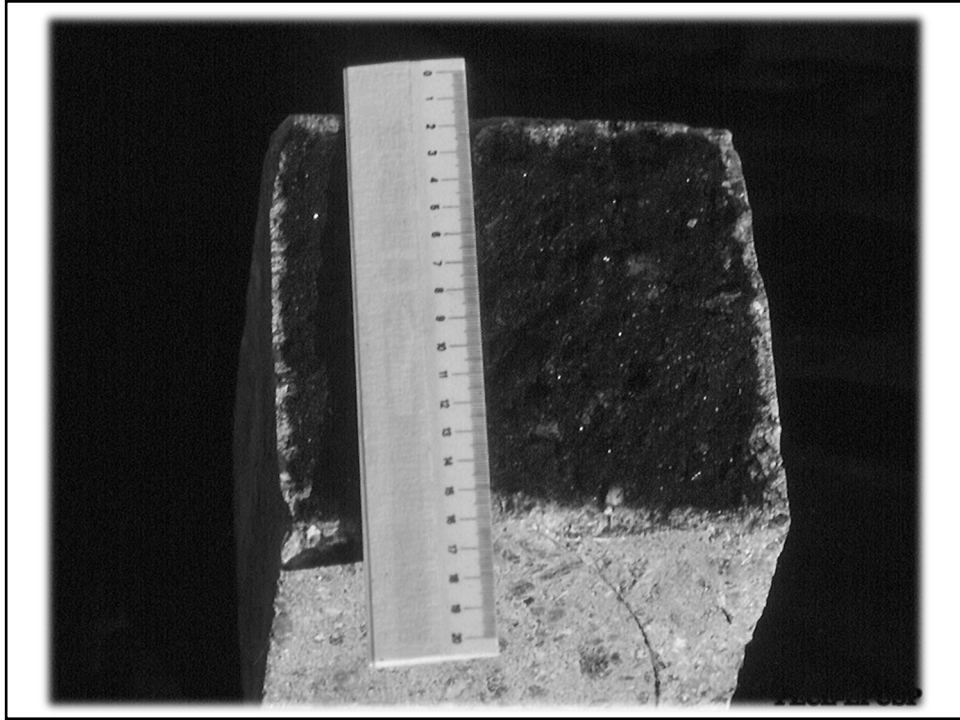


103

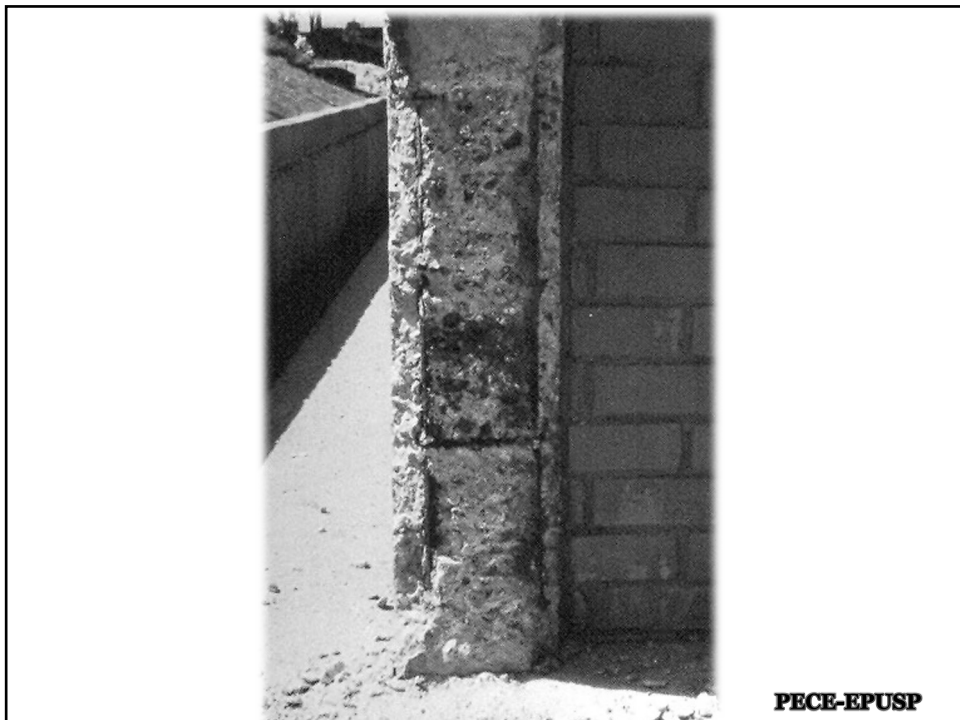
Carbonatação

PECE-EPUSP

104



105



106



107

Consequências

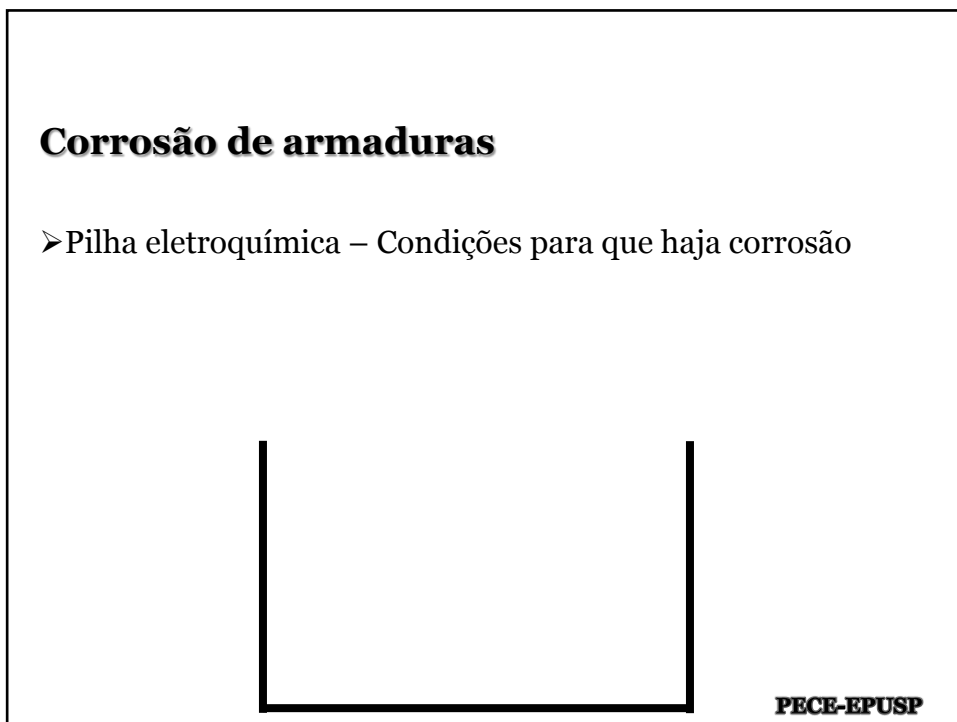
- ***cloretos***
- ***carbonatação***

PECE-EPUSP

108



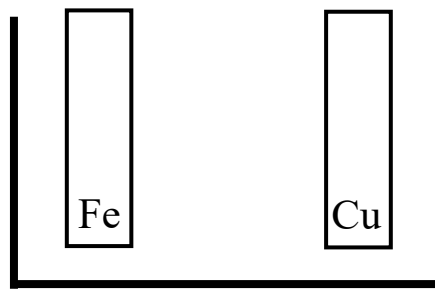
109



110

Corrosão de armaduras

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

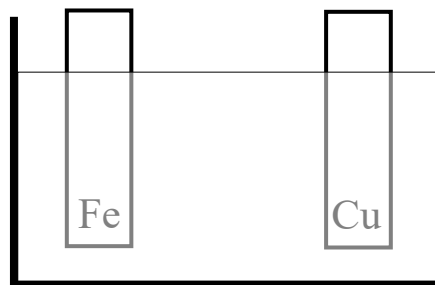


PECE-EPUSP

111

Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Eletrólito

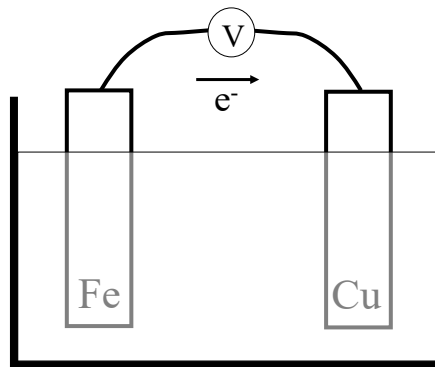


PECE-EPUSP

112

Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Contato elétrico

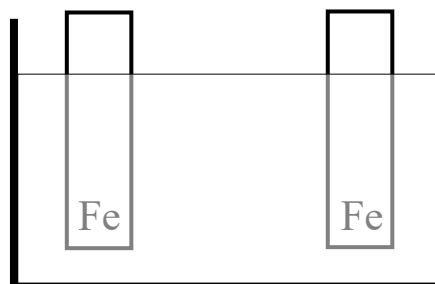


PECE-EPUSP

113

Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais iguais?

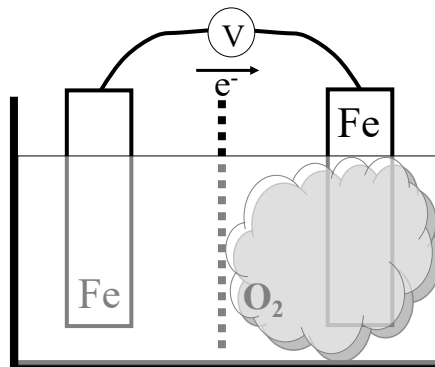


PECE-EPUSP

114

Corrosão de armaduras

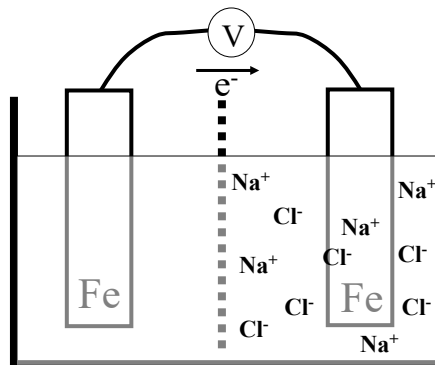
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Aeração diferencial



115

Corrosão de armaduras

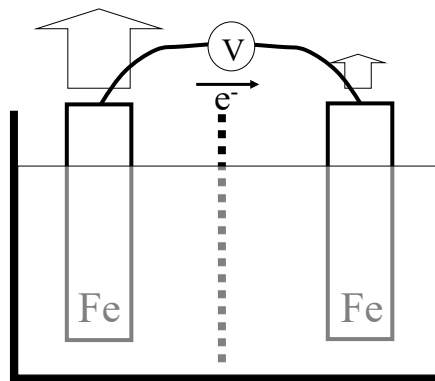
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Concentração salina diferencial



