

PALESTRA



Peculiaridades das Perícias em Estruturas Expostas a Ambiente Marinho

GILBERTO ADIB COURI, DSc

Promoção:



IBAPE NACIONAL
Instituto Brasileiro de Avaliações
e Perícias de Engenharia

Realização:



IBAPE BAHIA
Instituto Brasileiro de
Avaliações e Perícias de
Engenharia da Bahia

Gilberto Adib Couri, DSc

- ❖ Engenheiro civil e ambiental
 - ❖ Doutor em Ciências em Engenharia
 - ❖ Ex-Conselheiro do CREA RJ
 - ❖ Ex-Vice Presidente Técnico do IBAPE Nacional
 - ❖ Ex-Presidente do IBAPE RJ por dois mandatos e Ex-Presidente do Conselho do IBAPE RJ
 - ❖ Especializado em laudos técnicos nas áreas de engenharia e ambiental
 - ❑ Inspeções prediais, inclusive laudos de Autovistoria
 - ❑ Patologias edilícias
 - ❑ Avaliações imobiliárias e patrimoniais
 - ❑ Avaliação de impactos ambientais
 - ❑ Avaliação de empresas
 - ❑ Mediação e Arbitragem
 - ❖ Coordenador e Professor da FGV Management
 - ❖ Ex-Professor Titular da UFF (atuando no mestrado e doutorado em engenharia)
 - ❖ Ex-Professor das UFRJ, UERJ e PUC-RJ
 - ❖ Atua nas áreas empresarial e técnica, em projeto, construção e manutenção predial
 - ❖ Diversas publicações técnicas



Manifestações Patológicas

Uma edificação pode ser estudada de forma similar ao corpo humano!

- ❑ Esqueleto = Estrutura
- ❑ Músculos = Armadura
- ❑ Pele = Revestimento
- ❑ Sistemas $\left\{ \begin{array}{l} \text{Circulatório} \\ \text{Digestivo} \\ \text{Nervoso} \end{array} \right. = \text{Instalações Prediais}$



ORIGEM DAS PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS

CONGÊNITAS	CONSTRUTIVAS	ACIDENTAIS	ADQUIRIDAS
○ Falhas de Concepção ○ Erros de Projeto	Inadequação de: ○ Materiais ○ Mão de Obra ○ Processos Construtivos	○ Impactos ○ Incêndios ○ Explosões ○ Terremotos ○ Outros mais	○ Manutenção Inadequada ○ Mau uso ○ Deterioração de Materiais

- Após a identificação da “doença”, devem-se buscar informações complementares que permitam estabelecer o “quadro clínico” da patologia
- Sem uma identificação de causas adequadas, a prescrição do “remédio” pode ser inadequada



Origem dos Danos

➤ Danos Físicos

- Cargas estáticas
- Impactos (cargas dinâmicas)
- Deformações incompatíveis (recalques)
- Dilatação
- Fissuras
- Abrasão
- Lixiviação
- Cavitação
- Erosão



➤ Danos Biológicos

- Bactérias
- Microrganismos
- Líquens
- Fungos



➤ Danos Químicos

- Carbonatação
- Íons cloreto (maresia)**
- Águas servidas sulfatadas (H_2SO_4)
- Águas salgadas (cloretos)**
- Reação álcali-agregado (deletéria)
- Chuvas ácidas (H_2S – ácido sulfídrico)
- Produtos químicos
- Óleos e graxas orgânicos



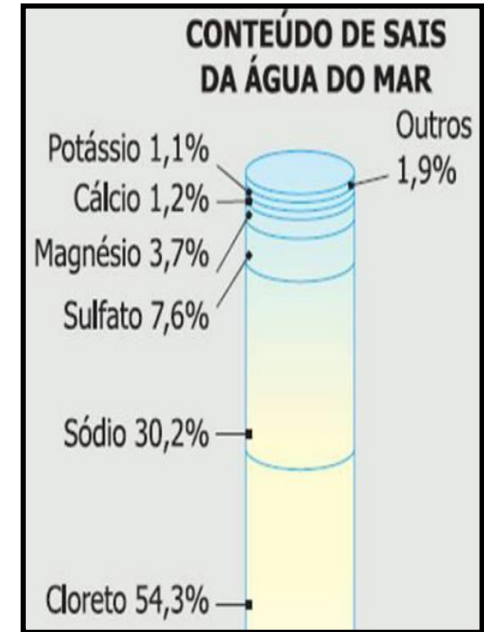
Água do Mar

Agentes mais agressivos

- NaCl, CaSO₄, MgCl, MgSO₄
- Sal de Candlot (etringita)

