



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

Avaliação de Risco Estrutural

DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

O que é durabilidade nas edificações?

“Capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção.”

ABNT NBR 15575-1 - 2013

Antes e durante a construção...



METHA E GERWICK, 1996.

Antes e durante a construção...

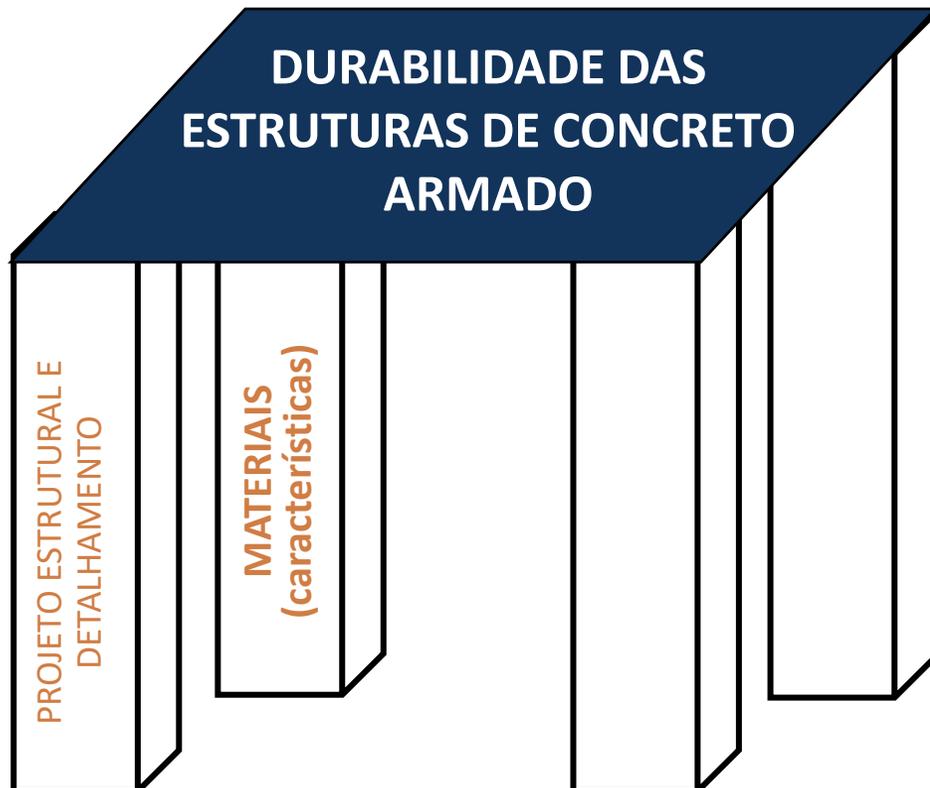


METHA E GERWICK, 1996.

PROJETO ESTRUTURAL E DETALHAMENTO

- Seção do elemento estrutural;
- Dimensões e posicionamento do aço;
- Espessura do cobrimento das armaduras;
- Cálculo de esforços (cargas) que a edificação estará sujeita;
- Fatores de segurança;
- Considerações sobre o meio (localização da edificação).

Antes e durante a construção...



METHA E GERWICK, 1996.

MATERIAIS (características)

- Espessura dos agregados graúdo e miúdo;
- Tipo do cimento;
- Utilização de aditivos.



Foto: Cimentos Itambé

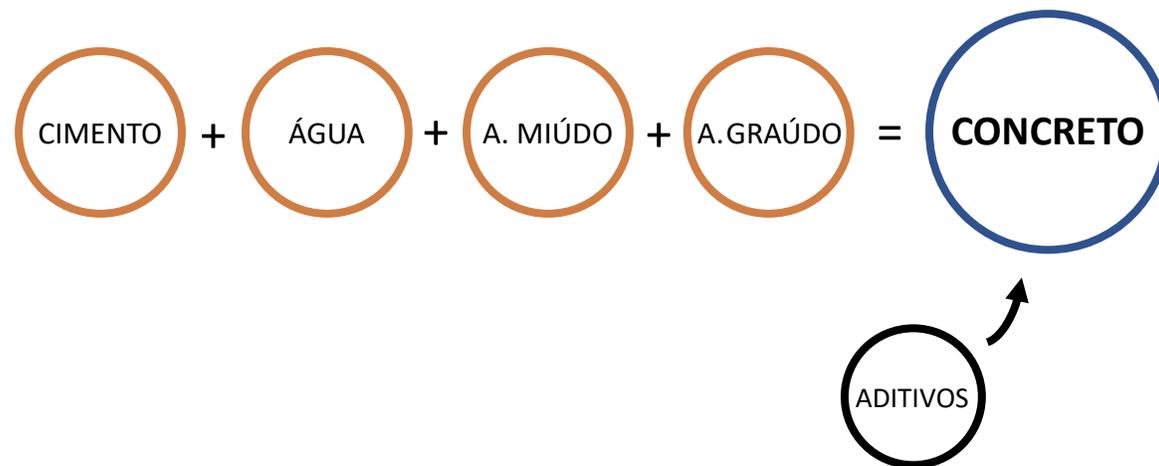
Antes e durante a construção...



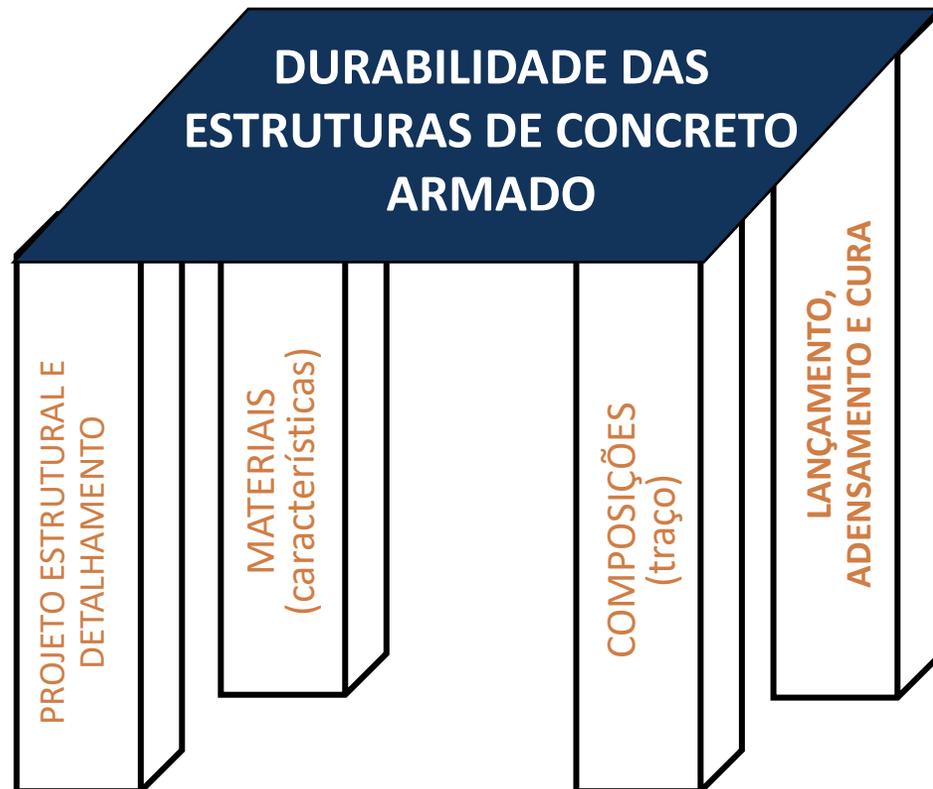
METHA E GERWICK, 1996.

COMPOSIÇÕES (traço)

- Quantidade e relação de cada material na composição do concreto.



Antes e durante a construção...



METHA E GERWICK, 1996.

LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E CURA

- Os procedimentos e cuidados realizados durante e após a concretagem.



Fonte: Vieira Engenharia.

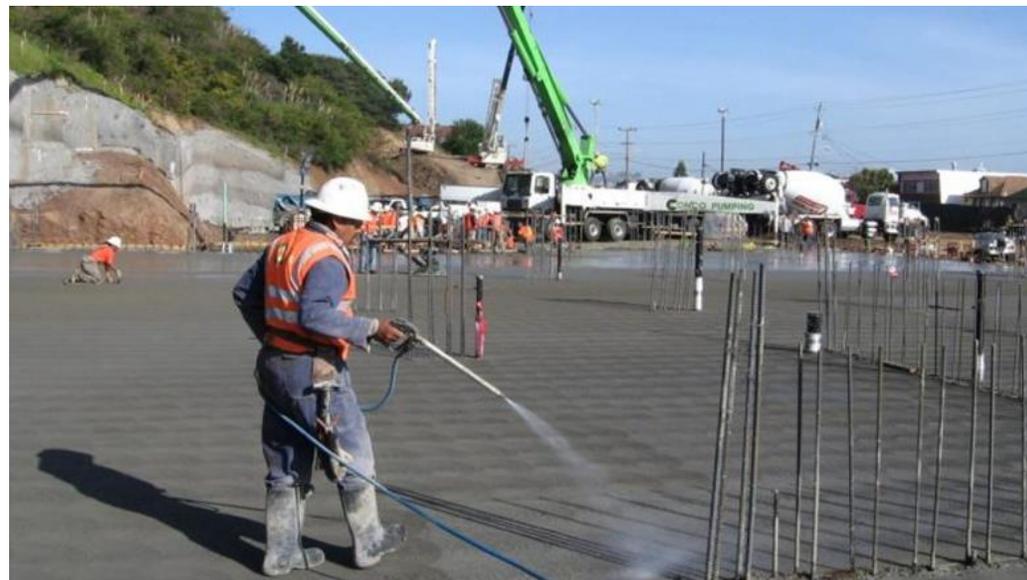
Antes e durante a construção...



METHA E GERWICK, 1996.

LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E CURA

- Os procedimentos e cuidados realizados durante e após a concretagem.



Fonte: TECNOSIL.

Características do Concreto Armado



METHA E GERWICK, 1996.

FÍSICAS

- Porosidade;
- Permeabilidade;
- Absorção.

QUÍMICAS

- Composição do cimento;
- Composição das adições.

Estas características permitirão uma maior ou menor capacidade de Interação com os agentes agressivos presentes no MEIO AMBIENTE!

O meio ambiente é importante?



O meio ambiente é importante?

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
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		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).

