



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



Grémio do Património

SEMINÁRIO

TÉCNICAS NÃO TRADICIONAIS DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DO BETÃO ARMADO

OE • Lisboa • 25 de Outubro de 2013

José Paulo Costa



Reparação,
Consolidação
e Modificação
de Estruturas, S.A.

TÉCNICAS NÃO TRADICIONAIS DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DO BETÃO ARMADO

1. REFORÇO COM COMPÓSITO DE FIBRAS DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA
 - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL
 - ESTÁDIO – MARACANÃ
 - DEPÓSITO – LOULÉ
2. MÉTODOS DE REPARAÇÃO ELETROQUÍMICOS – DESSALINIZAÇÃO
 - VIADUTO – SINES
 - ESCOLA – BOMBARRAL

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

Tradicionalmente, os reforços com compósitos de fibras de carbono aplicam-se com **matriz de resina de epóxido**.



Principais limitações da técnica tradicional:

- Não se pode utilizar com o substrato húmido;
- É muito sensível ao fogo (com temperaturas da ordem do 150°C, a resina de epóxido perde resistência).

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

A pedido da stap, a S&P desenvolveu um sistema de reforço estrutural de compósito de fibras de carbono (Armo Mesh) **com matriz cimentícia**,



que se pode aplicar
com o substrato
húmido.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL

A OBRA



Após 3 décadas em funcionamento e localizada num ambiente agressivo, a ETA apresentava problemas estruturais e de durabilidade.

➤ Fendilhação das paredes dos tanques com fugas de ar e água, que dificultavam a filtragem.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



Trabalhos preparatórios

- Injeção de fissuras estruturais com resina de epóxico.

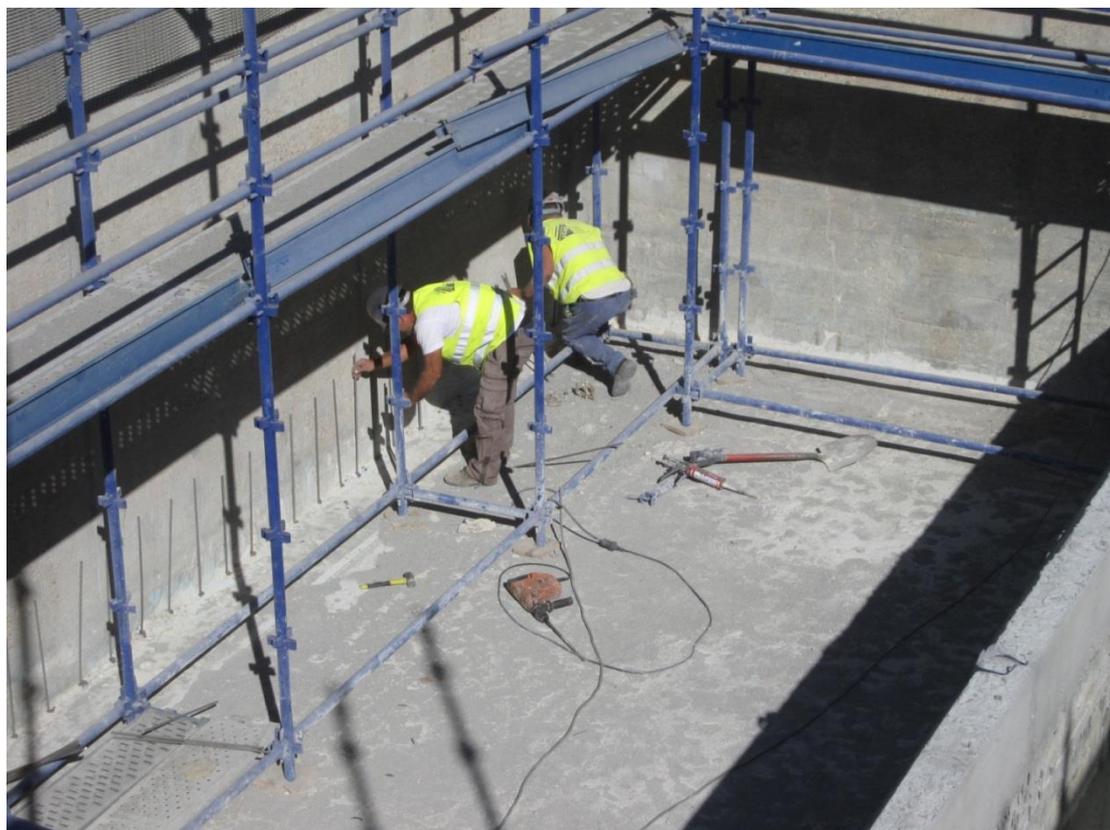
REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



Preparação das superfícies a reforçar – hidrodécapagem.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



Ligação à laje de fundo – varões inoxidáveis.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



Projeção da 1ª camada de matriz cimentícia, aplicada por **via seca** com máquina de câmara dupla – *sprayed concrete*.

