ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Durable Transport Infrastructures in the Atlantic Area Network

2009-2011

European Union
European Regional Development Fund
Investing in our common future
ATLANTIC AREA
Transnational Programme

ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Estruturas de betão
Métodos de Proteção e Reparação

Manual Técnico Parte IV – Vol. 4

European Union
European Regional Development Fund
Investing in our common future
ATLANTIC AREA
Transnational Programme

Vol. 4 – Métodos de proteção e reparação

> Contém informação sobre a **proteção** e a **reparação** do betão armado

> São apresentados:
- **métodos de protecção preventiva**, **reparação** e **reforço**
- **métodos para a preparação**, **remoção** e **limpeza** do betão

> Para cada método apresenta-se:
- **descrição geral dos fundamentos**
- **são identificadas as principais limitações para reparar defeitos ou para mitigar os processos de degradação do betão armado**

> São também dadas **orientações** sobre a **seleção** e adequação dos **métodos de reparação** e sobre os requisitos de monitorização durante e após a reparação

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Abordagens para a reparação de estruturas em BA

> Existem atualmente dois tipos de abordagens para a reparação de estruturas em BA:

> **Abordagem baseada no desempenho** - baseia-se no estabelecimento de requisitos de desempenho no processo de reparação que podem ser avaliados posteriormente atrás de técnicas de ensaio.

São identificados indicadores do processo de deterioração e são definidos valores limite.

O desempenho do sistema de reparação é avaliado por comparação entre os resultados de medições e os valores limite estabelecidos.

> **Abordagem prescritiva** – desde há muito tem sido a mais utilizada em estruturas reparadas e é também a adotada como estratégia de reparação no contexto Europeu:

EN 1504 - "*Produtos e sistemas para a reparação e protecção de estruturas de betão – definições, requisitos, controlo de qualidade e avaliação de conformidade*"

EN 1504

> O manual técnico segue a metodologia prescritiva aprovada na norma EN 1504

> A EN 1504 contém **10 partes** e baseia-se na definição de **11 princípios de reparação/proteção**. Define:
- produtos para a proteção e reparação de estruturas de betão
- controlo da produção dos materiais de reparação
- avaliação da execução dos trabalhos

EN 1504:

- **Parte 1 –** Descreve as definições e termos utilizados na norma
- **Parte 2 –** Estabelece as especificações para os produtos e sistemas de protecção superficial do betão
- **Parte 3 –** Estabelece as especificações para a reparação estrutural e não estrutural

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

- **Parte 4 –** Estabelece as especificações para os sistemas de reforço estrutural
- **Parte 5 –** Estabelece as especificações para a injecção do betão
- **Parte 6 –** Estabelece especificações para as ancoragens de armaduras de aço
- **Parte 7 –** Estabelece especificações para a protecção contra a corrosão das armaduras
- **Parte 8 –** Descreve o controlo de qualidade e a avaliação de conformidade para os fabricantes
- **Parte 9 –** Define os princípios gerais de utilização dos produtos e sistemas para a reparação e protecção do betão
- **Parte 10 –** Proporciona informação sobre as aplicações dos produtos e sistemas e sobre o controlo de qualidade dos trabalhos

Fases da reparação/proteção

> 1 - Avaliação da estrutura na fase de inspeção

> 2 - Identificação e diagnóstico das causas da deterioração

> 3 - Determinação das opções e objetivos da reparação/proteção

> 4 - Seleção dos métodos e princípios apropriados para a reparação

> 5 - Manutenção futura

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Fases 1 e 2

Avaliação da estrutura na fase de inspeção e Identificação das causas da deterioração

Consiste:

✓ Revisão do projeto original e análise do processo construtivo

✓ Avaliação do estado da estrutura: defeitos visíveis, não visíveis e potenciais

✓ Identificação das causas dos defeitos/deterioração (em separado por zona)

✓ Identificação do tipo de exposição a que a estrutura esteve/estará sujeita (passado e futuro)

Fase 3
Determinar as opções e objetivos da reparação e proteção

> Identificação dos objetivos da reparação/proteção face aos requisitos futuros da estrutura

> Identificação das opções de intervenção e definição da estratégia adequada de reparação/proteção.

