

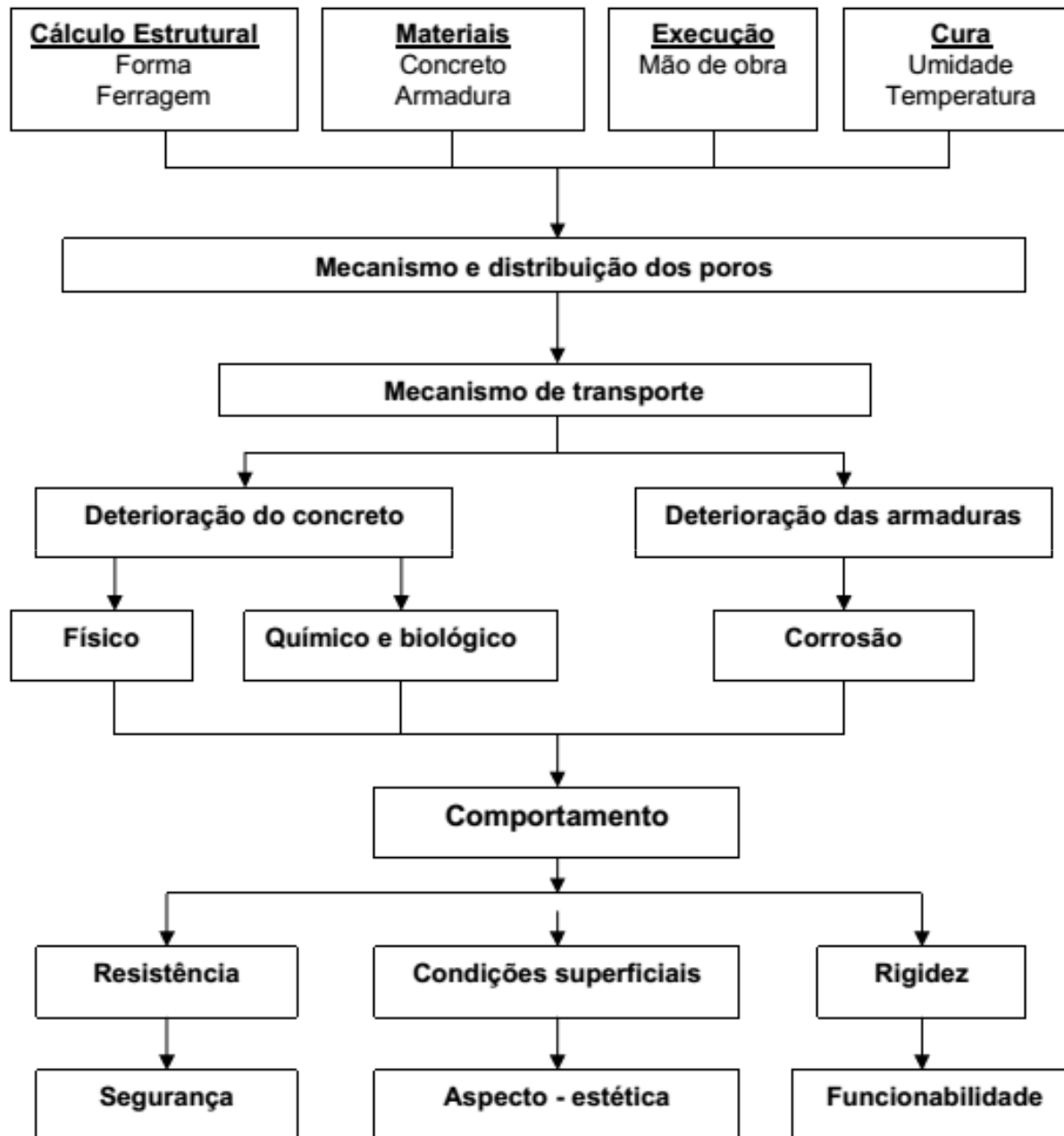


UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
Escola de Minas – DECIV
Patologia das Construções

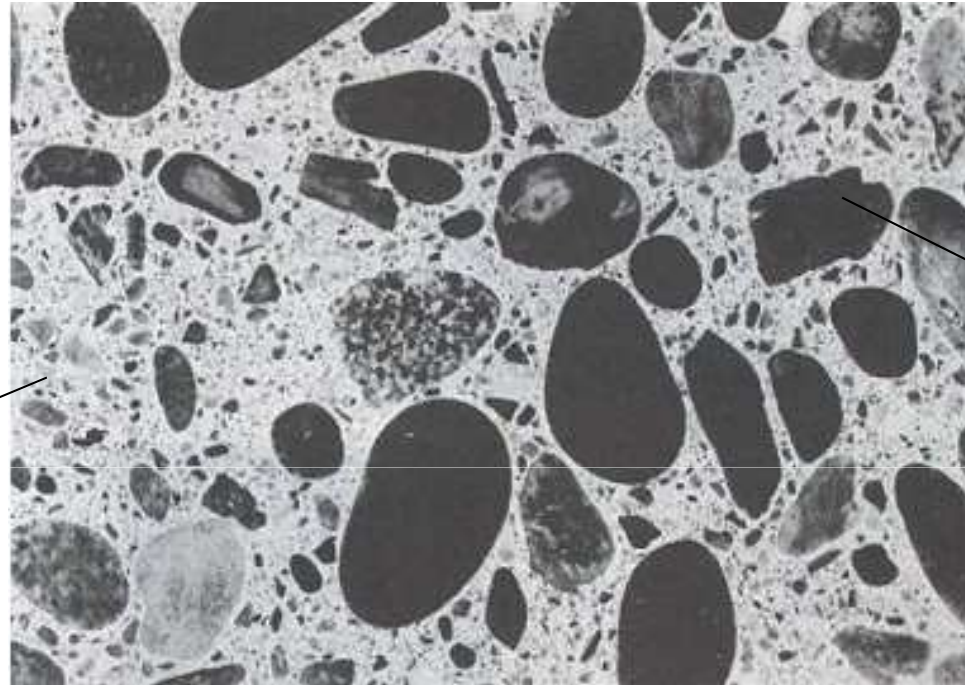


Patologia das Estruturas de Concreto

DURABILIDADE



Concreto Armado



Cimento,
areia
Adições,
aditivos

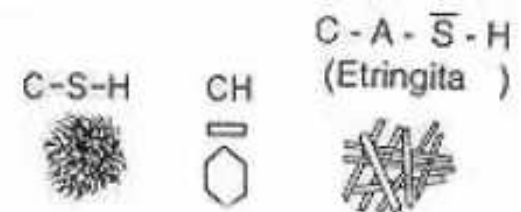
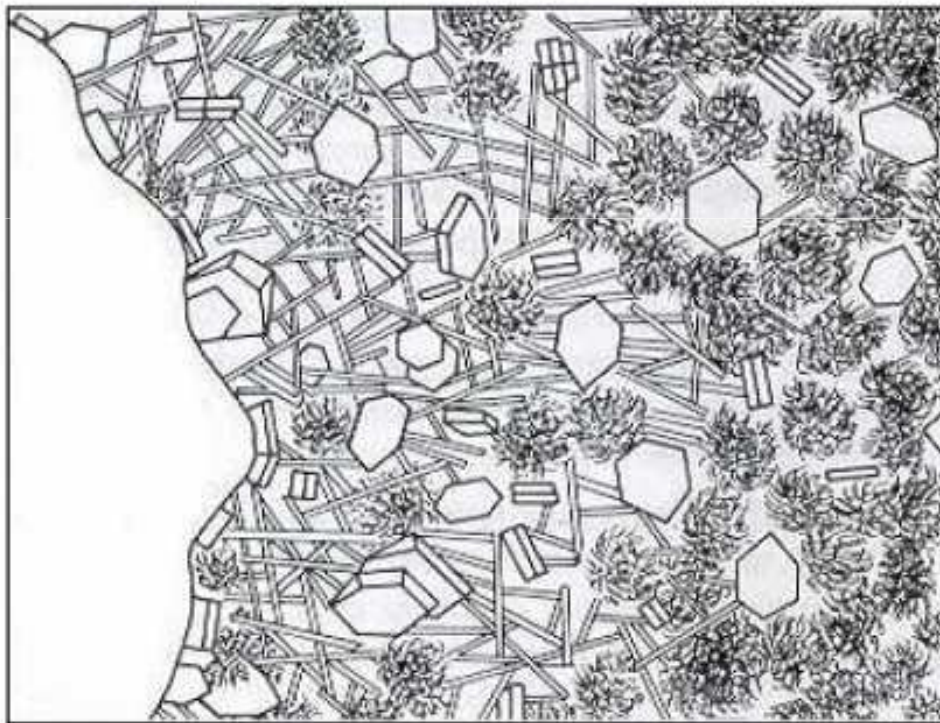
Brita

+

aço

Cimento Hidratado

Cimento + água = C-S-H + Ca(OH)₂ + Etringita



Agregado E ← Zona de Transição → Matriz de pasta de cimento

Características do Concreto

- Porosidade (compacidade)
 - Fator água/aglomerante;
 - propriedade importante para resistir à penetração dos meios agressivos externos;
 - Transporte e vibração inadequados:
 - Segregação, exudação.
 - Resistência mecânica;

Características do Concreto

- Endurecimento do concreto (hidratação)
 - Evitar fissuras precoces (devido à retração)
 - Calor de hidratação (retração, expansão térmica)
 - cura do concreto, secagem prematura (24 horas).
 - Eventual temperatura muito baixa durante a concretagem ($< 7\text{ }^{\circ}\text{C}$) – baixa umidade
 - Temperatura e vento (falta de água).

Características do Concreto

- Cobrimento das armaduras
 - A espessura desta capa de concreto é importante para garantir a proteção das armaduras frente aos agentes agressivos.
 - Deve-se adotar o cobrimento mínimo previsto na NBR 6118.
 - Algumas normas recomendam que em exposição a agentes agressivos, este concreto deve possuir:
 - alto teor de cimento,
 - baixo fator água/cimento
 - espessuras superiores a 5 cm.

Os recobrimentos mínimos das armaduras devem ser como indicado abaixo:

Local	Espessura de recobrimento
--------------	----------------------------------

Concreto a ser revestido com argamassa, com espessura mínima de 1 cm

∞ Lajes no interior de edificios	0,5 cm
∞ Lages e muros ao ar livre	1,5 cm
∞ Vigas e pilares no interior de edificios	1,5 cm
∞ Vigas e pilares ao ar livre	2 cm

Concreto aparente

∞ No interior de edificios	2,0 cm
∞ Ao ar livre	2,5 cm

Concreto em contato com o solo

	3 cm
--	------

Características do Concreto

- aditivos e adições
 - Aditivos: plastificantes (trabalhabilidade), retardadores de pega, etc.
 - Adições: minerais, tais como:
 - Metacaulim, cinzas volantes, silica ativa, escoria de alto-forno
 - Diminuem a porosidade: reação pozolânica e efeito de preenchimento “filler”.



Características do Concreto

- Agressividade do meio ambiente

Tipo de exposição		Condições ambientais
1		Ambiente seco: <ul style="list-style-type: none"> ∞ Interior de edificações. ∞ Exterior de edifícios não expostos ao vento e intempéries ou água. ∞ Zonas com UR altas durante curtos períodos de tempo ao ano (ex: > 60% durante menos de 3 meses ao ano).
2	a	Ambiente úmido, sem gelo: <ul style="list-style-type: none"> ∞ Interior de edifícios onde a umidade é alta. ∞ Elementos exteriores expostos ao vento e intempéries (sem gelo). ∞ Elementos em solos não agressivos e/ou água e gelo.
	b	Ambiente úmido com gelo: <ul style="list-style-type: none"> ∞ Elementos exteriores expostos ao vento e às intempéries, ou solos não agressivos e/ou água e gelo.
3		Ambiente úmido com gelo e agentes de degelo: <ul style="list-style-type: none"> ∞ Elementos exteriores expostos ao vento e intempéries, ou solos não agressivos e/ou água e gelo e produtos químicos de degelo.
4	a	Ambiente de água do mar: <ul style="list-style-type: none"> ∞ Elementos na zona de maré ou submergidos em água do mar, com uma parte exposta ao ar. ∞ Elementos em ar saturado de sal (áreas costeiras).
	b	Ambiente de água do mar com gelo: <ul style="list-style-type: none"> ∞ Elementos na zona de maré ou submergidos em água do mar, com uma parte exposta ao ar. ∞ Elementos em ar saturado de sal (áreas costeiras).
5*	a	Ambiente químico ligeiramente agressivo (gás, sólido ou líquido).
	b	Ambiente químico moderadamente agressivo (gás, sólido ou líquido).
	c	Ambiente químico de alta agressividade (gás, sólido ou líquido).

* Os tipos 5 podem se apresentar isolados ou combinados com os tipos anteriores

Requisitos		Tipos de exposição segundo a tabela								
		1	2 ^a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c (1)
Classe e tipo segundo ISSO 4102	Concreto massa	$f_{c,c} \geq 12/15$	$f_{c,c} \geq 20/25$	$f_{c,c} \geq 20/25$	$f_{c,c} \geq 20/25$	$f_{c,c} \geq 25/30$	$f_{c,c} \geq 25/30$	$f_{c,c} \geq 25/30$	$f_{c,c} \geq 25/30$	$f_{c,c} \geq 30/35$
	Concreto armado	$f_{c,c} \geq 16/20$								
	Concreto protendido	$f_{c,c} \geq 20/20$								
Relação a/c (2)	Concreto massa		$\leq 0,70$	$\leq 0,55$	$\leq 0,55$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
	Concreto armado	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$							
	Concreto protendido	$\leq 0,60$	$\leq 0,60$							
Cimento/m ³ Agregado entre 16 e 32 mm	Concreto massa	≥ 150	≥ 180	≥ 180	≥ 180	≥ 300	≥ 300	≥ 300	≥ 300	≥ 300
	Concreto armado	≥ 270	≥ 300	≥ 300	≥ 300					
	Concreto protendido	≥ 300	≥ 300	≥ 300	≥ 300					
% de ar incorporado para Ø máximo de areia (3)	≤ 32 mm			Se há risco de saturação do concreto	≥ 4	Se há risco de saturação do concreto				
	≤ 16 mm				≥ 5					
	≤ 8 mm				≥ 6					
Penetração de água em mm				≤ 50	≤ 50	≤ 30	≤ 30	≤ 50	≤ 30	≤ 50
Requisitos adicionais para as areias				Resistente ao gelo	Resistente ao gelo		Resistente ao gelo			
Requisitos adicionais ao cimento resistente a sulfatos										Água c/ > 400mg/kg ou Solo c/ > de 3000 mg/kg de SO ₄ ²⁻ (4)

Corrosão das Armaduras

- Uma das principais manifestações patológicas no concreto armada:
 - recobrimento das armaduras abaixo dos valores recomendados pelas normas da ABNT.
 - o concreto executado com elevado fator água/cimento, acarretando elevada porosidade do concreto e fissuras de retração.
 - o ausência ou deficiência de cura do concreto, propiciando a ocorrência de fissuras, porosidade excessiva, diminuição da resistência, etc.
 - o segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem,
 - erros de traço,
 - lançamento e vibração incorretos, formas inadequadas, etc

Corrosão das Armaduras

- O concreto proporciona às armaduras uma dupla proteção.
 - Uma barreira física que separa o aço do contato direto com o meio ambiente que contém elementos agressivos ao aço;
 - Capa passivadora formada meio alcalino do concreto

Mecanismo da corrosão das armaduras

- A corrosão das armaduras pode-se originar por:
 - uma ação **química** ou
 - uma ação **eletroquímica**
- O aço diminui sua seção, e se converte completamente em óxidos;
- O concreto pode fissurar ou delaminar-se devido às pressões de expansão dos
- óxidos;
- A aderência da armadura diminui ou desaparece.

Mecanismo da corrosão das armaduras

a) Corrosão química:

- Oxidação:



- corrosão muito lenta:

- não provoca deterioração substancial das armaduras.

Mecanismo da corrosão das armaduras



b) corrosão catódica :

- ocorre em meio aquoso
- principal e mais sério processo de corrosão encontrado na construção civil.
- a armadura se transforma em óxidos e hidróxidos de ferro, de cor avermelhada, pulverulenta e porosa, denominada ferrugem.

Mecanismo da corrosão das armaduras

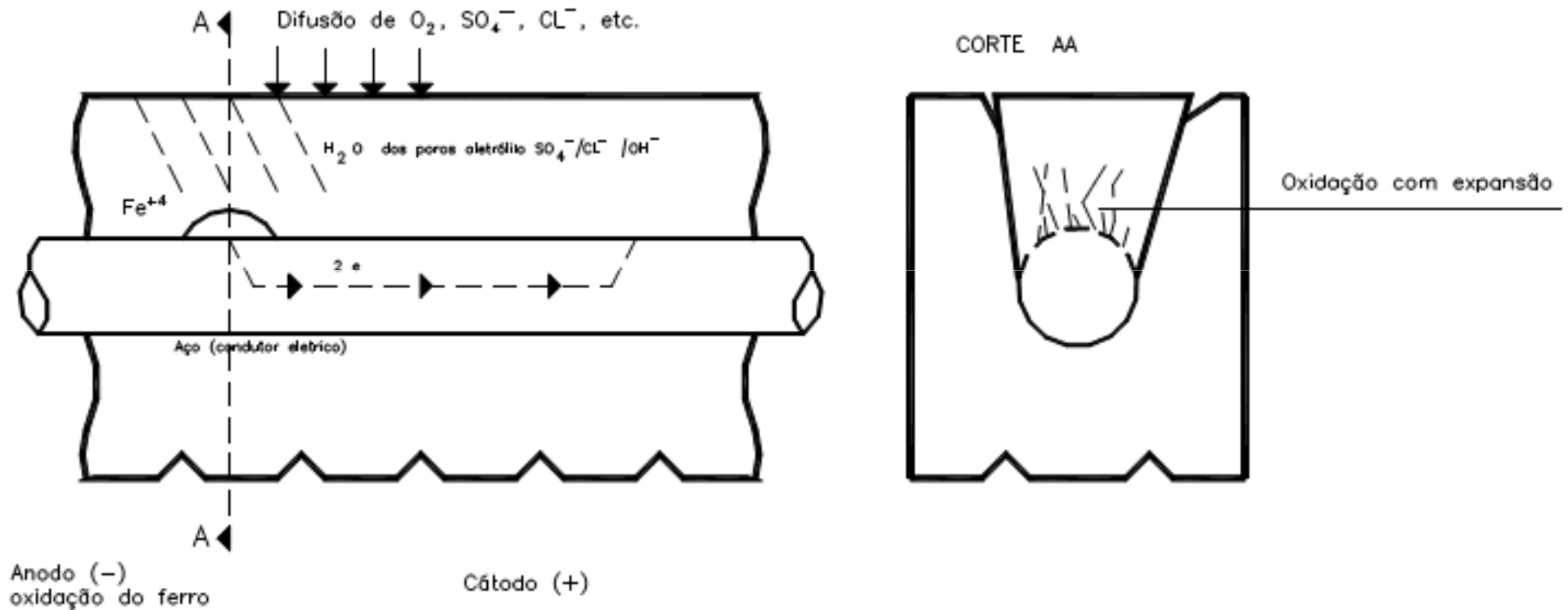
b) corrosão catódica :

– Presença de um eletrólito:

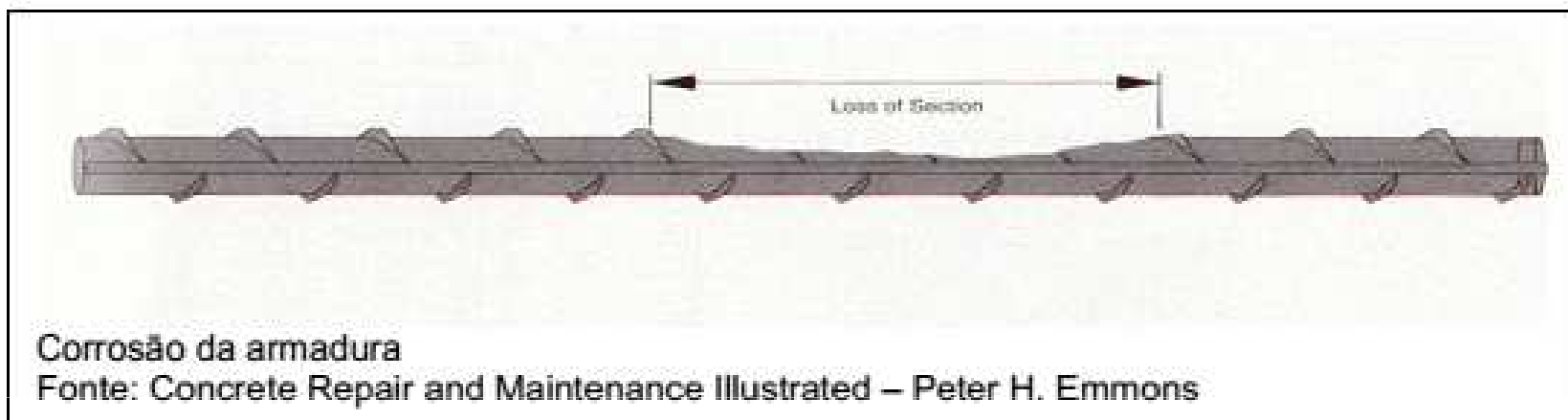
- sais dissolvidos do cimento - hidróxido de cálcio (CaOH_2)
- anidro carbônico (CO_2),
- íons cloreto (Cl^-), íons sulfatos (S^{--}), nitritos (NO_3^-), gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_4^+),
- óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3)

Mecanismo da corrosão das armaduras

b) Aumento da velocidade da corrosão em regiões industriais, orlas marítimas, poluídas.



Mecanismo da corrosão das armaduras



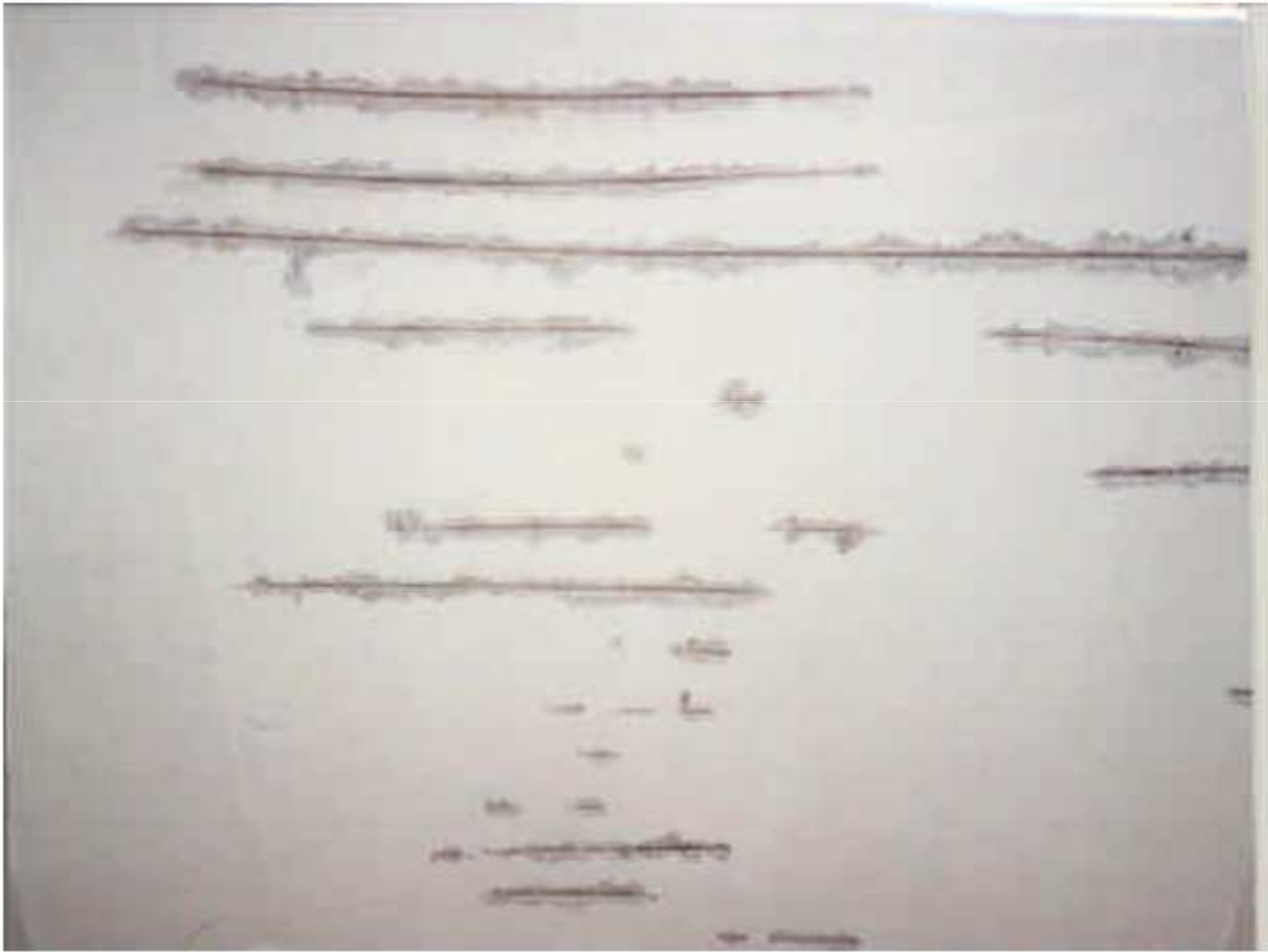
Mecanismo da corrosão das armaduras



Mecanismo da corrosão das armaduras



Mecanismo da corrosão das armaduras

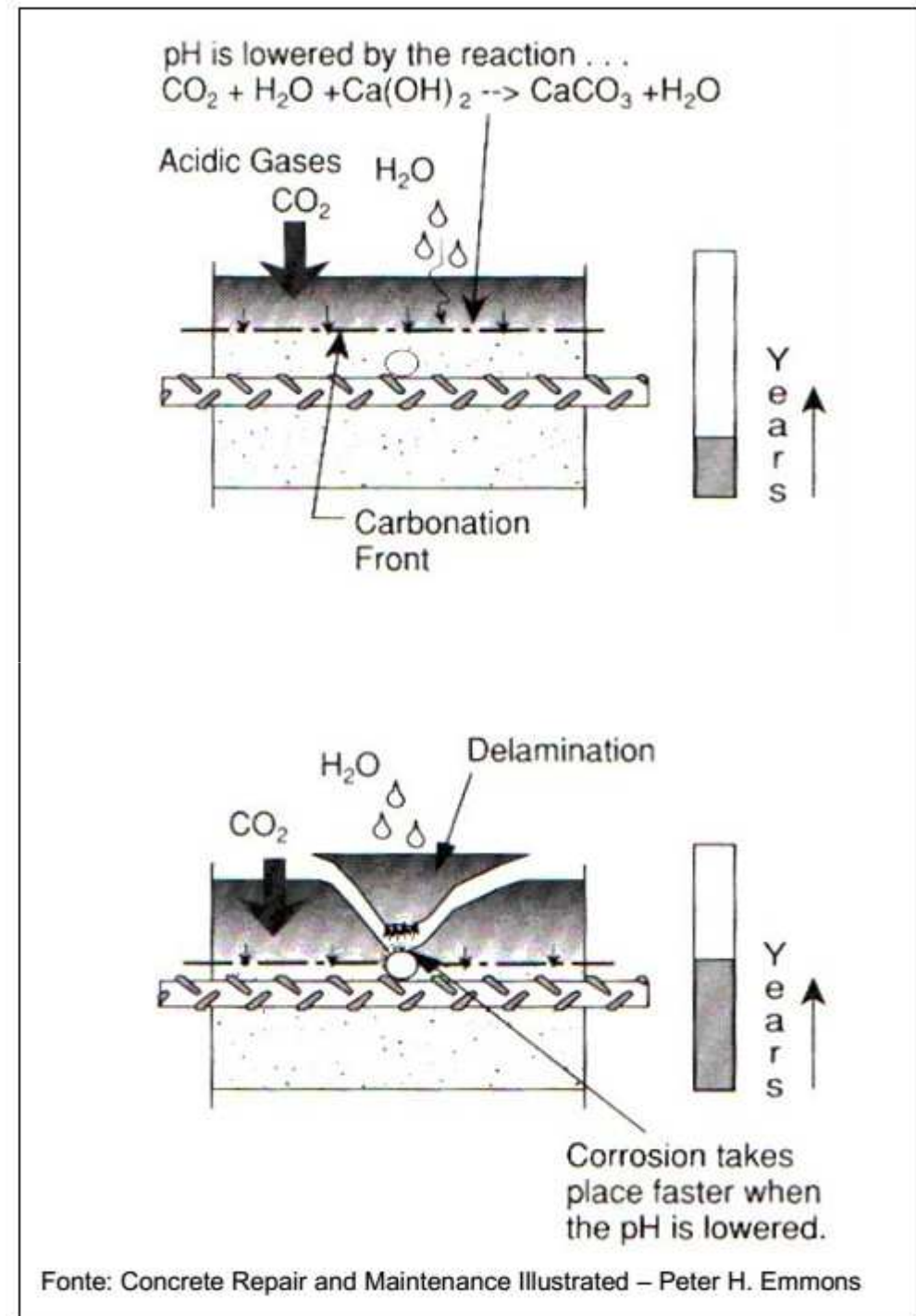


Mecanismo da corrosão das armaduras

- Carbonatação

CO_2 + componentes alcalinos do concreto (Ca(OH)_2) = < pH do concreto

- A velocidade de carbonatação está associada:
 - à porosidade do concreto,
 - a umidade do concreto,
 - à temperatura e a umidade relativa do ar.