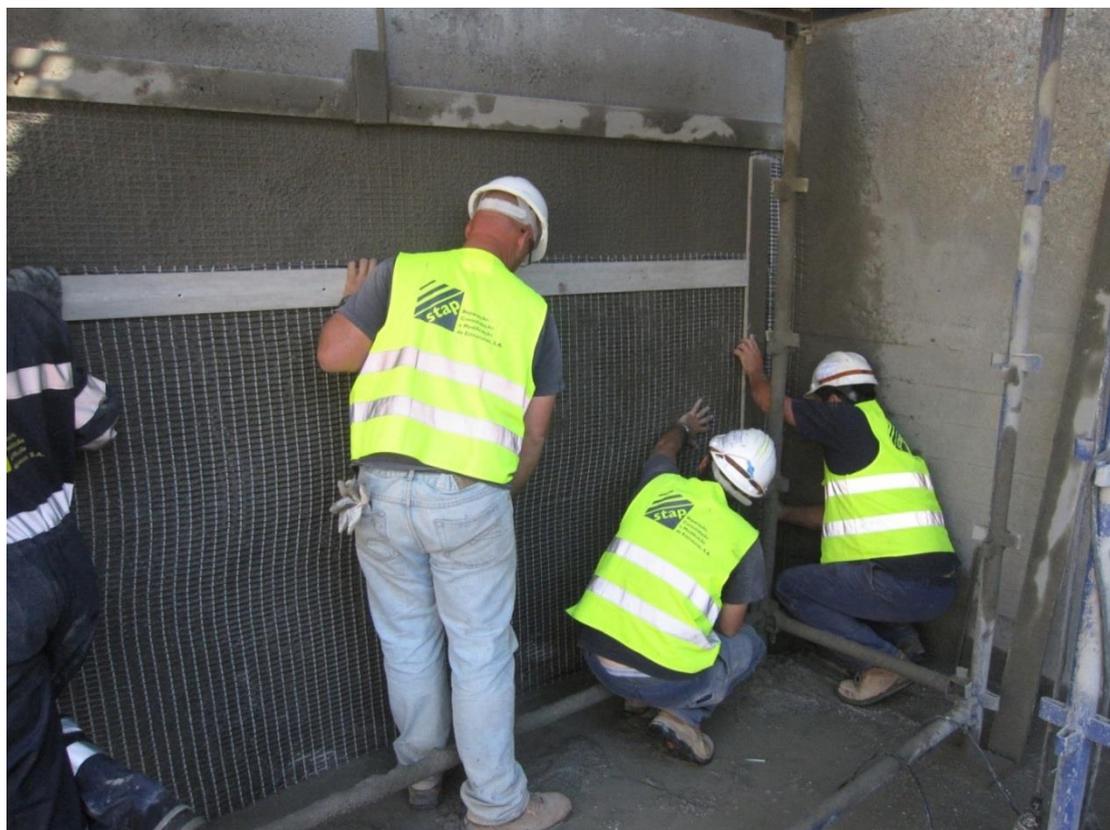
REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



Corte da rede de carbono.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



Aplicação da rede de carbono.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



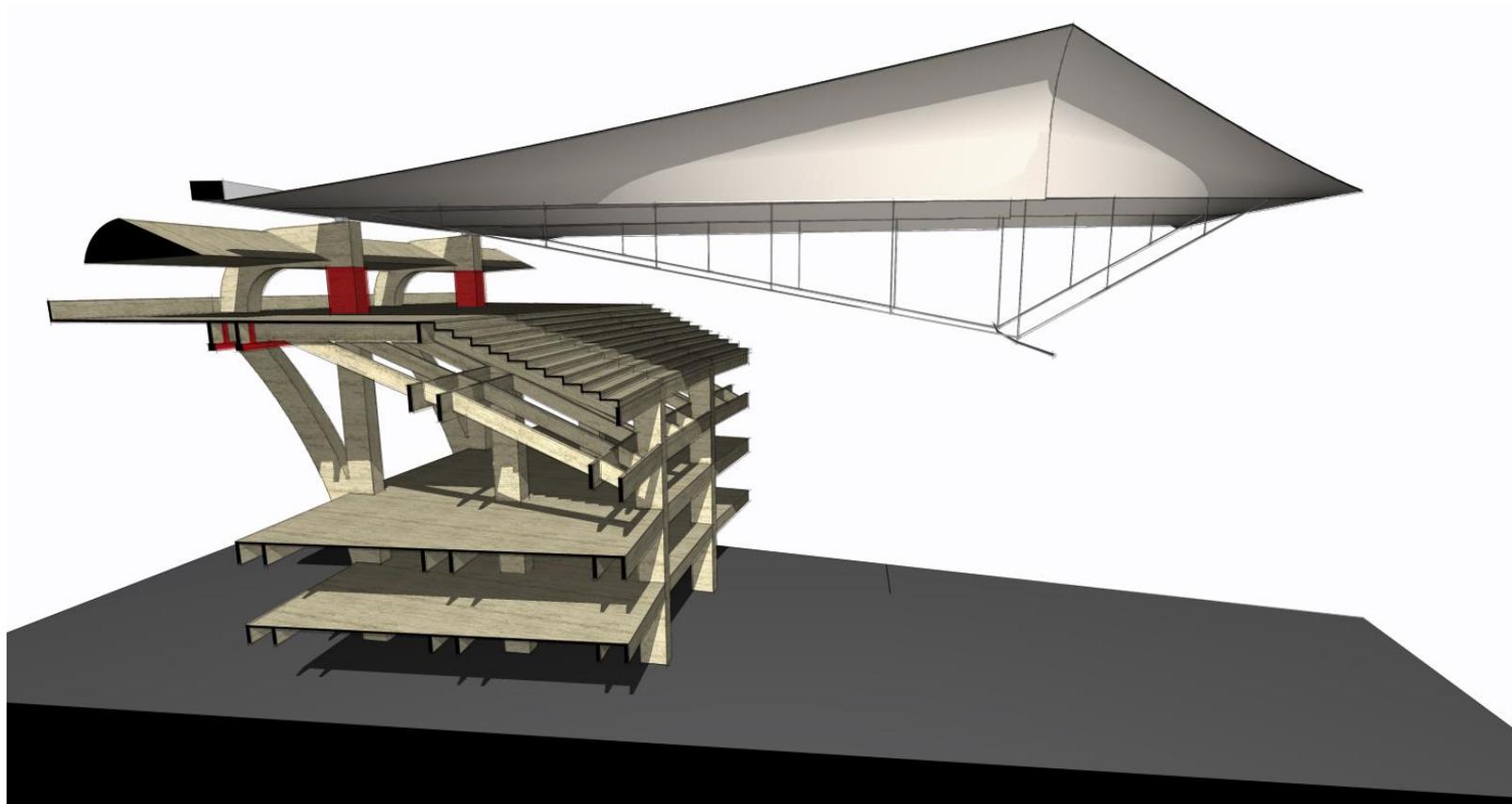
Projeção da 2ª camada de matriz cimentícia.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MORGAVEL