116

Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Energia diferencial



PECE-EPUSP

117

Corrosão de armaduras

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

PECE-EPUSP

118

Corrosão de armaduras

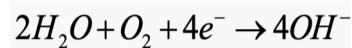
- Condições para ocorrência no concreto
- Diferença de potencial
 - Imperfeições na superfície da barra.
 - Diferenças de:
 - Aeração
 - Umidade
 - Concentração salina
 - Tensão no aço

PECE-EPUSP

119

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Oxigênio
 - Presente nos poros de concreto, por difusão
 - Reagente para a reação catódica:

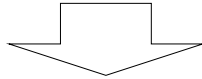


PECE-EPUSP

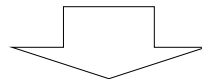
120

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



Não há corrosão



Passivação

PECE-EPUSP

121

Passivação

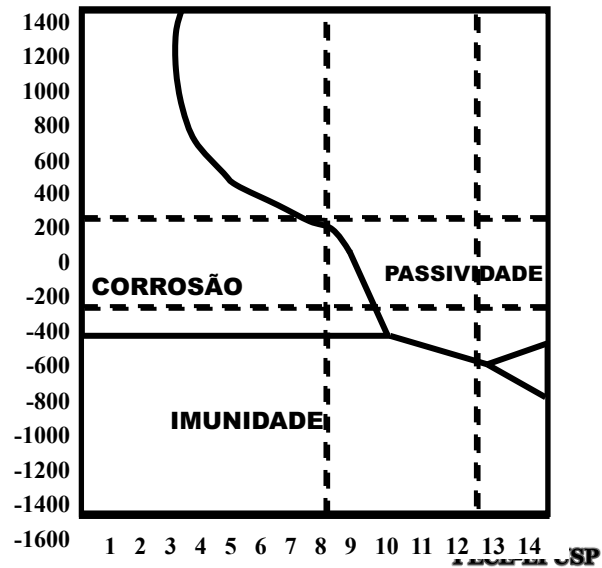
- Película fina de um filme de óxido estável e aderente formado na superfície do concreto
- Estado em que o aço se encontra no interior do concreto por ser um meio bastante alcalino (pH=12,6)