Mecanismo de degradação

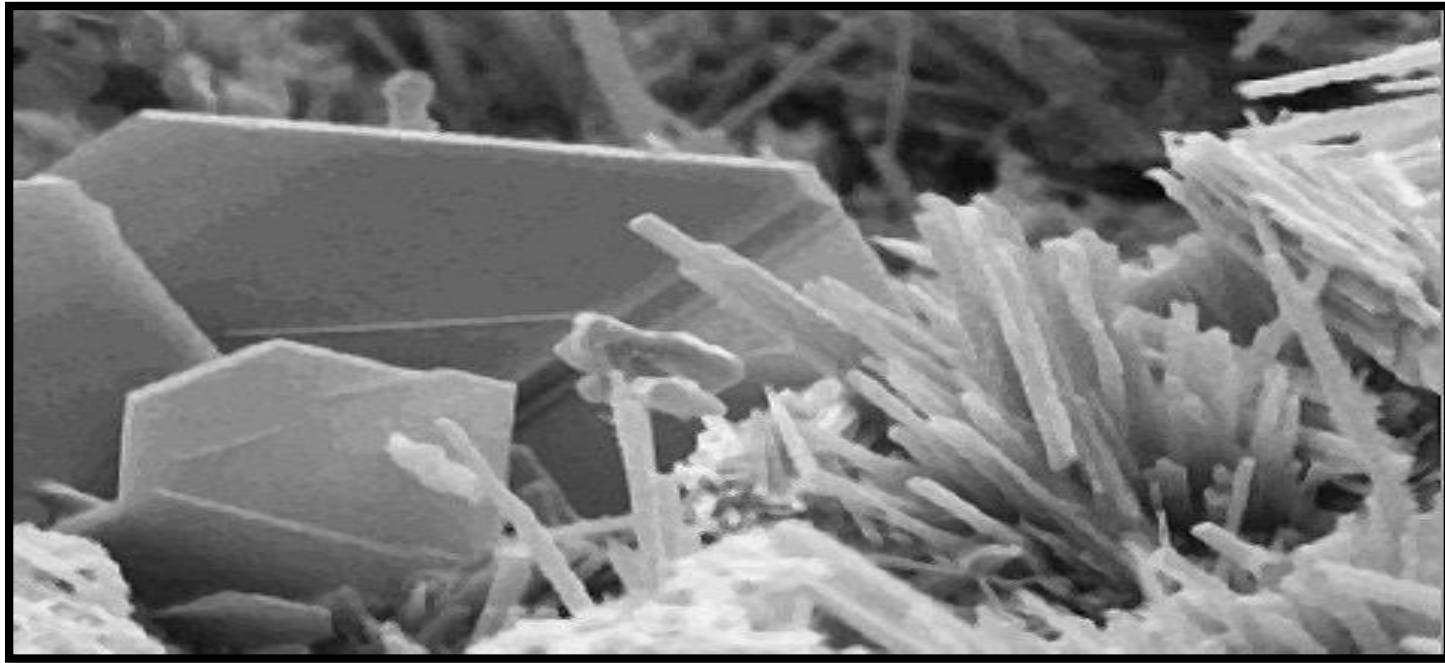
- Molhagem - Entrada de sais
- Secagem - Cristalização de sais anidros
- Remolhagem - Formação de sais expansivos



Obras portuárias/expostas à atmosfera marinha (maresia) ou à água do mar



Etringita – Sal de Candlot



Cristais de Etringita vistos por meio de microscópio eletrônico



Agentes Cloretos

- cloreto de cálcio (0,4%)
- cloreto de sódio (0,1%)

Presentes através de:

- Água de Amassamento
- Alguns Aditivos
- Impurezas dos agregados
- Atmosfera marinha



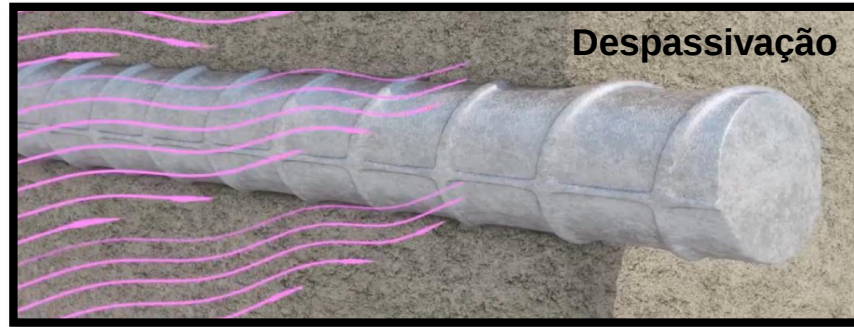
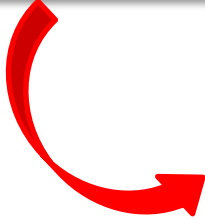
Íons cloreto (Cl^-) + umidade $\longrightarrow$ aumentam a porosidade ocasionando deterioração