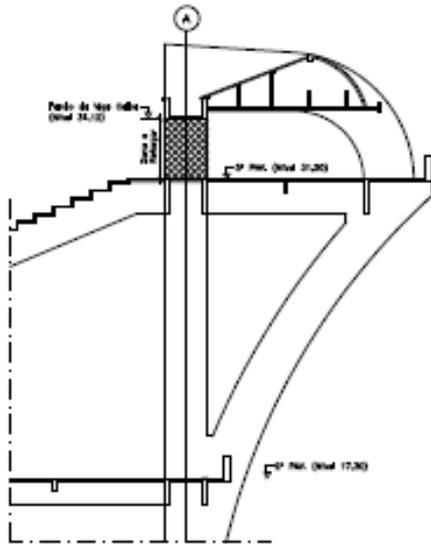
REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA PILARES DO ESTÁDIO DE MARACANÃ



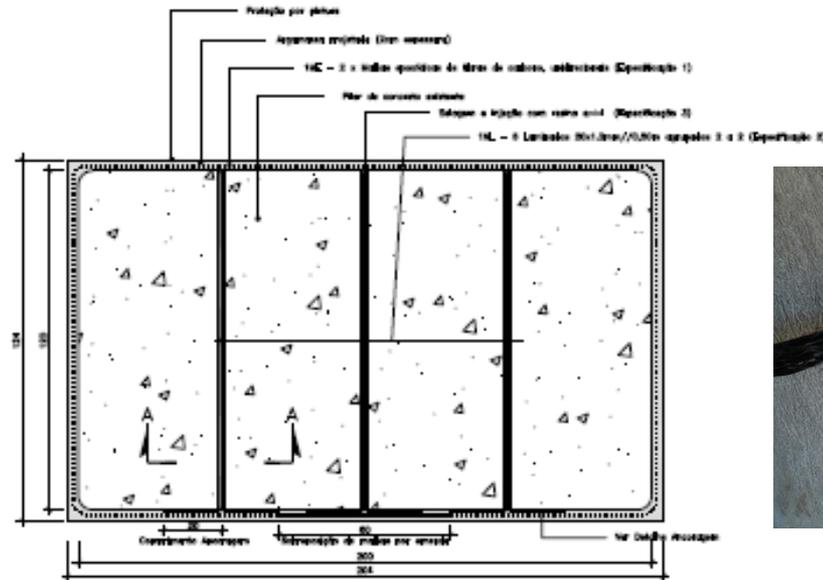
REFORÇO AO ESFORÇO TRANSVERSO

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA

PILARES DO ESTÁDIO DE MARACANÃ



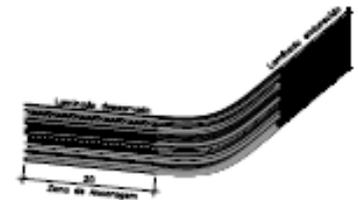
CORTE TIPO DA ZONA A REFORÇAR
Dielm 1:100



PILARES CENTRAIS
Dielm 1:100

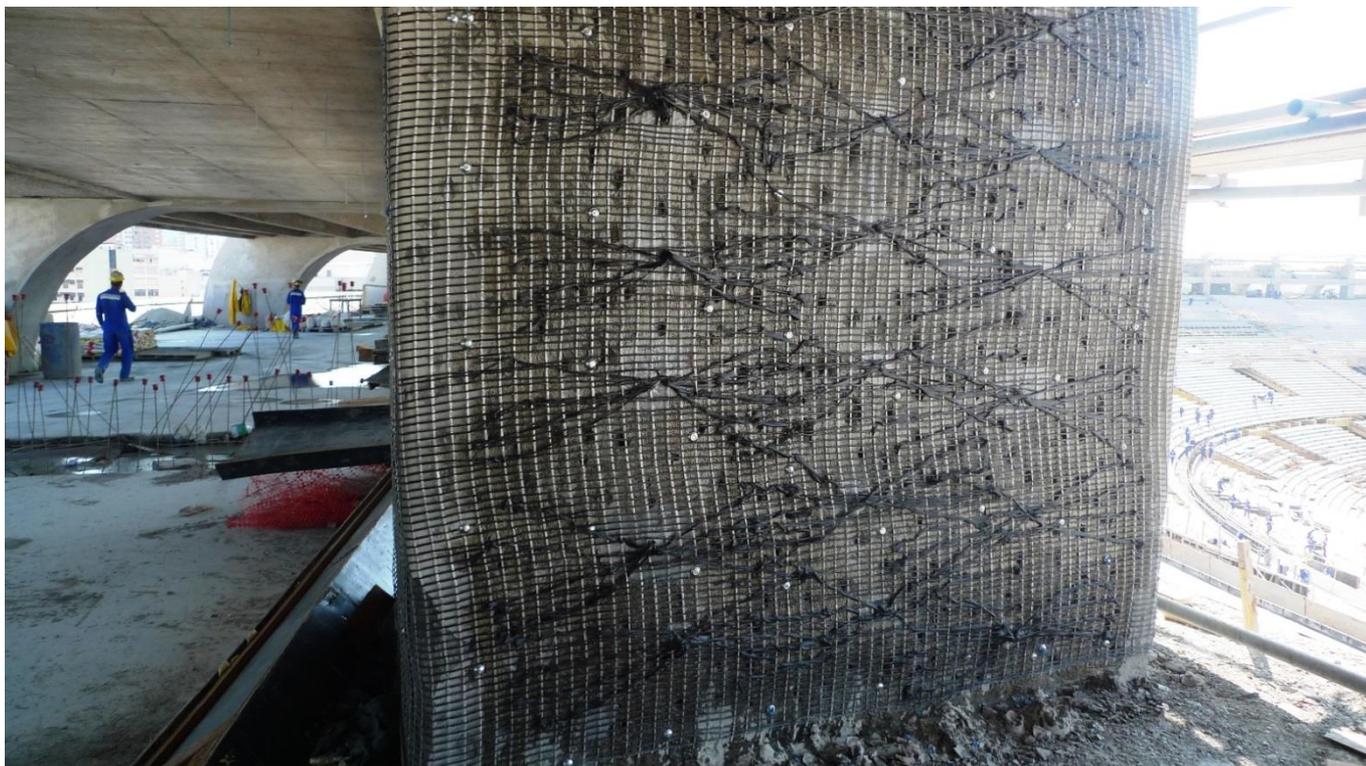
LISTA DE MALHAS

ME	Esp. (mm)	H. (cm)	Q	COMPRIMENTOS	
				UNIT.(cm)	TOTAL(m ²)
1	2.117	292	4	1340	155,51