PECE-EPUSP

122

Diagrama de Pourbaix

E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



123

Perda de passivação

- Carbonatação do concreto
- Presença de íons cloreto

PECE-EPUSP

124

Carbonatação

- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (meio aquoso)
- Despassiva a armadura pois a reação reduz o pH do concreto
- Fatores que aumentam a durabilidade em relação à corrosão por carbonatação:
 - Diminuição da relação a/c
 - Cobrimento de concreto
 - Proteção superficial do concreto

PECE-EPUSP

125

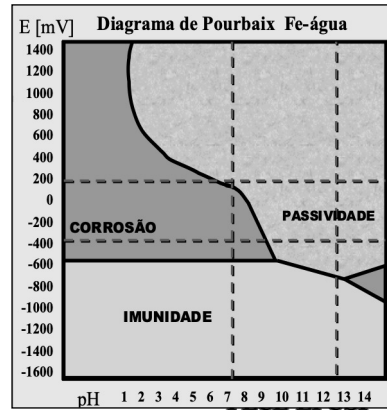
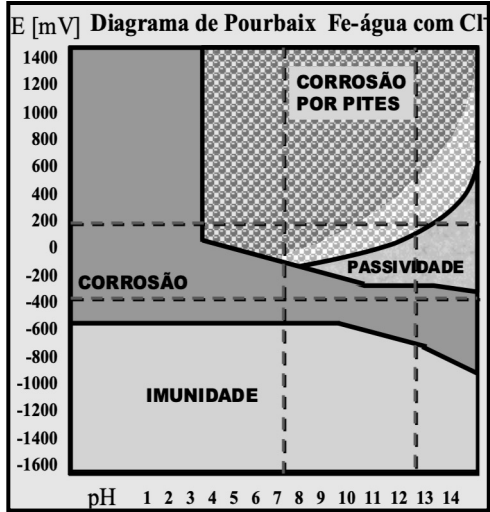
Cloretos

- Promove a despassivação precoce do aço, mesmo em ambientes muito alcalinos
- O teor crítico = 0,4% m.c.
- 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)

PECE-EPUSP

126

Cloretos



127

Corrosão de armaduras



➤ Exemplo de corrosão em zona de maré

PECE-EPUSP

128

Corrosão de armaduras

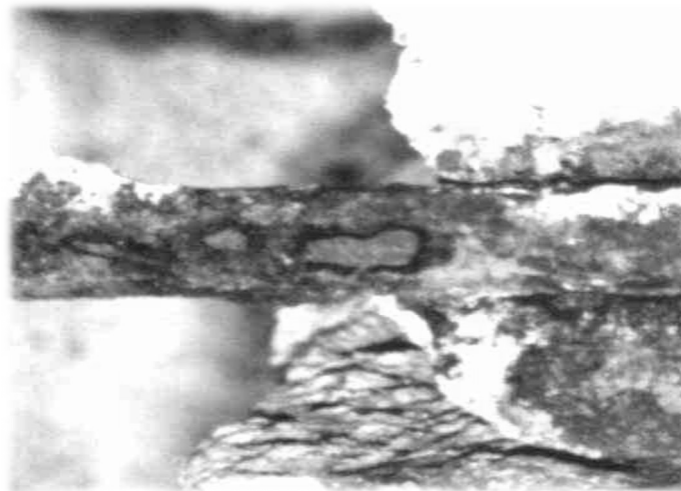


➤ Corrosão por carbonatação

PECE-EPUSP

129

Corrosão de armaduras

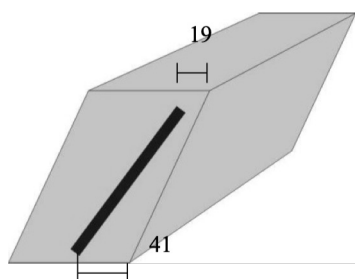


➤ Corrosão por cloretos (pites)