Corrosão das armaduras de concreto armado

DESPASSIVAÇÃO PELA PRESENÇA DE CLORETOS

Ação dos Cloretos (Cl⁻):

Mecanismos de transporte dos íons dos cloretos (Cl⁻):

Difusão iônica

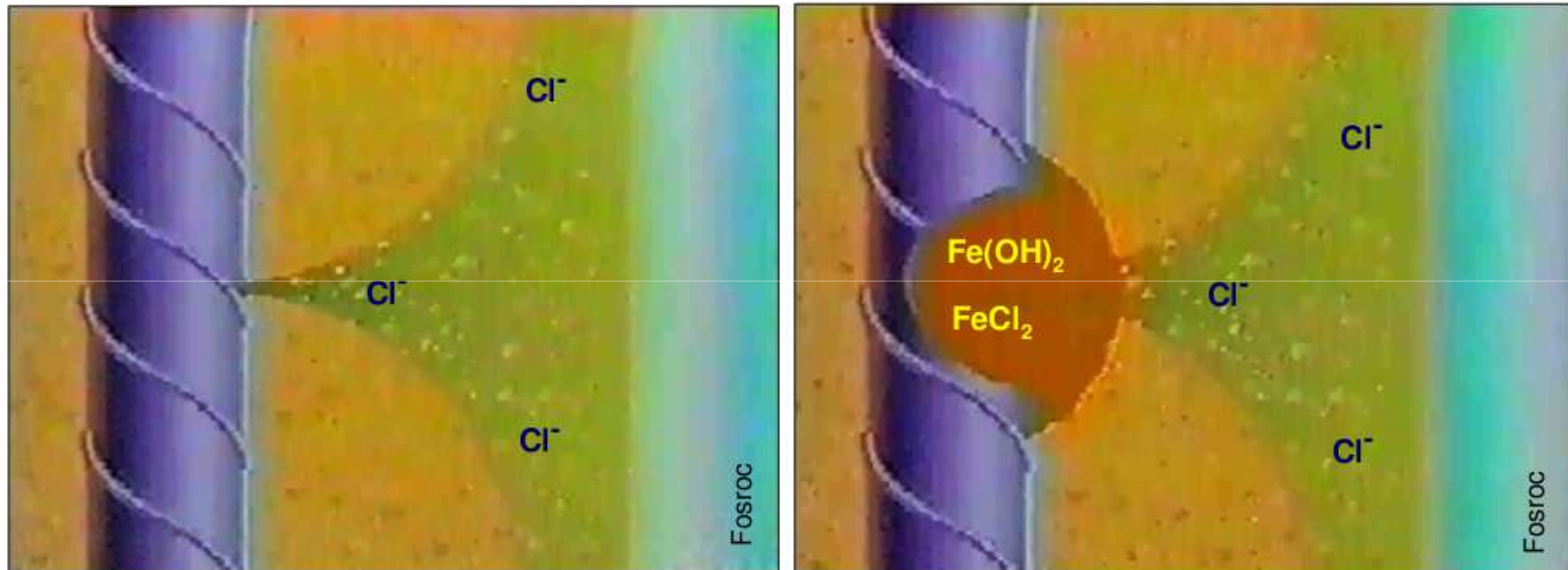
A absorção capilar ocorre na superfície do concreto, sendo que a difusão iônica é o principal mecanismo de transporte no interior da estrutura, em meio aquoso.

Migração iônica

Os íons cloretos por serem cargas negativas, promovem migração iônica, o qual pode se dar pelo próprio campo gerado pela corrente elétrica do processo eletroquímico, como por ação de campos elétricos externos.

Corrosão das armaduras em concreto armado

DESPASSIVAÇÃO PELA PRESENÇA DE CLORETOS



O ânodo formado atrai Íons de cloro, de carga negativa, continuamente para o mesmo ponto causando uma corrosão localizada e profunda (pite).

Corrosão das armaduras em concreto armado

DESPASSIVAÇÃO PELA PRESENÇA DE CLORETOS

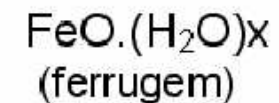
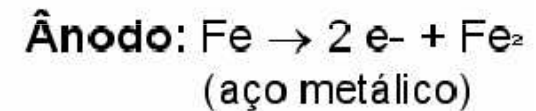
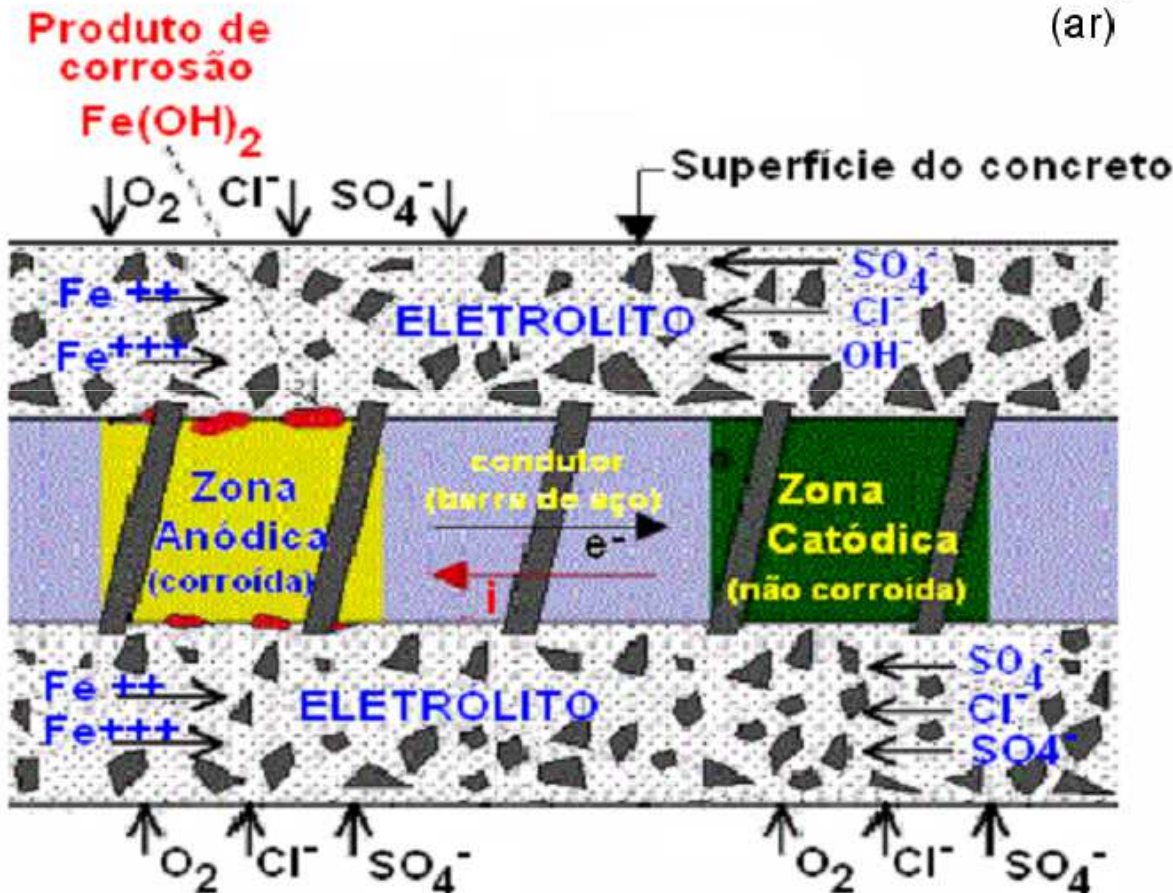
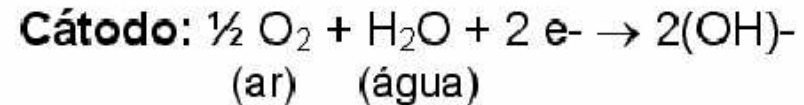


Corrosão por pites
(alta concentração
de cloro)

(Paulo Barbosa, PhDesign,2006)

Corrosão das armaduras de concreto armado

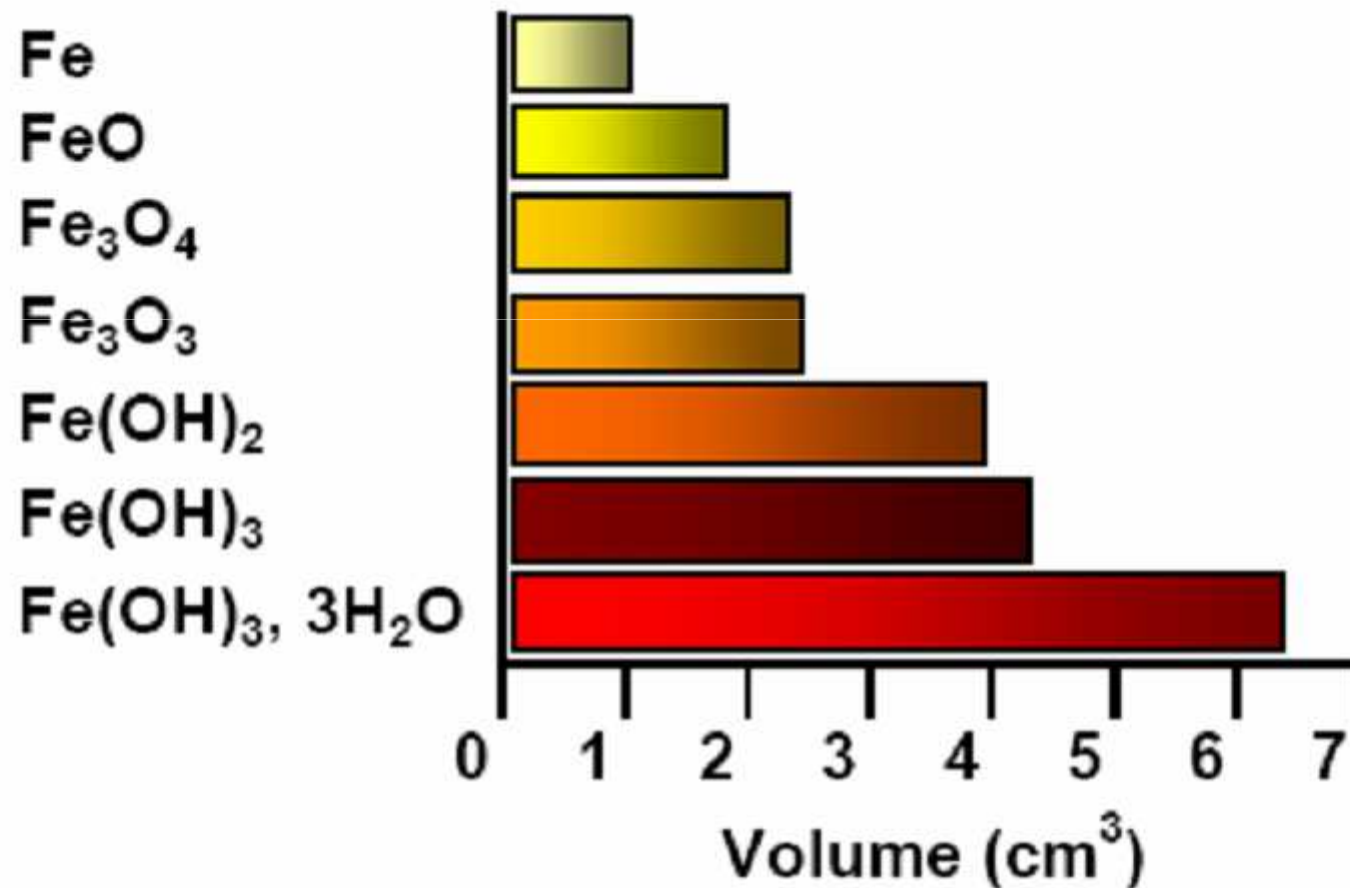
FORMAÇÃO DA PILHA DE CORROSÃO EM CONCRETO ARMADO



(Adaptação de P.Helene, 1986)

Corrosão do aço carbono – REAÇÃO EXPANSIVA

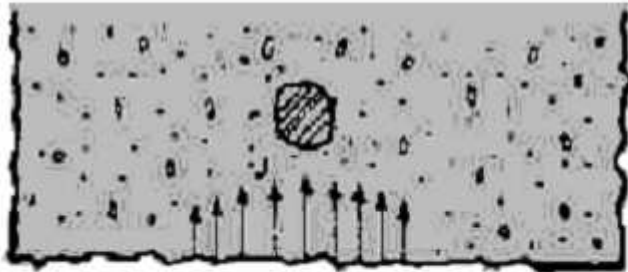
Ferro, produtos da corrosão e seus volumes relativos:



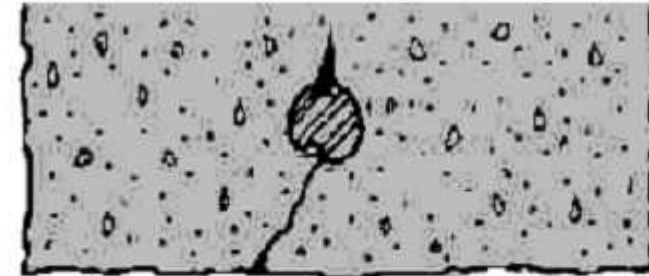
(Cascardo, 1997)

Corrosão do aço carbono – REAÇÃO EXPANSIVA

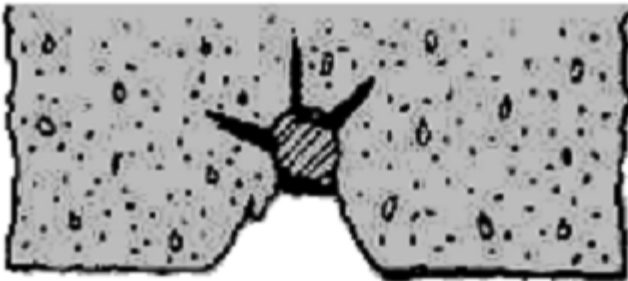
Progressão da deterioração da estrutura devido à corrosão das armaduras



a) Penetração de agentes agressivos por difusão, absorção ou permeabilidade.



b) Fissuração devida às forças de expansão dos produtos da corrosão.



c) Lascamento do concreto e corrosão acentuada.



d) Lascamento acentuado e redução significativa da seção da armadura.

Prevenção da corrosão das armaduras de CA:

Cuidados Necessários:

- **Cobrimento**

 - Maior tempo p/ camada carbonatada chegar ao aço

- **Concreto menos permeável**

 - Menor relação a/c e maior fck

- **Tipo de cimento;**

- **Cuidados com formas arquitetônicas e drenagem**

- **Proteção superficial do concreto - revestimentos**

- **Armaduras especialmente passivas:**

 - Aços revestidos (epóxi, galvanização)

 - Aços inoxidáveis

 - Armaduras de fibras (carbono, vidro, kevlar)

Prevenção da corrosão das armaduras de CA:

Cuidados Necessários:

- Cuidados no uso de aditivos que contenham em sua fórmula o cloreto de cálcio;
- Cobrimento das armaduras adequado a agressividade do meio;
- Cuidados especiais se o concreto estiver sujeito à correntes elétricas;
- Utilizar dosagem adequada, com o mínimo de água para a hidratação.

Cobrimento - Maior tempo p/ camada carbonatada chegar ao aço
NBR 6118 (2003)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

2) 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 tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelo item 7.4.7.5 respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

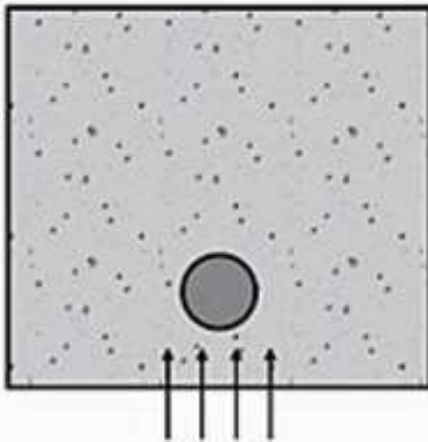
3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Proteção dos aços contra a corrosão

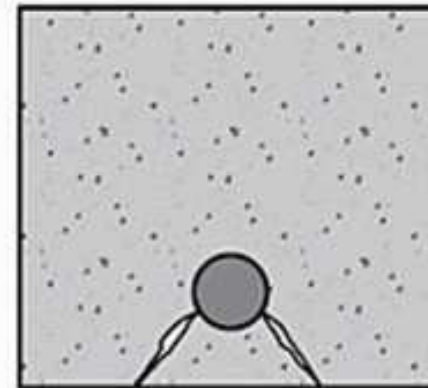
- A oxidação resulta de fenômenos eletrolíticos que formam o óxido de ferro, que é poroso, e que permite a continuação do processo.
- A oxidação é favorecida pela presença de ácidos e bases.
- Para a proteção do ferro seja eficaz é necessário limpá-lo previamente, quer por processos mecânicos ou químicos.

Pinturas

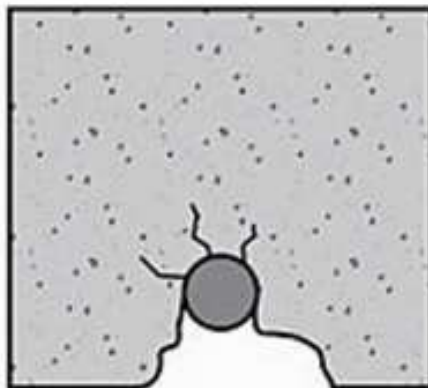
- A pintura é o processo de proteção do aço contra a corrosão utilizado em todos os casos em que não se apresentem dificuldades particulares devidas às finuras das arestas, à extensão das superfícies ou a condições de exposições severas.
- Na elaboração de um sistema de pintura devem ser considerados dados como:
 - o meio ambiente e sua agressividade,
 - o tipo de tinta,
 - a preparação da superfície,
 - A seqüência de aplicação, o número de demãos, as espessuras, o tipo de aplicação e as condições de trabalho a que estará submetida a superfície.
- Durante sua aplicação, a superfície deverá estar isenta de pó, carepas, ferrugens, óleos ou graxas e a unidade relativa do ar não deverá estar superior a 85%.



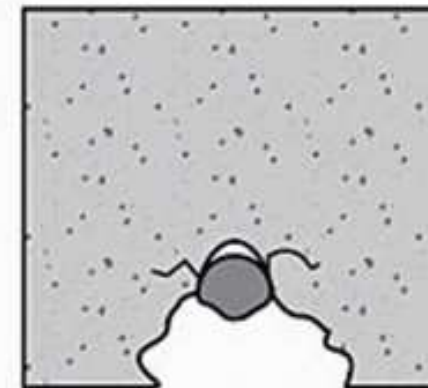
1 - Penetração de Agentes Agressivos



2 - Fissuração Provocada Pela Expansão dos Elementos de Corrosão



3 - Lascamento do Concreto e Aceleração no Processo de Corrosão



4 - Lascamento Acentuado e Redução da Seção da Armadura

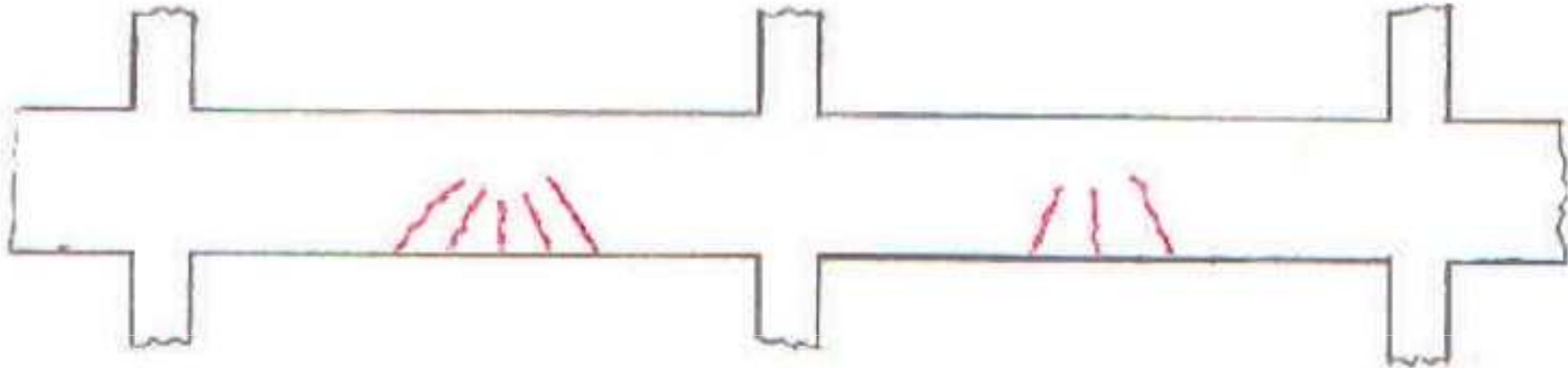
Trincas e fissuras

- deformação à tração do concreto excedendo a sua própria resistência.
- mecanismos básicos que podem originar deformações no concreto:
 - retração de secagem, expansão ou contração térmica, deformação plástica;
 - Expansão de materiais no interior do concreto (corrosão)

A classificação da fissuração é feita pela espessura da ruptura, conforme tabela a seguir:

Fissura capilar	menos de 0,2 mm
Fissura	de 0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	de 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	de 1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	de 5,0 mm 10,0 mm
Brecha	mais de 10,0 mm

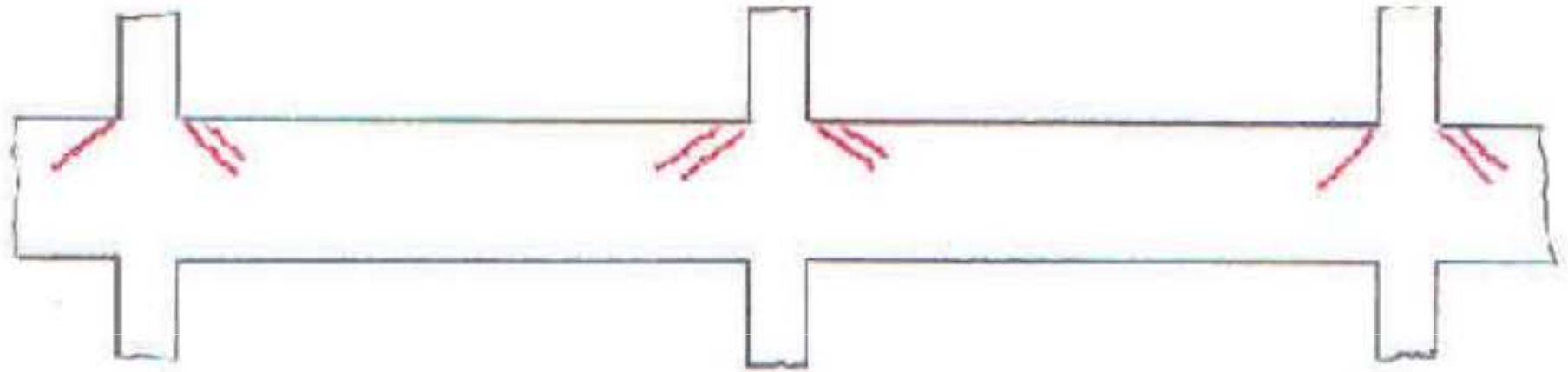
Fissuras: flexão



Causas prováveis:

- insuficiência de armadura longitudinal (positiva);
- ancoragem insuficiente da armadura positiva;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural.