DETALHE ANCORAGEM
Dielm 1:1

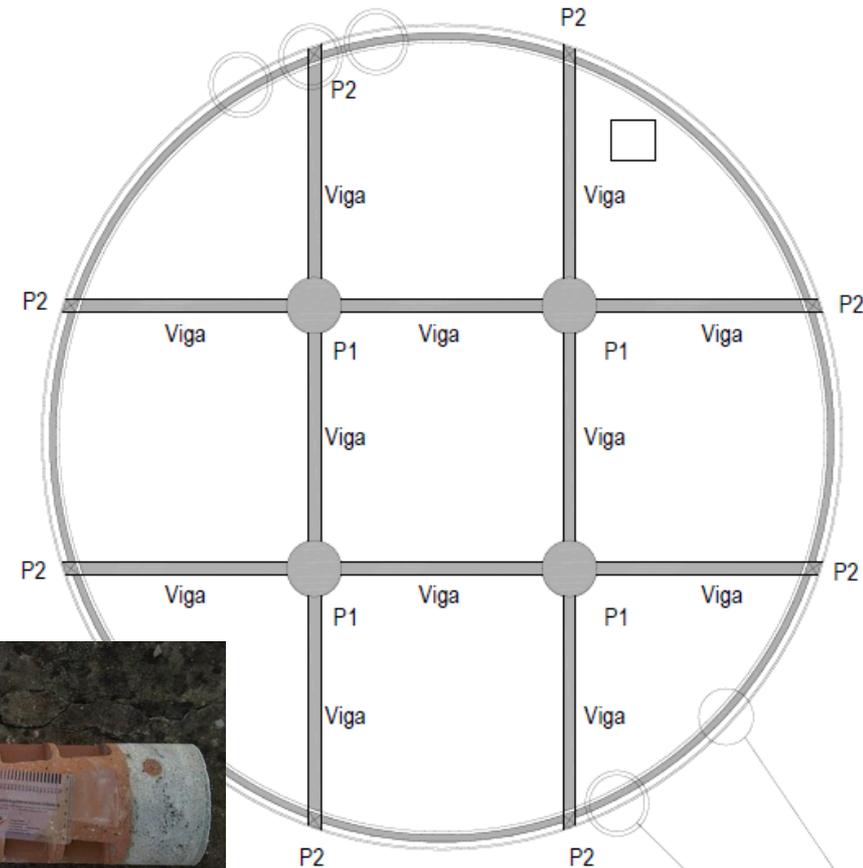
REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA PILARES DO ESTÁDIO DE MARACANÃ



REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA RESERVATÓRIO DE ÁGUA

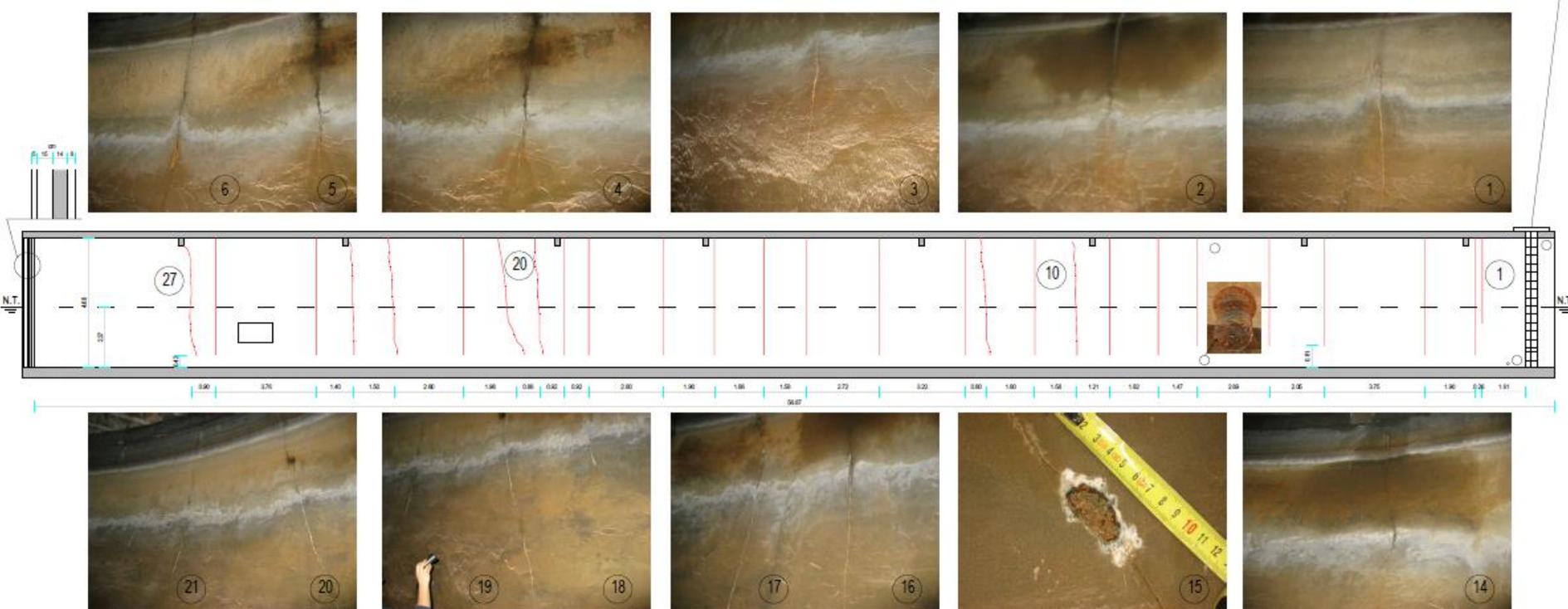


Planta com localização dos ensaios e dos pilares



Abertura de zonas para inspeção

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA RESERVATÓRIO DE ÁGUA



Principais anomalias – fendas.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA RESERVATÓRIO DE ÁGUA



Principais anomalias – fendas.

REFORÇO COM COMPÓSITO DE CARBONO EM MATRIZ CIMENTÍCIA RESERVATÓRIO DE ÁGUA



PROJETO *RehabToolBox* – stap/IST



MÉTODOS DE REPARAÇÃO ELETROQUÍMICOS

O betão é um excelente meio de proteção das armaduras contra a corrosão.