PECE-EPUSP

130

Corrosão de armaduras



➤ Influência do cobrimento



PECE-EPUSP

131

Corrosão de armaduras



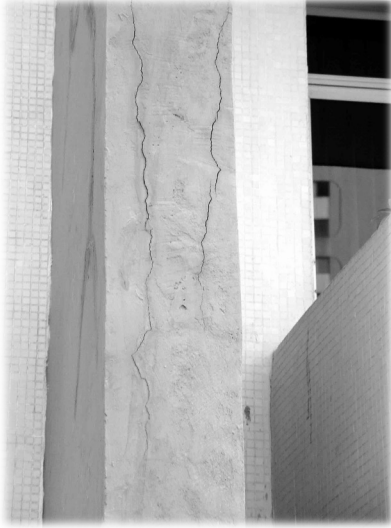
➤ Ponte em zona marítima



PECE-EPUSP

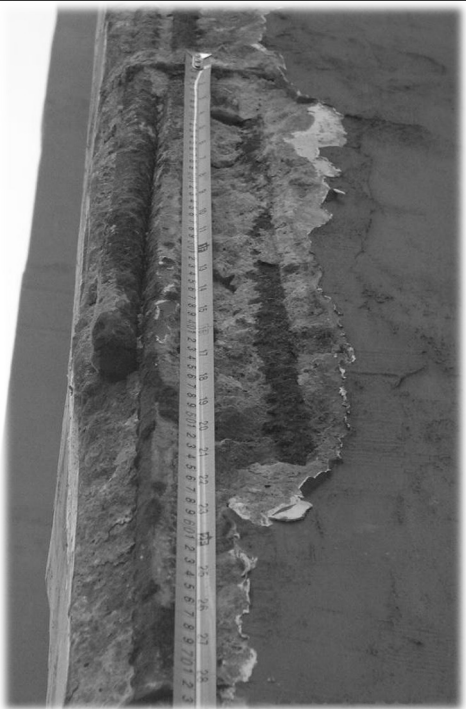
132

Corrosão de armaduras



133

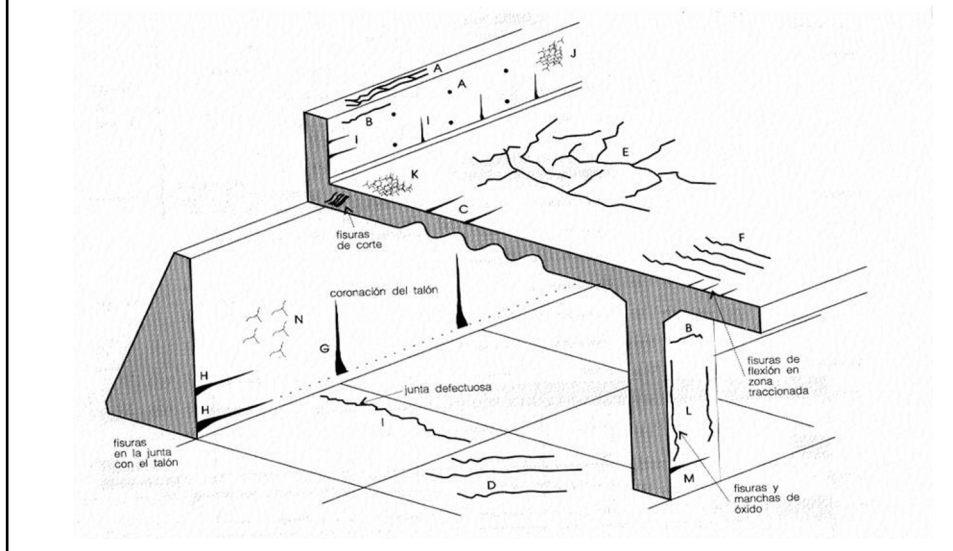
Corrosão de armaduras



134

6.3.4 Estrutura

fissuras: térmicas, retração, ações, construtivas



135

Fissuração

- Assentamento plástico
- Retração plástica
- Retração por secagem
- Origem térmica
- Deformações excessivas
- Sobrecarga
- Recalque diferencial

PECE-EPUSP

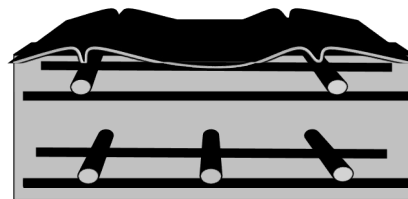
136



137

Assentamento plástico

- Ocorre nas primeiras 3 horas após o lançamento
- Ascensão da água de amassamento, devido à diferença da densidade dos componentes.
- Aumenta com o aumento da bitola da armadura, aumento da consistência e diminuição do cobrimento
- Ações preventivas:
 - Adição de finos
 - Redução da relação a/c



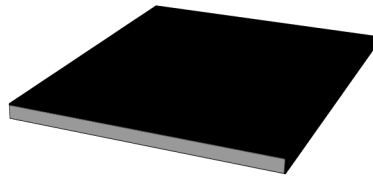
138



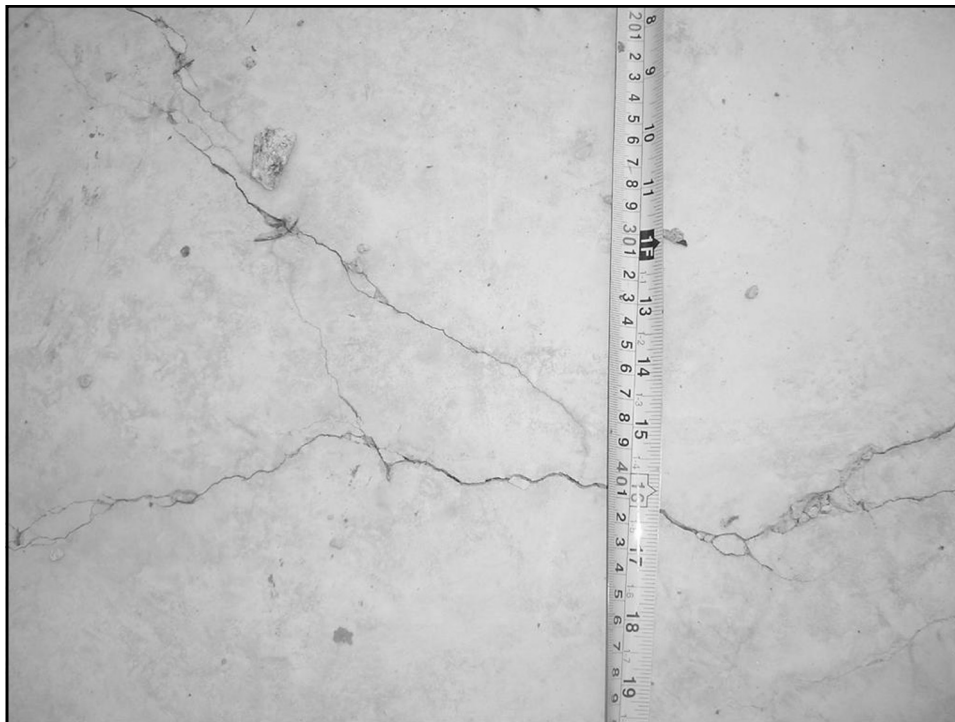
139

Retração plástica

- Ocorre entre a primeira e a sexta hora após o lançamento do concreto, pela evaporação da água exsudada
- São fissuras mapeadas
- Pode ser minorada por:
 - Redução do consumo de água
 - Redução da relação a/c
 - Cura adequada logo após desempenamento
- Se manifesta por fissuras largas e pouco profundas (menores que 30 mm de profundidade), são freqüentes em peças planas



140



141

Retração por secagem

- Ocorre devido à perda de água capilar do concreto, provocando a contração de volume, principalmente em peças planas de concreto, ou seja, em lajes com grande superfície exposta para secagem e pequena espessura
- Na prática, a retração das peças de concreto nunca é livre, e essas restrições fazem surgir tensões de tração no material, podendo ocorrer fissuração