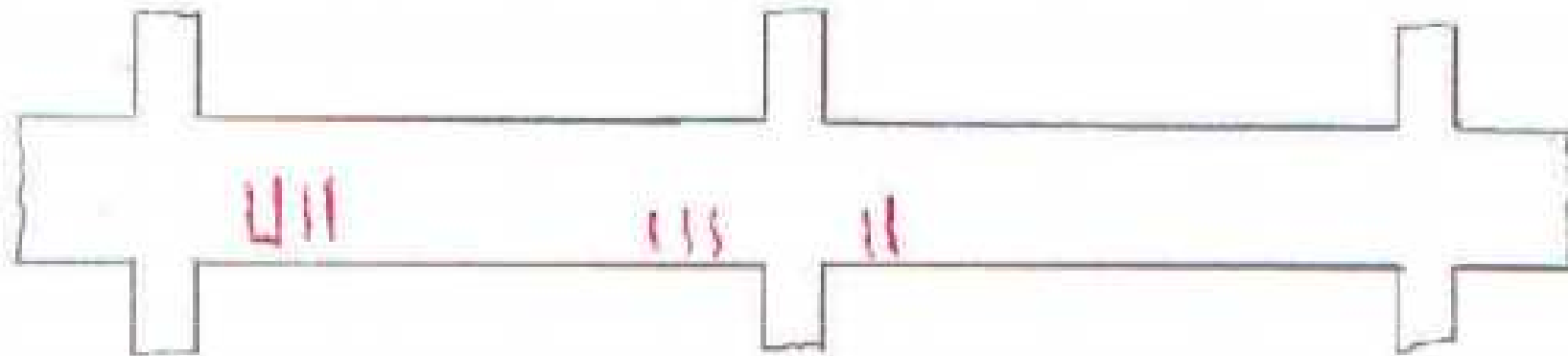
Fissuras: flexão



Causas prováveis:

- insuficiência de armadura longitudinal (negativa);
- ancoragem insuficiente da armadura negativa;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural.

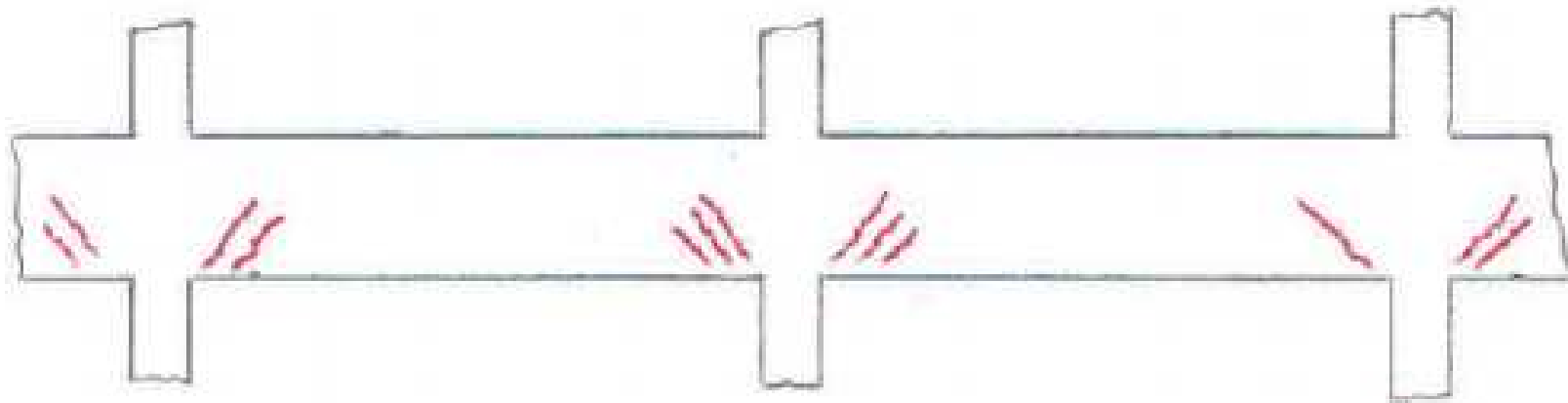
Fissuras: flexão



Causas prováveis:

- deslizamento da armadura longitudinal por falta de aderência;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural;
- ancoragem insuficiente da armadura;
- concreto de resistência inadequada.

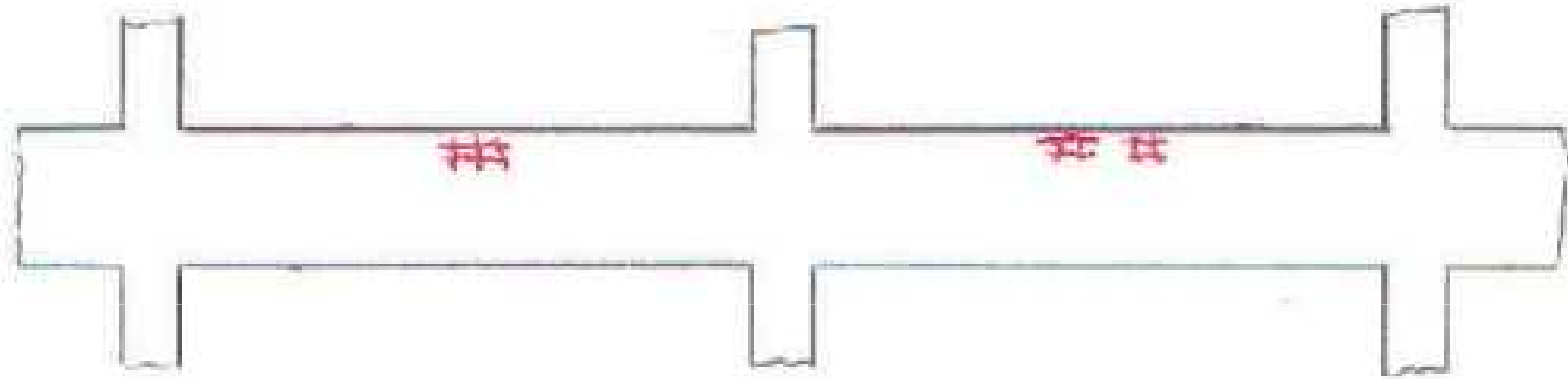
Fissuras: cisalhamento



Causas prováveis:

- insuficiência de armadura transversal (estribos);
- concreto de baixa resistência;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural;
- estribos mal posicionados.

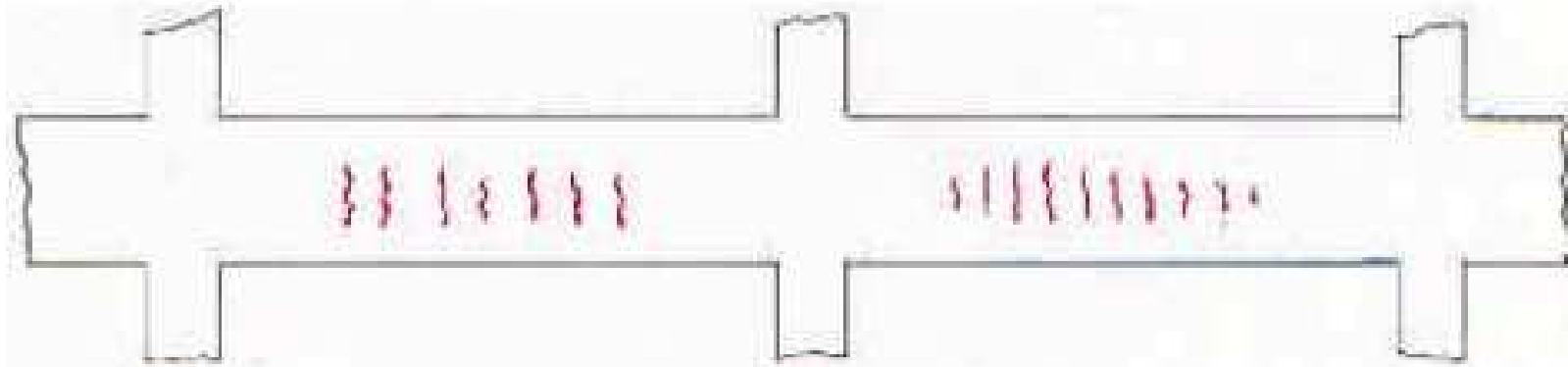
Fissuras: esmagamento



Causas prováveis:

- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural;
- concreto de resistência inadequada.

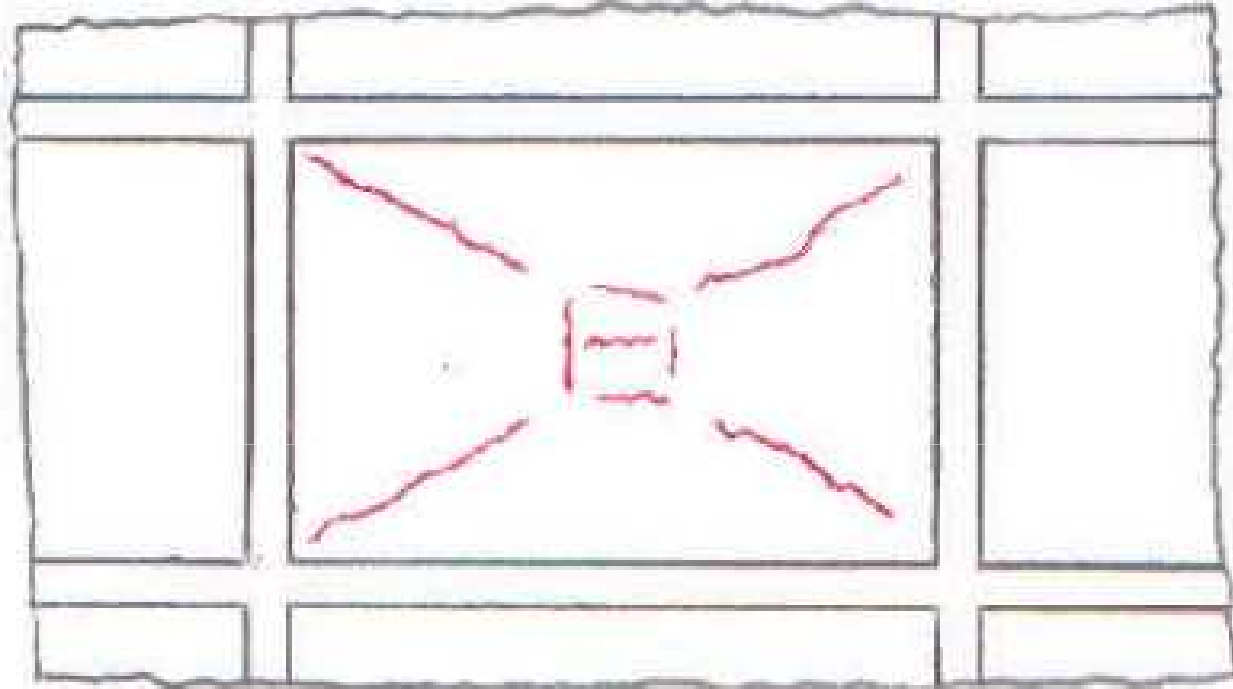
Fissuras: retração



Causas prováveis:

- secagem prematura do concreto (cura inadequada provocando a evaporação da água);
- contração térmica devido a diferenças de temperatura;
- relação água cimento inadequada;
- adensamento inadequado ou concreto mal vibrado.

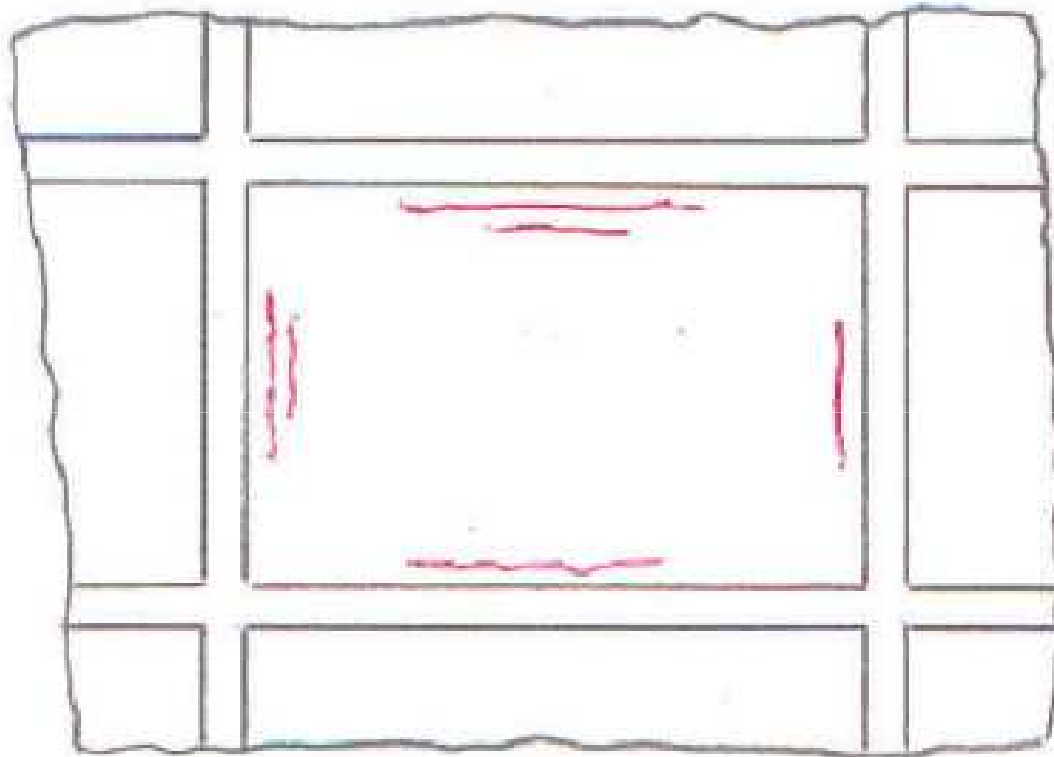
Fissuras: parte inferior da laje



Causas prováveis:

- insuficiência de armadura positiva;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural;
- ancoragem insuficiente da armadura.

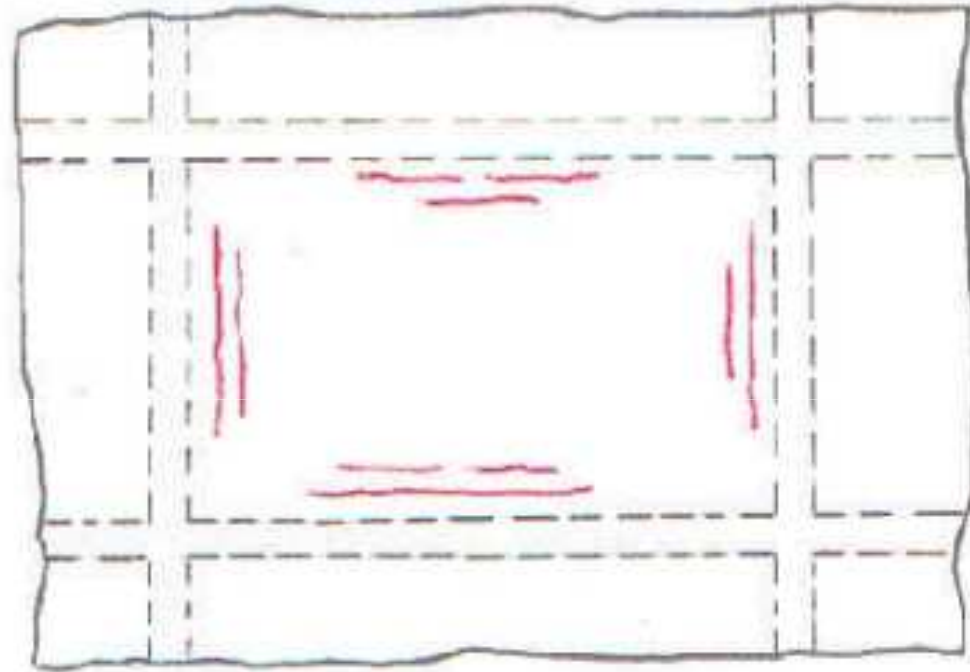
Fissuras: parte inferior da laje



Causas prováveis:

- espessura do concreto insuficiente;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural.

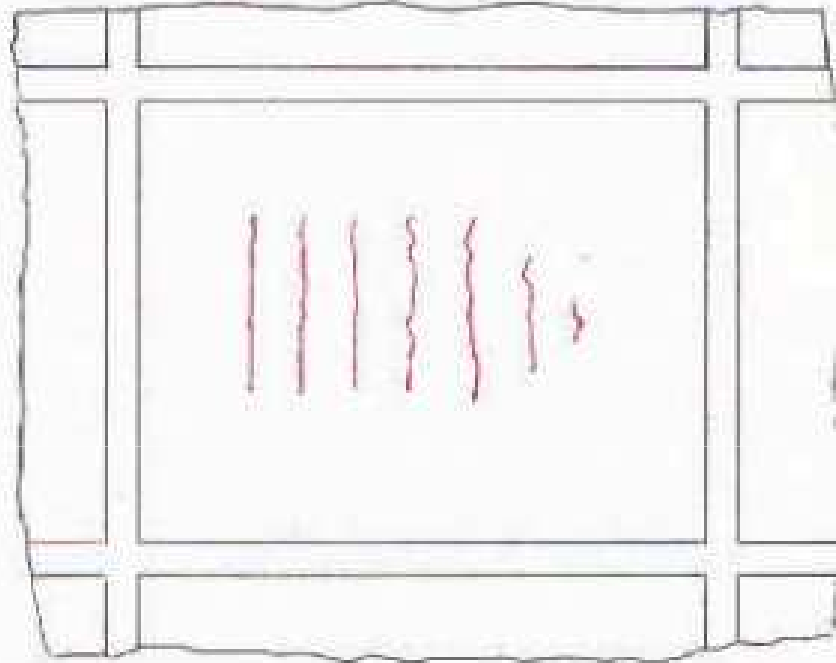
Fissuras: parte superior da laje



Causas prováveis:

- insuficiência de armadura negativa;
- armadura negativa mal posicionada;
- sobrecargas acima do previsto no cálculo estrutural.

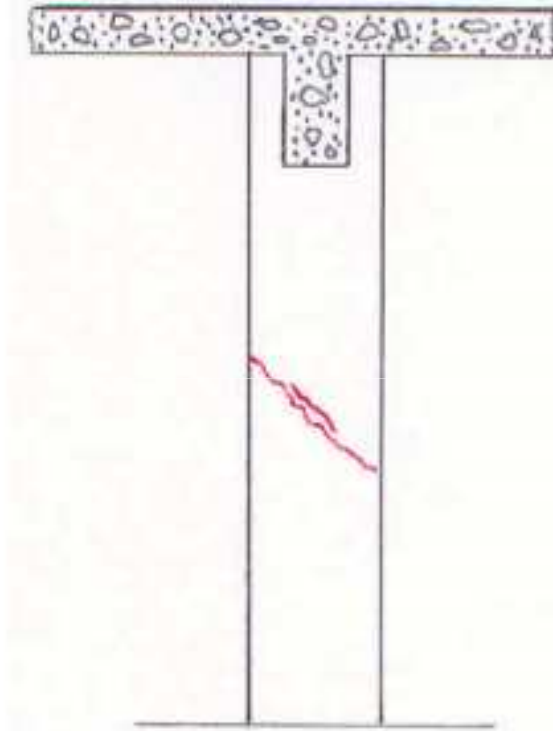
Fissuras: parte inferior da laje



Causas prováveis:

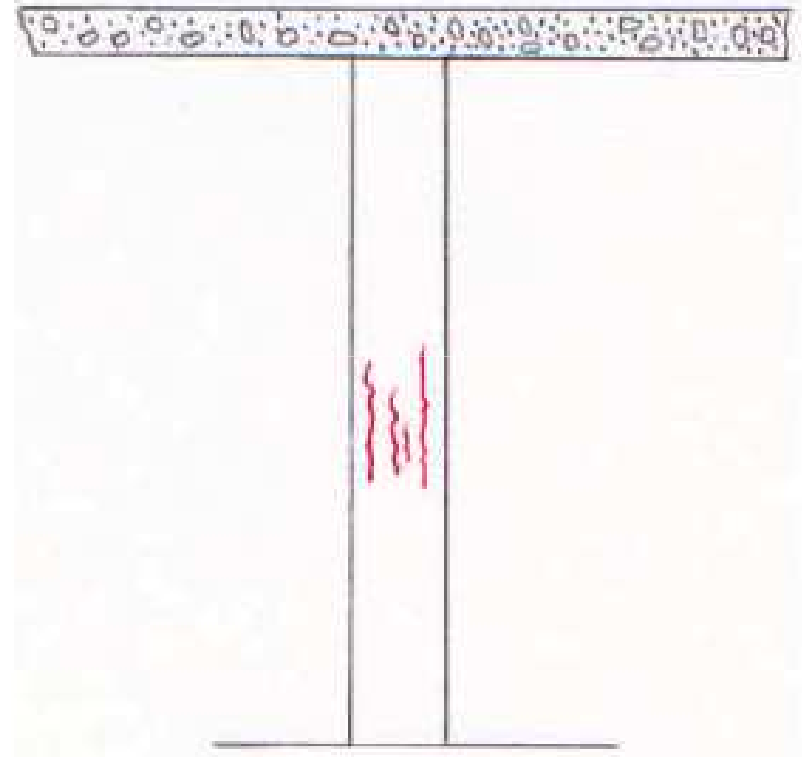
- cura ineficiente;
- excesso de calor de hidratação;
- cimento muito fino;
- granulometria dos agregados fora da especificação;
- quantidade excessiva de água na mistura.

Fissuras: em pilar



Causas prováveis:

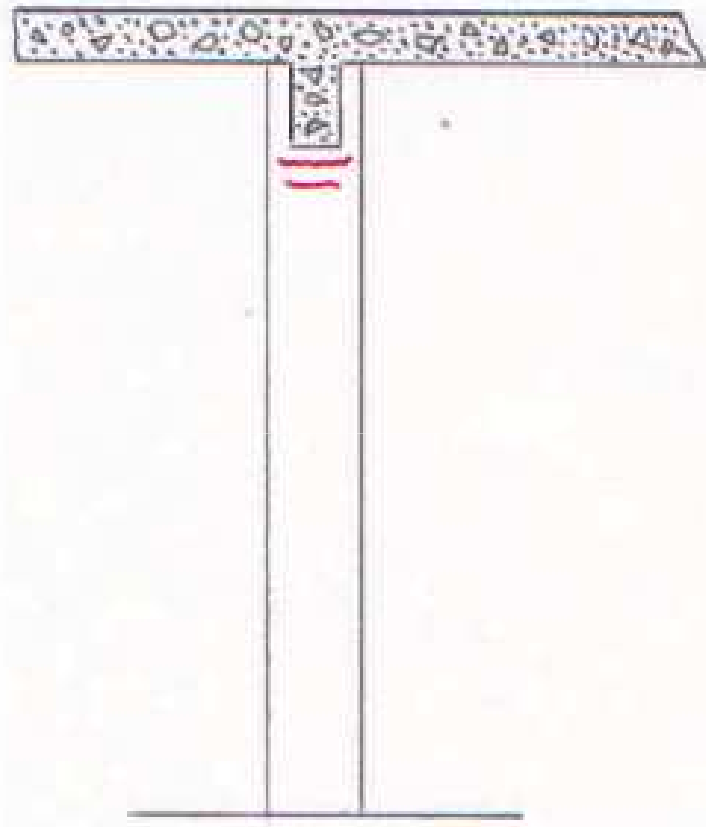
- recalque de fundação
- carga superiora prevista;
- concreto de resistência inadequada.



Causas prováveis:

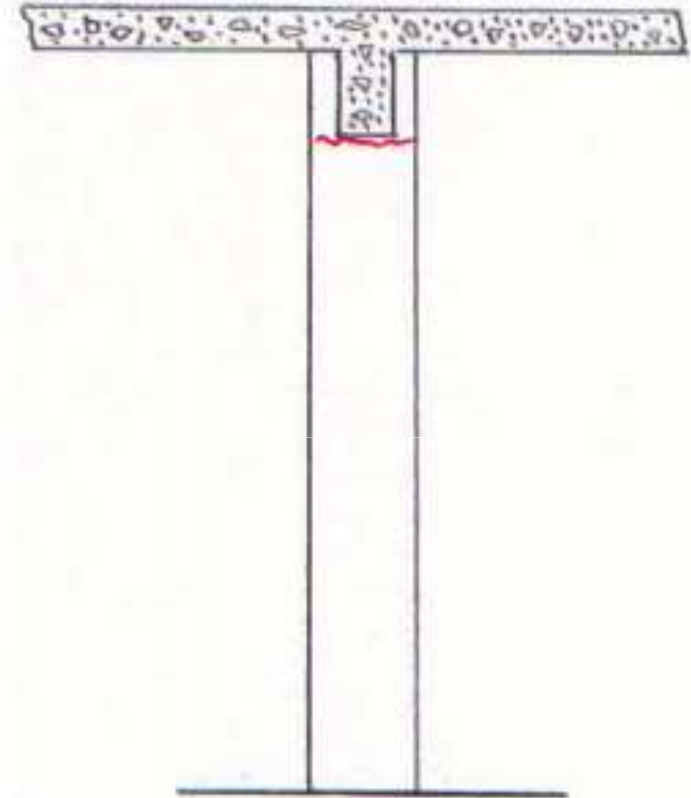
- insuficiência de estribo.