A função protetora atua de 2 formas:

- a elevada alcalinidade ($>9,5$), passiva e impede a corrosão do aço;
- a camada de betão de recobrimento constitui uma barreira à penetração de elementos agressivos.

MÉTODOS DE REPARAÇÃO ELETROQUÍMICOS

A **despassivação das armaduras** torna possível o início da corrosão do aço.

1. Pela diminuição do pH da solução dos poros ao nível da armadura, por carbonatação.
2. Quando o teor de cloretos ultrapassa um valor crítico (0,4% massa de cimento).

A **corrosão das armaduras** é a principal causa da degradação das estruturas de betão armado.

MÉTODOS DE REPARAÇÃO ELETROQUÍMICOS

Solução completa:

extrair os cloretos, realcalinizar o betão e repassivar as armaduras.

Dessalinização:

Reduz o teor de cloretos no betão e aumenta o (pH).

- Tratamento: 3 a 7 semanas.

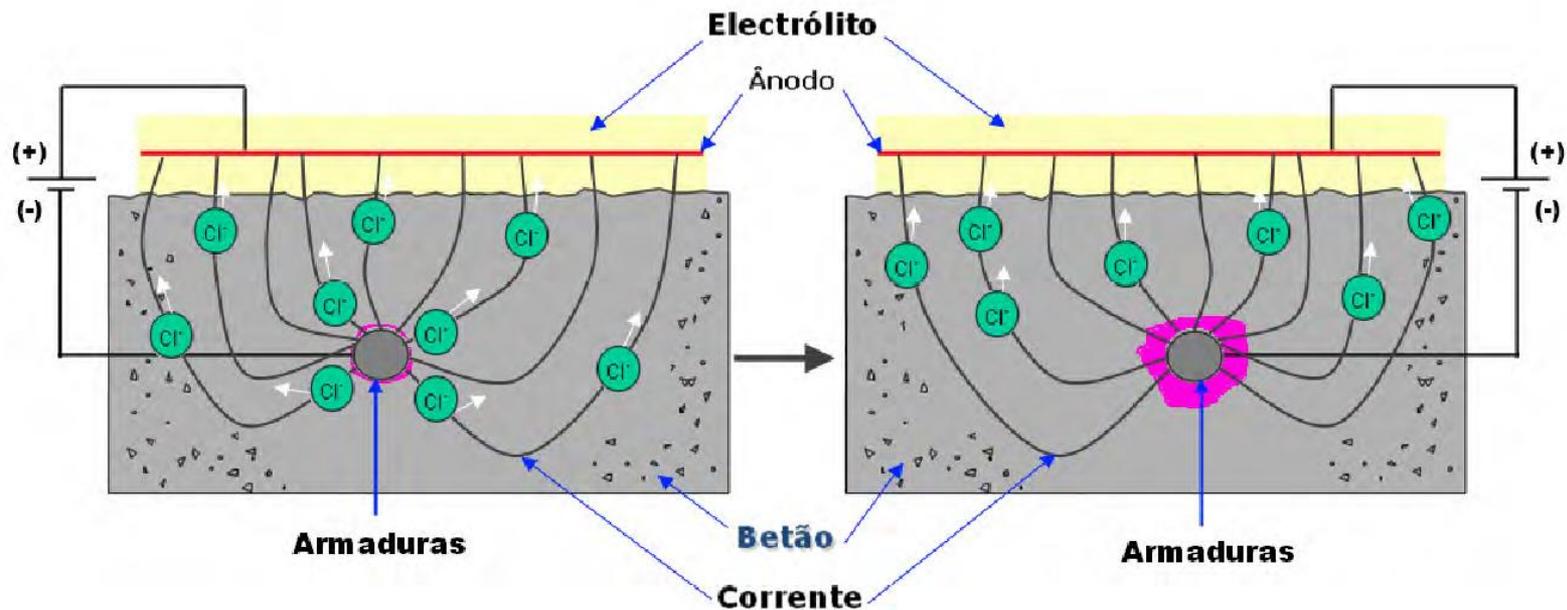
Realcalinização:

Aumenta a alcalinidade (pH) do betão, restabelece o filme protetor das armaduras.

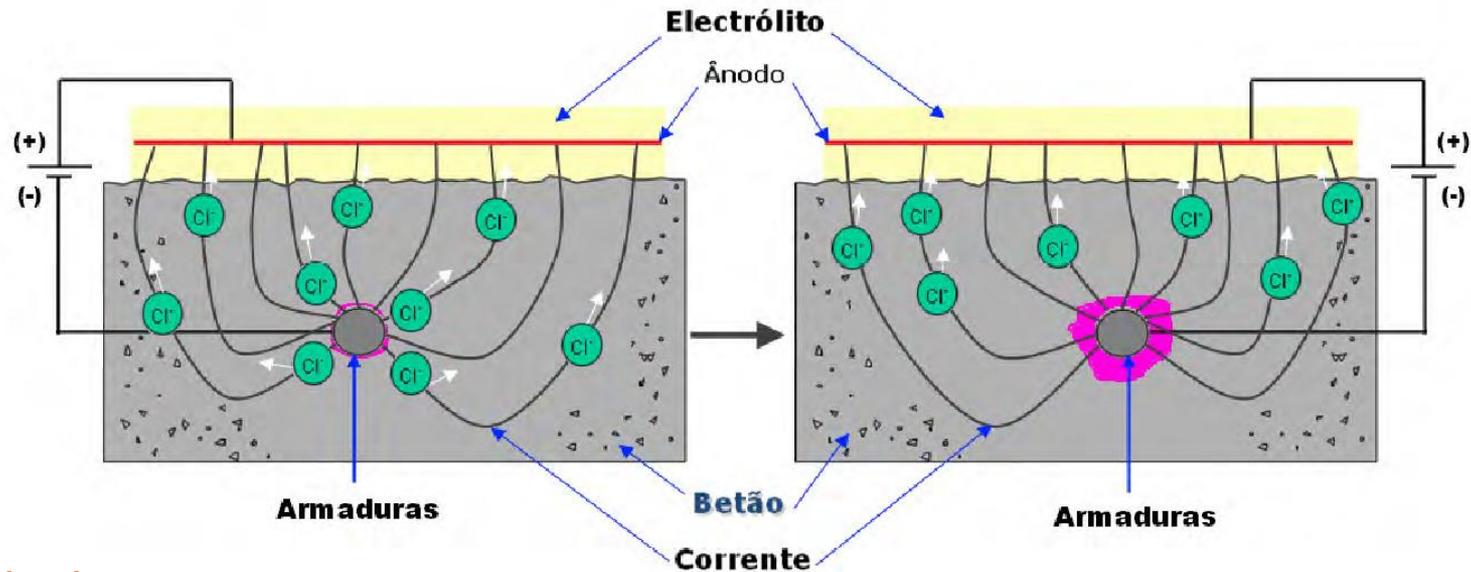
- Tratamento: 1 semana.