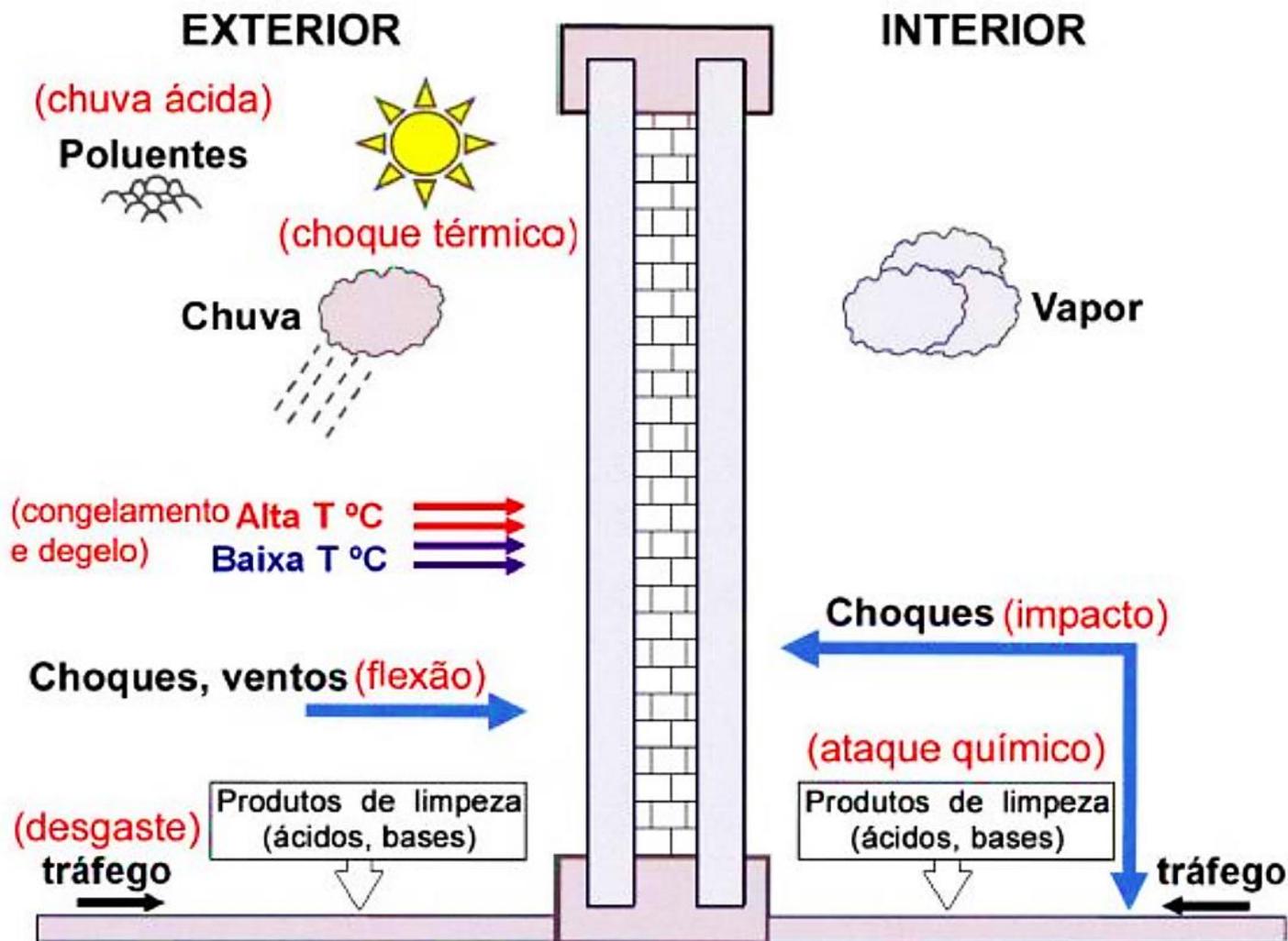
^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

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

ABNT NBR 6118 - 2014

Quais são os tipos de interação (os agentes) que uma estrutura está exposta?

Quais são os tipos de interação (os agentes) que uma estrutura está exposta?

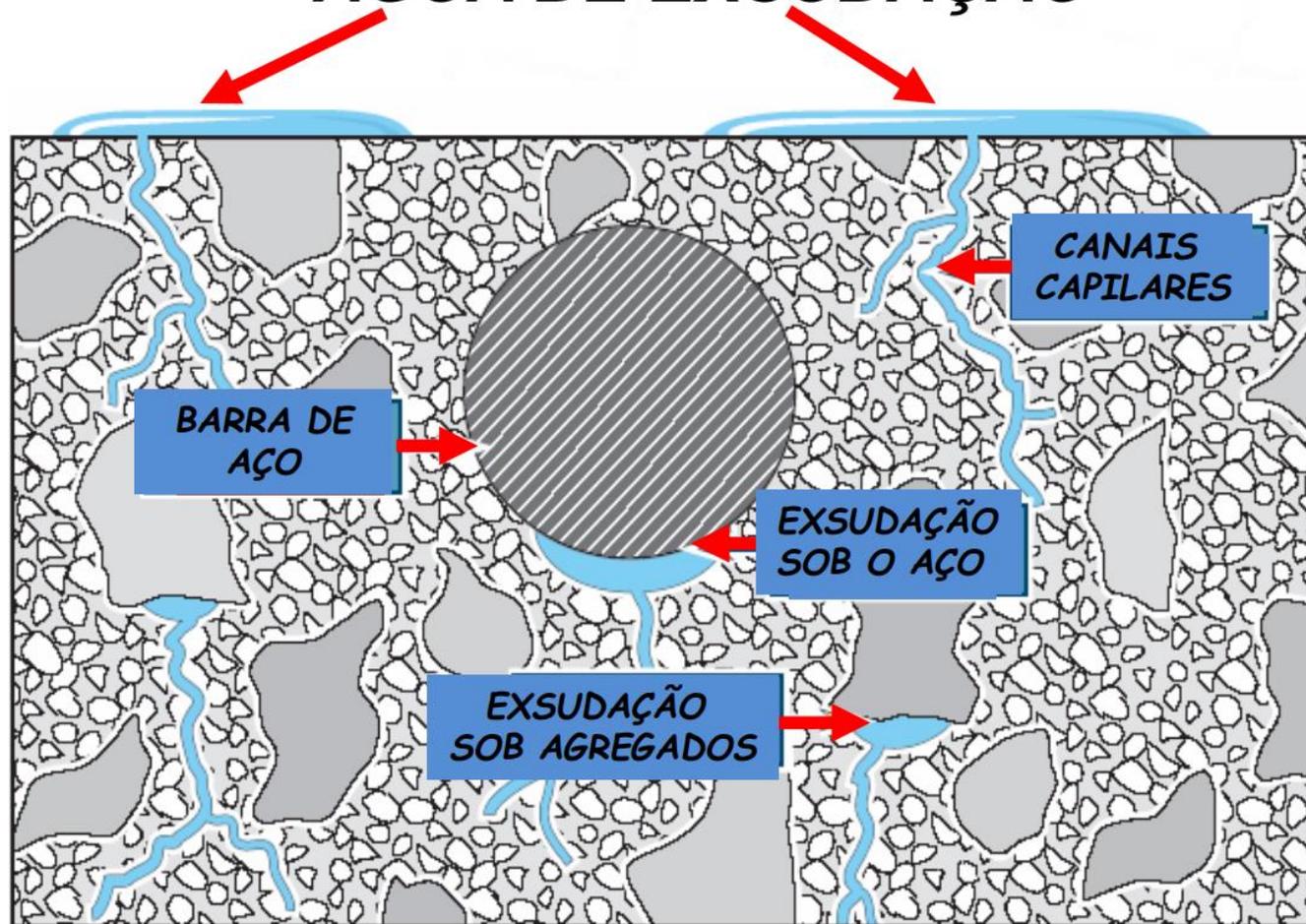


FRASCÁ (2004), adaptado por MELGAÇO, 2022.

Porosidade, Permeabilidade e Absorção

- Apesar de ser robusto e resistente, o concreto é poroso, sua porosidade é constituída por um sistema capilar, capaz de absorver líquidos e gases, permitindo também a saída de produtos hidrossolúveis do cimento;
- **A porosidade permite a entrada de agentes agressivos ao concreto e as armaduras.**

ÁGUA DE EXSUDAÇÃO



MELGAÇO, 2022.

Deterioração das Estruturas

Causas Físicas:

- **Fissuração (AULA 01);**
- Abrasão;
- Erosão;
- Cavitação;
- Lixiviação;
- Ação do fogo.

Causas Químicas:

- Corrosão das armaduras;
 - Generalizada:
 - Carbonatação.
 - Localizada:
 - Por Cloretos.
 - RAA - Reação Álcali-Agregado.
- Eflorescência.