> As **opções de intervenção** incluem:
- Não fazer nada (durante um certo período)
- Recalculo estrutural (possivelmente dirigido à diminuição de funcionalidades)
- Prevenção ou redução da velocidade de deterioração futura (sem melhorar a estrutura)
- Melhoria, reforço ou limpeza parcial ou total da estrutura
- Reconstrução total ou parcial da estrutura
- Demolição parcial ou total da estrutura

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Fase 3
Determinar as opções e objetivos da reparação e proteção

Factores a ter em consideração quando se consideram as opções de intervenção:

- A durabilidade requerida e a vida útil esperada depois da reparação/protecção
- A possibilidade de trabalhos de reparação adicionais no futuro, incluindo acessos e manutenção
- Os custos das opções alternativas e possíveis soluções
- As consequências e probabilidade de falhas estruturais
- As consequências e probabilidade de falha parcial (delaminação de betão, entrada de água, etc.)
- O impacto ambiental ou restrições no desenvolvimento do trabalho
- O impacto estético da aparência melhorada ou reduzida das distintas soluções ou opções alternativas da reparação.

Fase 4
Seleção dos métodos e princípios apropriados para a reparação

> Os princípios de reparação/protecção são baseados em processos físicos, químicos ou electroquímicos que podem se utilizados para prevenir ou estabilizar a deterioração do betão, a corrosão do aço ou para reforçar a estrutura de betão.

> Os princípios devem ser escolhidos tendo em atenção:

- o tipo de deterioração e defeitos e a sua extensão e causas
- as condições de serviço da estrutura

  - **Princípios 1 a 6** - *defeitos no* ***betão*** *causados por ações mecânicas, químicas, físicas e fogo, que agem individualmente ou combinadas*
  - **Princípios 7 a 11** – *defeitos nas* ***armaduras*** *causados pela perda de proteção fornecida pela alcalinidade do betão e do seu recobrimento*

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

EN 1504 - Princípios de reparação/proteção

Princípios de reparação/protecção		Deterioração
1	Proteção contra a penetração	Betão
2	Controlo da humidade	
3	Reposição do betão	
4	Reforço estrutural	
5	Aumento da resistência física	
6	Resistência aos produtos químicos	
7	Conservação ou restauro da passivação	Armaduras
8	Aumento da resistividade	
9	Controlo catódico	
10	Proteção catódica	
11	Controlo das áreas anódicas	

EN 1504 – 9:2008 – Deterioração do betão

Principle	Repair methods	Standard
P1. Protection against ingress	1.1 Hydrophobic impregnation	
	1.2 Impregnation	EN 1504-2
	1.3 Coating	
	1.4 Surface bandaging of cracks	N/A
	1.5 Filling of cracks	EN 1504-5
	1.6 Transferring cracks into joints	N/A
	1.7 Erecting external panels	EN 1992-1-1
	1.8 Applying membranes	N/A
P2. Moisture control	2.1 Hydrophobic impregnation	
	2.2 Impregnation	EN 1504-2
	2.3 Coating	
	2.4 Erecting external panels	EN 1992-1-1
	2.5 Electrochemical treatment	N/A
P3. Concrete restoration	3.1 Hand-applied mortar	
	3.2 Recasting with concrete or mortar	EN 1504-3
	3.3 Spraying concrete or mortar	
	3.4 Replacing elements	EN 1992-1-1
P4. Structural strengthening	4.1 Adding or replacing embedded or external reinforcing bars	
	4.2 Adding reinforcement anchored in pre-formed or drilled holes	EN 1504-6
	4.3 Bonding plate reinforcement	EN 1504-4
	4.4 Adding mortar or concrete	EN 1504-3/4
	4.5 Injecting cracks, voids or interstices	
	4.6 Filling cracks, voids or interstices	EN 1504-5
	4.7 Prestressing - (post tensioning)	EN 1992-1-1
P5. Increasing physical resistance	5.1 Coating	
	5.2 Impregnation	EN 1504-2
	5.3 Adding mortar or concrete	EN 1504-3
P6. Resistance to chemicals	6.1 Coating	
	6.2 Impregnation	EN 1504-2
	6.3 Adding mortar or concrete	EN 1504-3