Dessalinização - Princípio de funcionamento

→ Aplicação de corrente elétrica contínua, entre a armadura do betão (cátodo) e um ânodo externo; o ânodo é aplicado na superfície do betão, embebido numa solução eletrolítica.



Dessalinização - Princípio de funcionamento



Resultados:

- ✓ Os íões cloreto (Cl^-) são atraídos para o ânodo externo (+) e afastam-se das armaduras (-).
- ✓ Formação de íões OH^- na interface armaduras/betão, originando um ambiente alcalino que conduz à repassivação das armaduras.
- ✓ Íões sódio, potássio e cálcio são atraídos para o cátodo.

REABILITAÇÃO DE UM VIADUTO CONTAMINADO POR CLORETOS - DESSALINIZAÇÃO



Viaduto de acesso ao terminal petrolero da APS em Sines.

REABILITAÇÃO DE UM VIADUTO CONTAMINADO POR CLORETOS - DESSALINIZAÇÃO

Quadro patológico 20 anos após a construção:

Recobrimento mínimo das armaduras:		Profundidade de carbonatação:	
Pilares	1,8 a 3,0 cm	Pilares	0,1 a 0,8 cm
Tabuleiro	1,1 a 2,3 cm	Tabuleiro	0,1 a 2,3 cm
Encontro	2,1 a 3,5 cm	Encontro	0,5 a 1,8 cm
Teor de cloretos em peso de betão ao nível das armaduras:		Probabilidade da existência de corrosão activa:	
Pilares	0,11% a 1,26%	Pilares	mínima
Tabuleiro	0,42% a 1,12%	Tabuleiro	50% a 95%
Encontro	0,52% a 0,81%	Encontro	mínima a 50%

REABILITAÇÃO DE UM VIADUTO CONTAMINADO POR CLORETOS DESSALINIZAÇÃO - TRATAMENTO

Pontos principais:

- Sistema anódico: malha de titânio (+)
- Sistema catódico: armaduras da estrutura (-)
- Eletrólito: fibras de celulose mantidas saturadas com água



REABILITAÇÃO DE UM VIADUTO CONTAMINADO POR CLORETOS DESSALINIZAÇÃO - CONTROLO DO PROCESSO

stap Dessalinização - controlo do processo monitorado por unidades RD2 IP09036-1.0

Identificação da obra

Nº: Designação: Local:

1 AREA: ACÇÃO

2 COMPUTER CONTROL ONLY? SIM NÃO

3 FAULTS? SIM NÃO ACÇÃO

4

5

6

7

8

9 Measurements: Hours to run

10 V A R A-Hr / Sq Re-Bar

Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Data com Marker no fim:
A R	A R	A R	A R	___ / ___ / ___
% of target	% of target	% of target	% of target	

13

14

15 Observações:

16

17

1 AREA: ACÇÃO

2 COMPUTER CONTROL ONLY? SIM NÃO

3 FAULTS? SIM NÃO ACÇÃO

4

5

6

7

8

9 Measurements: Hours to run

10 V A R A-Hr / Sq Re-Bar

Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Data com Marker no fim:
A R	A R	A R	A R	___ / ___ / ___
% of target	% of target	% of target	% of target	

13

14

15 Observações:

16

17

1 AREA: ACÇÃO

2

3

4

5

6

7

8

9 Measurements: Hours to run

10 V A R A-Hr / Sq Re-Bar

Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4	Data com Marker no fim:
A R	A R	A R	A R	___ / ___ / ___
% of target	% of target	% of target	% of target	

13

14

15 Observações:

16

17

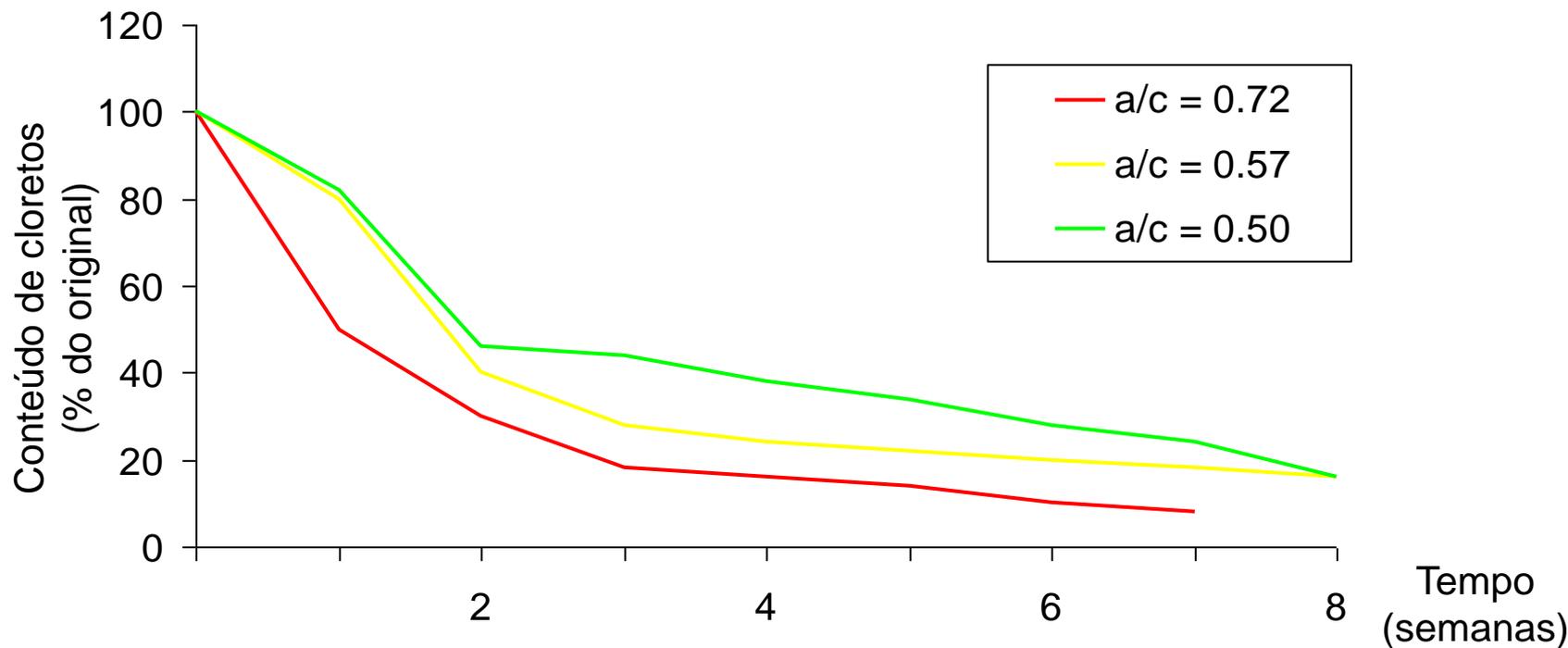
Responsável pela verificação: _____ Data ___ / ___ / ___ Pág. ___ / ___