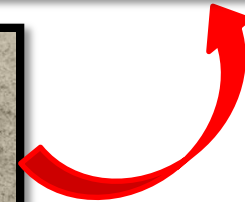
Danos Químicos – Íons Cloreto



O Cloreto
penetra no
concreto



Despassivação

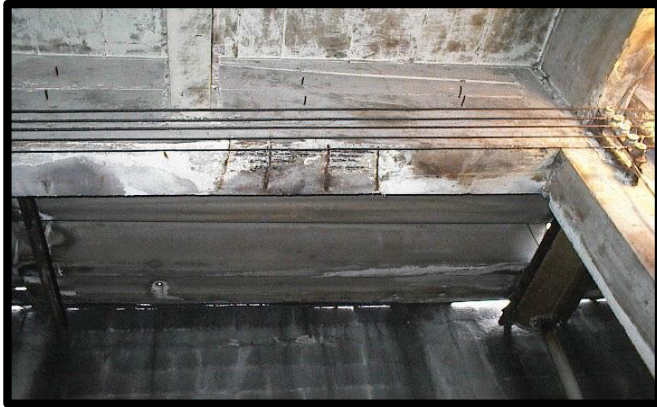


Provoca
perda de
seção da
armadura

A partir da Despassivação, ocorre também a carbonatação



Danos Químicos – Íons Cloreto



Danos Químicos – Íons Cloreto

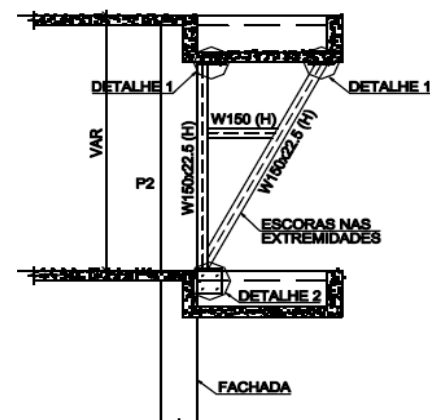
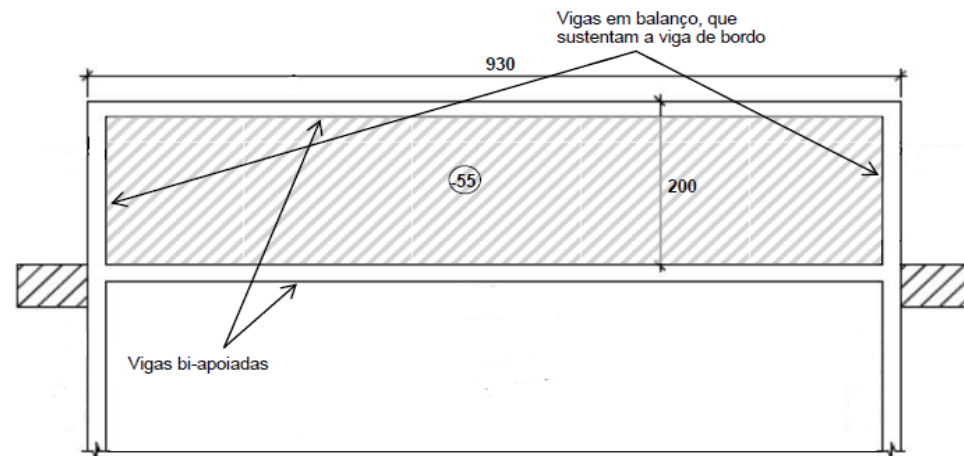


Armadura negativa de varanda em balanço
seccionada por ação de íons cloreto

Perda da capacidade resistente



Ferragem principal negativa corroída e já rompida – As 9 barras de aço estão rompidas