Principles and methods for protection and repair related to defects in concrete structures according EN 1504 -9:2008.

Defeitos causados por ações mecânicas, químicas, físicas e fogo, que agem individualmente ou combinadas

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

EN 1504 – 9:2008 – Deterioração das armaduras

Principle	Repair methods	Standard
P7. Preserving or restoring passivity	7.1 Increasing cover with additional mortar or concrete	EN 1504-3
	7.2 Replacing contaminated or carbonated concrete	EN 1504-3
	7.3 Electrochemical re-alkalization of carbonated concrete	CEN/TS 14038-1
	7.4 Re-alkalization of carbonated concrete by diffusion	
	7.5 Electrochemical chloride extraction	CEN/TS 14038-2
P8. Increasing resistivity	8.1 Hydrophobic impregnation	
	8.2 Impregnation	
	8.3 Coating	EN 1504-2
P9. Cathodic control	9.1 Limiting oxygen content (at the cathode) by saturation or surface coating	
P10. Cathodic protection	10.1 Applying an electrical potential	ISO/DIS 12696
P11. Control of anodic areas	11.1 Active coating of the reinforcement	EN 1504-7
	11.2 Barrier coating of the reinforcement	
	11.3 Applying corrosion inhibitors in or to the concrete	N/A

Principles and methods for protection and repair related to damage due to reinforcement corrosion according EN 1504 -9

Defeitos nas armaduras causados pela perda de proteção fornecida pela alcalinidade do betão e do seu recobrimento

Fase 5
Manutenção futura

> Devem ser definidas as instruções para os futuros trabalhos de manutenção e inspeção necessários durante a vida em serviço da estrutura.

> Os registos completos de todos os materiais utilizados deverão sempre que possível estar disponíveis, para possíveis trabalhos futuros (qual o tempo de vida esperado, qual o processo de deterioração mais provável dos materiais selecionados, etc.)

> Qual o período de inspeção estrutural

> Quando e que preparação de superfícies e que sistemas de acesso serão requeridos para realizar trabalhos de manutenção

> etc.

duratiNet

ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Estruturas de betão
Manual Técnico Parte IV – Vol. 4
§ 2
Preparação da superfície
Limpeza do betão e armaduras
Remoção do betão

M. Sofia Ribeiro
DM /NBPC - LNEC

Investing in our common future

LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DO BETÃO

§ 2.1.1

- **Objetivo**
- Envolve a remoção dos defeitos superficiais do betão (sujidades superficiais; revestimentos por pintura; poeiras; óleos; microorganismos) que possam comprometer a aderência do material de reparação ao betão existente

- **Métodos de limpeza**
- Limpeza química
  § 2.1.1.1
- Limpeza mecânica
  § 2.1.1.2
- Limpeza Shot blasting
  § 2.1.1.3
- Limpeza com jato de água e areia
  § 2.1.1.4
- Limpeza por ataque ácido
  § 2.1.1.4

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Limpeza química

- **Defeito**
- Betão contaminado com óleos, gorduras e outras sujidades

- **Produtos de limpeza**
- Detergentes; fosfato trissódico; ácidos para retirar manchas

- **Limites**
- Preocupação de que todos os vestígios dos produtos químicos usados sejam bem removidos
  Não usar solventes