Complemento ao registo automático
do controlo feito pelas unidades
RD2.

Impresso para o
registo das ações do
controlo diário do
processo.

REABILITAÇÃO DE UM VIADUTO CONTAMINADO POR CLORETOS DESSALINIZAÇÃO - RESULTADOS



Varição do teor de cloretos em função da duração do tratamento

REABILITAÇÃO DE UMA ESCOLA CONTAMINADA POR CLORETOS DESSALINIZAÇÃO

Principais anomalias:

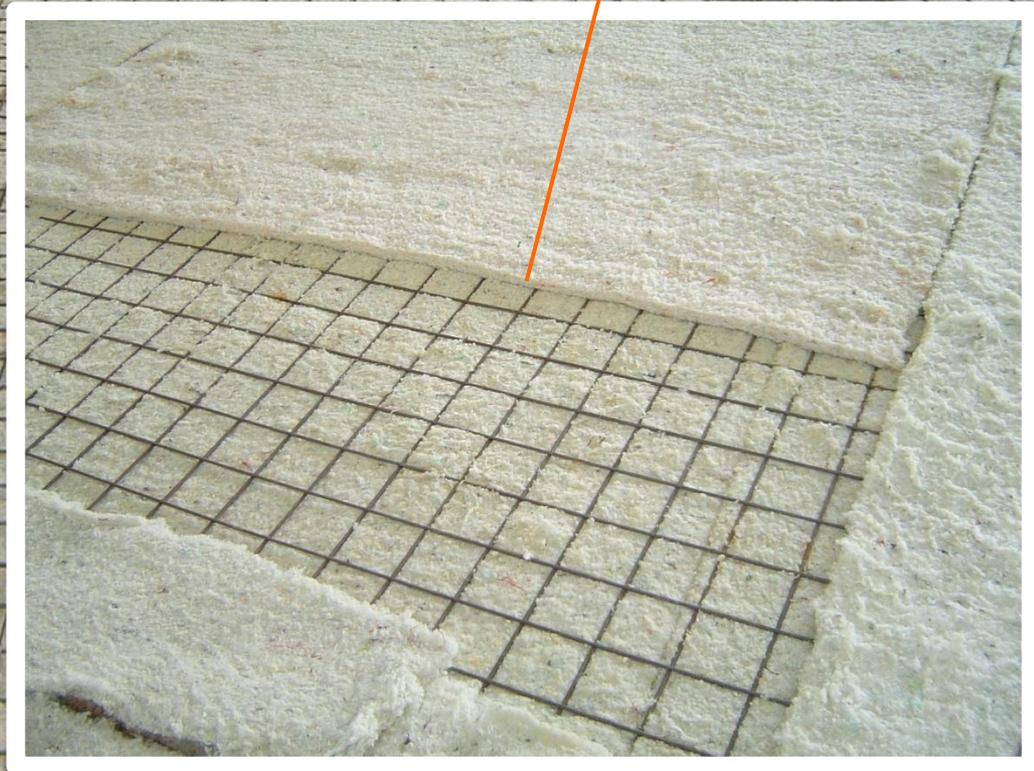
- Sinais de corrosão severa das armaduras superiores da laje do 1.º piso.
- A betonilha tinha sido construída com areia da praia.



Dessalinização - Tratamento

Malha de
aço (ânodo)

Duas camadas
de feltro
saturado
(eletrólito)