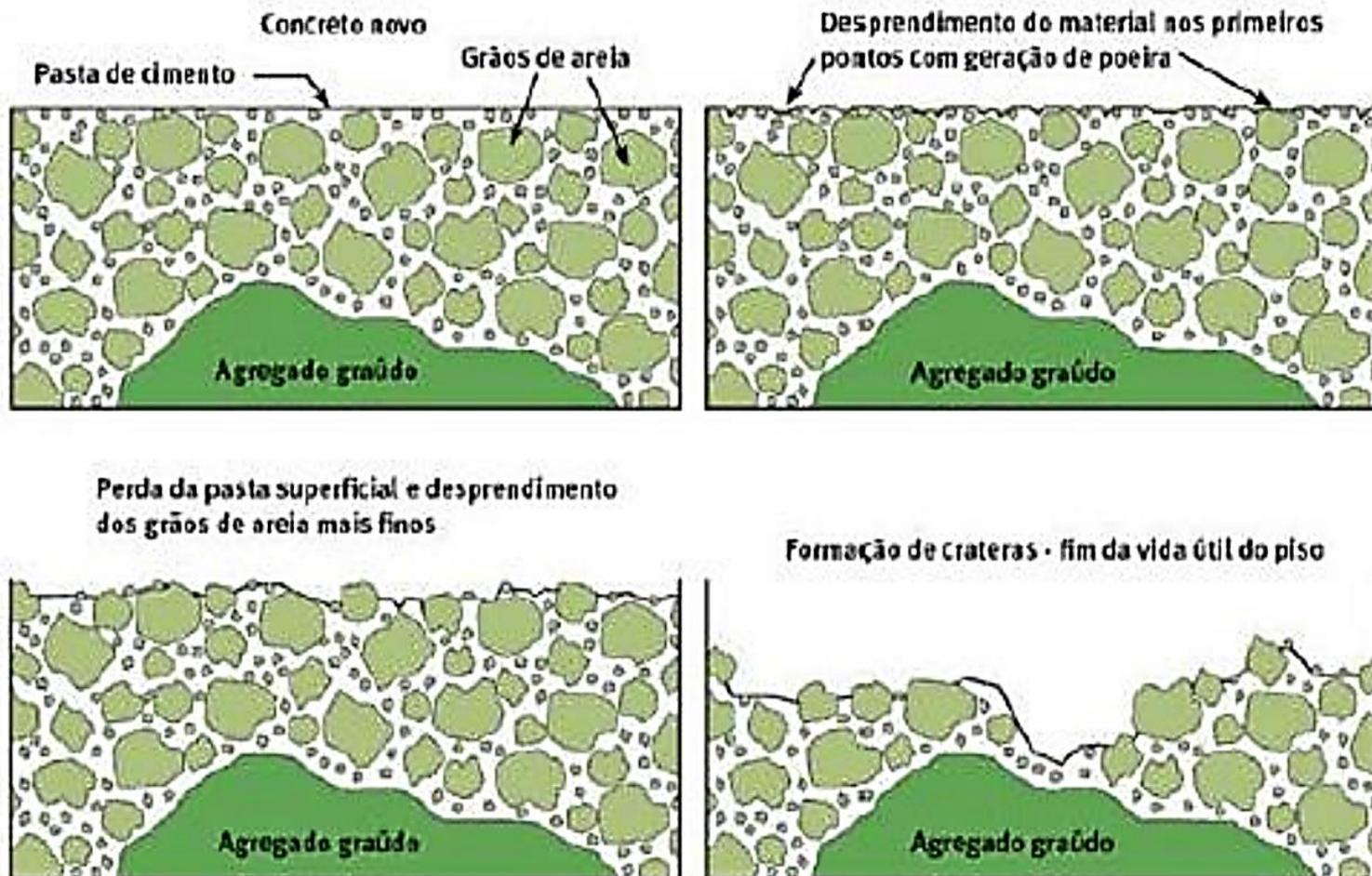
Causas Biológicas:

- Fungos e Mofo;
- Vegetação.

Causas Físicas: Abrasão

- É o **desgaste da superfície** de um elemento **por atrito entre um sólido e o concreto**;
- A resistência superficial e dureza do concreto influenciam o desgaste por abrasão;
- Ocorre em função do movimento relativo entre materiais com durezas diferentes.
- Provocado pelo tráfego de pessoas e de veículos, bem como por impacto ou atrito causado pelo arraste de partículas ou objetos soltos;
- Ocorre de forma progressiva.

Mecanismo de Degradação por Abrasão

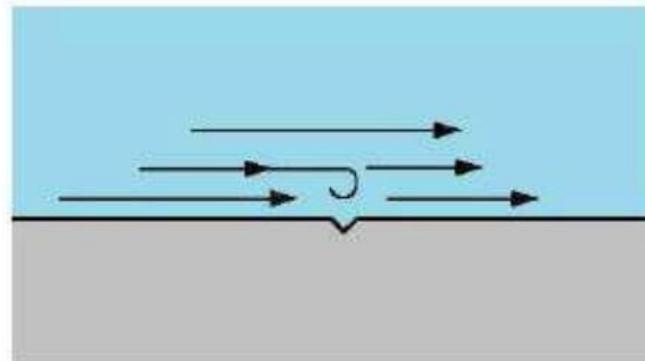




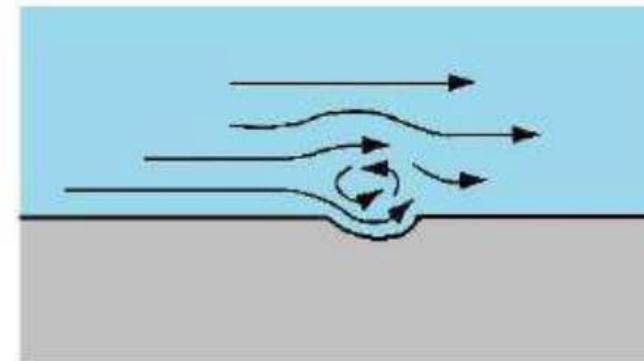
Causas Físicas: Erosão

- Ocorre através do transporte de partículas pontiagudas por um fluido, as quais em contato com a superfície provocam um desgaste muito semelhante à abrasão;
- O desgaste por erosão também ocorre por atrito (assim como o desgaste por abrasão), mas na presença de água ou outro fluido;
- As estruturas de concreto usualmente sujeitas ao desgaste por erosão são: galerias de águas pluviais, barragens, calhas de vertedouros, canais de irrigação e pilares de pontes.

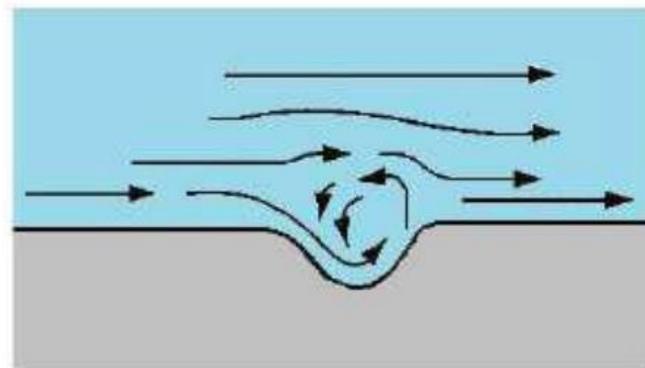
Mecanismo de Degradação por Erosão



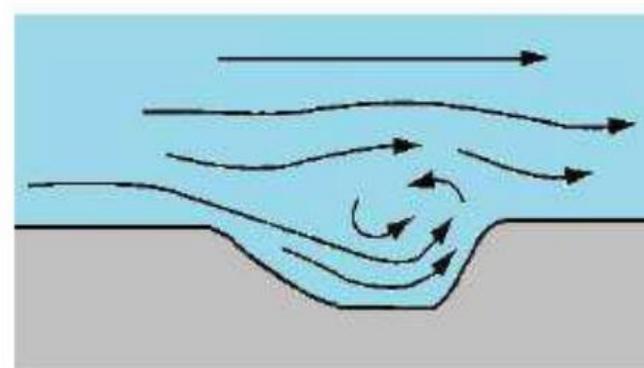
(a)



(b)



(c)



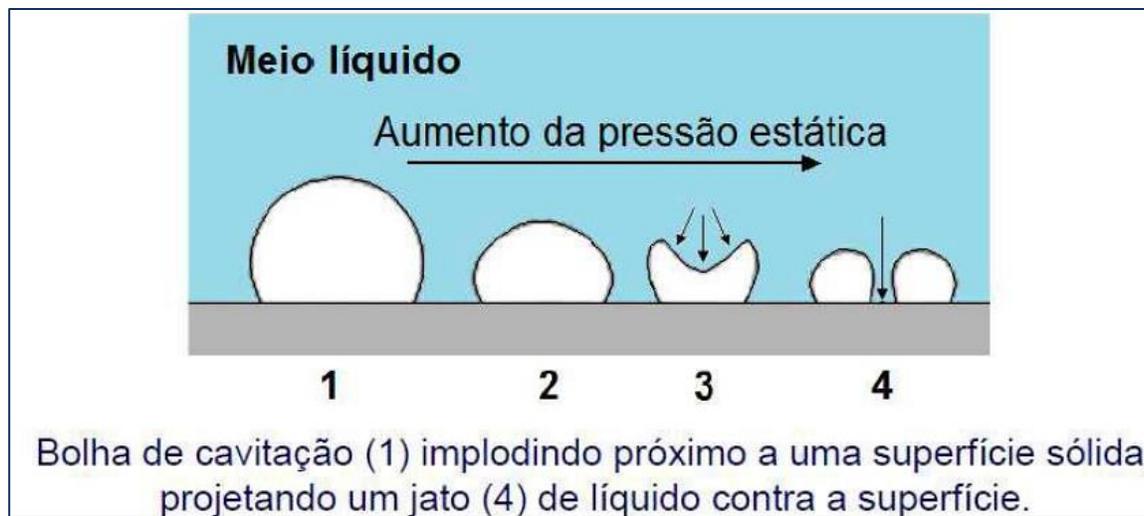
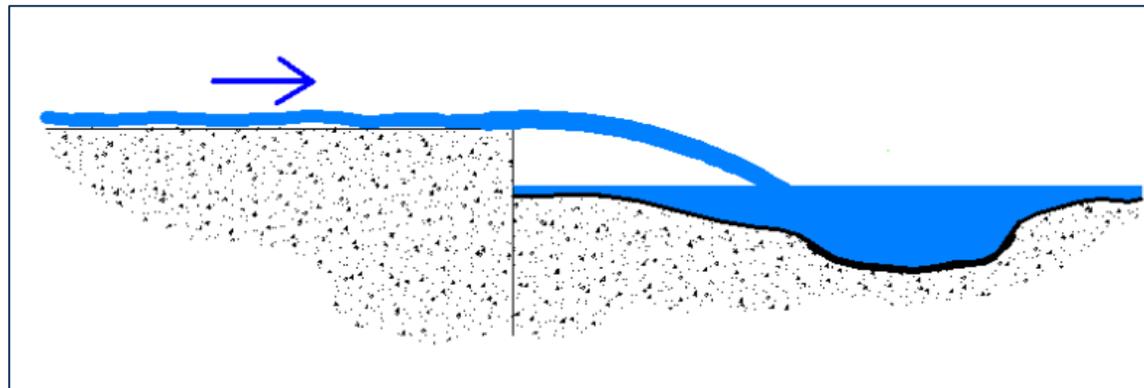
(d)