Limpeza mecânica

- **Defeito**
- vários

- **Equipamentos**
- Scabber
  Escarificadores
  Ferramentas de impacto

- **Limites**
- Por vezes é removido mais betão do que o desejado
  Dependendo do material abrasivo usado ou dos martelos usados podem ser atingidos diferentes graus de limpeza superficial.
  Pode ser necessário utilizar outro método complementar para a limpeza final da superfície

Scabber

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Limpeza shot blasting

- **Defeito**
- Reparação de revestimentos por pintura

- **Equipamentos**
- Shot blasting

- **Vantagens**
- Deixa a superfície seca para a aplicação imediata de um agente de colagem ou revestimento por pintura

Shot blasting

Limpeza com jato de água e areia (Blast)

- **Defeito**
- vários

- **Equipamentos**
- Equipamento com de jato de água com uma pressão entre 40 MPa e 60 MPa
  A água pode ser aquecida e melhorar os objetivos pretendidos conter aditivos

- **Aplicabilidade/Vantagens**
- Como metodologia final da preparação da superfície do betão
  Método rápido e de baixo custo

- **Limites**
- Requer pessoal experiente

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Limpeza por ataque químico

- **Defeito**
- Remover a calda de cimento superficial

- **Produtos químicos**
- Ácido

- **Limites**
- Preocupação de que todos os vestígios dos produtos químicos usados sejam bem removidos
  Verificar/confirmar com papel pH que foi removido todo o ácido usado na limpeza da superfície

LIMPEZA DAS ARMADURAS

§ 2.1.2

> **Objetivo**
> Remoção dos produtos resultantes da corrosão (ferrugem), poeiras

> **Seleção do método**
> Ter em conta a densidade de armaduras
A proximidade do substrato

Escovas de aço (pequena área)
Jato de água (grande área)

> **Notas**
> Para a corrosão induzida por cloretos usar a limpeza com jato de água (7.3.2 e A.7.3.2 da NP EN 1504-10)
Para o controlo das áreas anódicas (P11 da NP EN 1504-9), o padrão da limpeza deve ser especificado e adequado ao revestimento a aplicar (7.3.2 e A.7.3.2 da NP EN 1504-10)

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

REMOÇÃO DO BETÃO

§ 2.2

> **Objetivo**
> Quando a limpeza da superfície não é suficiente para a extração do betão contaminado ou degradado

> **Seleção método**
> Custos envolvidos
Restrinções de tempo e espaço
Volume de betão a remover
Características do betão a remover

> **Espessura da remoção**
> Estabelecida antes o início dos trabalho com base:
A profundidade da carbonatação
O perfil do teor de cloretos no betão
A profundidade de outra contaminação
O recobrimento das armaduras
As implicações na estabilidade estrutural
A atividade de corrosão das armaduras
A estratégia de atuação para a reparação (Princípio da NP EN 1504-9) e a forma de concretizar essa estratégia (Método da NP EN 1504-9) P 1 – Proteção contra o ingresso
P10 – Proteção catódica

> **Métodos**
> Remoção por explosão § 2.2.1
Remoção por esmagamento § 2.2.2
Remoção por corte § 2.2.3
Remoção por impacto § 2.2.4
Remoção por abrasão § 2.2.5
Remoção por pre-splitting § 2.2.5

Remoção por explosão

- **Objetivo**
- Remoção de grandes volumes de betão
  Espessura da remoção é superior a 250mm

- **Método**
- Provocar uma explosão confinada em pequenos furos para a produção de fraturas controladas no betão e posterior remoção do betão

- **Limites**
- Exige pessoal especializado
  Conformidade com Regulamentos de segurança
  Controlo rigoroso da explosão para limitar os prejuízos no betão a permanecer, e no meio ambiente

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Remoção por esmagamento

- **Objetivo**
- Demolição total de um elemento de betão (lajes, paredes, pilares, betão de tabuleiros)