PECE-EPUSP

142

Retração por secagem

- Relação água/cimento
- Consumo de água por metro cúbico
- Adições e aditivos
- Tempo e umidade
- Geometria do elemento de concreto

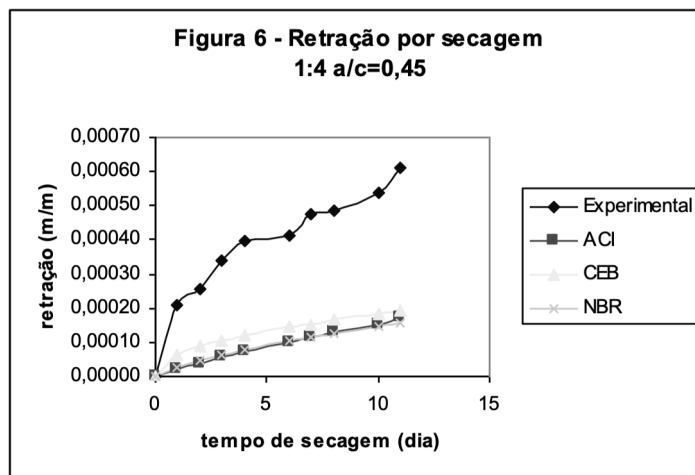
PECE-EPUSP

143



144

Retração por secagem



PECE-EPUSP

145

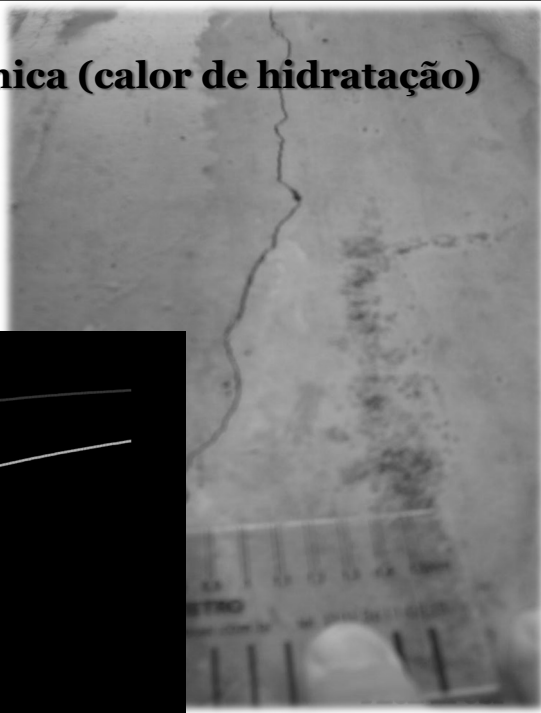
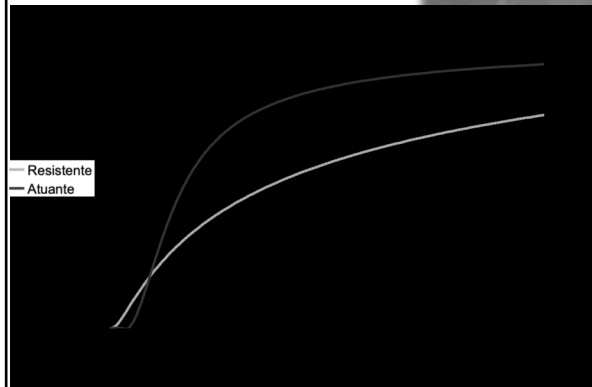
Movimentação térmica (calor de hidratação)

- Esforços de contração térmica, originados pelo resfriamento do elemento após dilatação térmica provocada pelo aumento da temperatura causado pelas reações de hidratação do cimento
- Para evitar o problema, seleciona-se um cimento de baixo calor de hidratação, minimiza-se consumo de cimento para uma dada aplicação, usa-se cimentos mais “frios”, molha-se os agregados graúdos com água fria e limpa e substitui-se parte da água de amassamento por gelo em escamas

PECE-EPUSP

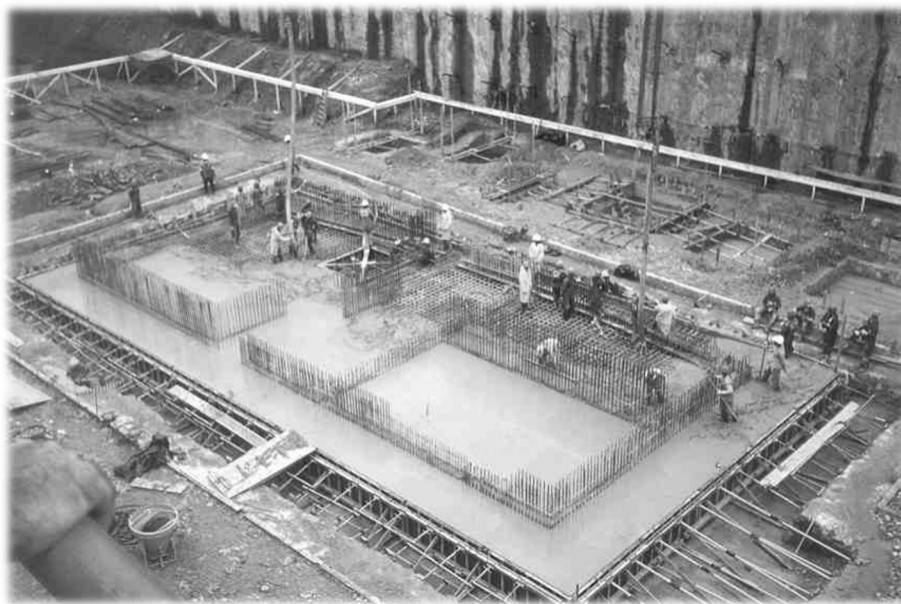
146

Movimentação térmica (calor de hidratação)