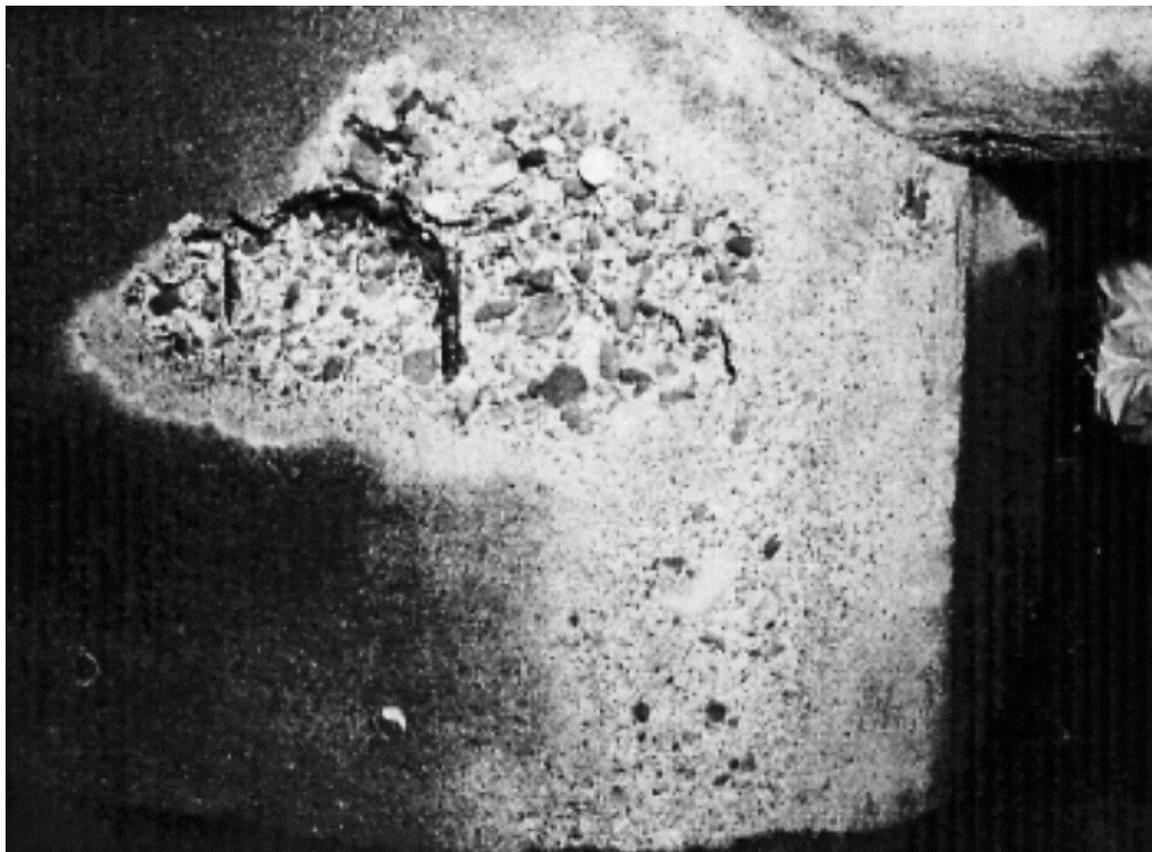


Causas Físicas: Cavitação

- Trata-se da degradação da superfície do concreto causada pela formação de bolhas com reduzida pressão de vapor que estouram em contato com pressão mais elevada quando a velocidade ou direção do escoamento sofre uma mudança brusca;
- Geralmente ocorre em locais de água corrente.

Mecanismo de Degradação por Cavitação





ACI (1998) adaptado por CANTO, 2016.



SAFF ENGENHARIA, 2020.

Causas Físicas: Lixiviação

- Dissolução e remoção dos compostos hidratados da pasta de cimento;
- Causada pela incidência de águas ácidas, puras, com presença de cloretos ou sulfatos;
- Este tipo de água provém de chuvas, infiltrações e umidade;
- Visualizada através de **eflorescência**.



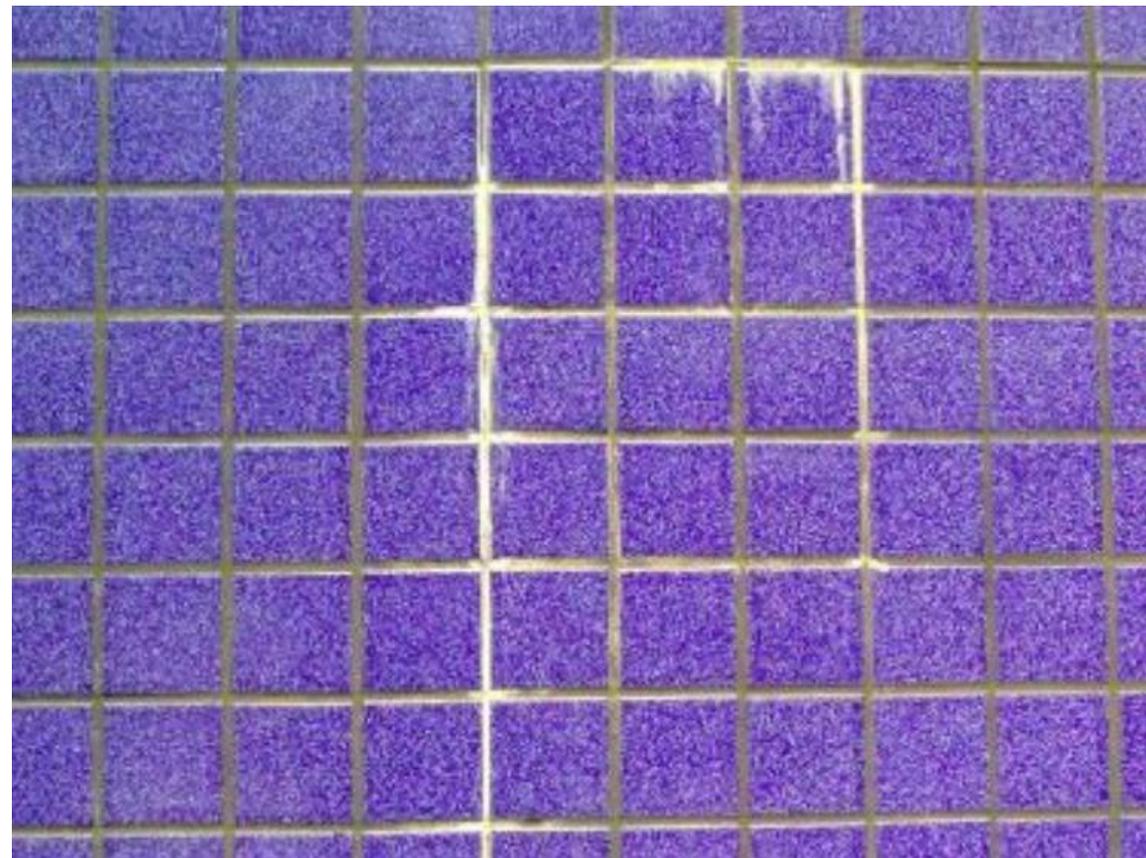
SABAI, 2017.



MACEDO E OUTROS, 2017.



CIMENTOS MAUÁ, 2018.



OLIVEIRA E ROCHA, 2019.



Acervo Próprio, 2022.



Acervo Próprio, 2022.

Causas Físicas: Ação do Fogo

- O concreto não é um material combustível, porém, sob temperatura elevadas, alguns componentes se decompõem;
- Incêndios atingem temperaturas superiores a 1.000°C;
- São vários os fatores que influem para a deterioração do concreto quando submetido às altas temperaturas, como sua composição, incluindo-se pasta e agregados, quanto o tempo e temperatura de exposição influenciam o grau de deterioração;

Causas Físicas: Ação do Fogo

Nos agregados

Alguns são mal condutores de calor, retardando o aumento das temperaturas, outros tem coeficiente de dilatação muito diferentes da pasta fragilizando o entorno;

Nas estruturas

Peças mais volumosas, mais lento será o aquecimento, diminuindo a profundidade da decomposição do material.

No concreto armado

- A condutibilidade térmica do aço é superior a do concreto;
- Aço CA-50 perde significativa resistência acima de 700°C;
- Aço CA-60 perde significativa resistência a temperaturas bem inferiores;
- Cabos de protensão perdem maior parte da resistência até 700°C.

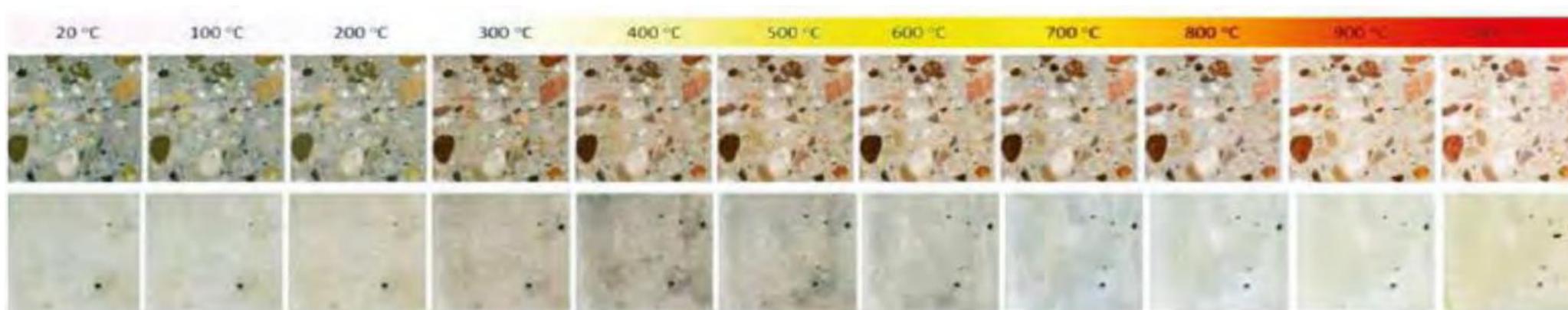
Causas Físicas: Ação do Fogo

Dentre os efeitos observados temos:

- Alteração na coloração;
- Perda de resistência mecânica;
- Esfarelamento superficial;
- Fissuração;
- Desintegração da estrutura e colapso da edificação.