- **Método**
- Emprega mandibulas acionadas hidraulicamente para esmagar e remover o betão

- **Equipamento**
- Triturador mecânico

- **Limites/Desvantagens**
- A fronteira da demolição tem que ser tratada (corte)
  Implica a existência de um bordo livre para se iniciar o trabalho
  As armaduras que ficam expostas podem ficar danificadas sem possibilidade de reutilização
  Produção de vibração e ruído limitado

ATLANTIC AREA Transnational Programme
European Union European Regional Development Fund

Remoção por corte

- **Objetivo**
- Desmembrar um elemento de betão em unidades a partir de cortes profundos de perímetro, partindo de uma das suas faces
  A profundidade do corte depende do equipamento (<500mm)

- **Equipamento**
- Serra de lâmina diamantada
- Corte térmico
- Fio de corte
- Jacto de água abrasivo (pressão da água muito elevada)

- **Vantagens**
- Não há produção de poeiras e vibração

- **Limites/Desvantagens**
- Elevado nível de ruído
- Exige pessoal qualificado
- Precauções de segurança adicionais

Remoção por impacto

- **Objetivo**
- Remoção em profundidade, total ou parcial.

- **Método**
- Impacto repetido de uma massa na superfície do betão para fratura e posterior remoção

- **Equipamento**
- Martelos pneumáticos
  Maquinaria pesada pneumática

- **Limites/Desvantagens**
- Elevado nível de ruído
  Produção de poeiras e vibração
  Exige pessoal qualificado
  O betão que permanece pode ficar danificado (microfisssurado)

- bordos inclinados e rugosos
  - Evitar o transbordar do material de reparação para o betão adjacente existente
  - Fornecer uma boa ligação mecânica entre os dois materiais

Remoção por abrasão

- **Objetivo**
- Remoção do betão em tabuleiros ou paredes em profundidade não superior a 150 mm

- **Método**
- Impacto-abrasão e cavitação-erosão para remoção do betão à superfície
  Hidro-demolição

- **Vantagens**
- O betão e as armaduras que permanecem não são danificados

- **Limites/Desvantagens**
- Custo elevado
  Elevado consumo de água
  Elevado nível de ruído
  Projeção de material
  Exige pessoal qualificado

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Remoção por pre-splitting

- **Objetivo**
- Remoção de betão em lajes, paredes ou outros elementos a partir do emprego de forças em cunha numa série de furos para produzir uma fissuração controlada do betão e para facilitar a sua remoção por outros meios

- **Métodos**
- Pre-splitting químico (agentes expansivos)
  Pre-splitting mecânico ("piston jack splitter", "plug-feather splitter")

- **Vantagens**
  Sem produção de ruído, vibração ou material projetado

Processo químico

Processo mecânico

ATLANTIC AREA Transnational Programme
European Union European Regional Development Fund

duratiNet

ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Estruturas de betão
Métodos de Proteção e Reparação
§ 3.6

Injeção de betão

European Union
European Regional Development Fund

Investing in our common future

ATLANTIC AREA
Transnational Programme

INJEÇÃO DO BETÃO

- **Objetivo**
- Preenchimento com um novo material do espaço livre de uma fissura ou vazio no betão

  Restaurar as características iniciais do betão (resistência mecânica (rigidez), impermeabilidade à água e resistência à penetração dos agentes agressivos)

  Fissuras com abertura superior ou igual 2mm

  Não se aplica a fissuras devido à corrosão do aço

Injeção sob pressão

- **Procedimento** (NP EN 1504-5)
- Injeção por pressão

  Embebimento: enchimento da fisssura numa superfície horizontal por gravidade

Embebimento

- **Produtos** (NP EN 1504-5)
- Cimentícios
  - Enchimento transmissor de forças
    - Produtos capazes de se colarem à superfície do betão e transmitirem forças através deles
  - Menor custo, menor profundidade de penetração
- Poliméricos
  - Enchimento transmissor de forças
  - Enchimento dúctil
    - Produtos flexíveis capazes de suportar pequenos movimentos subsequentes
  - Enchimento expansivo
    - Produtos que dilatam repetidamente por absorção de água