Danos Químicos – Íons Cloreto



Perfil metálico exposto e corroído por ação de íons cloreto

Perda da capacidade resistente



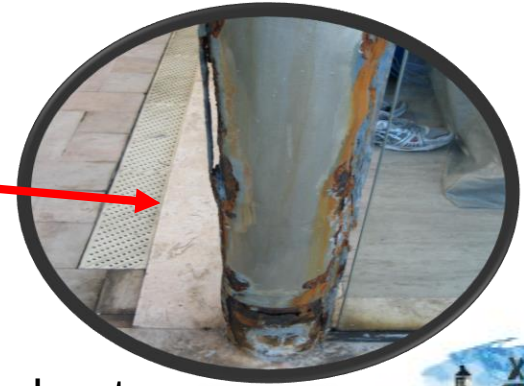
Danos Químicos – Íons Cloreto



Cobertura metálica fragilizada por ação de íons cloreto



Danos Químicos – Íons Cloreto



Cobertura metálica fragilizada por ação de íons cloreto



Danos Químicos – Íons Cloreto



Falência estrutural de piscina por ação de íons cloreto

Perda da capacidade resistente

Danos Químicos – Íons Cloreto



Falência estrutural de telhado em estrutura metálica por ação de íons cloreto

Perda da capacidade resistente



Danos Químicos – Íons Cloreto



Falência estrutural de pontilhão por ação de íons cloreto

Perda da capacidade resistente



Danos Químicos – Íons Cloreto



Falência estrutural de pontilhão por ação de íons cloreto

Perda da capacidade resistente



Danos Químicos – Íons Cloreto – Cidade de Fortaleza

Caso do Edifício Andrea



**Ruína do Ed. Andrea em
15/10/2019, localizado entre
as praias do Futuro e Iracema**

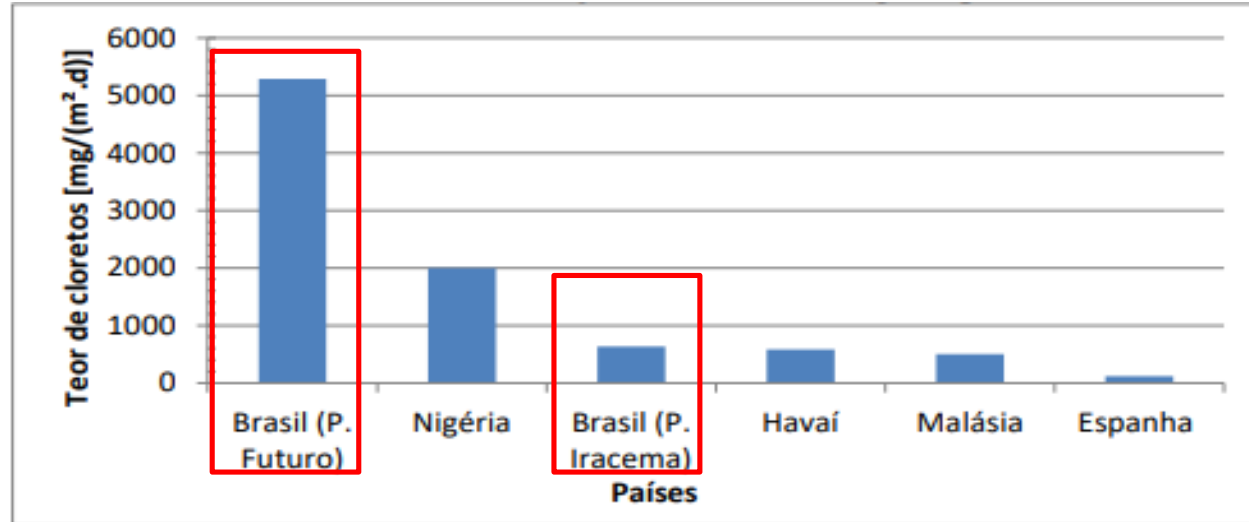


Danos Químicos – Íons Cloreto – Cidade de Fortaleza

Fortaleza é caso extremo de ataque químico por íons cloreto

As praias do Futuro e Iracema têm índices altíssimos desses íons na atmosfera

Concentração máxima de cloretos na atmosfera (primeiros metros de distância do mar)



**Praia do Futuro
concentração máxima
acima de 5.000
mg/(m².dia)**



Danos Químicos – Íons Cloreto – Cidade de Fortaleza

Caso do Edifício Andrea



O prédio tombou sobre a rua, atingindo veículos, pedestres e causando danos a um pequeno mercado vizinho à edificação



15-10-2019 Ter 09:30:23

ACESSO CONTROLADO

Este é o acesso à área
administrativa.
Não é permitido o acesso
de veículos e pessoas não
autorizadas.
Favor respeitar as regras
de trânsito e segurança.





Danos Químicos – Íons Cloreto – Cidade de Fortaleza



**Sinais
externos de
deterioração
da armadura
das varandas**

Ação de íons cloreto sobre a fachada da edificação



Projeto de estruturas de concreto – Procedimento - NBR 6118:2014

5.1.2 Classificação dos requisitos de qualidade da estrutura

Os requisitos de qualidade de uma estrutura de concreto são classificados, para os efeitos desta Norma, em três grupos distintos, relacionados em 5.1.2.1 a 5.1.2.3.

5.1.2.1 Capacidade resistente **Estabilidade**

Consiste basicamente na segurança à ruptura.

5.1.2.2 Desempenho em serviço **Conformidade**

Consiste na capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada.

5.1.2.3 Durabilidade **Durabilidade**

Consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

3 “pilares” da
qualidade



NBR 6118:2014

6.1 Exigências de durabilidade

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
II	Moderada	Submersa	Pequeno
III	Forte	Urbana a, b	Grande
IV	Muito forte	Marinha a	Elevado
		Industrial a, b	
		Industrial a, c	
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.



Cobrimento

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 7.2 podem ser reduzidos em até 5 mm.