Causas Físicas: Ação do Fogo

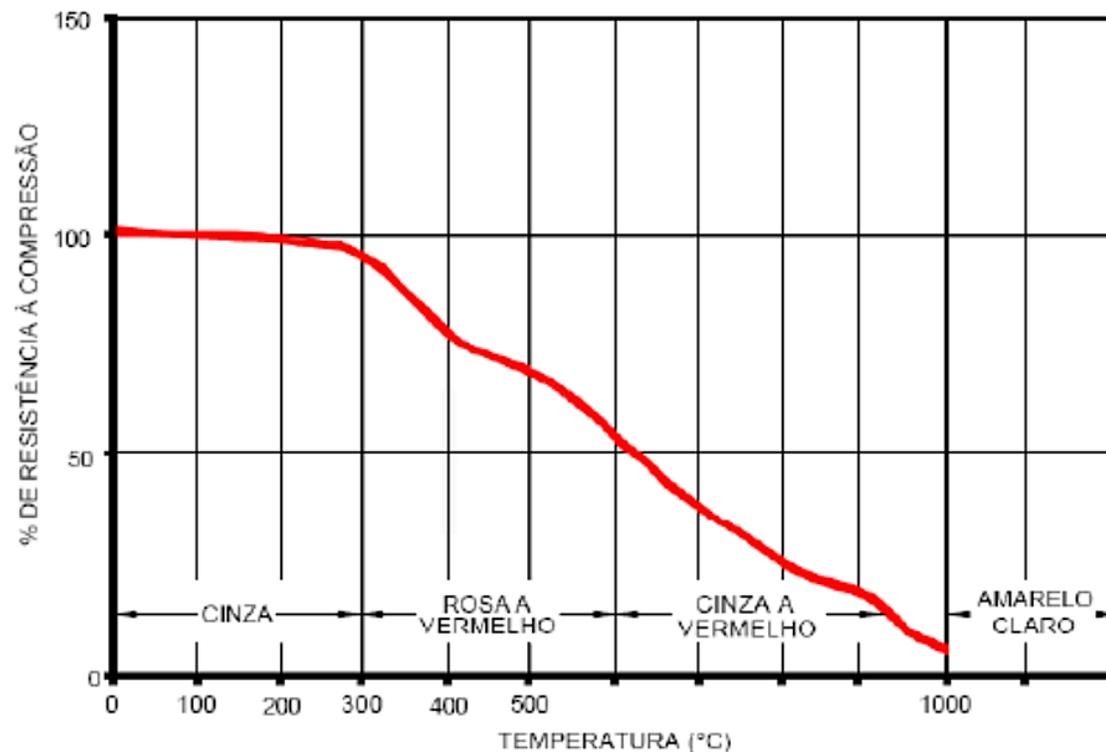
Alteração na Coloração



HAGER, 2013.

Causas Físicas: Ação do Fogo

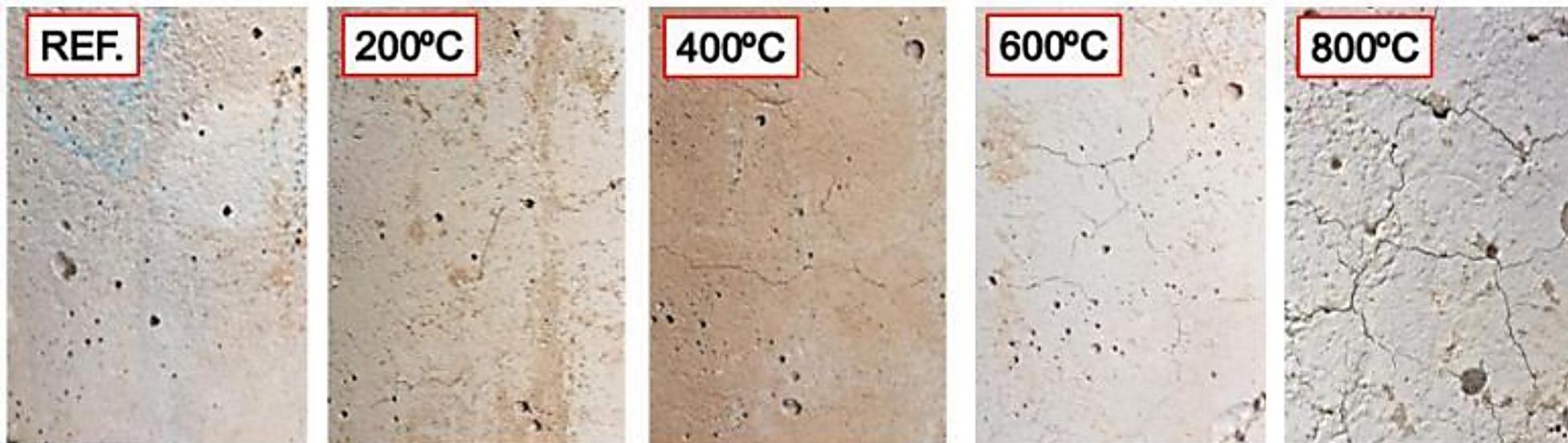
Perda de Resistência Mecânica



CANOVAS, 1998 APUD LIMA, 2005.

Causas Físicas: Ação do Fogo

Esfarelamento superficial e Fissuração



Causas Físicas: Ação do Fogo

Desintegração da Estrutura



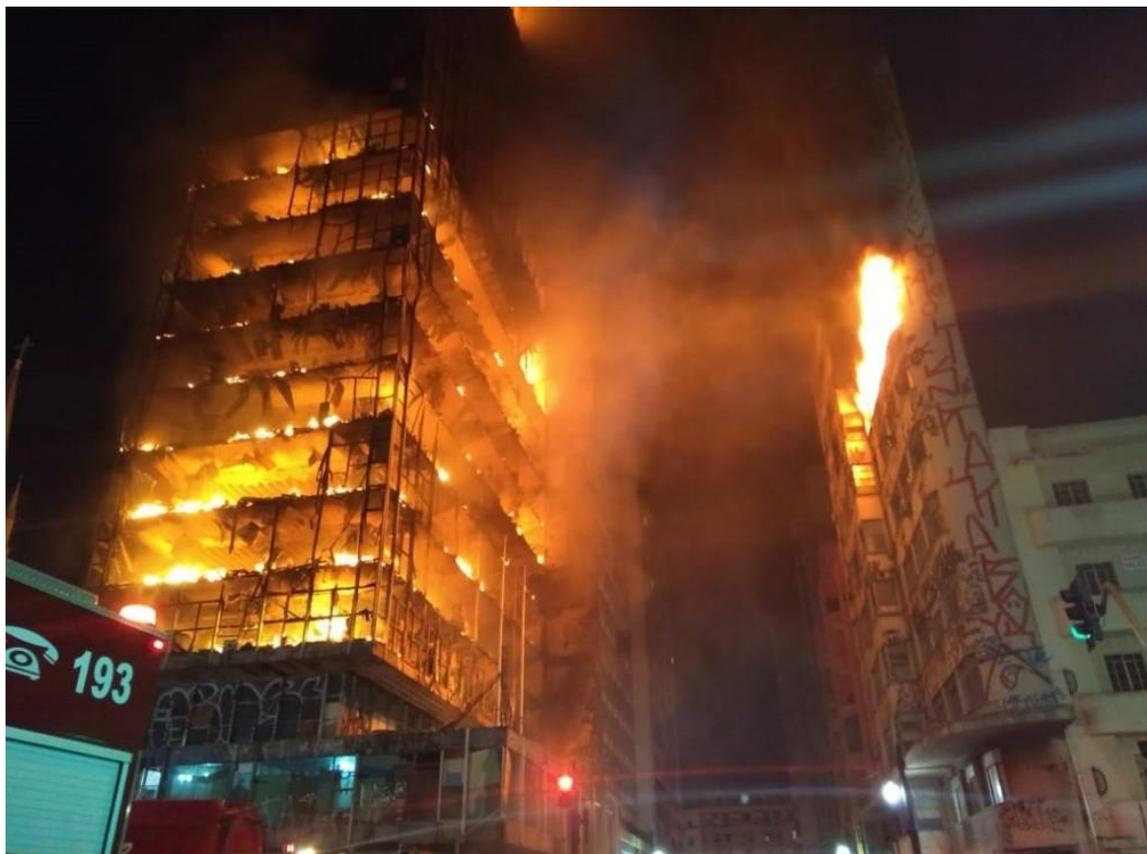
g1 SÃO PAULO

fique por dentro Imposto de Renda Mega-Sena Fantástico Sertanejo Lusitano

Prédio de 24 andares desaba após incêndio no Centro de SP

Moradores de ocupação dizem que fogo começou por volta da 1h30 desta terça-feira (1º). Imagens mostram edifício desabando quando homem era resgatado pelos bombeiros.

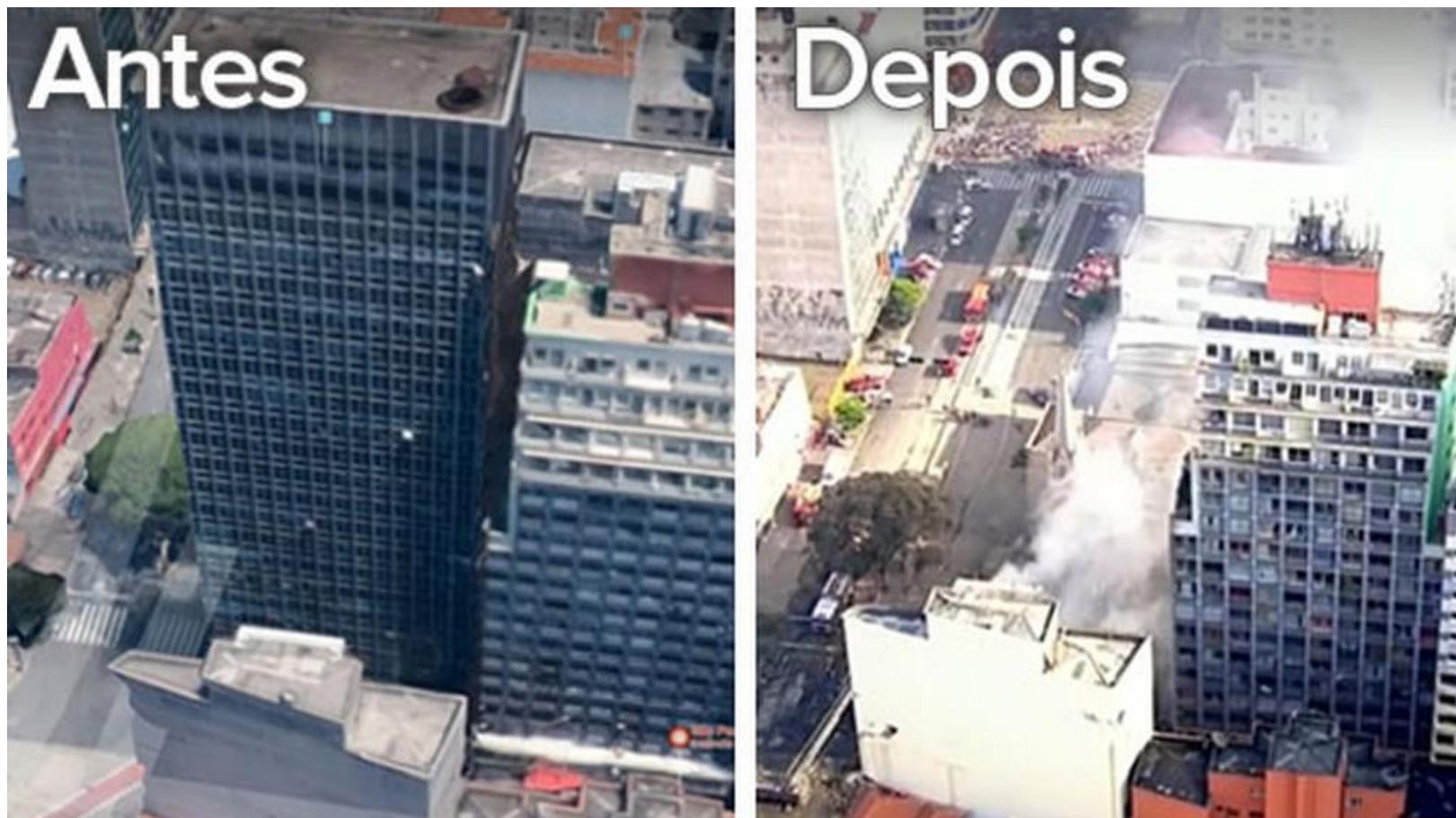
Por G1
01/05/2018 02h51 · Atualizado há 4 anos