Fissuras: em pilar



Causas prováveis:

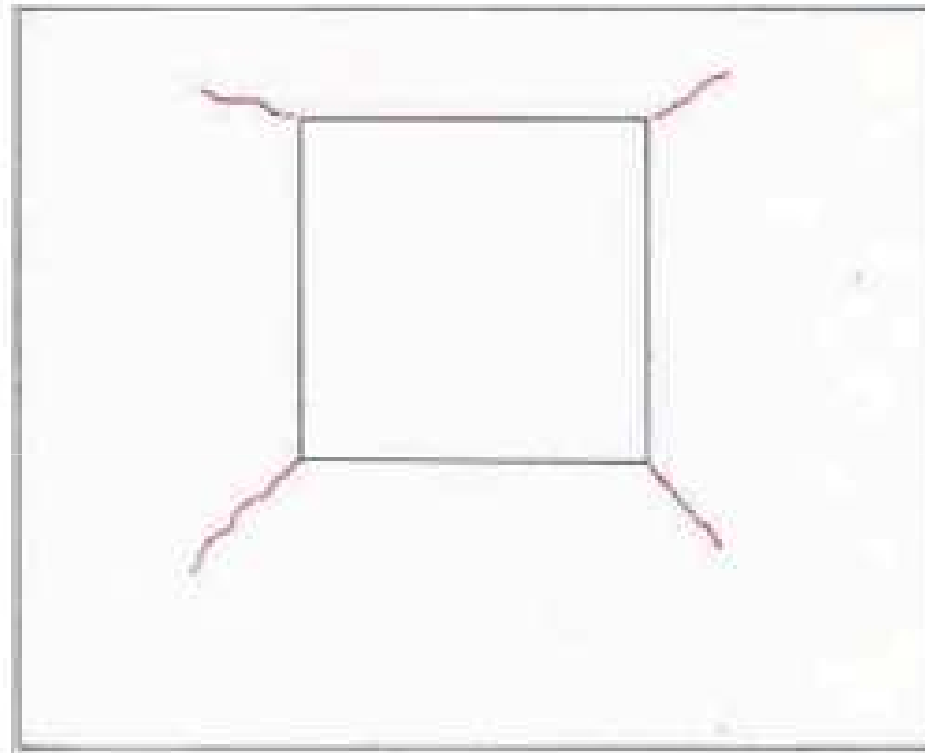
- adensamento do concreto inadequado;
- concreto muito fluido (slump elevado);



Causas prováveis:

- junta de concretagem (pilar concretado antes das vigas);
- topo do pilar com excesso de nata de cimento ou sujeira.

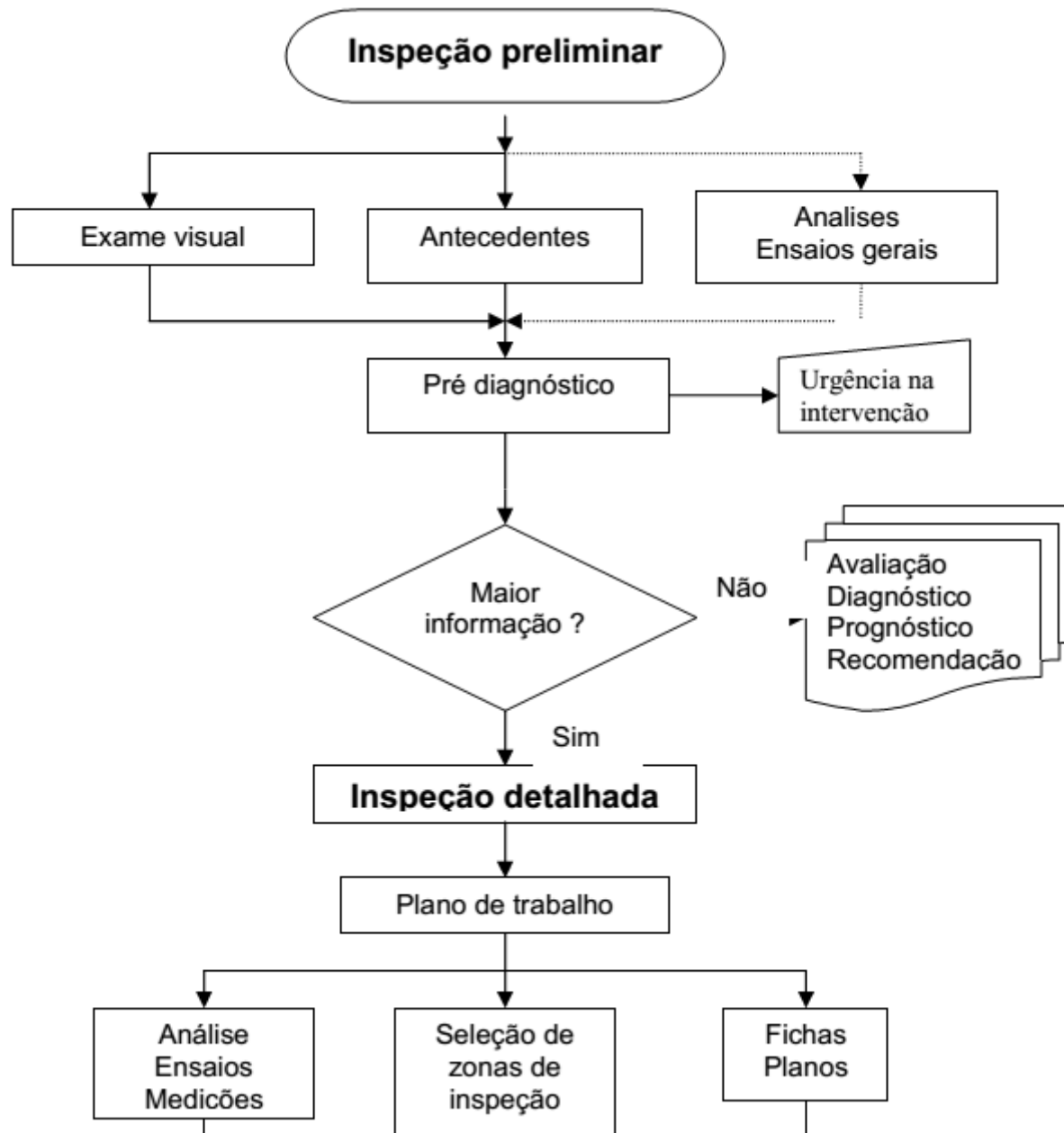
Fissuras: cantos de janelas

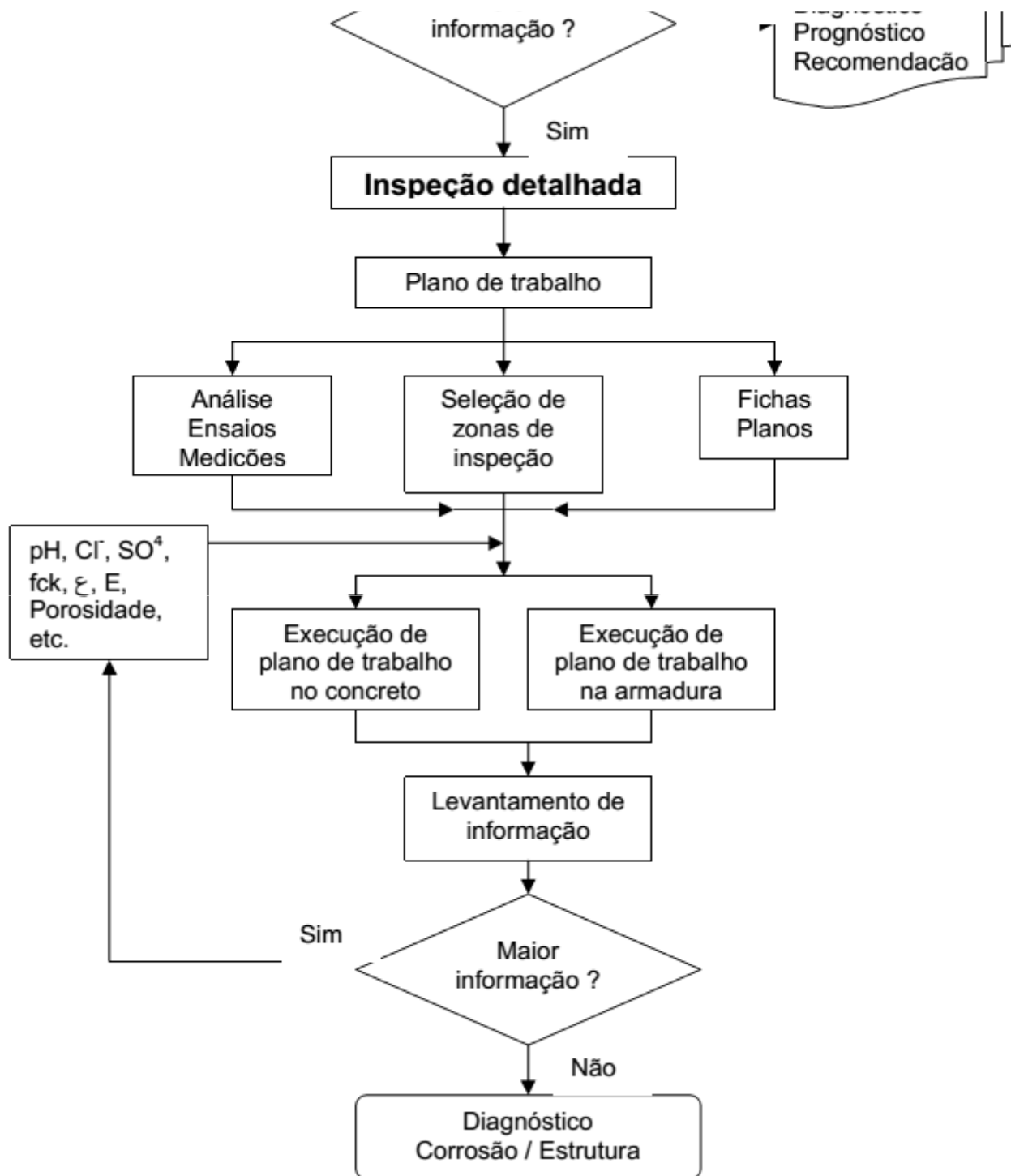


Causas prováveis:

- sobrecargas não previstas;
- vergas e contra-vergas inexistentes ou mal executadas.

Diagnóstico das Patologias





Inspeção detalhada

- Fichas, croquis e planos de levantamento de danos.
- Plano de amostras.
- Tabela de tipificação dos danos.
- Técnicas de ensaio / medição / análises adequadas.
- Regiões onde deverão ser realizados ensaios.
- Planificação de materiais e equipamentos.

Ensaaios a realizar.

- No Concreto
 - Resistividade
 - Esclerometria
 - Ultra-som
 - Profundidade de carbonatação
 - Concentração de cloretos
 - Resistência à compressão
 - Porosidade
- Armadura
 - Localização e espessura de recobrimento
 - Perda de diâmetro e seu limite elástico
 - Medição de potenciais
 - Medição da velocidade de corrosão.

Ensaio	Capacidade de detecção	Aplicação	Vantagens	Limitações
Medição de resistividade	Quantitativa	Presença de Cl ⁻	Permite pré selecionar áreas com potencialidade corrosiva. Medida rápida	Interpretação complexa dos resultados. Disponibilidade do equipamento. Concreto carbonatado.
Medição de potencial	Quantitativa	Qualquer estrutura	Permite pré selecionar áreas com potencialidade corrosiva. Medida rápida.	Interpretação complexa dos resultados.
Medição de velocidade de corrosão	Quantitativa	Qualquer estrutura	Permite avaliar a perda de seção da armadura.	Interpretação. Disponibilidade do equipamento e sua sofisticação.
Medição da resistência à compressão e volume de vazios	Quantitativa	Qualquer estrutura		Ensaio destrutivo dependendo do método
Profundidade de carbonatação	Quantitativa	Estrutura com qualidade do concreto baixa		Ensaio destrutivo
Perfil de cloretos	Quantitativa	Qualquer estrutura		Ensaio destrutivo. Interpretação complexa. Apoio estatístico

Profundidade de carbonatação

	Valores de pH													
Timolftaleína														
Fenolftaleína														
	←14	←13	←12	←11	←10	←9	←8	←7	←6	←5	←4	←3	←2	←1

Na tabela abaixo mostra os constituintes do concreto relacionados com o ensaio:

PH	Constituintes
Acima de 13	Alcalinidade cáustica ou hidróxica (OH^-) Carbonato alcalino ($\text{CO}_3^{=}$)
Entre 12 e 11	Nada de bicarbonato (HCO_3^-) Nada de dióxido de carbono (CO_2)
Entre 9 e 8	Presença de carbonato (CO_3^-) e bicarbonato (HCO_3^-) Nada de dióxido de carbono livre e alcalinidade cáustica
Entre 5,5 e 8	Presença de bicarbonato (HCO_3^-) e dióxido de carbono livre (CO_2) Nada de carbonato ($\text{CO}_3^{=}$)
Abaixo de 5,5	Ácidos minerais (H_2SO_4 , HCl , HNO_3)

Resistividade elétrica

- amostras extraídas para testes em laboratório ou “in loco”.
- função de variáveis como:
 - tipo de cimento,
 - adições orgânicas,
 - a relação água/cimento,
 - a porosidade da estrutura.

Grau de risco	Resistividade elétrica
Pouco risco	$\rho > 200 \text{ k}\Omega.\text{cm}$
Risco moderado	$200 > \rho > 10 \text{ k}\Omega.\text{cm}$
Alto risco	$\rho > 10 \text{ k}\Omega.\text{cm}$

Ultra-som

- ensaio não destrutivo tem o objetivo de verificar:
- a homogeneidade (qualidade e uniformidade) do concreto
- Detectar falhas internas (ninhos e vazios) profundidade de fissuras, etc.
- Monitorar as variações das propriedades do concreto.

Ultra-som

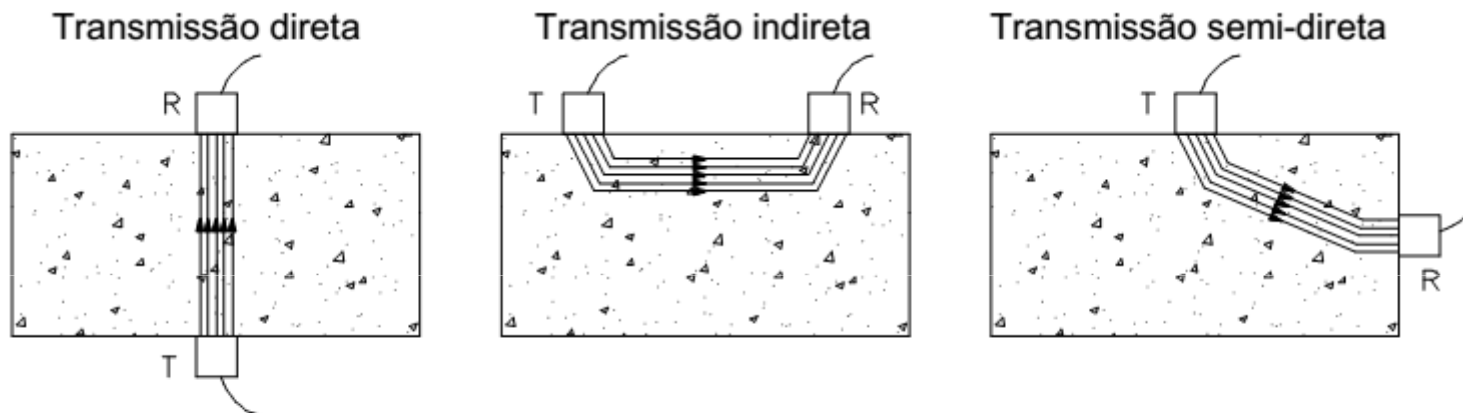
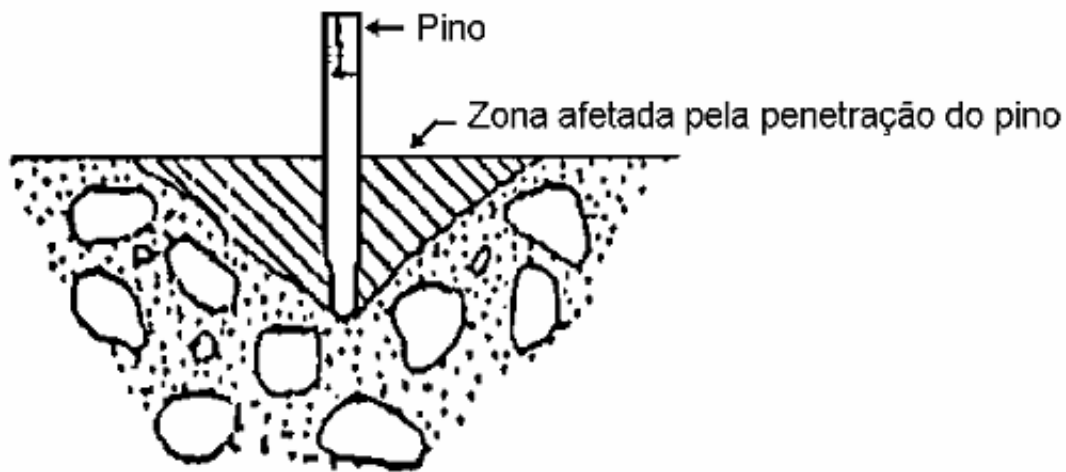


Figura 2.3 – Modos de transmissão segundo a NBR 8802 (1994).

- Transmissão direta, com transdutores em faces opostas;
- Transmissão indireta, com transdutores na mesma face;
- Transmissão semi-direta, com transdutores em faces adjacentes.

Métodos de determinação de resistência

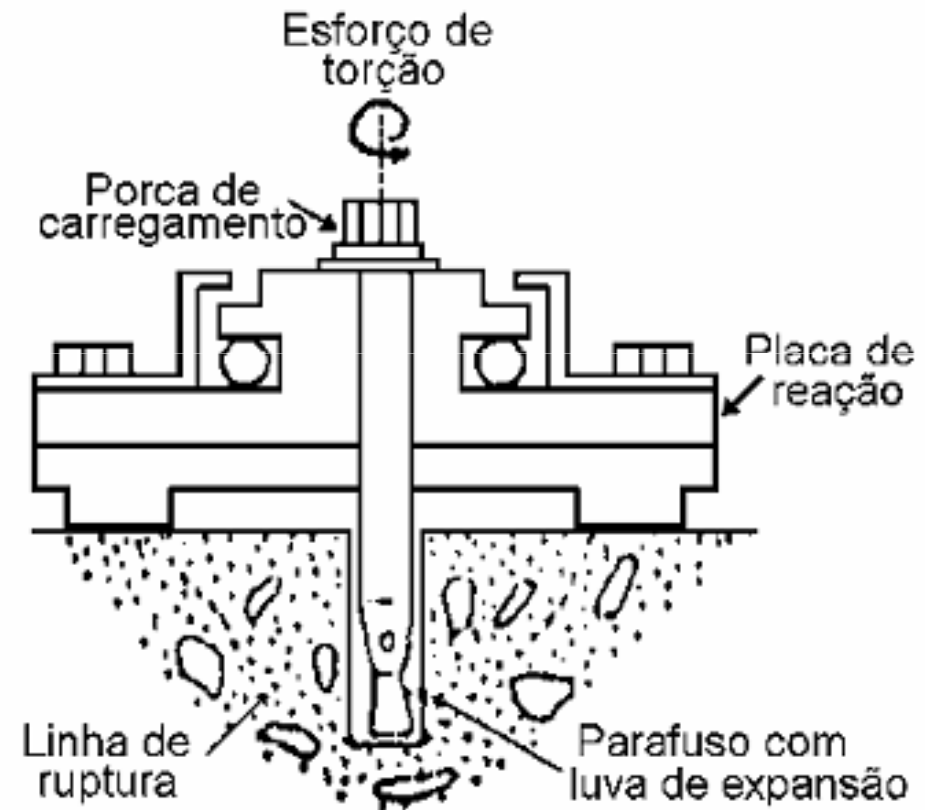
- Mecânica:
 - pistola finca-pinos (pistola de Windsor)
 - medir a profundidade em que um pino de aço padronizado consegue penetrar no concreto - ASTM C 803-82 (Penetration Resistance of Hardened Concrete).



Penetração do pino

Resistência do concreto ao arrancamento

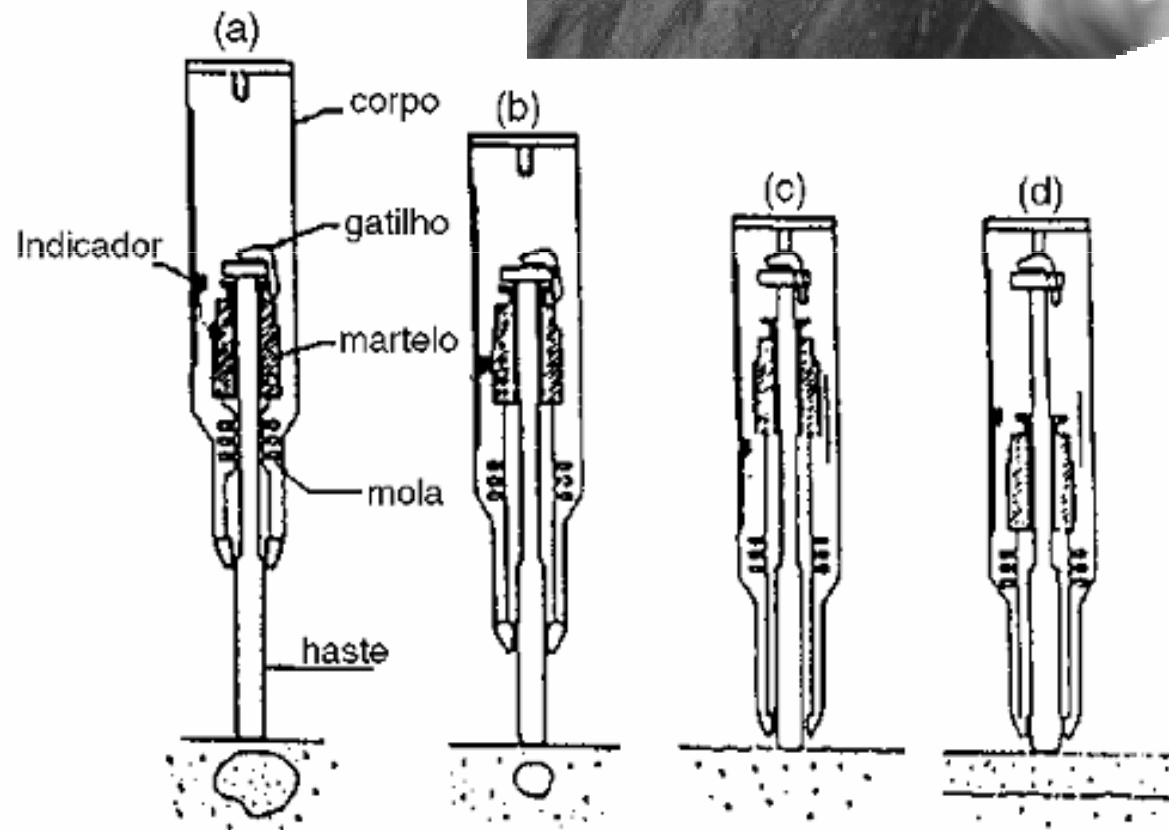
- utilizado um torquímetro para medir a carga necessária à extração de um parafuso com luva de expansão, que se dilata à medida que a carga é aplicada.



CAPO-TEST

Esclerometria

- correlação entre a resistência ao choque (dureza superficial) e a resistência à compressão do material,
- uma das técnicas mais difundidas em todo o mundo para a avaliação da homogeneidade do concreto - NBR 7584/82



Esclerômetro de Schimdt

Porosidade

- NBR 9779 - Determinação da absorção de água por capilaridade / Ascensão capilar

Para espessura de cobrimento de 30 mm em ambientes severos, recomendam-se concretos com absorção capilar $S \leq 3 \text{ mm} / \text{h}^{1/2}$ ($5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$).

Em meios menos severos pode ser até $6 \text{ mm/h}^{1/2}$ ($10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$) NBR 9779.

Se a espessura de cobrimento aumentar, a absorção capilar pode modificar-se proporcionalmente.

Porosidade

- NBR 9778 – Determinação da Absorção de Água por Imersão - Índice de Vazios e Massa Específica

$\leq 10\%$ indica um concreto de boa qualidade e compacidade.

de 10% a 15% indica um concreto de qualidade moderada.

$\geq 15\%$ indica um concreto de durabilidade inadequada.