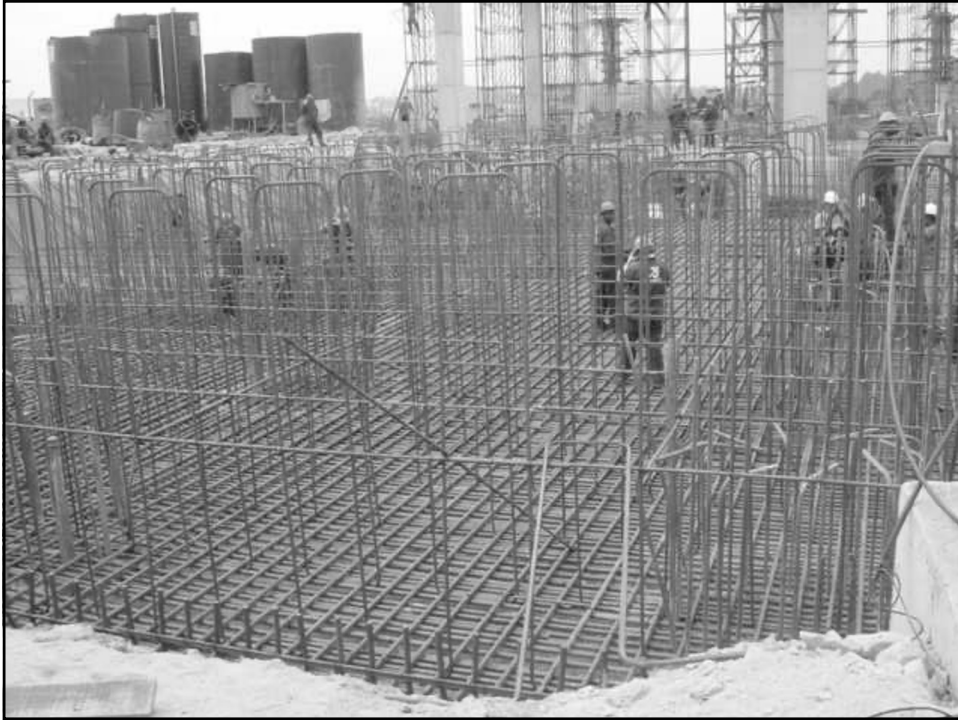


147

Movimentação térmica (calor de hidratação)



148



149



150



151

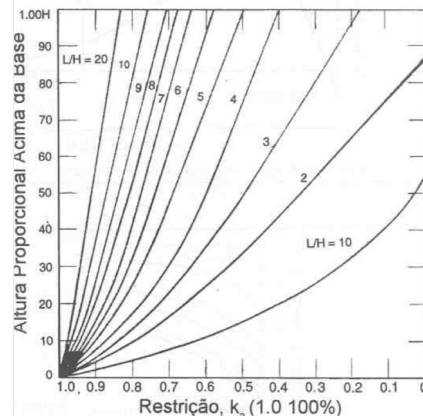
Exemplo

- Bloco de fundação de 26 m de largura, 26 m de comprimento e 3,5 m de altura;
- f_{ck} de 30 MPa aos 91 dias;
- Volume de concreto total de 2366 m³.

PECE-EPUSP

152

Exemplo



| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Máximas | 27°C | 28°C | 27°C | 25°C | 23°C | 22°C | 22°C | 23°C | 23°C | 25°C | 26°C | 26°C |
| Minimas | 19°C | 19°C | 19°C | 17°C | 15°C | 13°C | 13°C | 13°C | 14°C | 16°C | 17°C | 18°C |
| Media | 23°C | 24°C | 23°C | 21°C | 19°C | 18°C | 17°C | 18°C | 18°C | 21°C | 22°C | 22°C |

PECE-EPUSP

153

Exemplo

| Material | Consumo (kg/m ³) | Calor específico (kcal/kg°C) | m x C (kcal/kg°C) | T (°C) | Q (kcal/m ³) Positivo | Q (kcal/m ³) Negativo |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Cimento | 310 | 0,200 | 62,0 | 60 | 3720 | |
| Areia de quartzo | 610 | 0,190 | 115,9 | 23 | 2666 | |
| Areia artificial de calcário | 152 | 0,220 | 33,4 | 23 | 769 | |
| Umidade da areia | 40,0 | 1,000 | 40,0 | 23 | 920 | |
| Brita 1- granítica | 1076 | 0,181 | 194,8 | 23 | 4479 | |
| Água | 0 | 1,000 | 0,0 | 19 | 0 | |
| Gelo (sensível) | 115 | 0,500 | 57,5 | -5 | | 288 |
| Gelo (latente) | 115 | 1,000 | 115,0 | | | 9200 |
| Betoneira | 1000 | 0,27 | 270 | 25 | 6750 | |
| | | | 888,6 | | | |
| ad. plastificante 394N MBT | 1.86 kg | 0,60% | | | | |
| ad.super Rheobuild 1000 MBT | 3.10 kg | 1% | | | | |
| | | | | Soma | 19304 | 9488 |
| | | | | | 9817 | |
| | | | | T_c | 11,0 °C | |
| | | | | T_L | 13,0 °C | |

42 sacos de gelo por caminhão de 8 m³ colocados na usina

154

Exemplo

| ENTRADA DE DADOS | |
|--|-------------|
| Consumo de cimento (kg/m ³) | 310 |
| Massa específica (kg/m ³) | 2331 |
| Calor específico do concreto (cal/g°C) | 0,232 |
| Coef. de dilatação térmica (m ² /C) | 1,000E-05 |
| Temperatura de lançamento (°C) | 17 |
| Temperatura ambiente (°C) | 23 |
| Ec 91 dias (GPa) | 29,0 |
| fct,m 91 dias (MPa) | 2,9 |
| Coef. de segurança | 1,0 |
| Coef. de fluência | 0,67 |
| Máximo gradiente (°C) | 22,3 |