Dessalinização - Tratamento

Sistema de rega para manter húmidas as duas camadas de feltro

Dessalinização - Tratamento



Ligações às
armaduras e
ao ânodo

Dessalinização - Tratamento

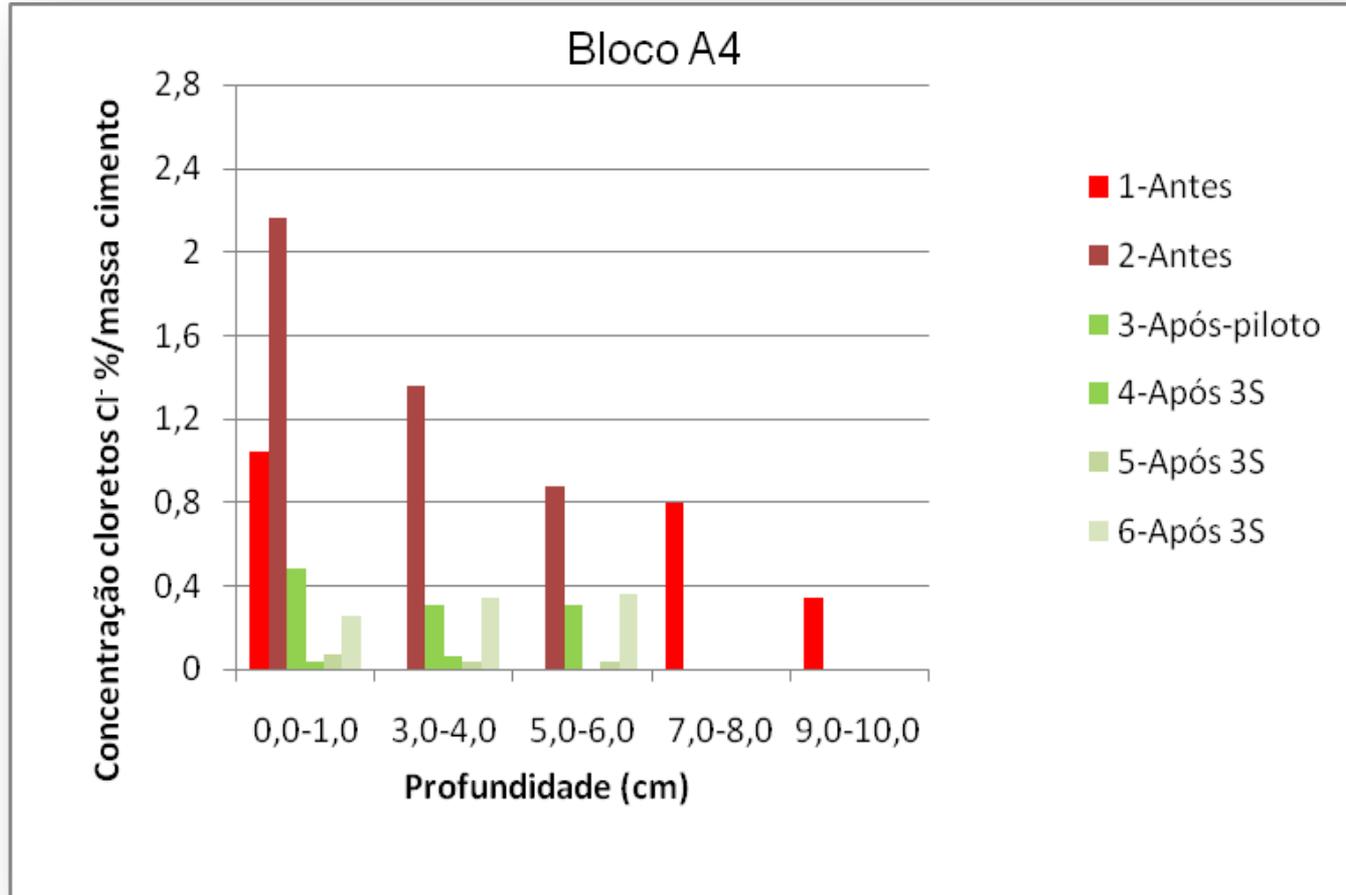


Ligações às fontes de alimentação da corrente contínua

Dessalinização - Tratamento

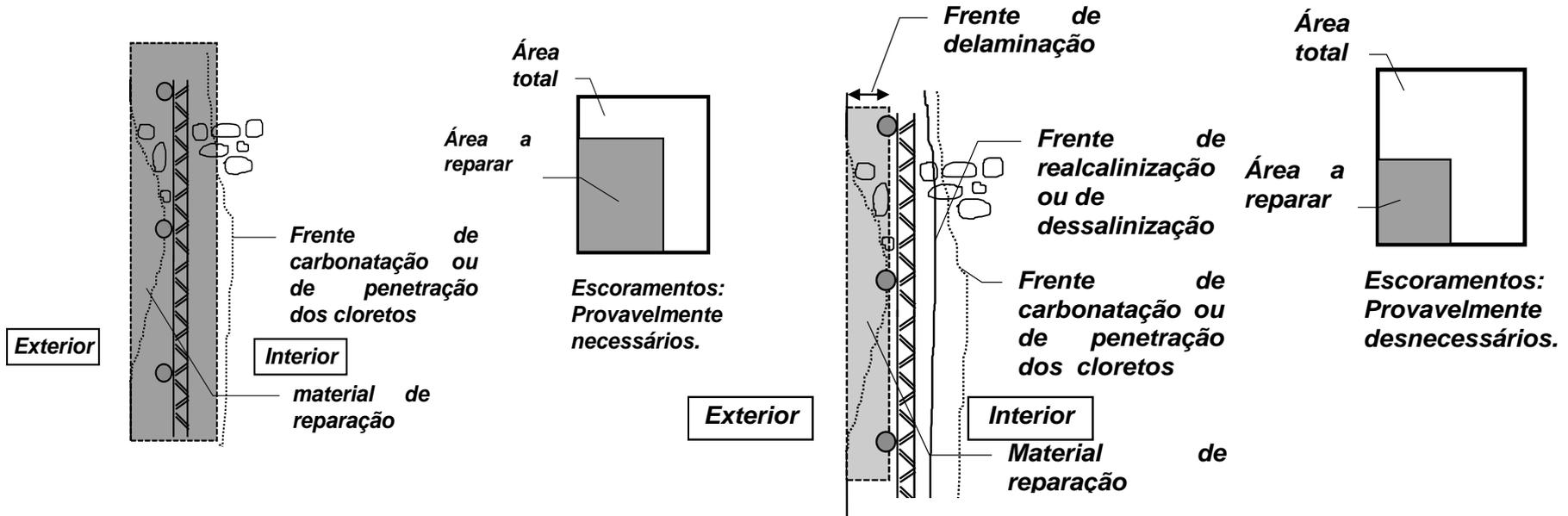


Dessalinização – Resultados



Varição do teor de cloretos com a profundidade –
antes, durante e após o tratamento

Métodos Eletroquímicos – Conclusões



Reparação tradicional (“cirurgia profunda” e reconstituição da secção):

o betão tem de ser removido em maior profundidade e numa percentagem maior da área a reparar.

Tratamento eletroquímico com reparação local:

basta que o betão seja removido apenas à superfície e numa percentagem menor da área a reparar.

A causa da corrosão é eliminada!



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



Obrigado pela vossa atenção.

José Paulo Costa