Potencial de corrosão

- As medidas de potencial informam sobre a probabilidade de corrosão do aço. ASTM C 876

Condição do aço	Potencial Elétrico	Observações	Risco de dano
Estado passivo	+ 0,200 a – 0,200	Ausência de Cl ⁻ PH > 12,5 H ₂ O elevada	Desprezível
Corrosão localizada	- 0,200 a – 0,600	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O elevada	Alto
Corrosão uniforme	- 0,150 a – 0,600	Carbonatado O ₂ , H ₂ O elevado	Moderado a alto
	+ 0,200 a – 0,150	Carbonatado O ₂ , H ₂ O seco	Baixo
	- 0,400 a – 0,600	Cl ⁻ elevado Carbonatado ou H ₂ O elevada	Alto
Corrosão uniforme	< - 0,600	Cl ⁻ elevado H ₂ O elevada Sem O ₂	Desprezível

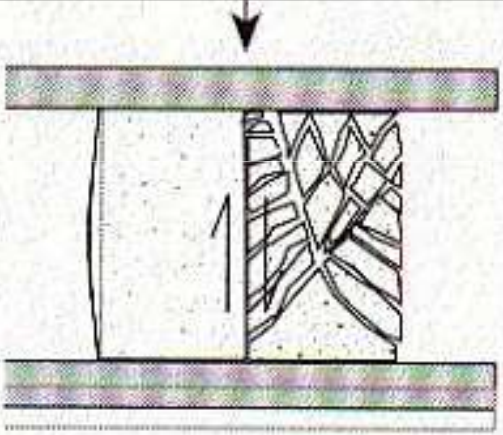
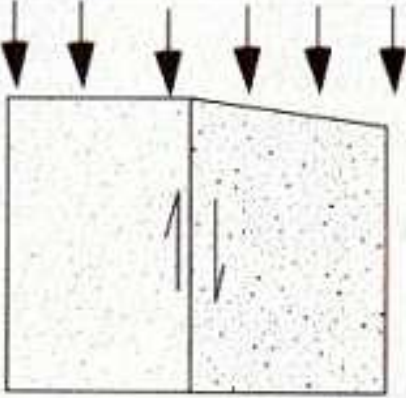
Materiais utilizados em reparos

Princípios para seleção de materiais

Exigências no suporte de cargas				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Aderência ao substrato		Perda de aderência, delaminação	Resistência de aderência. Tensão interna baixa	Elevada retração Módulo de elasticidade muito diferente da estrutura

Materiais utilizados em reparos

Princípios para seleção de materiais

Exigências no suporte de cargas				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Aplicação de cargas		Aplicação de carga antecipada	Equalizar o módulo de elasticidade do material de reparo e do concreto estrutural	Baixo ou alto módulo de elasticidade, comparado com o do concreto estrutural
		Deformação lenta do reparo	Material de reparo com baixa deformação lenta	Material com alta deformação lenta

Materiais utilizados em reparos

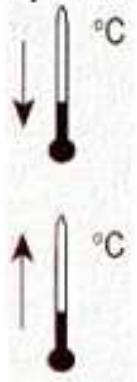
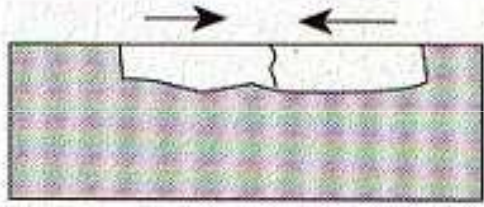
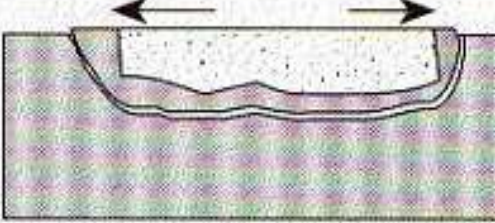
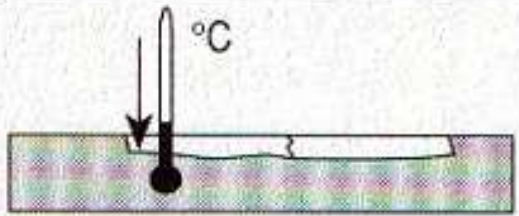
Princípios para seleção de materiais

Exigências no suporte de cargas			
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar
		<p>Retração de secagem do material de reparo, reduzindo sua capacidade de suportar cargas</p>	<p>Material de reparo com retração de secagem</p>
		<p>Material de reparo sem retração ou retração compensada</p>	

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

Materiais utilizados em reparos

Princípios para seleção de materiais

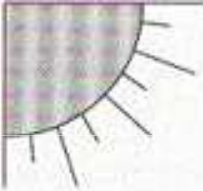
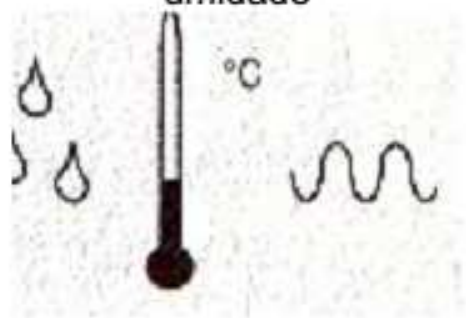
Propriedades de exposição em serviço				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Variação de temperatura 		Retração causando trinca no material de reparo	Material com coeficiente de expansão térmica diferente do substrato	
		Compressão do substrato, causando delaminação	Equalização do coeficiente de expansão térmica	Material com coeficiente de expansão térmica diferente do substrato
Mudança da temperatura do reparo durante a execução		Retração do reparo, causando trinca	Baixa exotermia durante a execução e cura	Alta isotermia durante a execução e cura

Propriedades de exposição em serviço

Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar
Mudança da temperatura do reparo durante a execução		Retração do reparo, causando trinca	Baixa exotermia durante a execução e cura
Gases atmosféricos	<p align="center">Condições de umidade</p> 	Corrosão do aço, desintegrando o concreto de proteção	Baixa permeabilidade do substrato, sem fissuras
Contato químico	<p align="center">Meio ambiente</p> 	Corrosão do aço	Baixa permeabilidade do substrato, sem fissuras
		Desintegração do concreto	Resistente a ataque químico

Materiais utilizados em reparos

Princípios para seleção de materiais

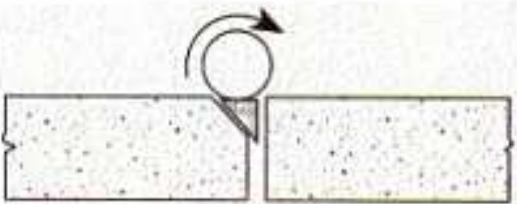
Propriedades de exposição em serviço				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Exposição ao ultra violeta do sol		Mudança das características do material de reparo	Elevada resistência ao U.V. do sol	Baixa resistência ao U.V. do sol
Condições climáticas	Variação de temperatura ou umidade 	Gelo e degelo Desintegração do concreto	Baixa permeabilidade	Elevada permeabilidade do material
		Expansão e retração, causando trincas	Baixa permeabilidade e expansão e retração por umidade	Elevada permeabilidade ou expansão e retração do material devido a umidade

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons


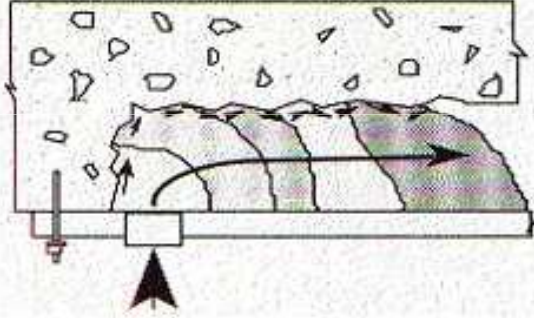
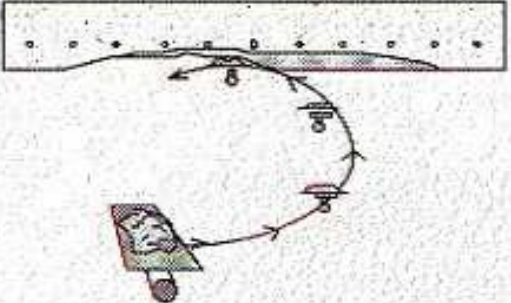
Propriedades de resistência às cargas externas			
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar
Movimento de líquidos	<p>Erosão do substrato</p> 	<p>Elevada</p> <p>∝ Densidade</p>	<p>Baixa</p> <p>∝ Densidade</p>
Movimento de líquidos e sólidos em suspensão	 <p>Erosão e abrasão do substrato</p>	<p>∝ Compressão</p> <p>∝ Tensão</p>	<p>∝ Compressão</p> <p>∝ Tensão</p>
Rodas de veículos	 <p>Abrasão – dano na superfície</p>	<p>Alta densidade e resistência à compressão e abrasão</p>	<p>Baixa densidade, resistência à compressão e à abrasão</p>

Materiais utilizados em reparos

Princípios para seleção de materiais


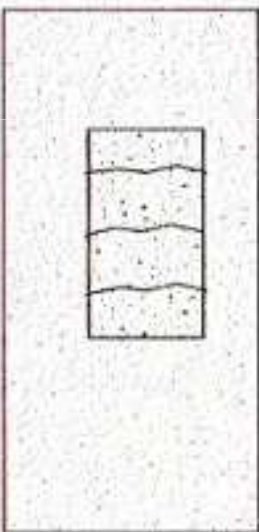
Propriedades de resistência às cargas externas				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Impacto		Bordas das juntas	Alta resistência à compressão, tração e aderência ao substrato	Baixa resistência à compressão e aderência
		Juntas	Alta resistência à tração e elevada coesão	Baixa resistência à tração
			Alta resistência à compressão	Baixa resistência à compressão
			Baixo módulo de elasticidade	Alto módulo de elasticidade
		Perda de aderência	Alta aderência e ancoragem ao substrato	Baixa aderência

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

Metodologia de execução e aparência			
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar
Execução	Tempo de execução 	Rápido ganho de resistência	Demorado ganho de resistência
	Fluidez 	Elevado abatimento	Baixo abatimento
	Tixotropia 	Elevada coesão interna, tixotropia e aderência	Baixa coesão interna, tixotropia e aderência
	Facilidade de execução "Lei de Murphy"	Formulação simples	Complexas formulações de difícil execução

Materiais utilizados em reparos

Princípios para seleção de materiais

Meta - Requisitos de desempenho	Resultados se o material errado é selecionado		Exigências de desempenho	Evitar
Aparência 		Trincas na superfície devido à retração de secagem	Baixa retração, flexibilidade.	Alta retração de secagem
		Trincas na superfície devido à retração plástica	Baixa isotermitia	Elevada isotermitia
			Perda de água durante a execução	Elevada perda de água durante a execução

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

Materiais utilizados em reparos

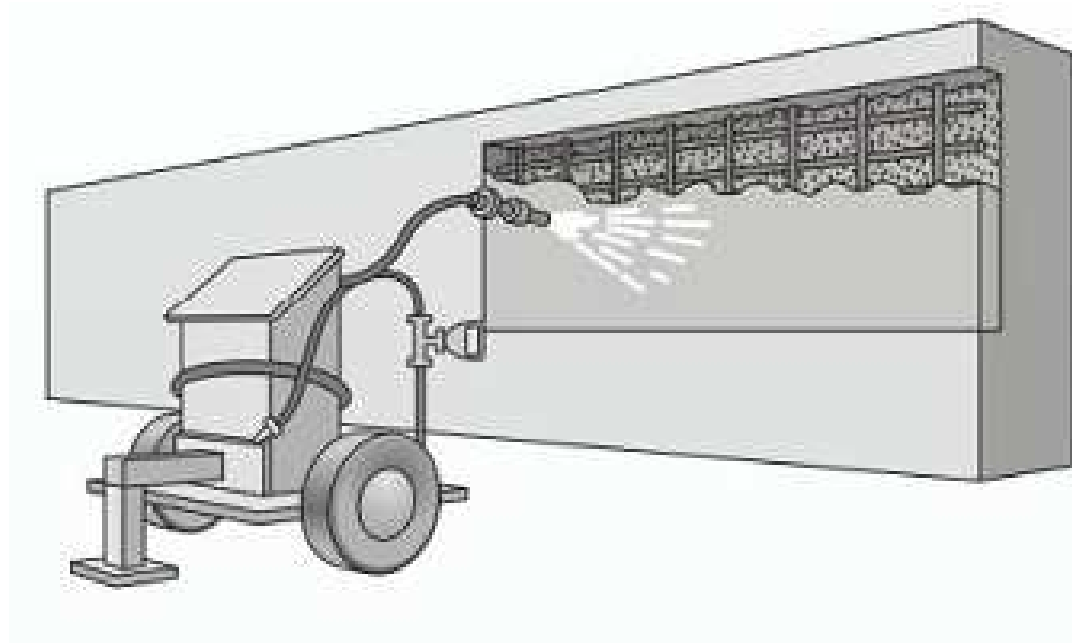
- **Concreto moldado**
- tradicional material utilizado para reparação estrutural.
- procura-se utilizar o concreto em reparos de maiores dimensões.
- propriedades e características mais adequadas:
 - impermeabilidade,
 - Resistência,
 - minimizar retração,
 - aumento da resistência química, etc.

Materiais utilizados em reparos

- Concreto moldado
- As principais modificações introduzidas são:
 - Utilização de **cimentos especiais ou compostos**, como o CII-Z (com pozolana), CIIV (cimento pozolânico), CPIV (alta resistência inicial), CPI-S (resistente a sulfatos), etc.
 - CAD – Concreto de Alto Desempenho – Concreto com elevada resistência, com adição de aditivos superplastificantes, sílica ativa, etc., podendo também ser incorporados escória, fibras metálicas ou sintética,, etc.
 - Aditivos inibidores de corrosão, como nitrito de sódio ou cálcio, éster aminas, benzoato de sódio, molibdato de sódio, etc.
- São normalmente utilizados em reparos profundos

Materiais utilizados em reparos

- Concreto projetado
- Concreto tem sido utilizado há bastante tempo para reparos, como também em obras convencionais de revestimento de túneis, minas, muros de contenção, etc.



Materiais utilizados em reparos

- **Concreto projetado**
- O concreto projetado apresenta as seguintes características principais:
 - Dispensa formas nas aplicações verticais ou sobrecabeça
 - Melhor aderência, causada pelo pela grande energia de impacto com o substrato
 - Maior compacidade e conseqüentemente impermeabilidade

Materiais utilizados em reparos

- Concreto projetado

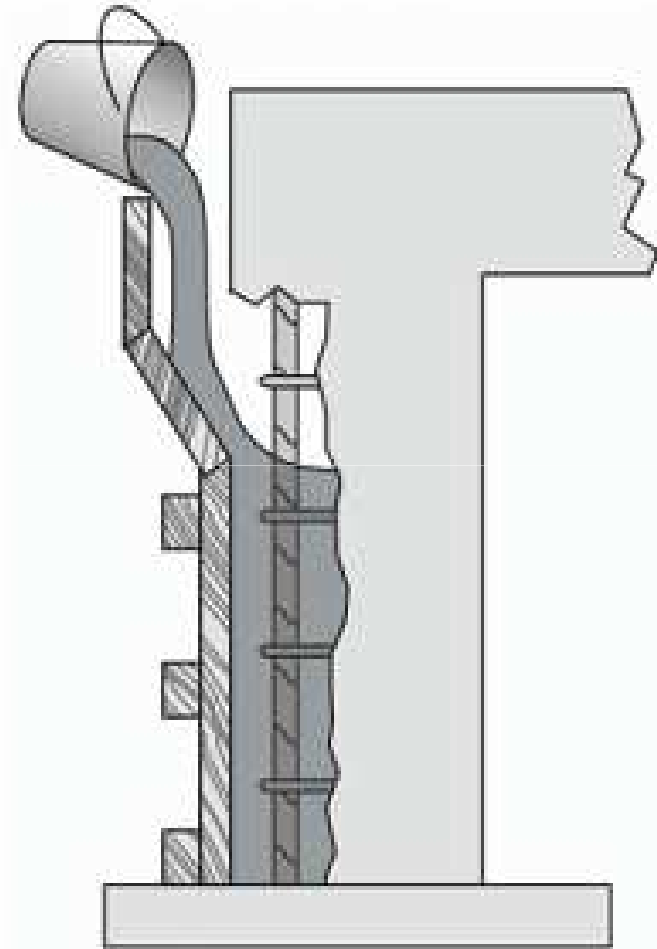


Materiais utilizados em reparos



Materiais utilizados em reparos

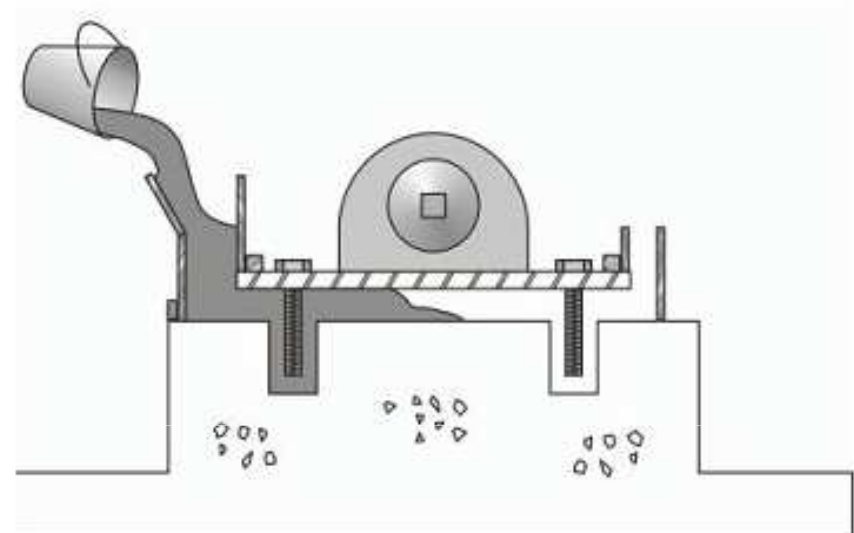
- **Grautes**
- são argamassas industrializadas:
 - a elevada fluidez,
 - baixa permeabilidade,
 - ausência de retração (retração compensada)
 - elevadas resistências iniciais e finais.
- São utilizados em muitas aplicações, como reparos estruturais, chumbamento de equipamentos, ancoragem de tirantes, etc.



Grauteamento de um pilar

Materiais utilizados em reparos

- Grautes
- industrializados com aglomerantes de base mineral (cimento Portland, cimento aluminoso) ou sintético (resinas epóxi), com agregados de quartzo ou metálico,
- superplastificantes, compensadores de retração, podendo ou não conter microssílica.
- Podem atingir elevada resistência inicial (10 a 20 Mpa em 2 horas)
- reparos médios ou profundos.



Grauteamento de um equipamento

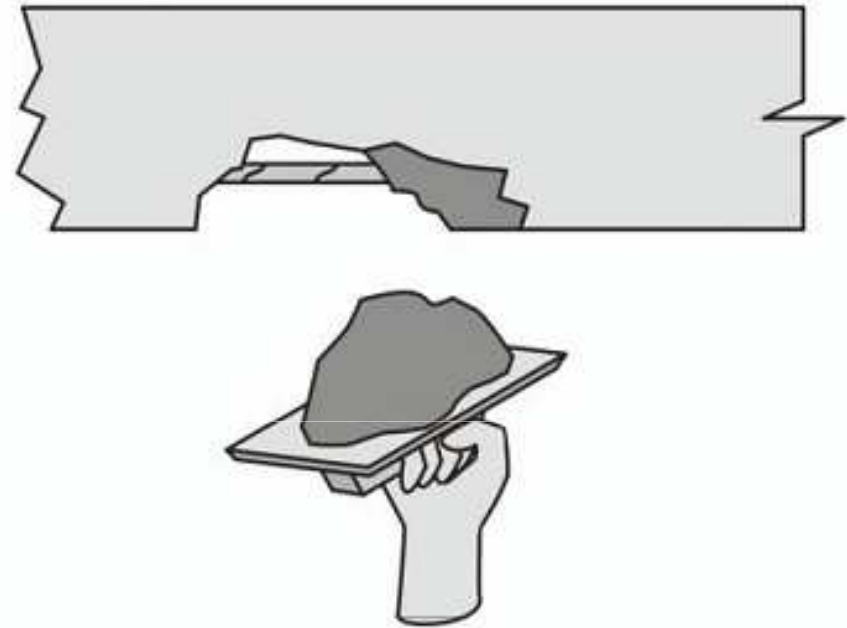
Materiais utilizados em reparos

- graute



Materiais utilizados em reparos

- Revestimento
 - Base cimento –São argamassas à base de cimento Portland, em composição contendo:
 - quartzo de granulometria apropriada,
 - polímeros em pó ou líquido.
 - adições de microssílica,
 - fibras sintéticas ou metálicas.



Aplicação de argamassa polimérica tixotrópica

Materiais utilizados em reparos

RESINAS epóxi: **Aplicações na construção civil**

Argamassas de polímeros (sem cimento Portland):

Argamassas de polímeros como aglomerantes, com ou sem agregados.

Materiais de alto custo e uso limitado.

Situações que necessitam de:

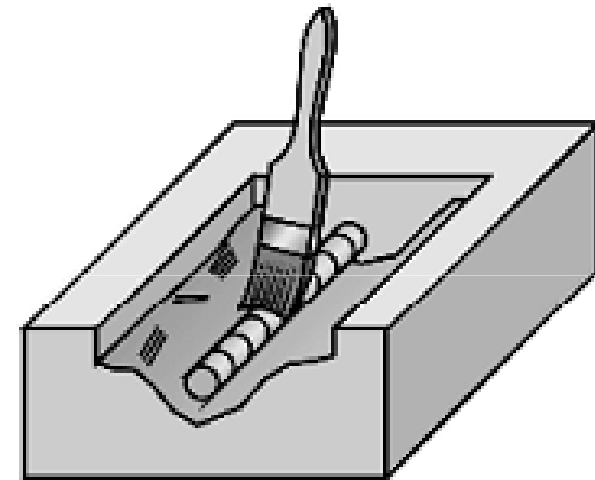
- Alta resistência mecânica (até 80 MPa em horas)
- Alta aderência (aço, concretos antigos, fibras de carbono)
- Alta resistência química (ambientes agressivos)



Colagem de peças pré-moldadas com argamassa epóxi tixotrópica

Materiais utilizados em reparos

- Inibidores de corrosão
 - Primer anticorrosivo
 - Epóxi com zinco:
 - é mais eletronegativa que o aço, formando uma proteção catódica atuando como ânodo de sacrifício.
 - não se expande no processo de oxidação.
 - Cimentos poliméricos aditivados
 - base cimento, polímeros e aditivos inibidores de corrosão, (nitrito de cálcio, éster aminas)
 - recompõe a capa passivadora alcalina e inibem a continuidade da corrosão.



Aplicação de primer anticorrosivo

Materiais utilizados em reparos

RESINAS epóxi: Aplicações na construção civil

Pintura epóxi para proteção de armaduras:

Corrosão do aço é principal patologia em estruturas de C.A.
Proteção do aço em ambientes agressivos com película epóxi.

Impermeabiliza e isola eletricamente as armaduras.

Vergalhões jateados, pintados e depois aquecidos para polimerização.



Armaduras pintadas com epóxi

Materiais utilizados em reparos

- Injeções em trincas e fissuras
 - utilizada para obturar e preencher vazios, para “colar” ou solidarizar as trincas e fissuras, para impermeabilizar ou vedar infiltrações:
 - Epóxi
 - Poliuretano e metacrilatos hidro-reativos
 - Cimento

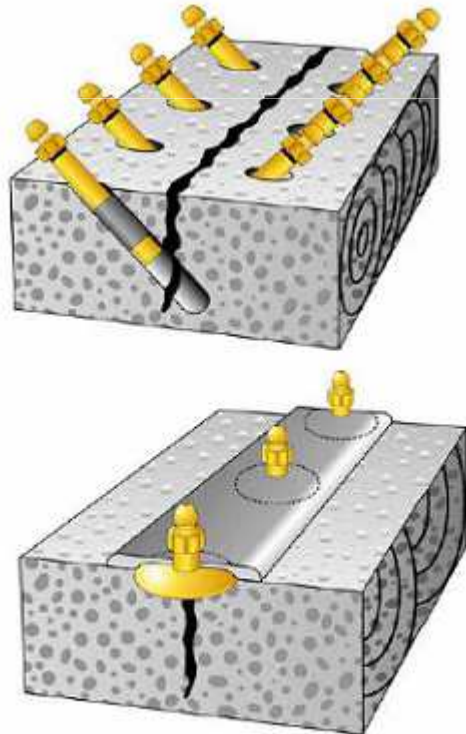
Materiais utilizados em reparos

RESINAS epóxi: **Aplicações na construção civil**

Injeção de cola epóxi em trincas:

Finalidade estrutural – deixar a estrutura monolítica

bicos de injeção



(Granato- BASF)



(Granato- BASF)

Materiais utilizados em reparos

Injeção de cola epóxi em trincas:

Finalidade estrutural – deixar a estrutura monolítica



Aspecto das fissuras já seladas.



Materiais utilizados em reparos

- Injeções em trincas e fissuras
 - Poliuretano e metacrilatos hidro-reativos:
 - A resina reage com água, expandindo-se e obturando os pontos de infiltrações

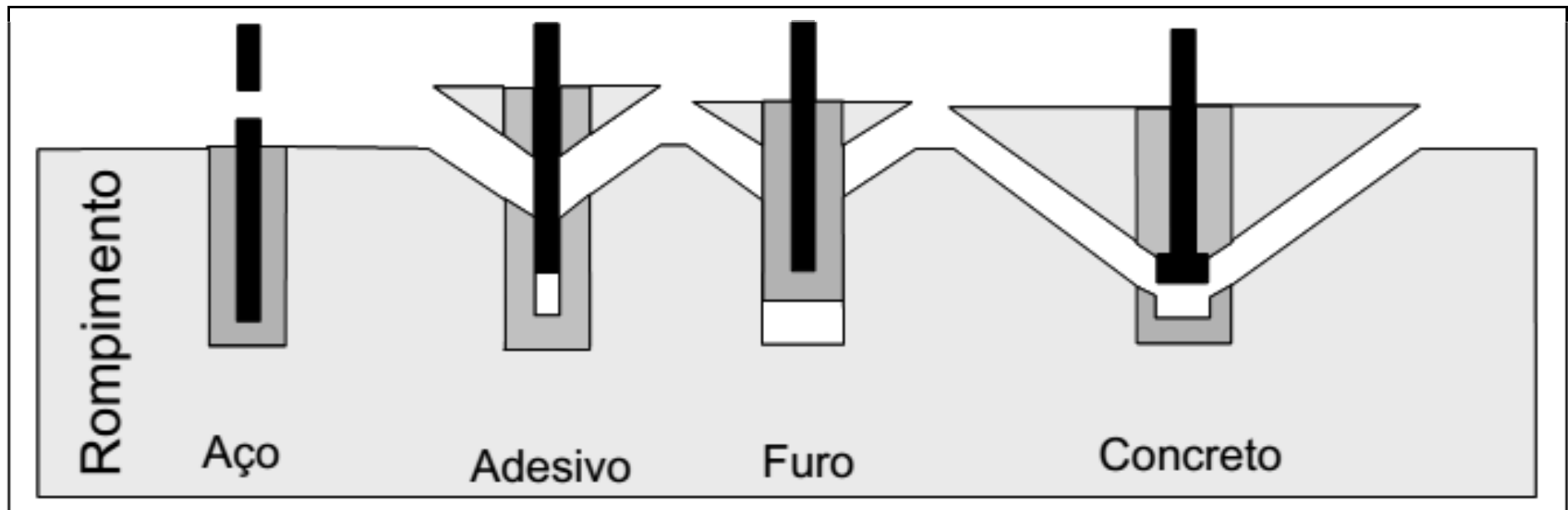
Materiais utilizados em reparos

- Injeções em trincas e fissuras
 - A injeção de calda de cimento é usado:
 - em trincas de abertura acima de 1 mm,
 - em solos,
 - muros de arrimo,
 - Barragens,
 - túneis, etc.,
 - utilização de calda de cimento aditivada com plastificantes ou superplastificantes, como também com microssílica.



Materiais utilizados em reparos

- Adesivos
 - resinas epóxi (fluidas, em pasta ou gel)
 - Resinas acrílicas
 - puras ou em calda de cimento.



Materiais utilizados em reparos

RESINAS epóxi: **Aplicações na construção civil**

Chumbadores químicos:

Fixa armaduras em orifícios feitos em concreto endurecido.

Alta aderência.

Grande resistência mecânica.

Endurecimento em minutos.