ATLANTIC AREA
Transnational Programme

European Union
European Regional Development Fund

INJEÇÃO DO BETÃO

- **Aplicabilidade**
- Abertura da fisssura
  - 5 classes: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 e 0.8 mm
- Atividade da fissura
  - Ativa, passiva ou latente
- Estado de humidade da fissura
  - Seca, húmida, molhada ou cheia de água
- Origem da fissura
  - Formação em idade jovem (retração plástica)
  - Estruturais (flexão, de corte, …)
  - De corrosão (ferrugem das armaduras)
  - Resultado da formação de produtos expansivos (reações expansivas internas: RAS, DEF)

- De acordo com a parte 9 da norma 1504, é o método utilizado nos Princípios:
  - P1– Protecão contra o ingresso
  - P4- Reforço estrutural
    - (transmissão de esforços)

duratiNet

ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Estruturas de betão
Métodos de Proteção e Reparação
§ 3.7

Reposição do betão

REPOSIÇÃO DO BETÃO

- **Objetivo**
- Consiste na substituição do betão contaminado ou degradado por um material de reparação
  Reposição com função estrutural ou não estrutural

- De acordo com a parte 9 da norma 1504, é o método utilizado nos Princípios:
  P4- Reforço estrutural
  P5 - Resistência física
  P6- Resistência química
  P7- Preservação ou restauração da passividade do betão

- **Procedimento** (NP EN 1504-5)
- Reposição localizada ("patching")
  Revestimento superficial adicional geral
  Reposição geral (ataque de cloretos)

- **Método** (NP EN 1504-9)
- Aplicação manual
  Por moldagem
  Por projetado

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

REPOSIÇÃO DO BETÃO

- **Seleção método**
- Custos envolvidos
  Restrinções de tempo e espaço
  Volume de betão a repor
  Características do betão a repor

- **Notas**
- A durabilidade depende do processo e da causa de degradação,
  Compatibilidade entre as propriedades do material de reparação e do betão existente
  Controlo da qualidade da aplicação

ATLANTIC AREA Transnational Programme
European Union European Regional Development Fund

duratiNet

ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Estruturas de betão
Métodos de Proteção e Reparação

Sistemas de proteção da superfície
Revestimentos
Impregnação
Impregnação hidrofóbica

European Union
European Regional Development Fund

Investing in our common future

ATLANTIC AREA
Transnational Programme

Sistemas de proteção de superficie

Tratamentos aplicados na superfície do betão para prevenir o ingresso de água e substâncias agressivas associadas com os vários processos de deterioração:

> P1 - Proteção contra o ingresso
> P2 - Controlo da humidade
> P5 - Resistência física
> P6 - Resistência química
> P8 - Aumento da resistividade

ATLANTIC AREA
Transnational Programme
European Union
European Regional Development Fund

Sistemas de proteção de superfície

Revestimentos	Tintas e vernizes orgânicos; membranas; tintas de silicatos; tintas polímero-cimentícias; argamassas poliméricas, tintas betuminosas	Pode formar um filme contínuo (tipicamente de 100 micrómetros a 5 mm)
Impregnação	Produtos líquidos de baixa viscosidades, que contêm componentes ativos, tais como polímeros orgânicos (acrílicos, resinas epóxi, poliuretanos), água ou solventes de base aquosa; silicatos (sódio e potássio); fluoretos	Produtos facilmente absorvidos e enchem os poros parcialmente, resultando um filme fino e descontínuo que reduz a porosidade e aumenta a resistência da superfície (10-100 μm). Também podem ser concebidos para endurecer a superfície de betão e aumentar a resistência ao desgaste e limitar os efeitos da abrasão.
Impregnação Hidrofóbica	Estes tratamentos envolvem a aplicação de produtos líquidos de baixa viscosidades, cremes e géis que contêm componentes ativos, tais como silanos e siloxanos, água ou solventes de base aquosa	O tratamento por impregnação hidrofóbica não preenche os poros e os capilares mas produz uma superfície repelente à água, prevenindo o ingresso de líquidos que ocorre por ação capilar. A penetração deve ser uniforme e ter pelo menos a espessura de 2 mm em toda a superfície. A aparência da superfícies de betão não se altera.