Concreto

Resistência mínima do concreto é função da classe de agressividade ambiental

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

7.6.1 – O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura



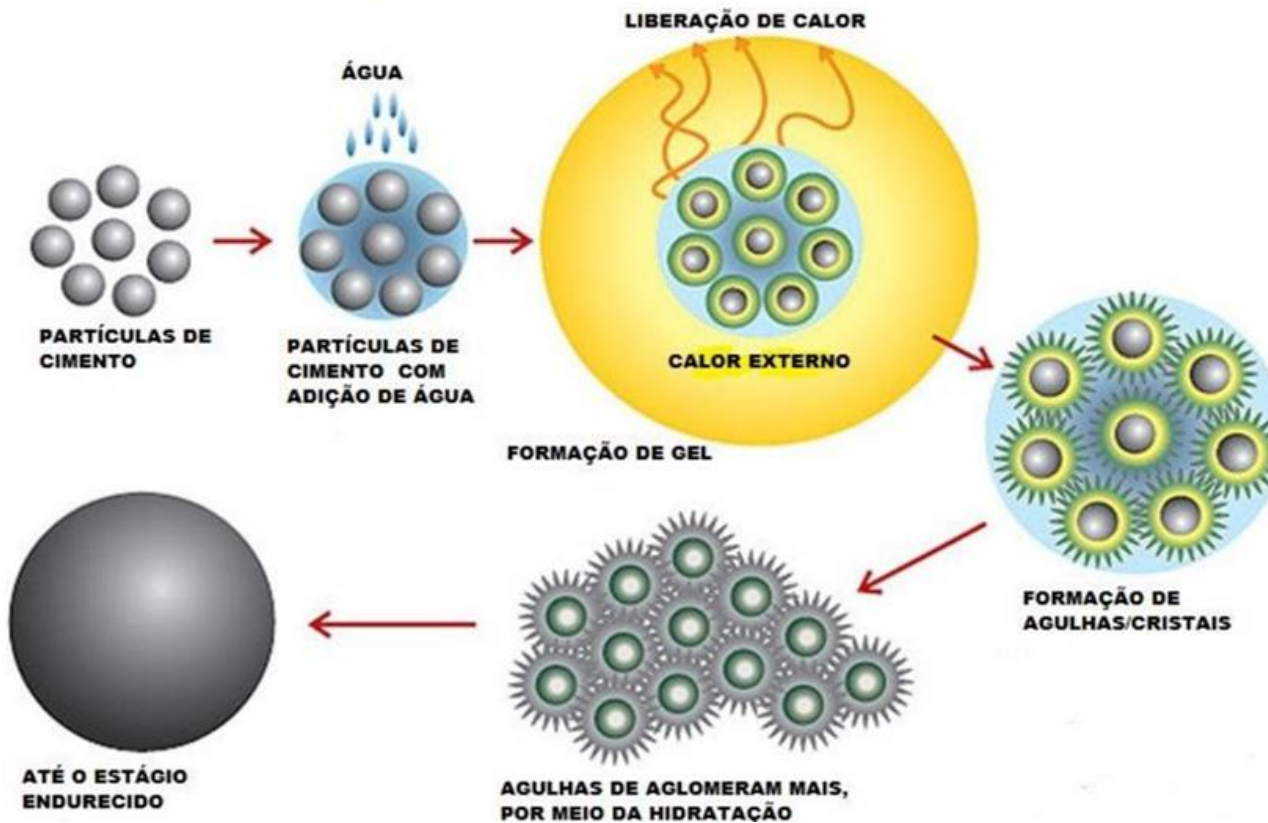
Deterioração

A NBR 6118 classifica classes de exposição das estruturas e seus componentes em função da deterioração a que estarão submetidos a partir de:

- ☐ Corrosão das armaduras por tipo de ambiente
- ☐ Ação do frio ou calor, também por tipo de ambiente
- ☐ Agressividade química



HIDRATAÇÃO DO CIMENTO



Tipos de Cimento



	Cimento Portland	NBR
CP I	Comum (NBR 5732)	5732
CP I-S	Comum com adição de pozolana (1% a 5%)	5732
CP II-E	Composto com escória (6% a 34%)	11578
CP II-Z	Composto com pozolana (6% a 14%)	11578
CP II-F	Composto com Filer (carbonático - 6% a 10%)	11578
CP III	Alto-forno	5735
CP IV	Pozolânico	5736
CP V-ARI	Alta Resistência Inicial	5733
CPB	Branco	12989
CPB Estrutural	Branco Estrutural	12989
CP xx BC	Baixo Calor de Hidratação	13116
CP xx RS	Resistente a Sulfatos	5737

Resistência – 25, 32 ou 40 MPa

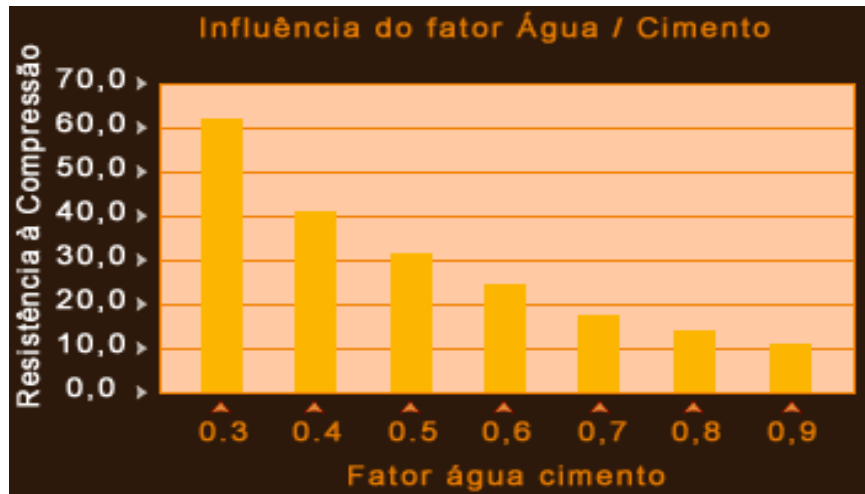


Qual o cimento recomendado para resistir aos íons cloreto Cl^- ?

- Estudos mostram que os concretos feitos com cimentos CP II E (escória), CP II Z (pozolânico) e CP IV (pozolânico) são aceitáveis, mas o CP III é o mais adequado
- A escória incorporada ao concreto diminui sua porosidade, assim como um menor Fator A/C
- Independente do grau de alcalinidade do concreto (acima de 13 – concreto fresco), os íons cloreto provocam a reação catódica de perda de massa na ferragem, quando despassivada



Fator Água/Cimento



Água Química

- Água de Geleificação (15%)
- Água de Cristalização (25%)

Água Física

- Água de Lubrificação

ÁGUA NO CONCRETO

- ☐ Melhora a trabalhabilidade
- ☐ Em excesso reduz a resistência à compressão
- ☐ Em excesso aumenta a permeabilidade
- ☐ Ajuste preciso da quantidade de água no amassamento do concreto é fundamental para se obter um concreto de boa qualidade