CORPO DE BOMBEIROS, 2018.



MARCELO BRANDT - G1, 2018.



IGOR ESTRELLA - G1, 2018.

E após o incêndio?



E após o incêndio?

Bioeconomia:
DIVERSIDADE E RIQUEZA PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

SALÃO DO CONHECIMENTO UNIJUÍ 2019

21 a 24 de outubro de 2019

XXVII Seminário de Iniciação Científica
XXIV Jornada de Pesquisa
XX Jornada de Extensão
IX Seminário de Inovação e Tecnologia

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

EFEITO DO FOGO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO¹
FIRE EFFECT ON ARMED CONCRETE STRUCTURES

Ana Carolina Rambo²

¹ Monografia de Conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Civil
² Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI- CAMPUS SANTO ÂNGELO.

RESUMO

Esta pesquisa apresentou como objetivo estudar os efeitos do fogo e as influências das temperaturas sobre as estruturas e microestruturas do concreto, comparando as suas propriedades antes e após a exposição à elevadas temperaturas. Desta forma, este trabalho visa

Procedimentos Adotados

1. Moldagem de corpos de prova em concreto;
2. Cura e secagem do concreto com controle de temperatura (estufa);
3. Aquecimento em mufla nas temperaturas de 300 e 600 graus Celsius;
4. Para comparação guardou corpos de prova em temperatura ambiente;
5. Realizou ensaios de resistência a compressão, tração e módulo de elasticidade.

Resultados

Tabela 3 - Média da resistência à compressão a 0,300 e 600° C

Temperatura	Resistência à compressão (MPa)
0° C	41,38
300° C	30,32
600° C	10,51

Resultados

Tabela 8 - Média da Resistência à Tração à 0, 300 e 600 °C

Temperatura	Resistência à tração (MPa)
0° C	3,55
300° C	1,83
600° C	0,31

Resultados

Tabela 13 - Média dos Ensaios de Módulo de Elasticidade a 0, 300 e 600 °C

Temperatura	Módulo de Elasticidade (GPa)
0° C	28,06
300° C	6
600° C	0,7

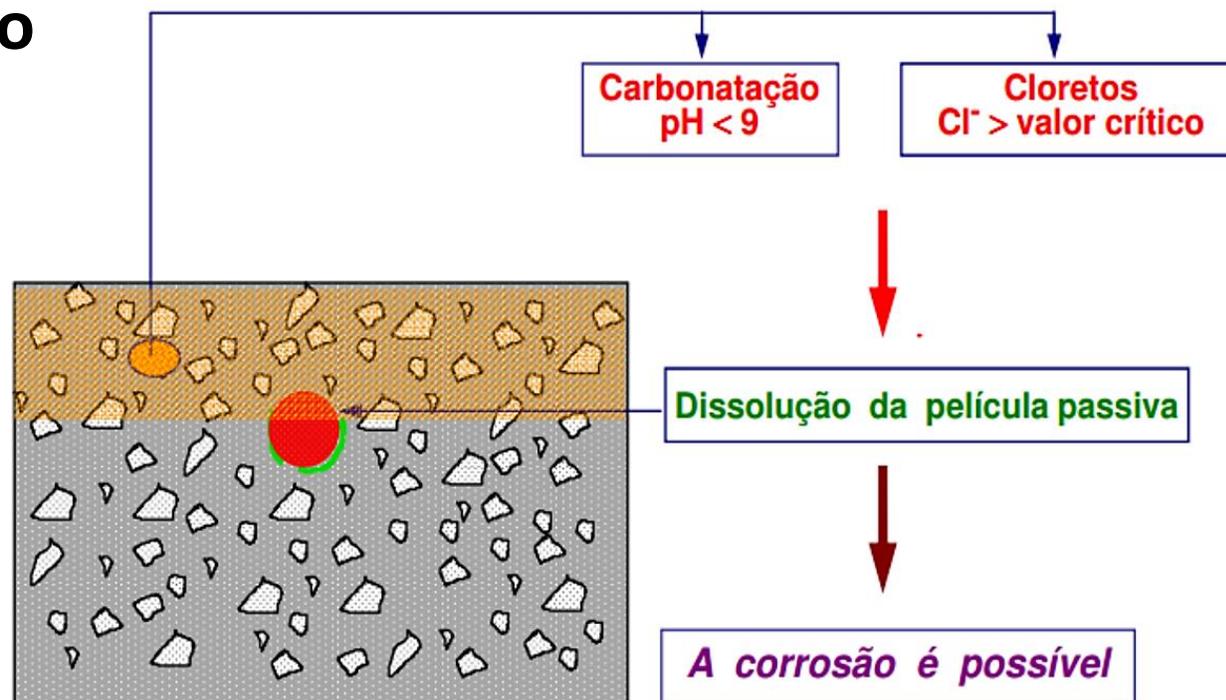
Causas Químicas: Corrosão das Armaduras

Camada Apassivadora

- Formada devido à alta alcalinidade do concreto e é conhecida também como camada de passivação;
- Essa camada fornece uma barreira contra agentes agressivos.

Causas Químicas: Corrosão das Armaduras

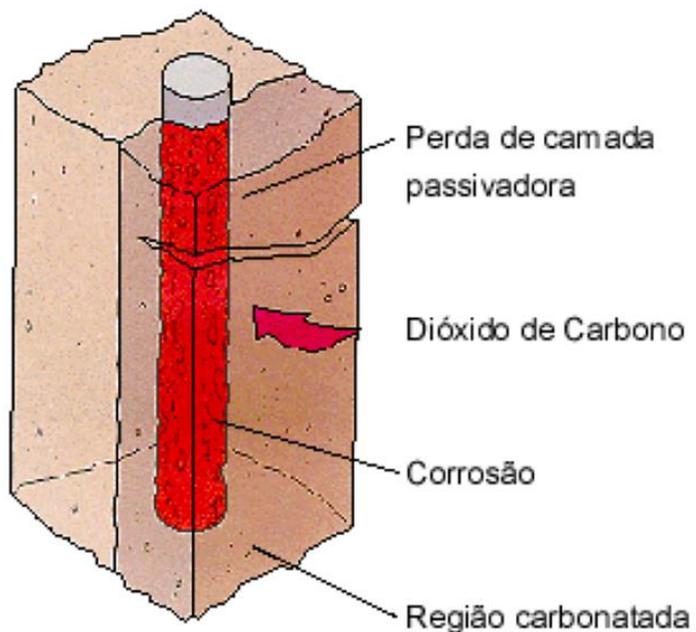
A Perda da Passivação



MONTEIRO, 2022.

Causas Químicas: Corrosão das Armaduras

Corrosão Generalizada



MONTEIRO, 2022 APUD FOSROC, 2002.



ASOPE, 2022.