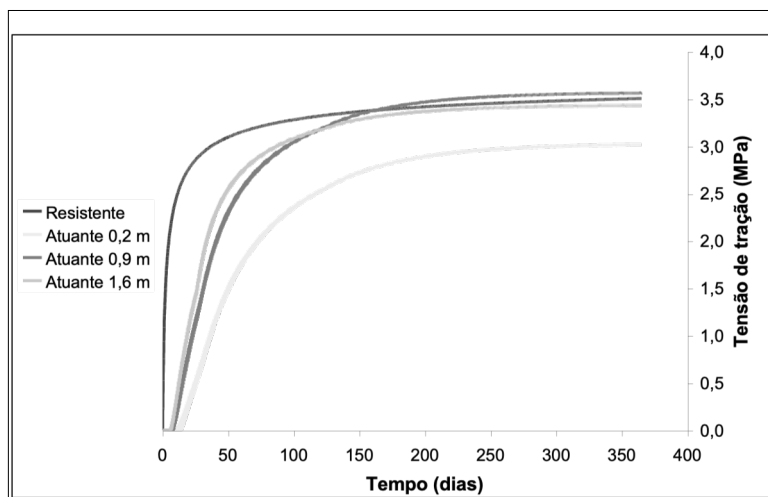
| CONCRETO | | | | | | | | | | | | | SOLO | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--|
| 3,3 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | 0,0 | -0,2 | -0,5 | -0,68 | |
| 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 23,0 | 23,0 | |
| 30,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 27,1 | 20,0 | 23,0 | |
| 30,1 | 33,6 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 33,6 | 28,6 | 26,5 | 21,5 | 23,0 | |
| 31,3 | 34,1 | 35,9 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,9 | 33,4 | 33,1 | 29,1 | 24,8 | |
| 30,6 | 35,7 | 36,7 | 37,6 | 37,2 | 37,2 | 37,2 | 37,2 | 37,2 | 37,2 | 37,2 | 37,2 | 37,6 | 36,3 | 36,5 | 31,3 | 28,9 | 23,7 | |
| 30,9 | 35,2 | 38,2 | 38,5 | 38,9 | 38,7 | 38,7 | 38,7 | 38,7 | 38,7 | 38,9 | 38,3 | 38,6 | 35,3 | 34,3 | 27,5 | 26,4 | 23,1 | |
| 30,3 | 35,7 | 38,0 | 39,7 | 39,8 | 40,0 | 39,9 | 39,9 | 39,9 | 40,0 | 39,7 | 40,0 | 38,0 | 37,6 | 32,6 | 30,3 | 25,3 | 24,9 | |
| 30,3 | 35,2 | 38,7 | 39,9 | 40,9 | 40,9 | 41,0 | 40,9 | 41,0 | 40,8 | 41,0 | 39,9 | 39,8 | 36,3 | 35,0 | 29,0 | 27,6 | 24,1 | |
| 29,9 | 35,4 | 38,4 | 40,6 | 41,2 | 41,8 | 41,7 | 41,8 | 41,7 | 41,8 | 41,2 | 41,2 | 38,9 | 38,2 | 33,4 | 31,3 | 26,5 | 25,9 | |
| 29,9 | 34,8 | 38,7 | 40,5 | 41,9 | 42,2 | 42,5 | 42,4 | 42,5 | 42,1 | 42,2 | 40,7 | 40,4 | 36,9 | 35,5 | 30,0 | 28,6 | 25,0 | |
| 29,5 | 34,9 | 38,3 | 40,9 | 41,9 | 42,8 | 42,9 | 43,1 | 42,9 | 43,0 | 42,0 | 41,9 | 39,4 | 38,6 | 34,1 | 32,0 | 27,5 | 26,6 | |
| 29,5 | 34,4 | 38,4 | 40,7 | 42,4 | 43,0 | 43,5 | 43,4 | 43,6 | 43,0 | 43,0 | 41,3 | 40,8 | 37,3 | 35,8 | 30,8 | 29,3 | 25,8 | |
| 29,2 | 34,4 | 38,0 | 40,9 | 42,3 | 43,4 | 43,7 | 44,0 | 43,7 | 43,8 | 42,6 | 42,4 | 39,8 | 38,8 | 34,5 | 32,6 | 28,3 | 27,3 | |
| 29,2 | 34,0 | 38,1 | 40,6 | 42,6 | 43,4 | 44,1 | 44,1 | 44,3 | 43,6 | 43,5 | 41,6 | 41,0 | 37,6 | 36,1 | 31,4 | 30,0 | 26,5 | |
| 28,9 | 34,0 | 37,7 | 40,7 | 42,4 | 43,8 | 44,2 | 44,6 | 44,2 | 44,3 | 43,0 | 42,6 | 40,0 | 38,9 | 34,9 | 33,0 | 29,0 | 27,9 | |
| 28,9 | 33,7 | 37,7 | 40,4 | 42,6 | 43,6 | 44,5 | 44,6 | 44,8 | 44,0 | 43,8 | 41,8 | 41,1 | 37,8 | 36,3 | 31,9 | 30,5 | 27,1 | |
| 28,7 | 33,6 | 37,4 | 40,5 | 42,3 | 43,9 | 44,4 | 44,8 | 44,6 | 44,6 | 43,2 | 42,8 | 40,1 | 39,1 | 35,2 | 33,4 | 29,5 | 28,4 | |
| 28,6 | 33,3 | 37,4 | 40,1 | 42,5 | 43,7 | 44,7 | 44,8 | 45,1 | 44,2 | 44,0 | 42,0 | 41,2 | 38,0 | 36,5 | 32,3 | 30,9 | 27,6 | |
| 28,4 | 33,3 | 37,0 | 40,2 | 42,2 | 43,9 | 44,5 | 45,2 | 44,8 | 44,8 | 43,4 | 42,9 | 40,2 | 39,2 | 35,4 | 33,7 | 30,0 | 28,9 | |
| 28,4 | 33,0 | 37,0 | 39,8 | 42,3 | 43,6 | 44,8 | 44,9 | 45,3 | 44,3 | 44,1 | 42,1 | 41,3 | 38,1 | 36,7 | 32,7 | 31,3 | 28,1 | |
| 28,2 | 32,9 | 36,6 | 39,9 | 42,0 | 43,8 | 44,5 | 45,3 | 44,9 | 44,9 | 43,4 | 42,9 | 40,3 | 39,2 | 35,6 | 34,0 | 30,4 | 29,3 | |
| 28,2 | 32,7 | 36,6 | 39,5 | 42,1 | 43,5 | 44,8 | 44,9 | 45,8 | 44,4 | 44,2 | 42,1 | 41,3 | 38,2 | 36,8 | 33,0 | 31,7 | 28,5 | |
| 28,0 | 32,6 | 36,3 | 39,5 | 41,7 | 43,6 | 44,4 | 45,3 | 44,8 | 45,0 | 43,4 | 43,0 | 40,4 | 39,3 | 35,8 | 34,3 | 30,8 | 29,7 | |
| 28,0 | 32,4 | 36,3 | 39,2 | 41,8 | 43,2 | 44,6 | 44,8 | 45,3 | 44,3 | 44,2 | 42,1 | 41,3 | 38,3 | 37,0 | 33,3 | 32,0 | 28,9 | |
| 27,9 | 32,3 | 36,0 | 39,2 | 41,4 | 43,4 | 44,2 | 45,2 | 44,8 | 44,9 | 43,4 | 42,9 | 40,4 | 39,3 | 36,0 | 34,5 | 31,1 | 30,0 | |
| 27,8 | 32,1 | 35,9 | 38,9 | 41,5 | 43,0 | 44,5 | 44,7 | 45,2 | 44,3 | 44,1 | 42,1 | 41,3 | 38,4 | 37,1 | 33,5 | 32,2 | 29,3 | |
| 27,7 | 32,1 | 35,6 | 38,9 | 41,1 | 43,1 | 44,0 | 45,0 | 44,6 | 44,8 | 43,3 | 42,9 | 40,4 | 39,4 | 36,1 | 34,7 | 31,4 | 30,3 | |
| 27,7 | 31,8 | 35,6 | 38,5 | 41,2 | 42,7 | 44,2 | 44,5 | 45,1 | 44,1 | 44,0 | 42,0 | 41,3 | 38,4 | 37,2 | 33,8 | 32,5 | 29,6 | |