**CHUMBADOR QUÍMICO P/
FIXAÇÃO DE VERGALHÕES
EM CONCRETO**

**Epoxiacrilato Bicomponente
Solvente + metilmetacrilato**

Materiais utilizados em reparos

RESINAS epóxi: **Aplicações na construção civil**

Ancoragem de armaduras com cola epóxi:



**Fixação das
armaduras de
espera no concreto**

Materiais utilizados em reparos

- Proteção de superfície

- protege o substrato contra a penetração de água e agentes agressivos

- acabamento estético ao substrato.

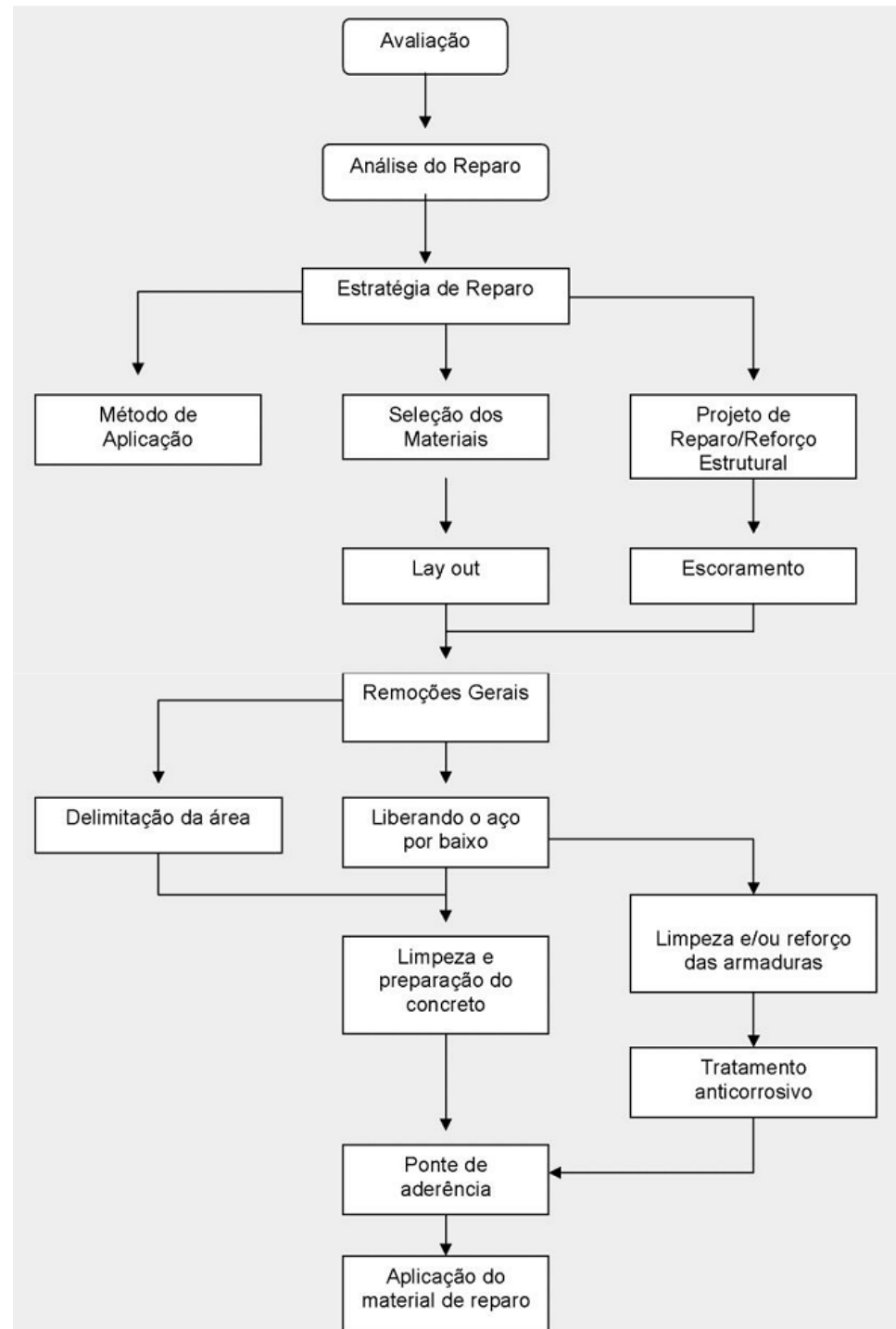
- Normalmente são utilizados os seguintes materiais:

- Hidrofugantes ou hidrorrepelentes

- Vernizes

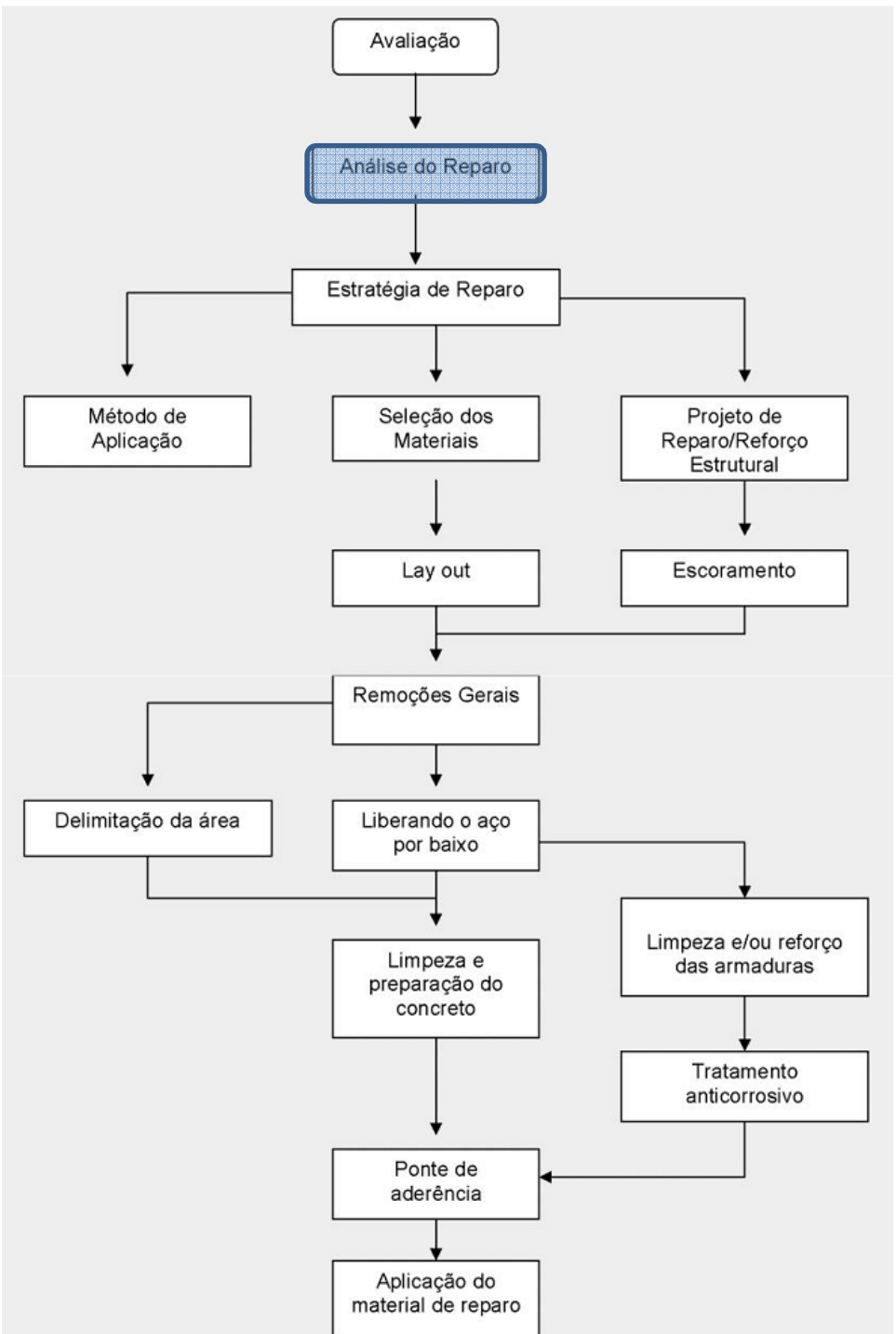
- Pinturas

Procedimentos de reparos estruturais

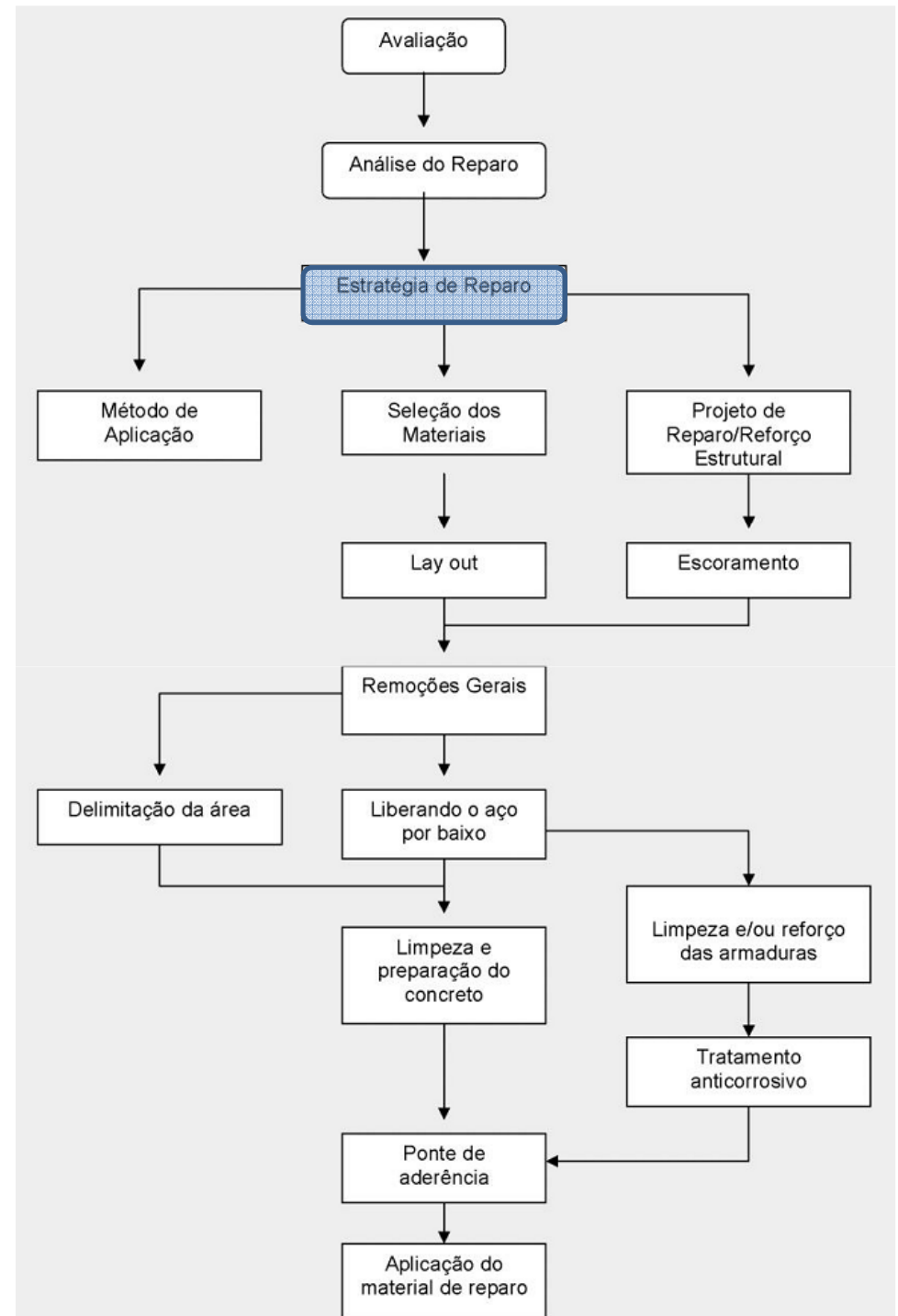


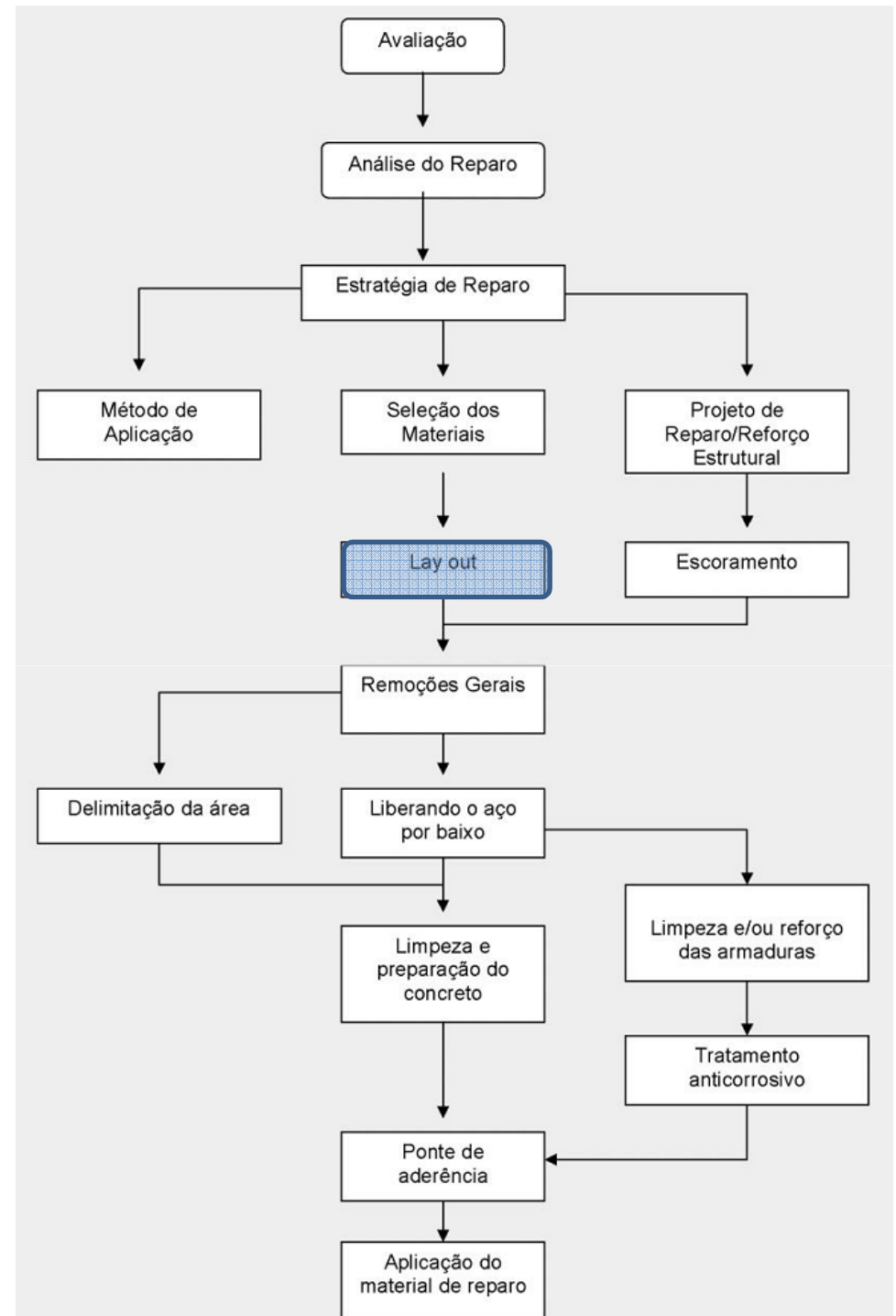
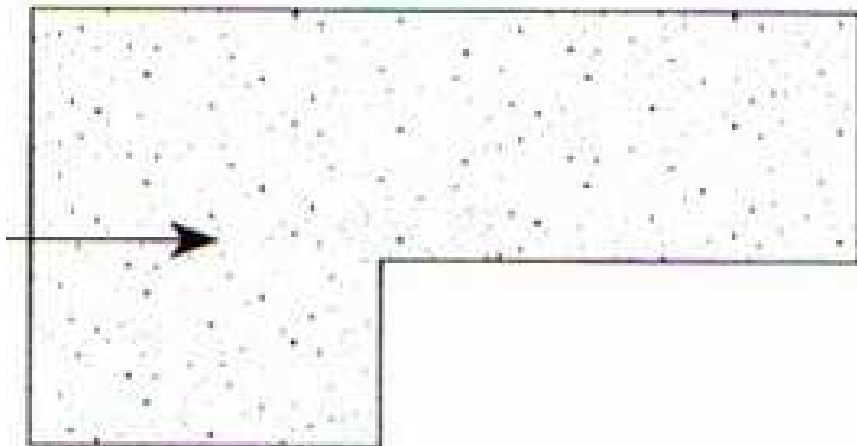
- Vida útil
- Urgência
- Custo
- Requisitos de desempenho
- Estética

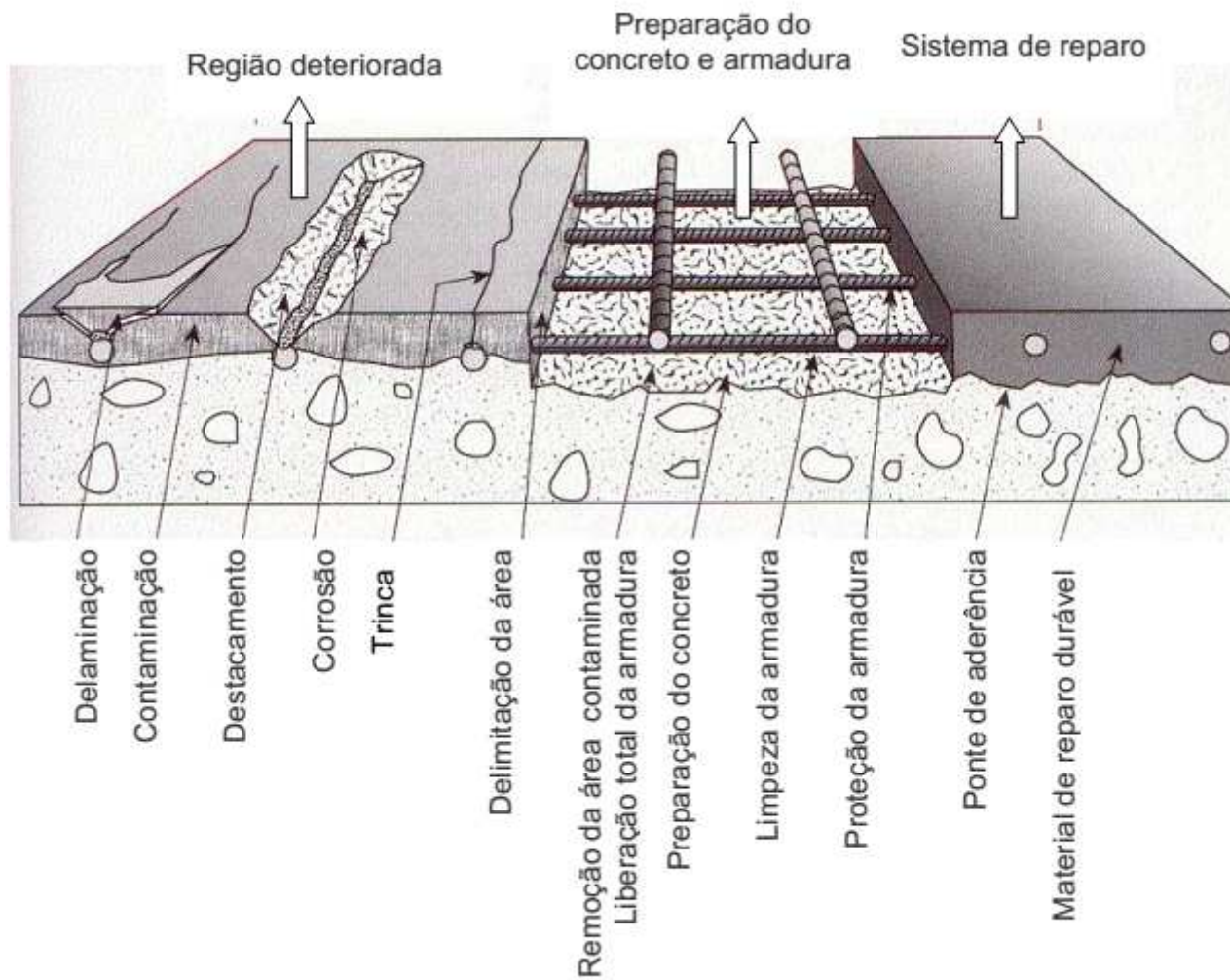
- Necessidade estrutural
- Efeito do reparo na estrutura
- Possibilidade de execução
- Segurança
- Meio ambiente



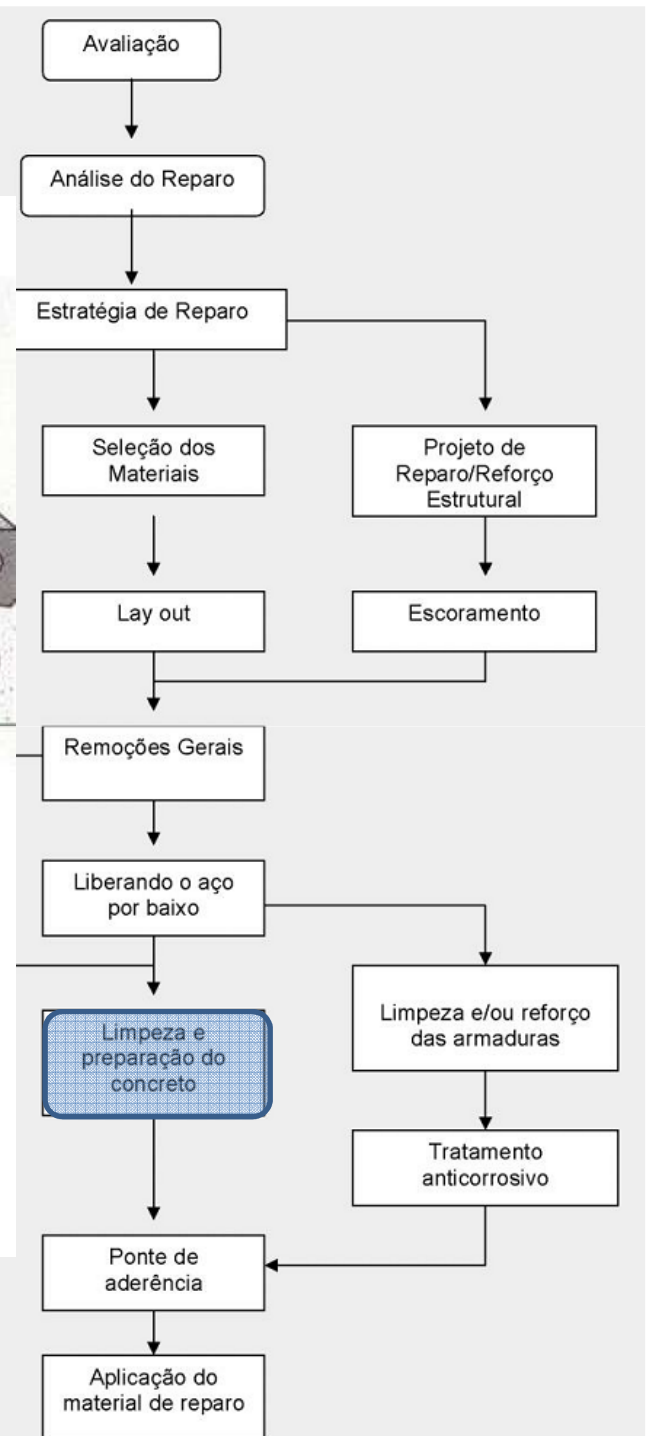
- Tratamento superficial;
- Tratamento médio e profundo;
- Tratamento de trincas e fissuras;

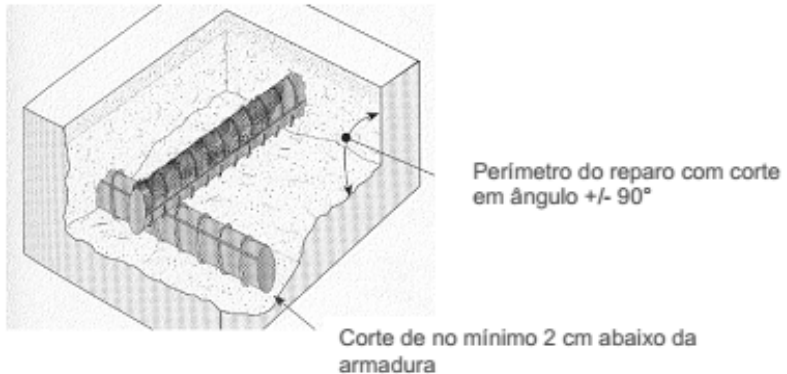
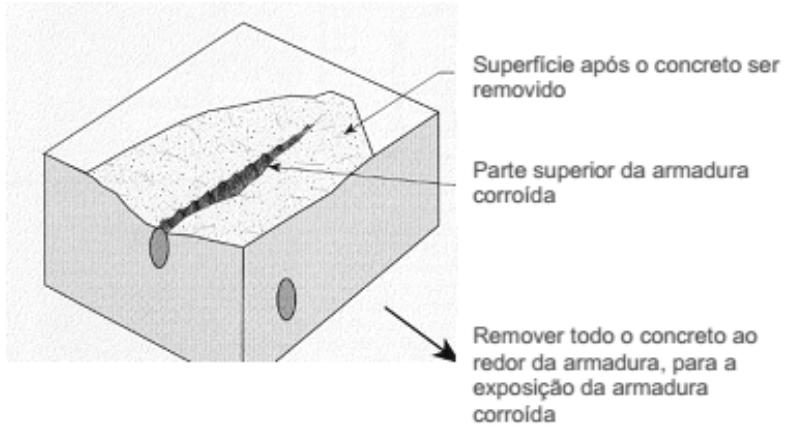