Causas Químicas: Corrosão das Armaduras

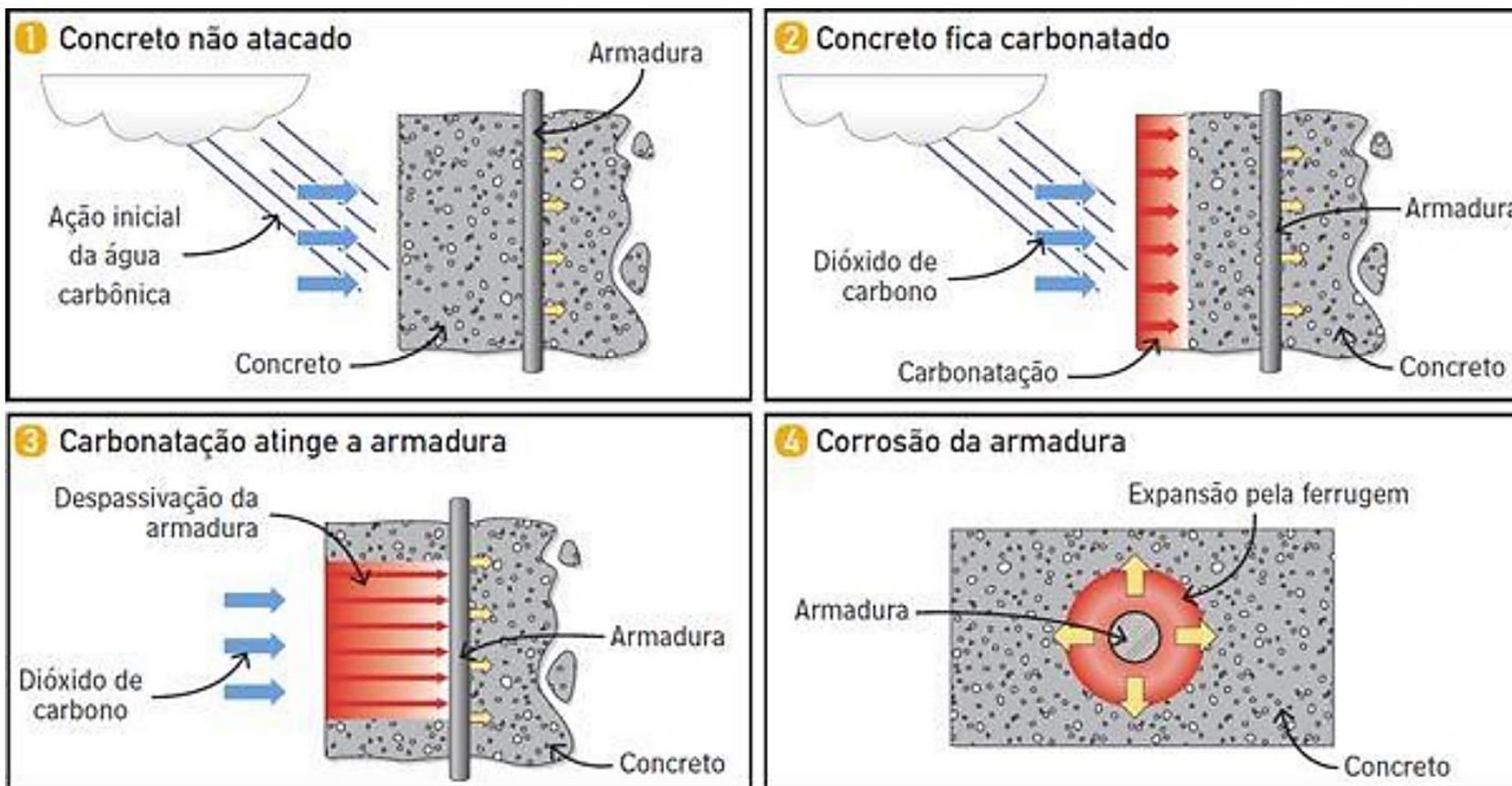


Acervo Próprio, 2022.



Acervo Próprio, 2022.

Carbonatação



MONTEIRO, 2022.

Carbonatação

Fatores que Influenciam

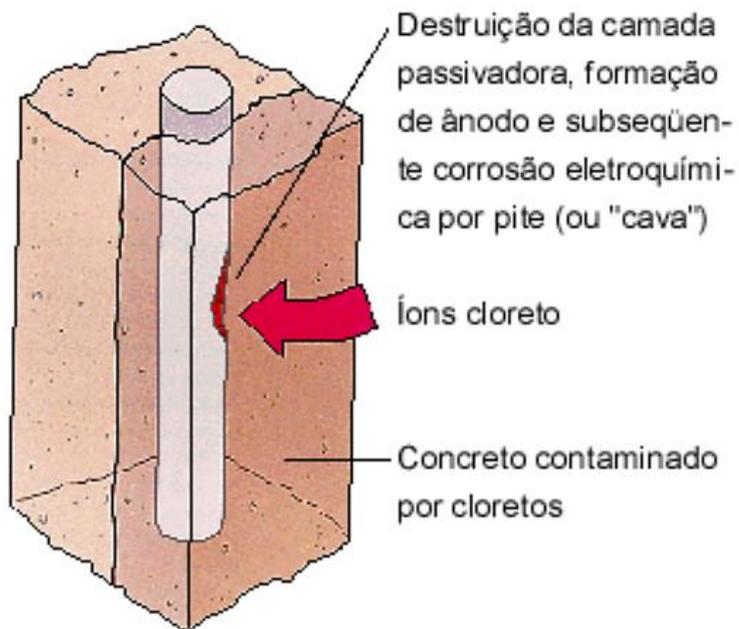
- Tipo de Cimento;
- Condições de Cura;
- Umidade(entre 50% e 70%);
- Quantidade de CO₂;
- Relação água/cimento;
- Existência de fissuras.



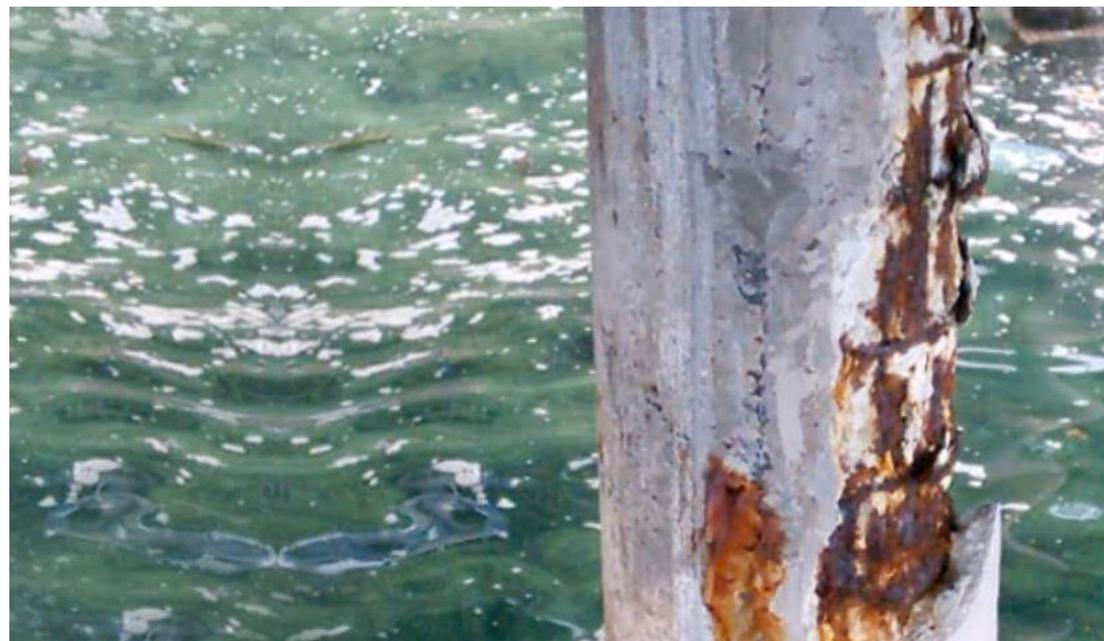
MONTEIRO, 2022.

Causas Químicas: Corrosão das Armaduras

Corrosão Localizada



MONTEIRO, 2022 APUD FOSROC, 2002.



SA ENGENHARIA, 2016.

Corrosão por Cloretos

Contaminação

• Interna

- Água;
- Areia;
- Aditivos aceleradores de pega (CaCl_2).

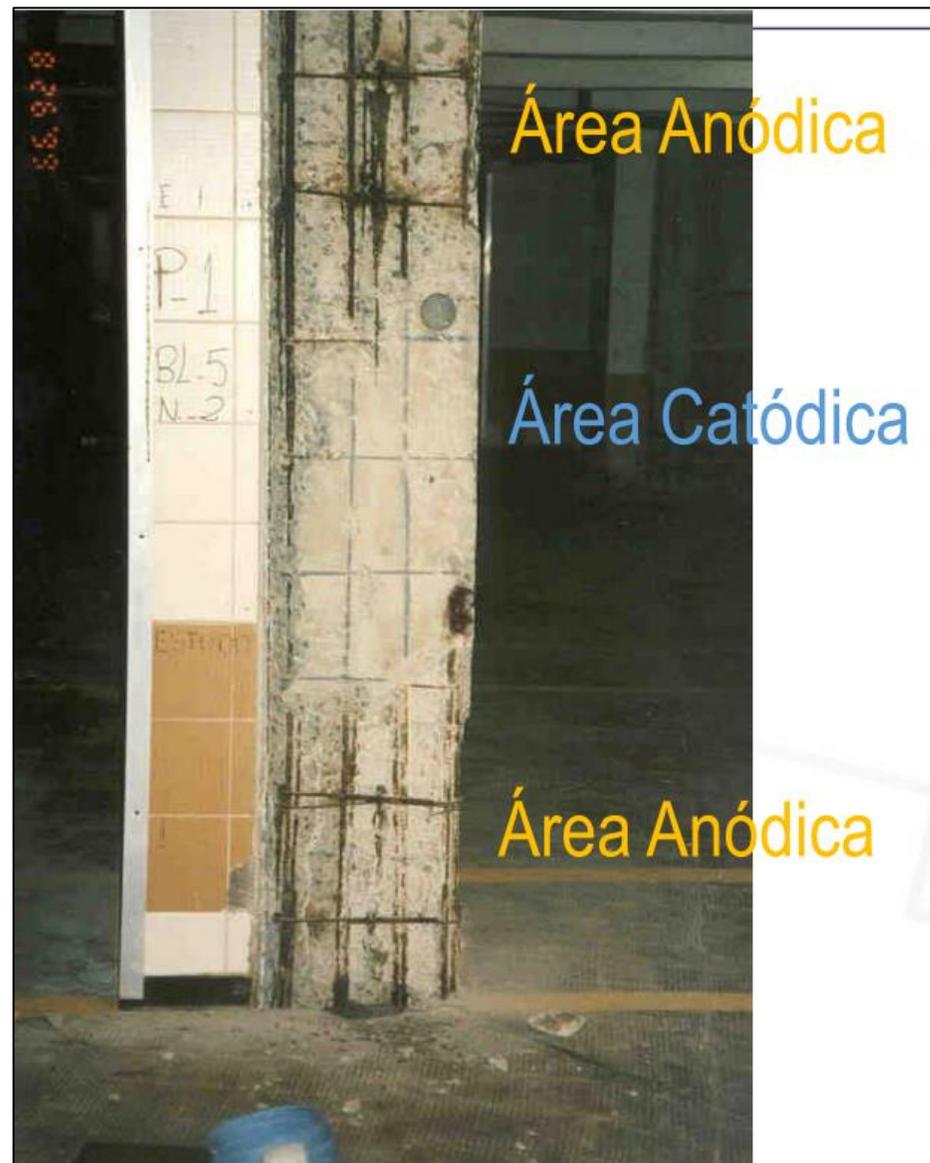
• Externa

- Atmosferas Marinhas;
- Atmosferas Industriais.

MONTEIRO, 2022.



Corrosão Eletroquímica



MONTEIRO, 2022.

Corrosão por Cloretos - Limites

Tabela 5 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Classe de agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl ⁻) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

ABNT NBR 12655, 2015.