155

Exemplo

156

Exemplo



157

Movimentação térmica (condições ambientais)



158



159



160

Movimentação térmica (condições ambientais)



161

Deformações excessivas

- Ocorre quando a estrutura em serviço é mais deformável do que o previsto no projeto estrutural
- Erro de projeto
- Módulo de elasticidade do concreto inferior ao especificado

PECE-EPUSP

162

Deformações excessivas



163

Sobrecarga



164



165



166



167



168

Ação do fogo

- Escurecimento da superfície do concreto: Deposição de fuligem (material carbonizado);
- Deterioração de revestimentos e destacamento;
- Calcinação do concreto de cobrimento;
- Aparecimento de fissuras (400°C);
- Perda de resistência mecânica;
- Desagregação e posterior destacamento do concreto de cobrimento (600°C);
- Exposição e rápida perda de resistência do aço;

PECE-EPUSP

169

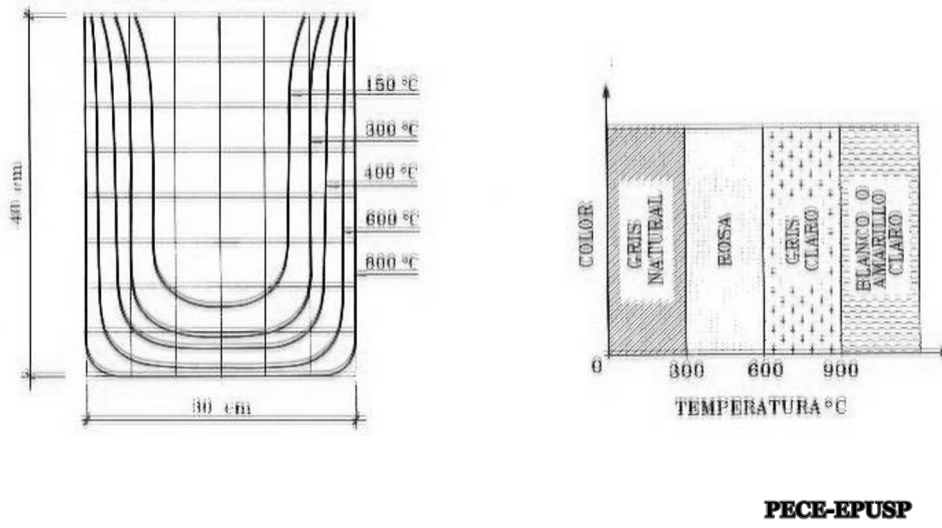
Ação do fogo

- Perda de aderência entre aço e concreto (descaracteriza comportamento estrutural previsto no projeto);
- Aumento de flechas e deformações;
- Ruptura parcial ou total.

PECE-EPUSP

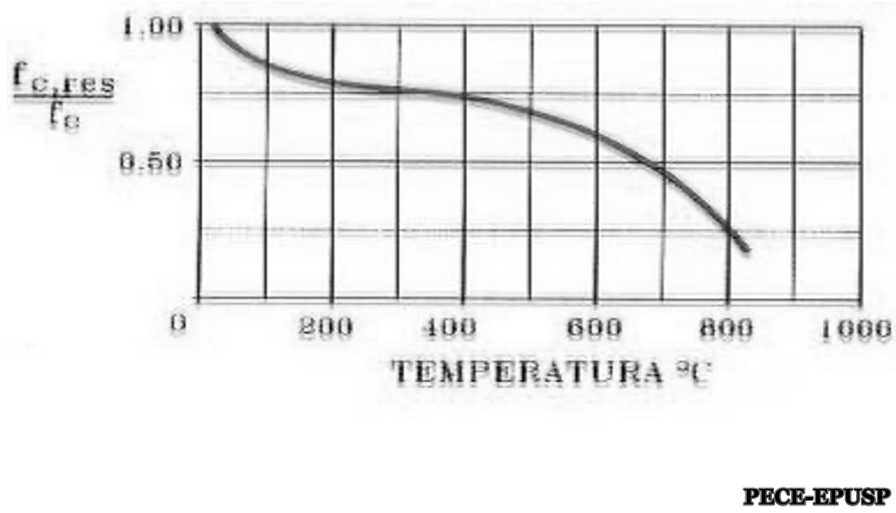
170

Ação do fogo



171

Ação do fogo



172

Ação do fogo



173

**Os problemas precoces e
acidentes ocorrem por**

**Inexistência de Manuais, Livros,
Normas ?**

Exercício Profissional Omissos?

Ausência de Cultura da Manutenção?

PECE-EPUSP

174

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

11-2501-4822 / 23
11-7881-4014