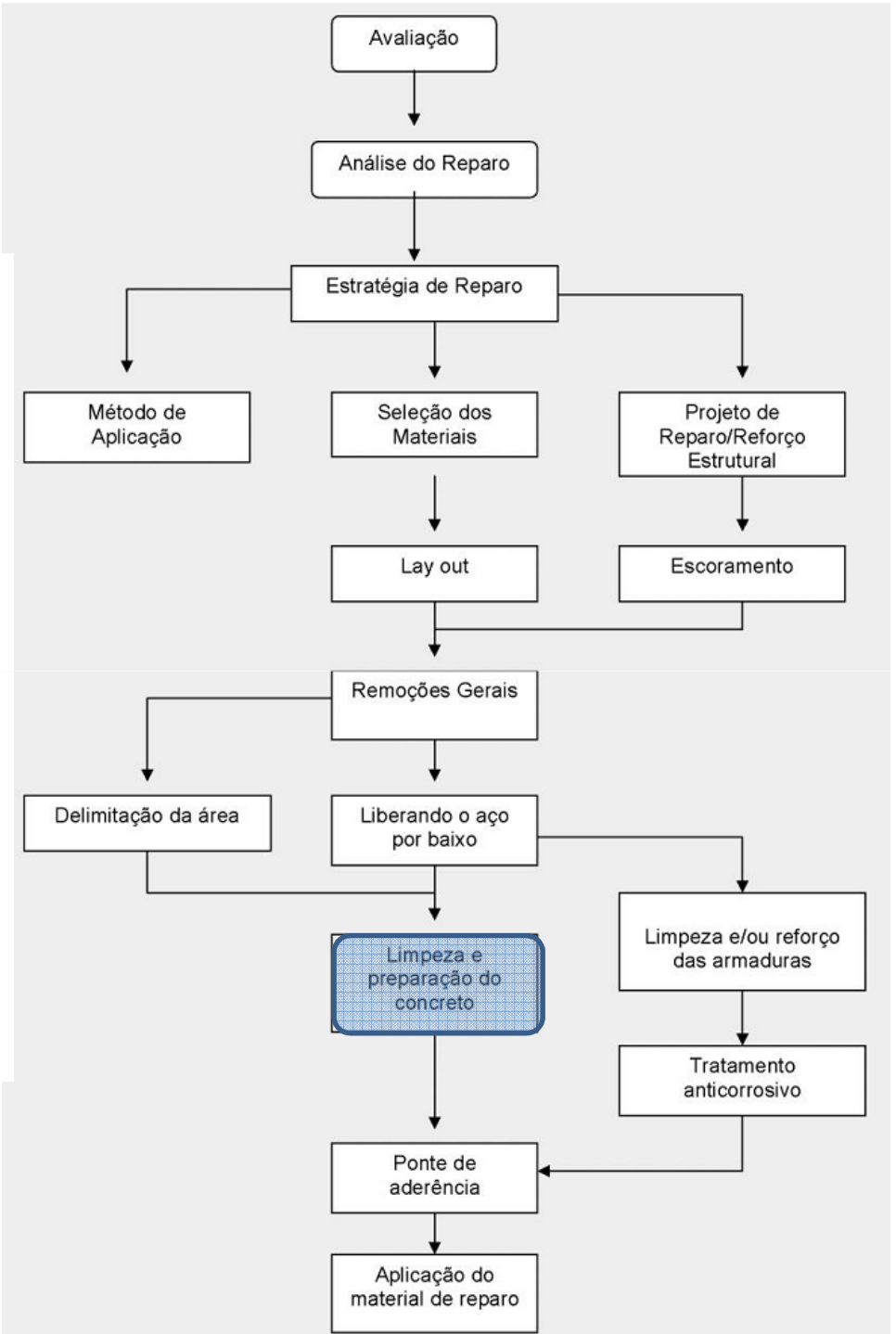


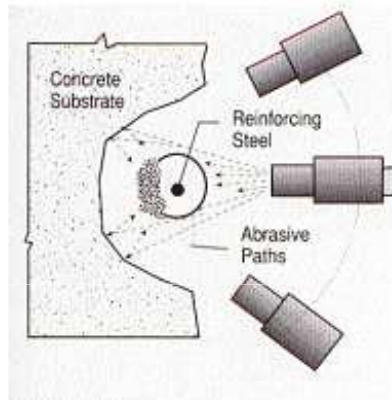
Peter H. Emmons



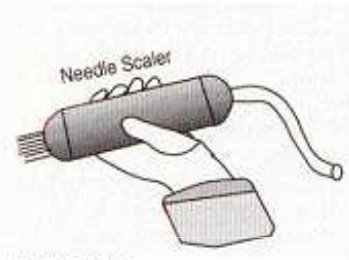


Peter H. Emmons

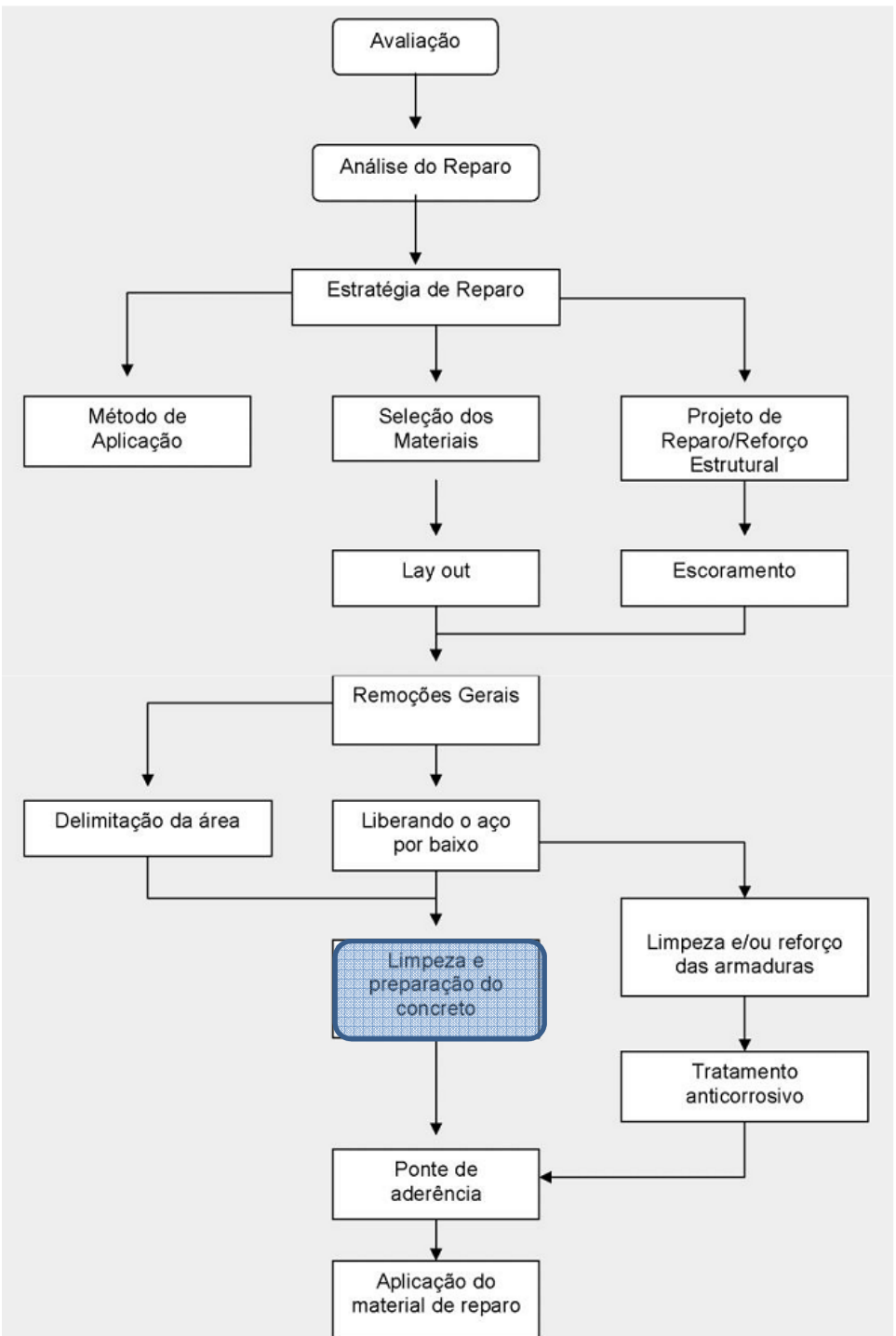


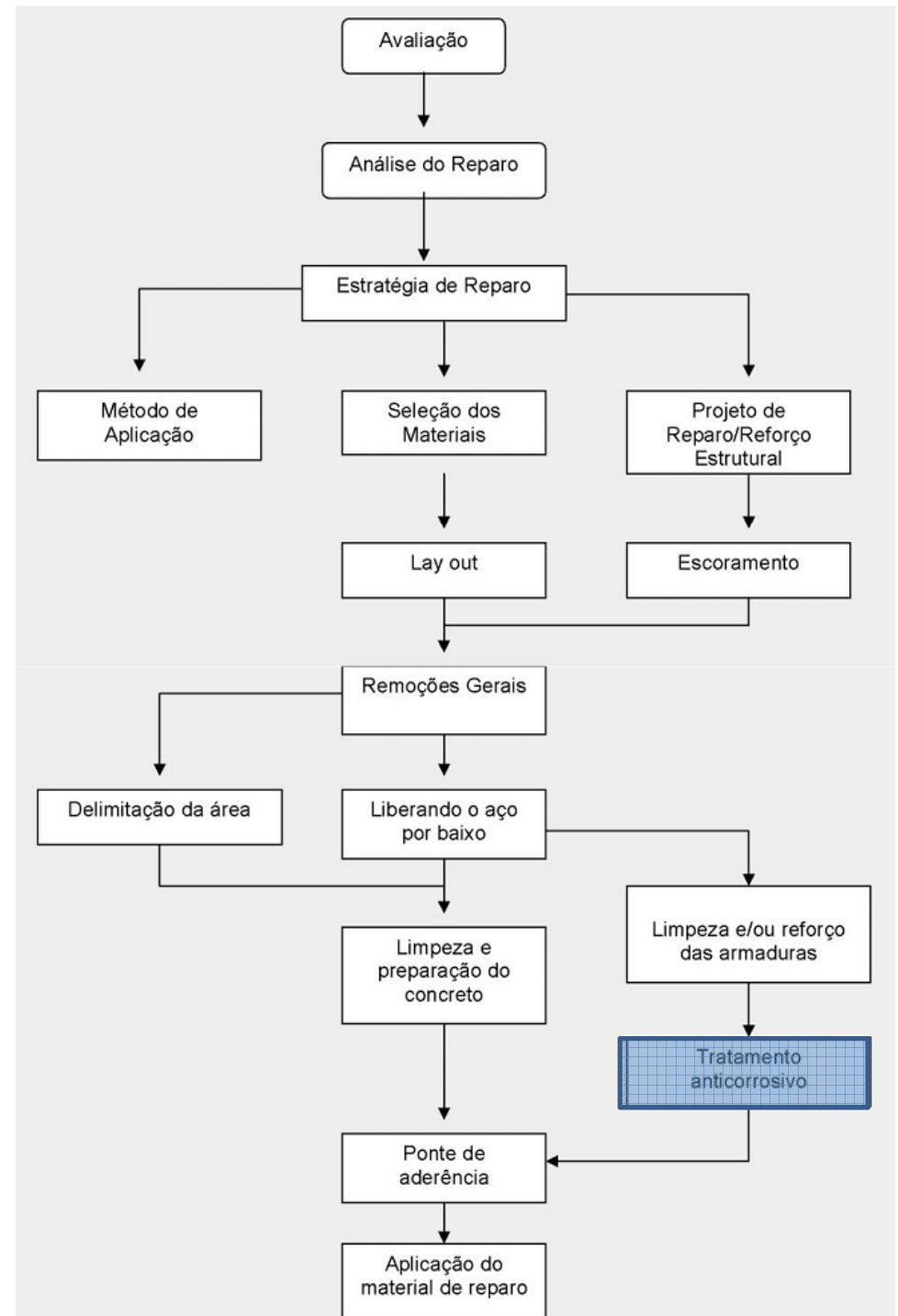
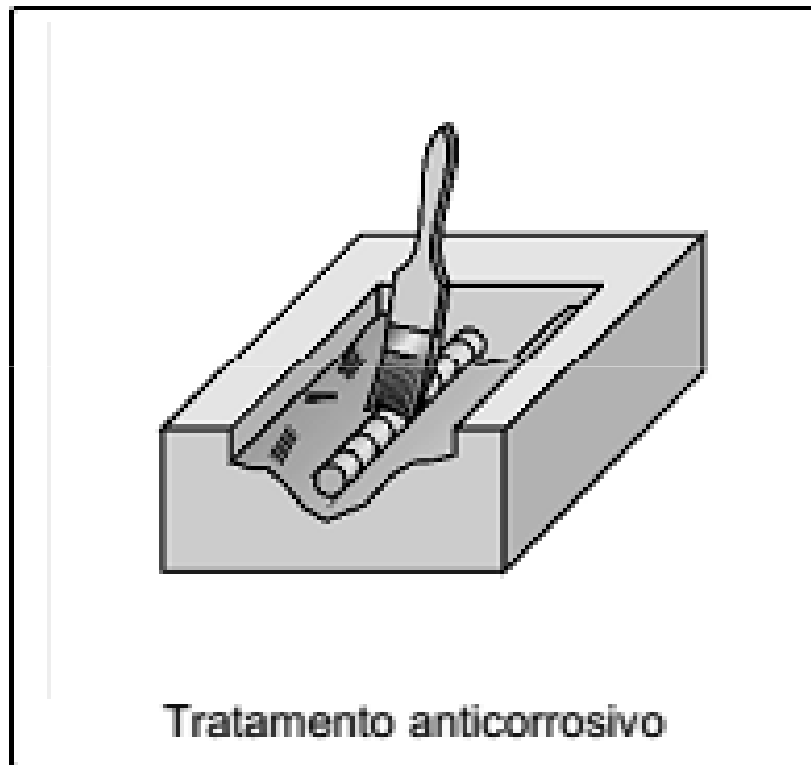


Jato de areia

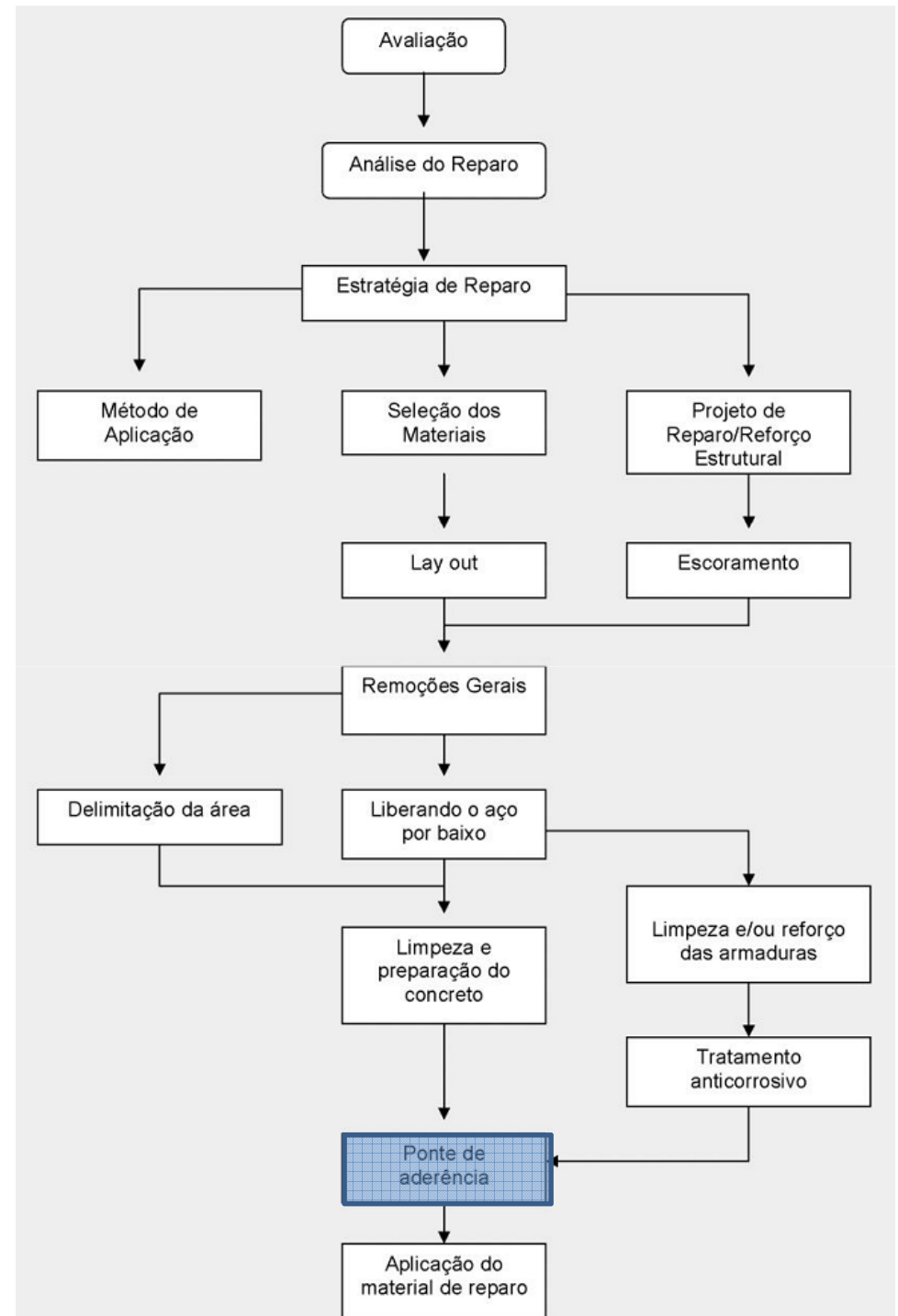


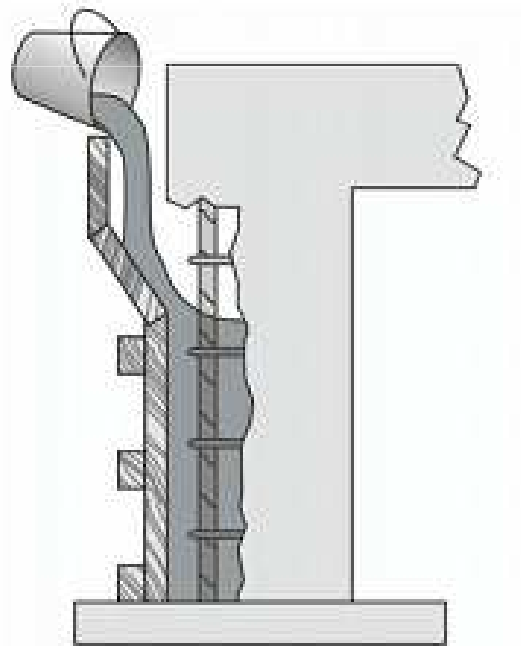
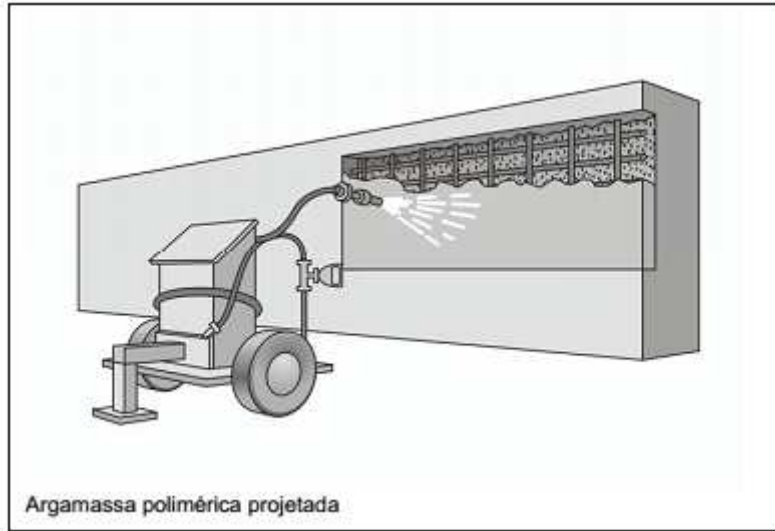
Agulhadeira



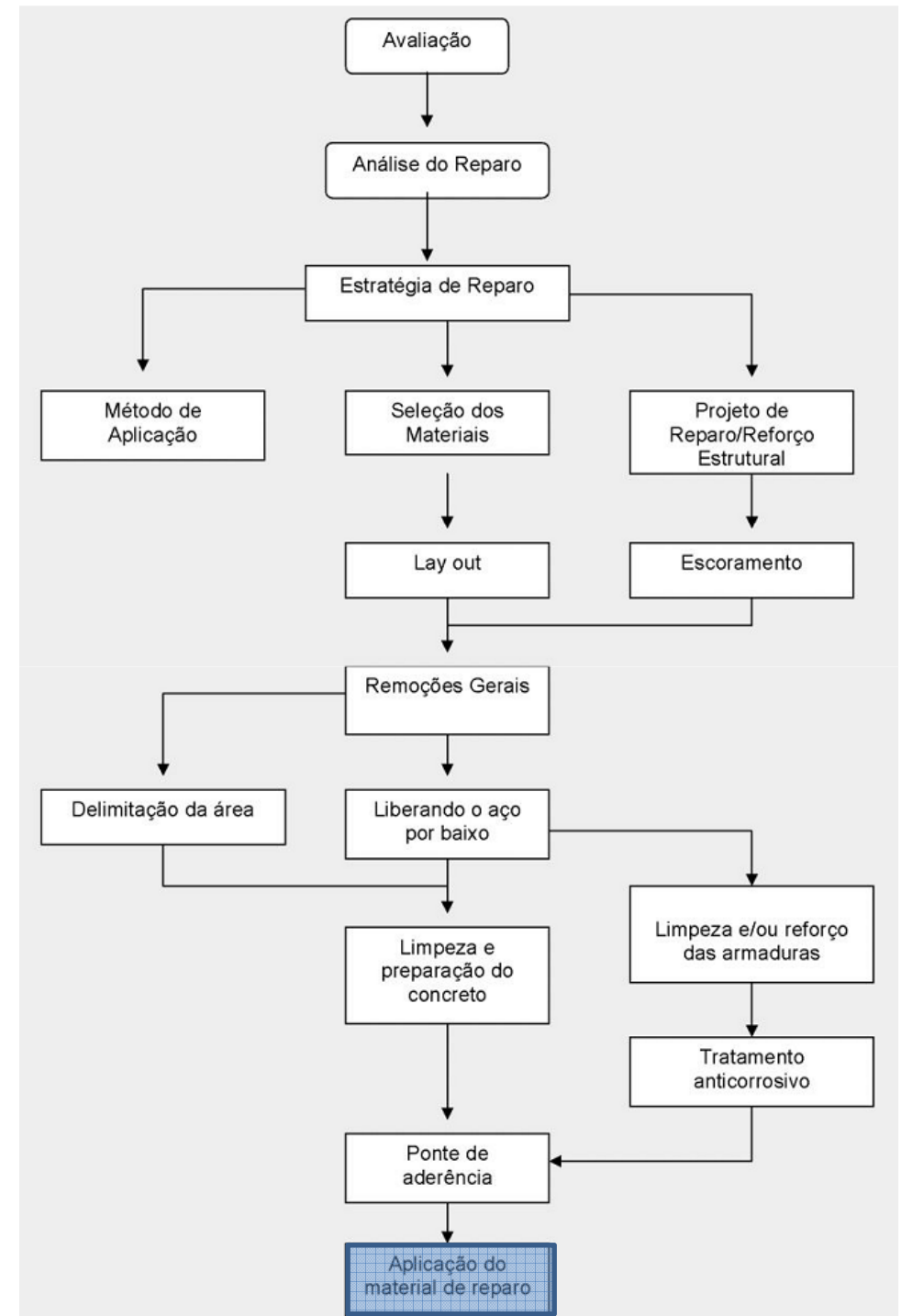


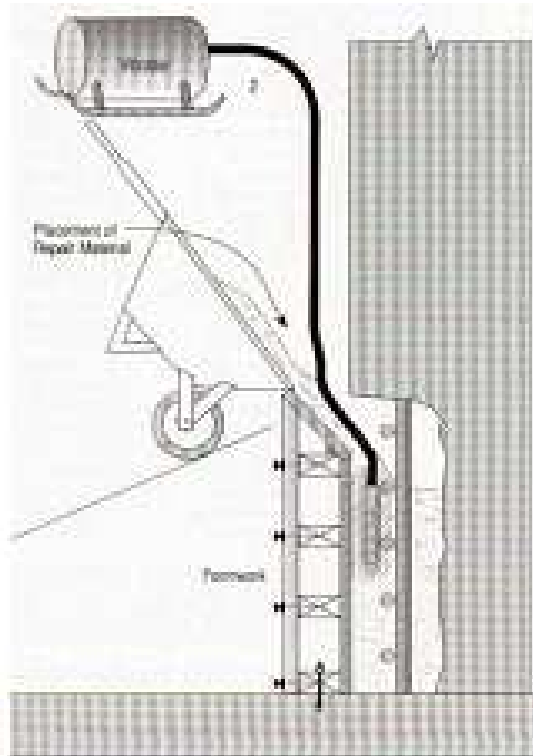
- preparação da área para receber a argamassa de reparo.
 - ponte de aderência resina epóxi, o substrato deve estar seco.
 - ponte de aderência látex acrílico, aplicado puro ou em mistura com cimento:
 - (3 partes de cimento – 1 parte de água – 1 parte de resina acrílica), o substrato deve ser primeiramente hidratado com água.
 - não encharcar