Principais Áreas de Degradação

- Fachadas
- Varandas
- Tampas de reservatórios d'água (face inferior)
- Coberturas
- Pavimentos de uso comum
- Base de pilares expostos às intempéries
- Garagens (tetos)



Fachadas



Bases de Pilares



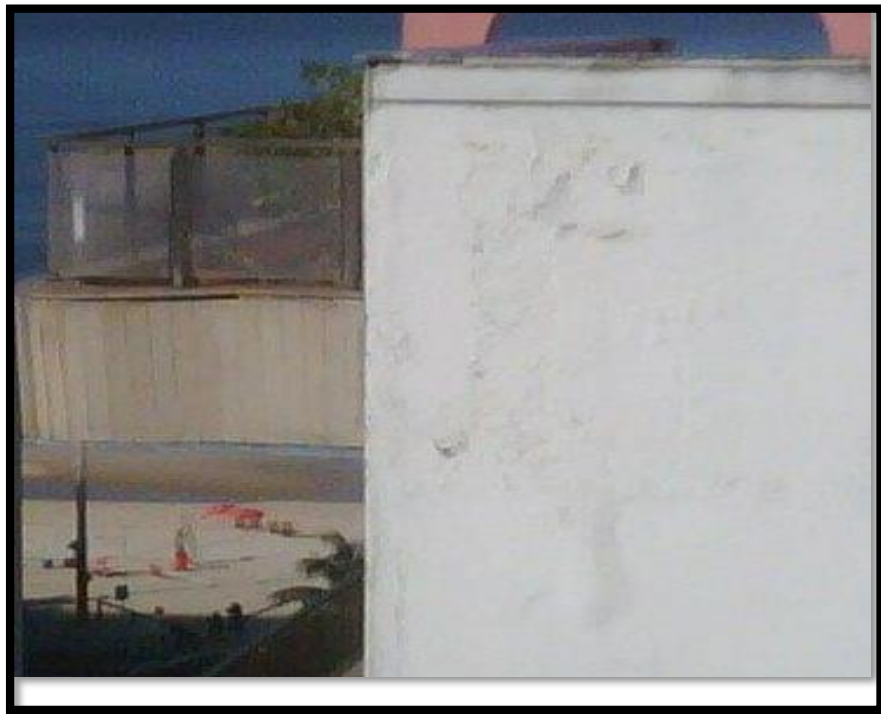
Fachadas – edificações à beira mar



Varandas em Balanço



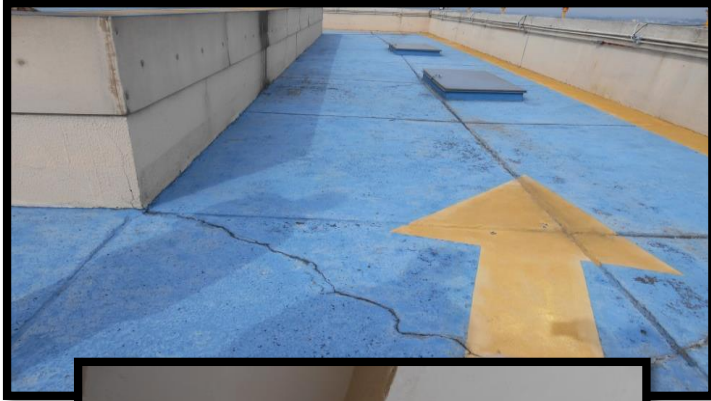
Varandas em Balanço



Reservatórios d'água



Coberturas



Avaliação da Deterioração

Inspeção Inicial - Exame Visual

Verificar

- Uniformidade da coloração
- Presença de pigmentação
- Manchas
- Eventuais fissuras
- Variação volumétrica