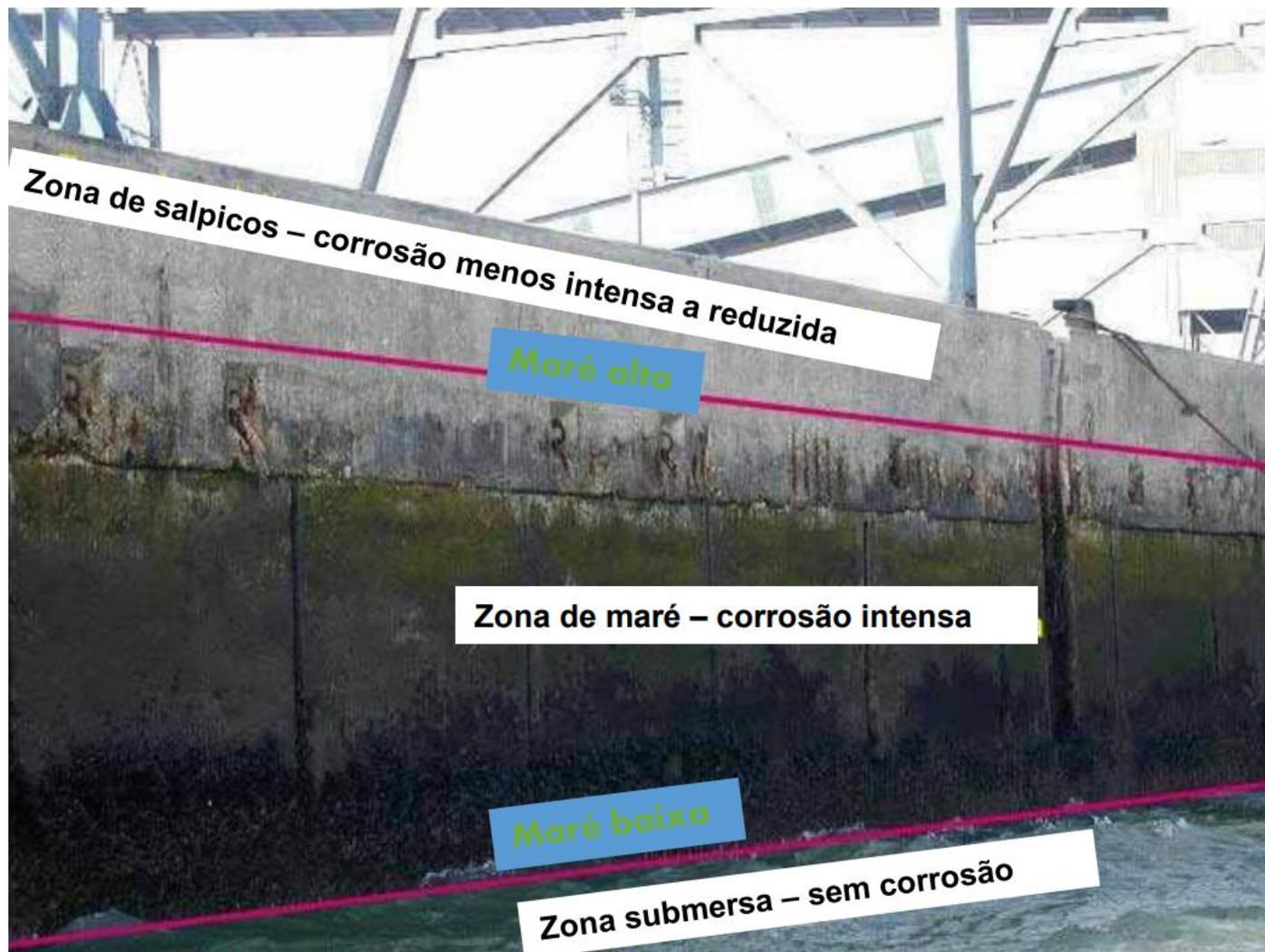
Corrosão por Cloretos

Fatores que Influenciam

- Composição química do cimento;
- Condições de Cura;
- Carbonatação;
- UR (em torno de 85%);
- Temperatura;
- Existência de fissuras.



REY, 2019.

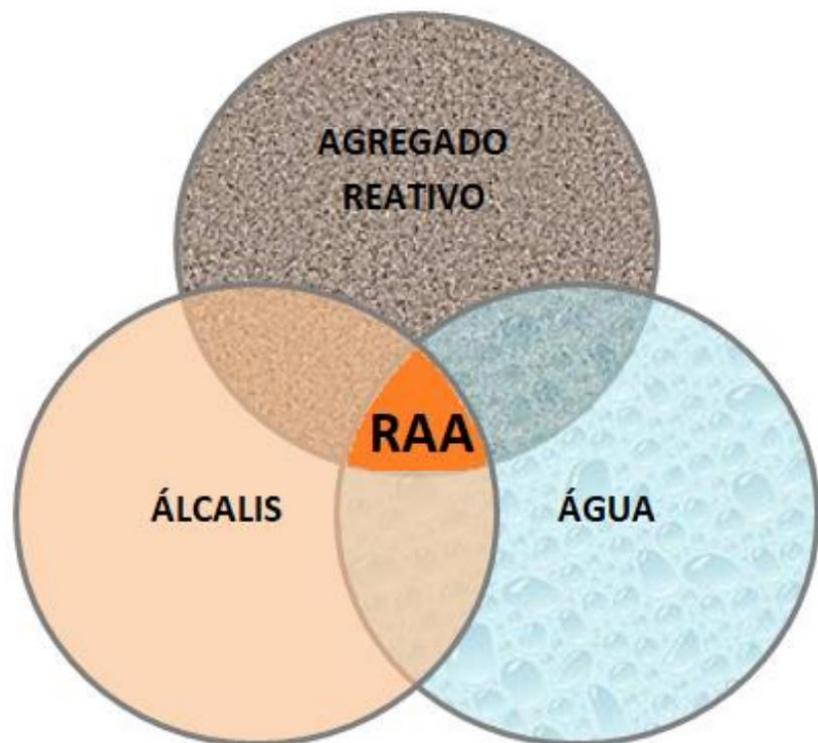


MONTEIRO, 2022.

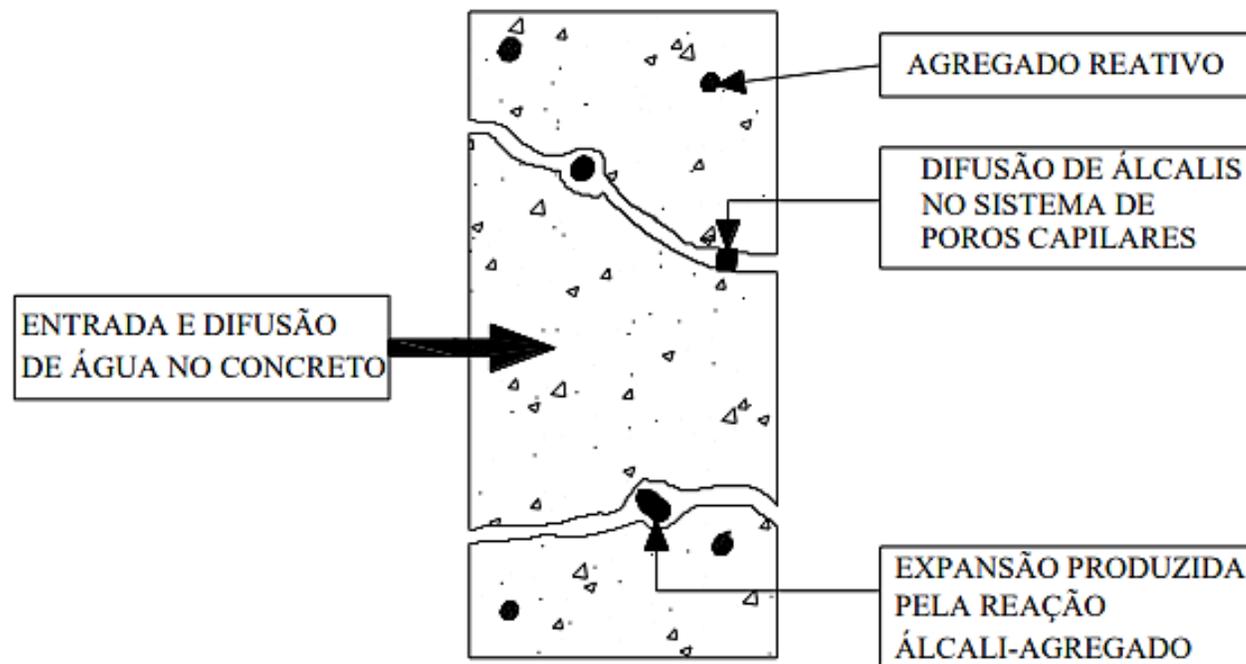
Causas Químicas: Reação Álcali-Agregado

- Ocorre entre o álcalis do cimento (ou de outras fontes) e a sílica ativa do agregado;
- Essa reação forma um gel de álcali-silicato que preenche os poros do agregado, diminuindo sua aderência com a pasta de cimento e expandindo quando em contato com a água;

Reação Álcali-Agregado: Mecanismo



DUTRA, 2018.



PAZINI, 2003.

Reação Álcali-Agregado



SILVA E OUTROS, 2020.



LEANDRO E OUTROS, 2010.

Causas Biológicas: Fungos e Mofo

- Os fungos se “alimentam” do material que compõem a estrutura;
- Estágio inicial surgem as manchas;
- A degradação, mesmo que superficial, pode facilitar a entrada de outros agentes agressivos na estrutura;
- Num estado mais evoluído, pode causar o comprometimento estrutural;
- Fungos + Umidade = Bolor/Mofo

Causas Biológicas: Fungos e Mofo



Acervo Próprio, 2021.



Acervo Próprio, 2021.

Causas Biológicas: Fungos e Mofo



Acervo Próprio, 2022.

Causas Biológicas: Fungos e Mofo



Acervo Próprio, 2022.

Causas Biológicas: Fungos e Mofo



Acervo Próprio, 2022.

Causas Biológicas: Vegetação



Acervo Próprio, 2021.



Acervo Próprio, 2021.

Só existem estruturas de concreto armado?

Só existem estruturas de concreto armado?



Acervo Próprio, 2022.

Só existem estruturas de concreto armado?



Acervo Próprio, 2022.

Só existem estruturas de concreto armado?



Acervo Próprio, 2022.

Só existem estruturas de concreto armado?



Acervo Próprio, 2022.

Só existem estruturas de concreto armado?



Acervo Próprio, 2022.

Só existem estruturas de concreto armado?



Acervo Próprio, 2022.

OBRIGADO!

Eng Dione / Eng Carlos Henrique