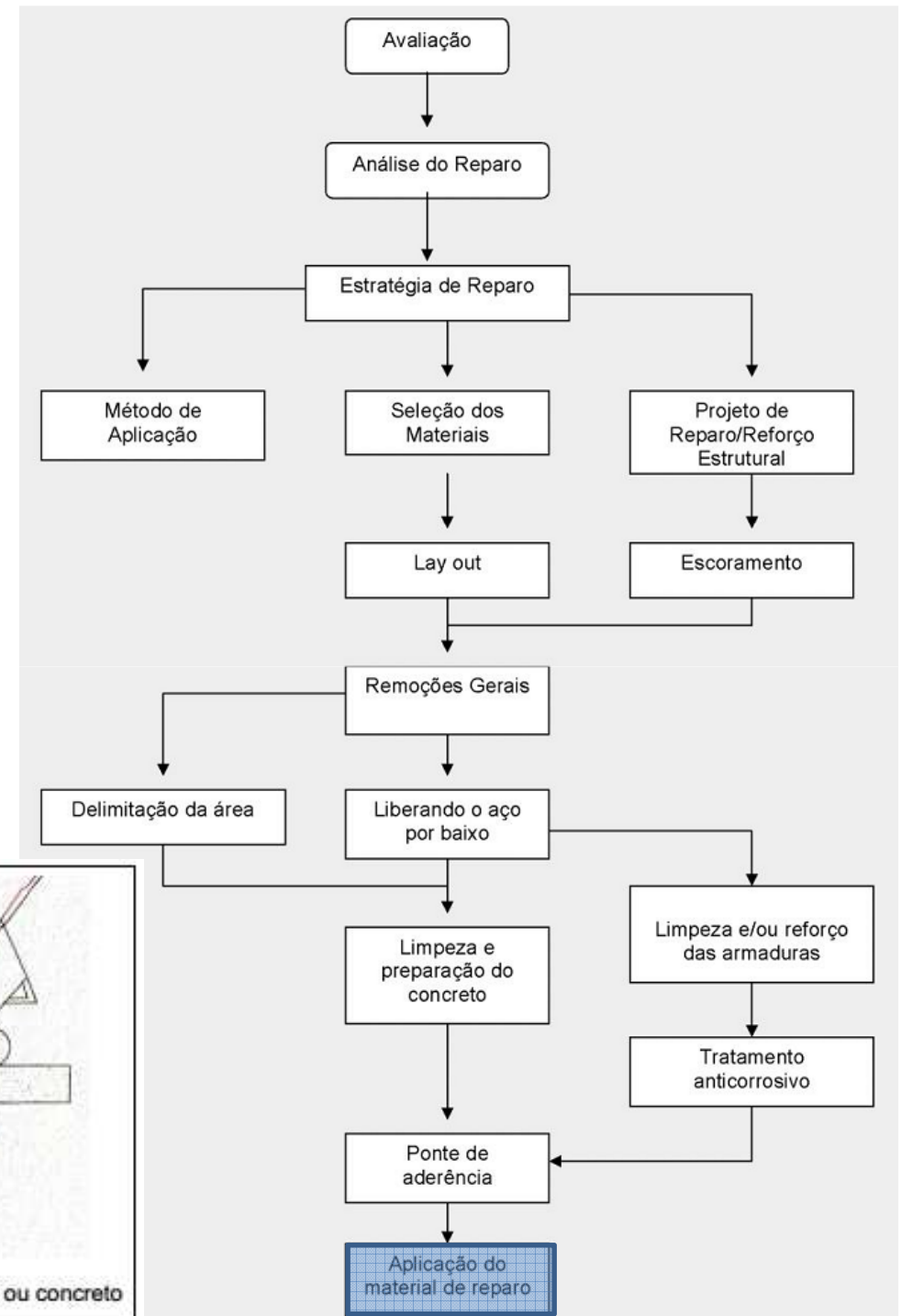


Reparo com graute (com ou sem brita)





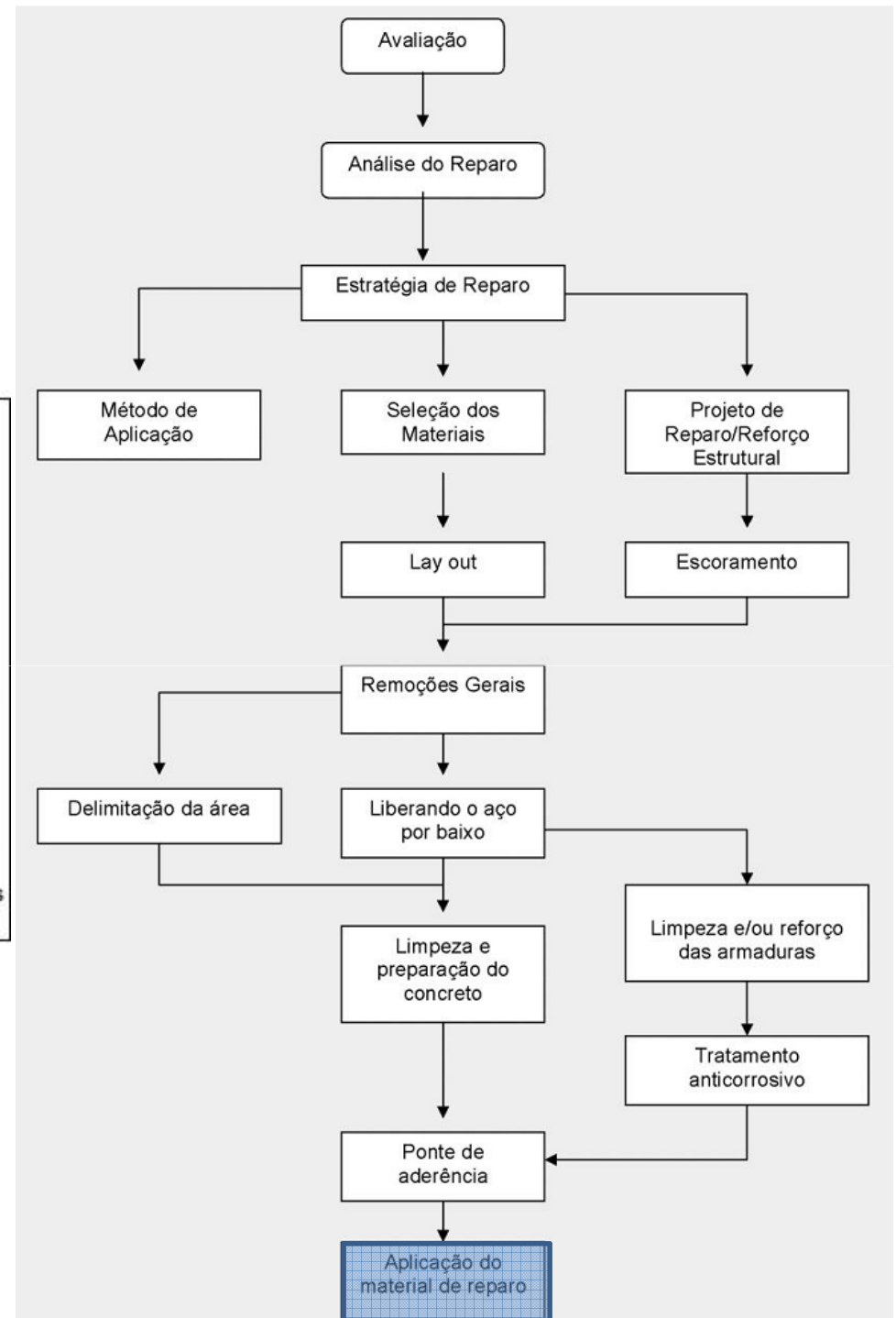
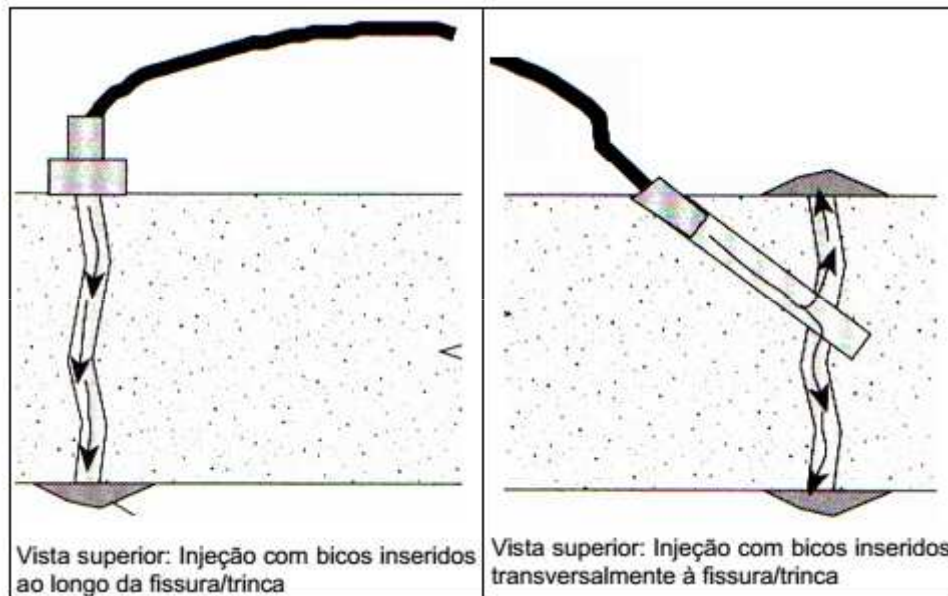
Reparo com concreto



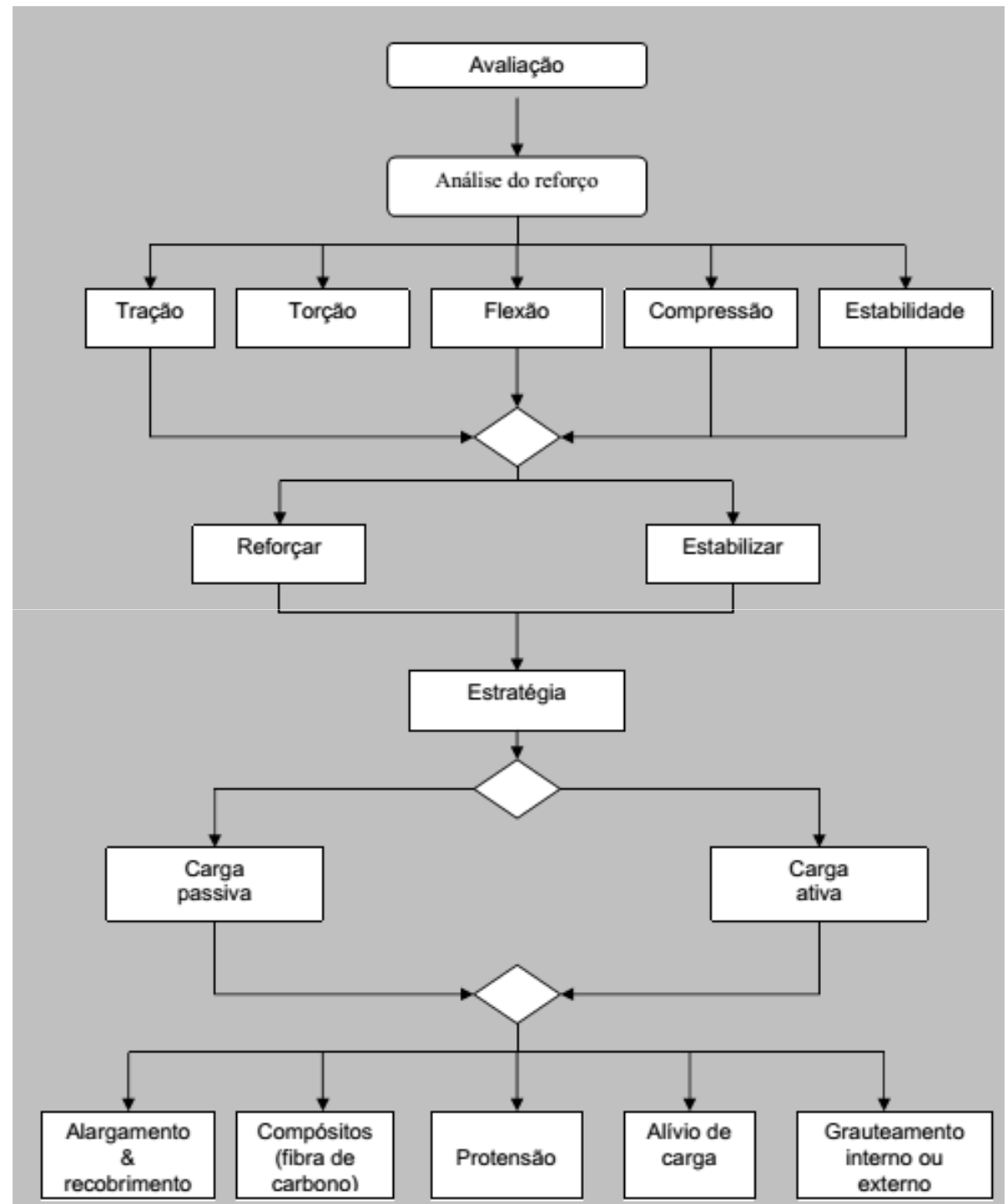
Reparo com concreto ou graute bombeável

Reparo em laje com graute c/ brita ou concreto

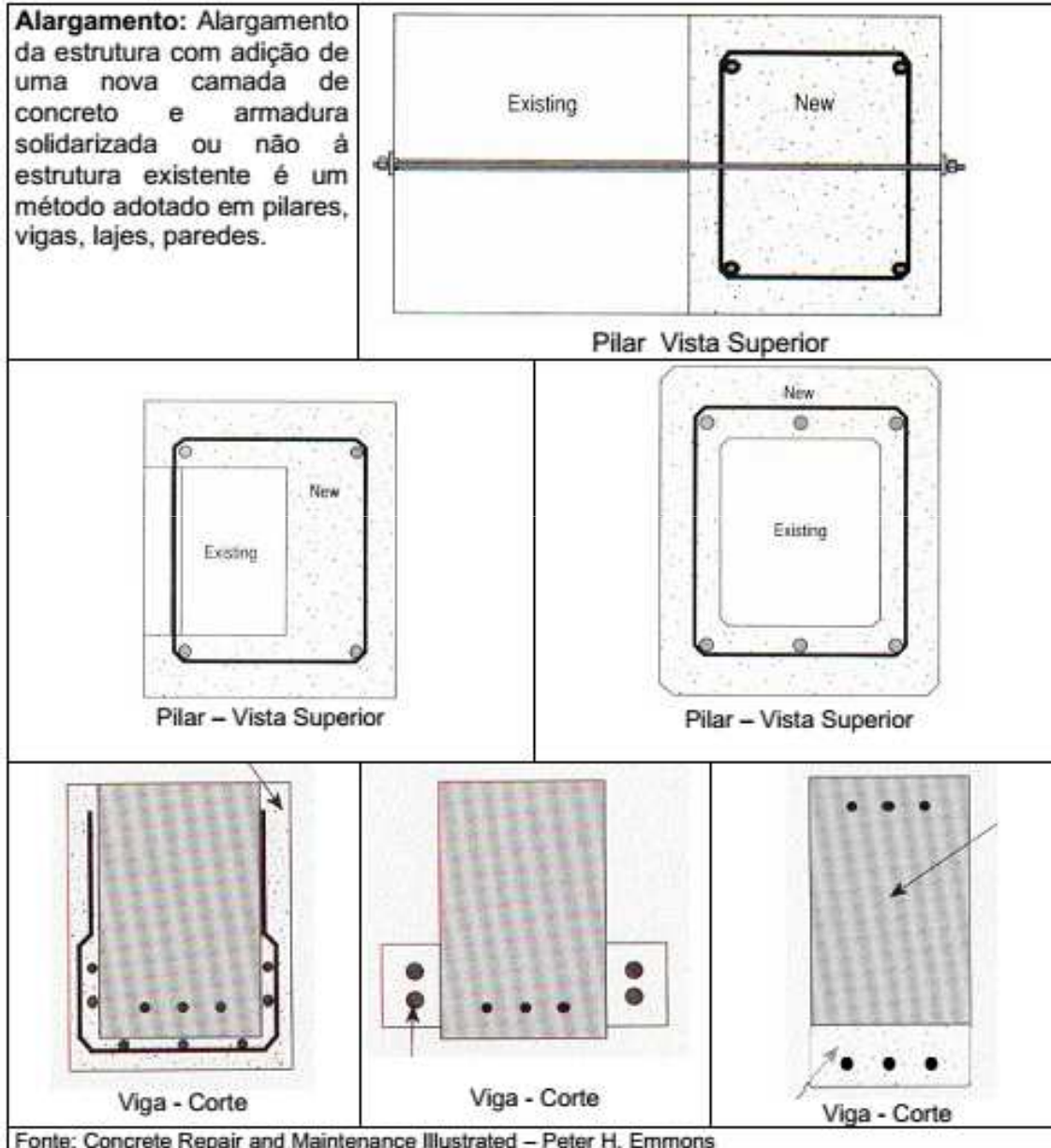
- Trincas e fissuras



Reforços estruturais



Reforços estruturais



Reforços estruturais

Reforço estrutural c/ fibras de carbono:

CAMADADA PROTETORA Poliuretano - raios UV

SEGUNDA CAMADA
DE EPOXI

Proteção mecânica

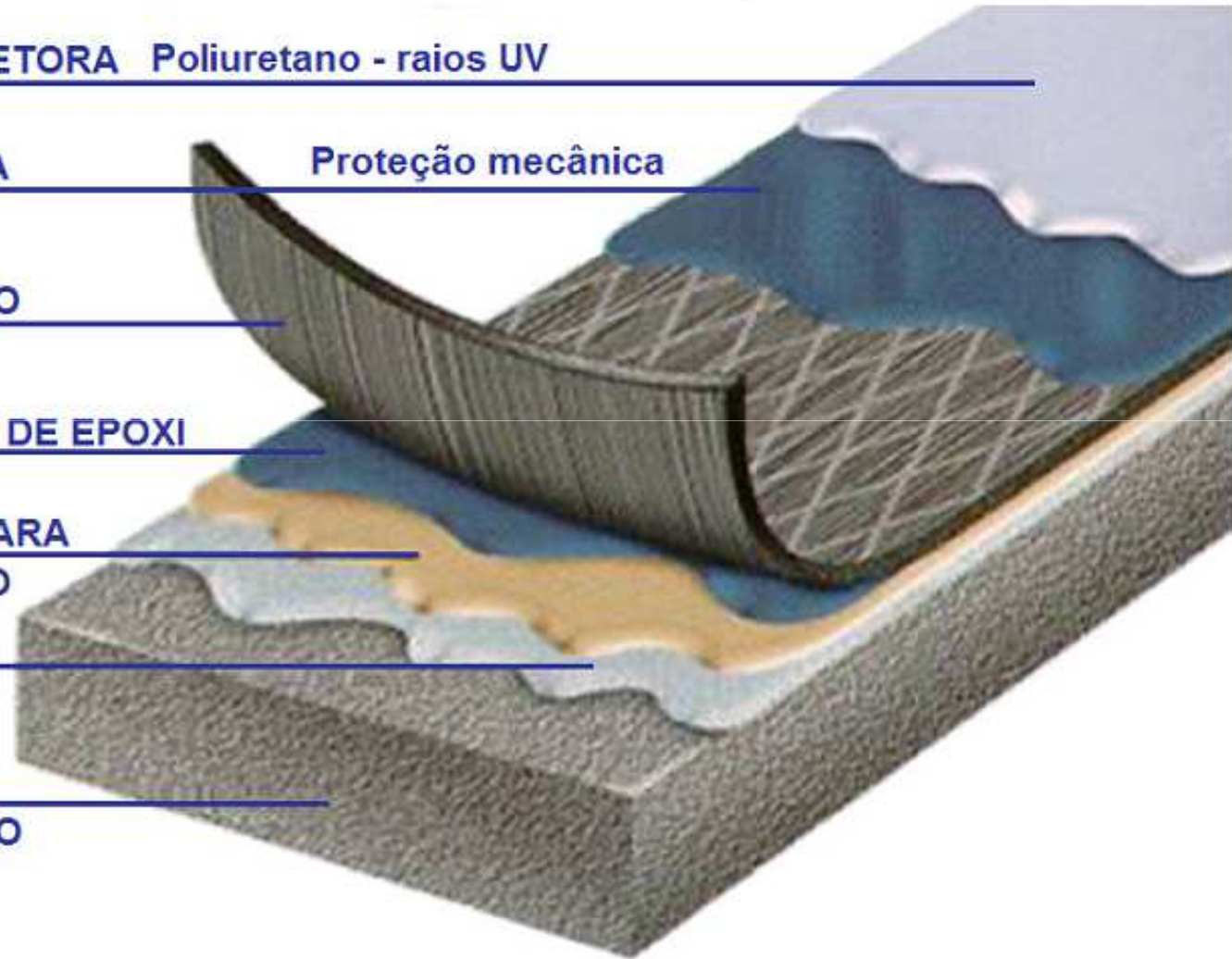
FIBRA DE CARBONO

PRIMEIRA CAMADA DE EPOXI

EPOXI PASTOSO PARA
REGULARIZAÇÃO

PRIMER

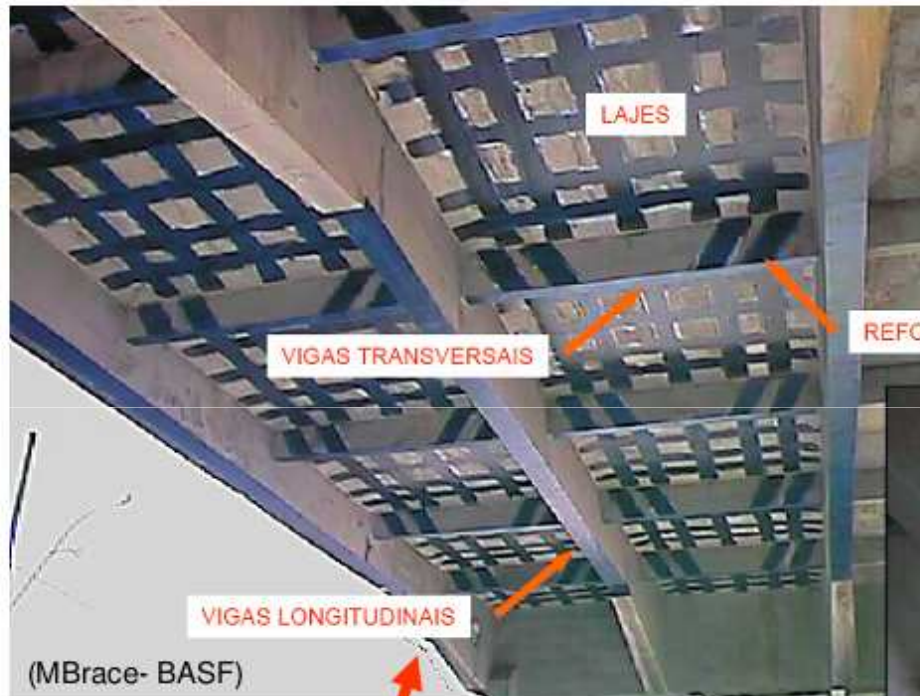
SUBSTRATO DE
CONCRETO ARMADO



MBrace®

Reforços estruturais

Reforço estrutural c/ fibras de carbono:



Revestimento de proteção e acabamento aplicado

REFORÇO AO CORTE



Tiras de mantas de fibras de carbono aplicadas

Viaduto Santa Tereza – Belo Horizonte

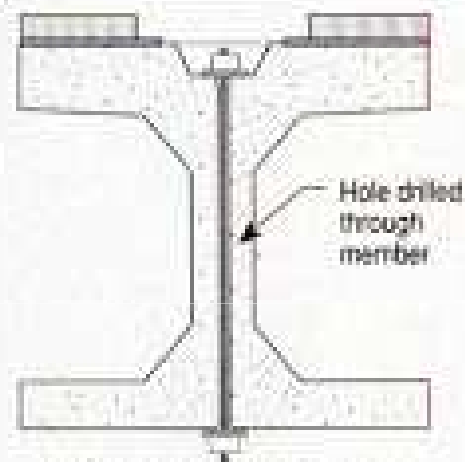
Reforços estruturais



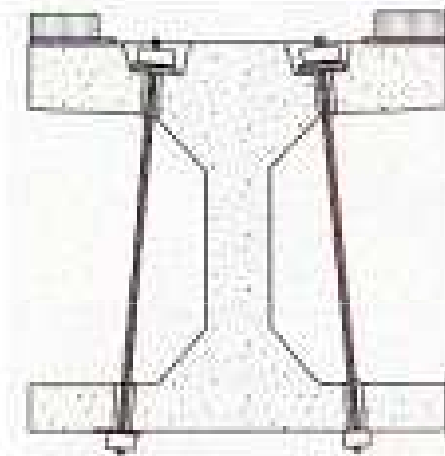
Reforços estruturais

Pós-tensionado: Técnica de introduzir um elemento que, após tensionado, absorve parte das cargas atuando sobre a estrutura. Este elemento, pode ser introduzido no interior da estrutura existente ou utilizado externamente. É um método utilizado para aliviar tensões de flechas, torção, flexão, etc.

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons



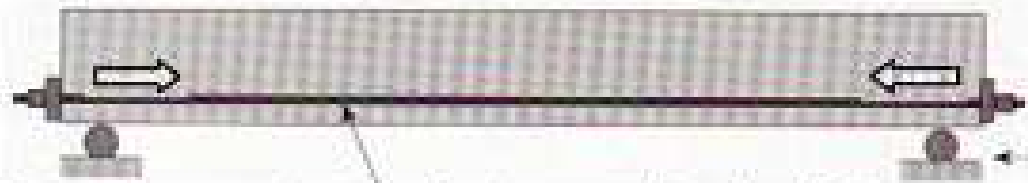
Internally Placed Post-tensioning



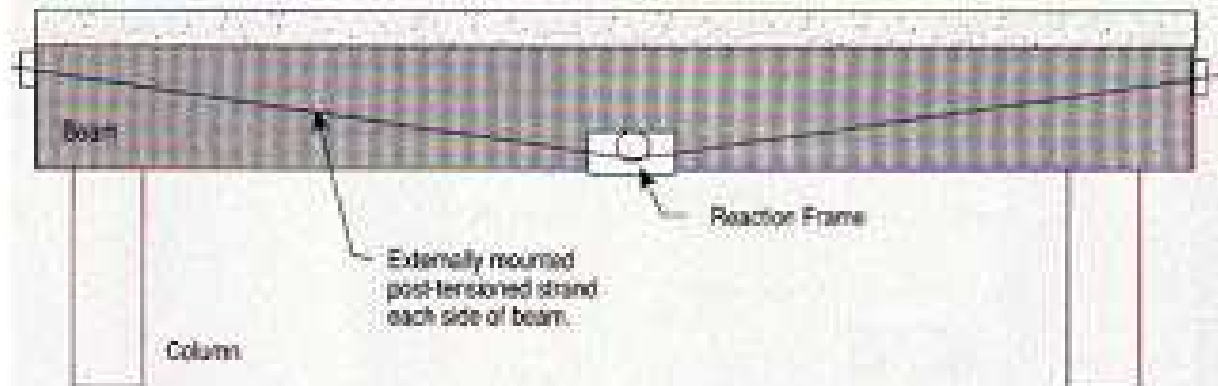
Externally Placed Post-tensioning

Reforços estruturais

Reforço ativo: Técnica que permite que o reforço imediatamente atue no suporte das cargas (ativas ou passivas).



O tensionamento do tirante permite imediatamente o suporte de cargas.



Reforços estruturais