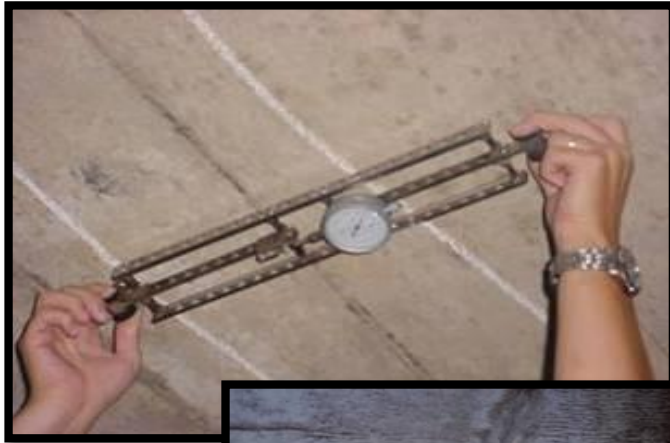
Exame à percussão

Verificar

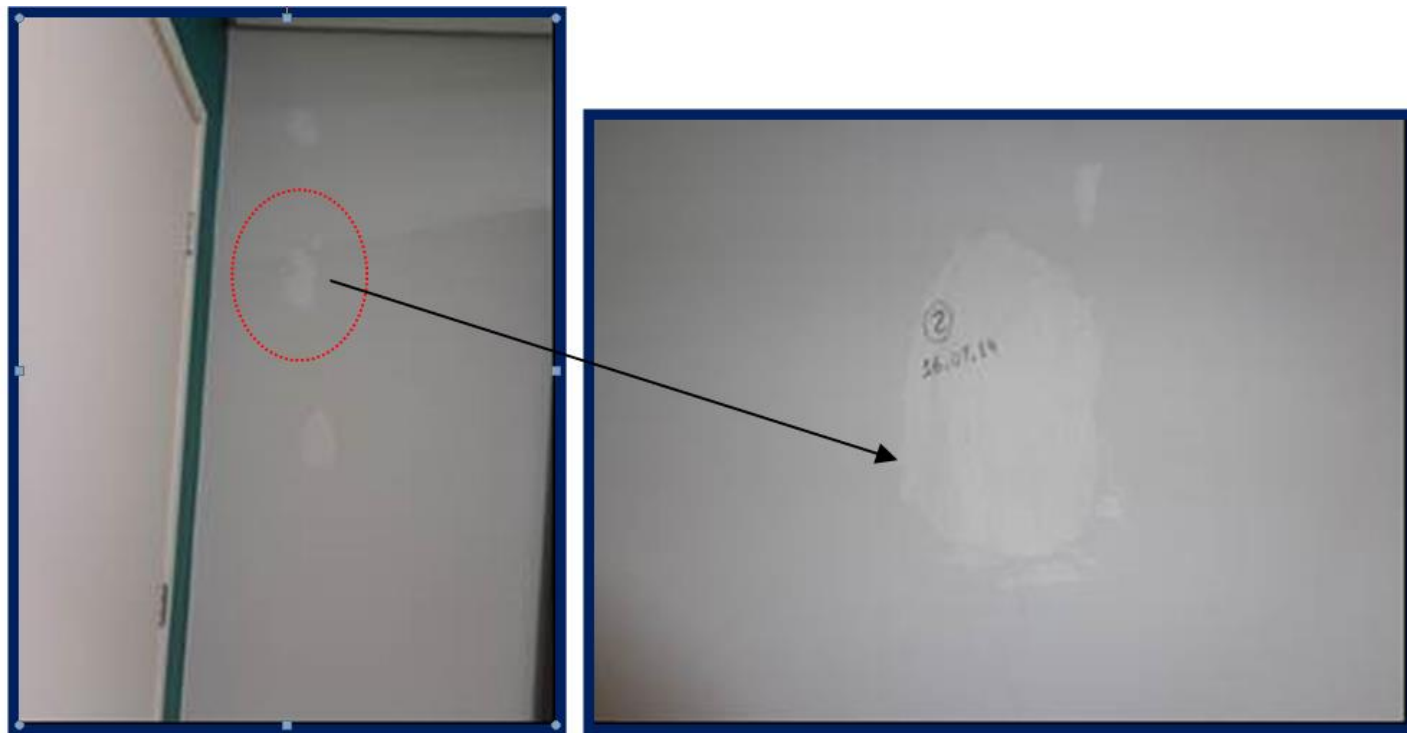
- Uniformidade sonora
- Eventualidade de som cavo



Fissuras - Instrumentação e Monitoramento



Monitoramento de fissuras com testemunhos em gesso



Determinação do pH do concreto à profundidade da armadura



**Coleta do material
para testar o pH**



Determinação do pH

Verificação da Porosidade (absorção de água)

- Coloca-se água sobre a superfície do concreto (por exemplo, com a utilização de esponja saturada) para determinar a absorção
- Este procedimento deve ser efetuado em vários pontos da superfície a ser estudada

Absorção (%)	Classificação	Qualidade do Concreto (avaliação)
< 3,0	Baixa	Boa
3,0 a 5,0	Média	Média
> 5,0	Alta	Pobre

fonte CEB 192



Determinação do potencial e corrosão

Medir a Diferença de Potencial (DDP)

Potencial de Corrosão (mV)	Probabilidade de Corrosão (%)
< -350	95
> -200	5
entre -200 e -350	Incerteza

fonte ACI



Determinação do potencial e corrosão

Metodologia do ensaio

- Para medir os potenciais de corrosão no concreto armado utiliza-se o conjunto semipilha CPV-4 com voltímetro digital.
- Consiste em um eletrodo de referência cobre-sulfato de cobre e de um voltímetro de alta resistência aparente.



Conjunto CPV-4 com voltímetro digital



Teores de cloretos e sulfatos totais



**Extraem-se amostras
pulverulentas de cerca de
50 g de concreto para
testes laboratoriais**

Teor de cloreto admissível em relação à massa de cimento

- EH -880,40 %
- BS-8110/850,20 - 0,40 %
- ACI-318/830,15-0,30-1,00 %



Determinação do avanço da frente de carbonatação por teste colorimétrico

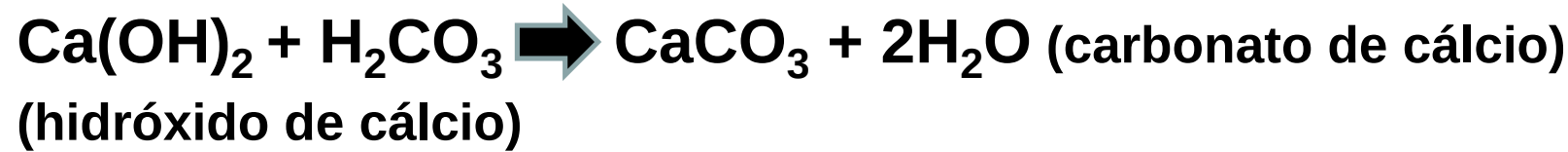
Realização de testes com fenolftaleína

Cores:

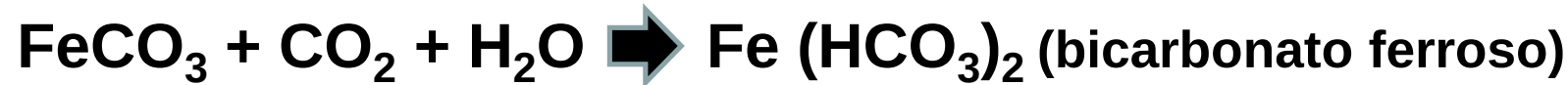
- rósea – concreto ok
- cor natural – carbonatado



PROCESSO DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO



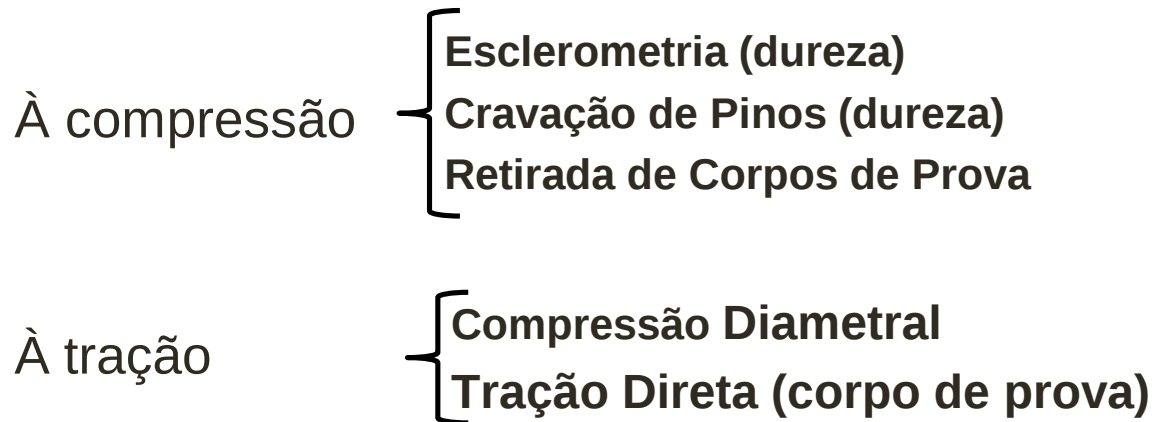
PROCESSO DE DETERIORAÇÃO DAS ARMADURAS



Ensaaios indiretos para a avaliação do Concreto

São chamados de indiretos, pois usam uma correlação empírica entre a propriedade medida e a resistência do concreto.

Usados para estimar resistências em concretos prontos



Ultra som

Velocidade (m/s)	Qualidade do Concreto (avaliação)
> 4575	Excelente
3660 a 4575	Boa
3050 a 3660	Questionável
2135 a 3050	Fraco
< 2135	Muito Fraco

CEB 192



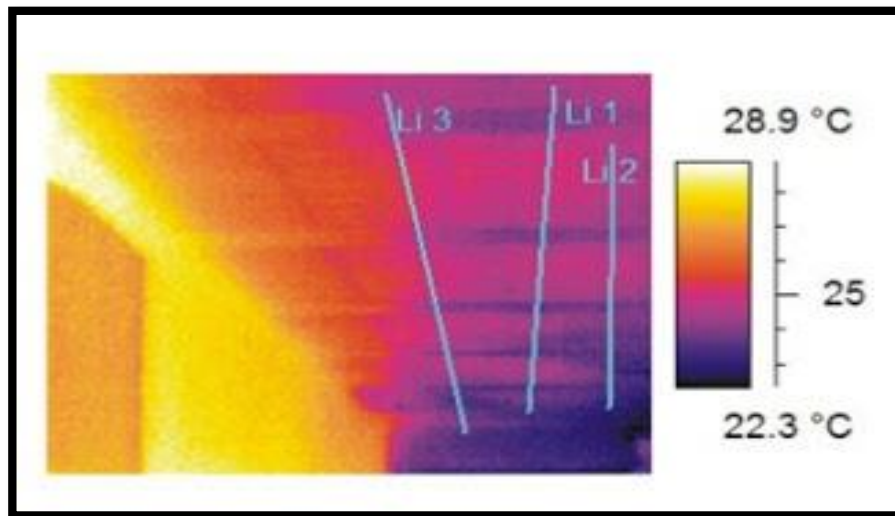
NBR 8802/2013

Velocidade da onda (m/s)	Qualidade do concreto
V > 4500	Excelente
3500 < V < 4500	Ótima
3000 < V < 3500	Bom
2000 < V < 3000	Regular
V < 2000	Ruim



Termografia infravermelha

- Localização fendas estruturais
- Detecção de vazios
- Defeitos em materiais construtivos



gilcouri@gmail.com

Obrigado!