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Sistemas de proteção de superfície

- Quando o processo de deterioração já induziu danos no betão e nas armaduras, a aplicação deste tratamento requer em geral prévia reposição do betão danificado ou a aplicação de outros métodos de reparação adequados para mitigar a causa de deterioração.
- Apenas defeitos que possam induzir pequenos danos no betão podem excluir reparações prévias do betão: vazios superficiais, desintegração superficial, eflorescências, fissuras - tipo I, descoloração e algum tipo de contaminação inorgânica/orgânica/biológica.
- Alteram geralmente o aspecto da superfície e têm uma durabilidade reduzida quando comparada como tempo de vida útil da estrutura e a necessidade de manutenção é muito comum.
- É fundamental seguir as indicações dos fabricantes na aplicação (condições de aplicação, cura, etc.).

Inibidores de corrosão

> Um inibidor de corrosão é uma substância química que diminui a velocidade de corrosão quando presente no betão junto das armaduras numa concentração adequada, sem que haja significativa alteração de concentração dos agentes de corrosão (ISO 8044:1999).

> Têm vindo a ser desenvolvidos vários inibidores de corrosão (nitrato de cálcio, aminoálcoois e monofluorofosfatos de sódio, etc.) para prevenir a despassivação do aço das armaduras devido à contaminação por cloretos ou carbonatação ou para reduzir a velocidade de corrosão.

> Podem ser classificados:

- **método de aplicação** (adicionados ao betão fresco como adjuvante ou aplicados sobre a superfície do betão endurecido – inibidores de migração)
- **mecanismo de proteção** (anódicos, se atuam numa reação anódica; catódicos, se atuam numa reação catódica ou de ação mista se atuam em ambas as reações) - **P11- Controlo das áreas catódicas e anódicas**

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Inibidores de corrosão

> Quando introduzidos durante a betonagem, como **aditivos**, os inibidores de corrosão estão em contato direto com o aço pelo que a ação química se torna mais eficaz.

> Quando aplicados na **superfície do betão** endurecido, os inibidores de corrosão devem migrar através da camada de recobrimento do betão para chegar ao aço, o que pode limitar a sua eficiência se as condições do betão dificultarem a migração.

> As **recomendações dos fabricantes** quanto às quantidades utilizadas e o controlo de qualidade devem ser **rigorosamente seguidas**. O uso de inibidores deve ser registado para assegurar que os inibidores de corrosão são utilizados como recomendado.

> É muito importante utilizar a quantidade de inibidor recomendada pelo fabricante/fornecedor porque a eficácia depende da concentração e para evitar os efeitos colaterais indesejados. Há um limite natural para a aplicação de certos inibidores, uma vez que alguns são tóxicos e podem acumular-se na natureza, como é o caso dos nitritos.

ATLANTIC AREA Transnational Programme
European Union European Regional Development Fund

duratiNet

ACESSIBILITY & TRANSPORTS

Project nr 2008-1/049

Estruturas de betão
Métodos de Proteção e Reparação

Métodos electroquímicos
Proteção/Prevenção catódica
Extração de cloretos
Realcalinização

European Union
European Regional Development Fund

Investing in our common future

ATLANTIC AREA
Transnational Programme

Métodos electroquímicos

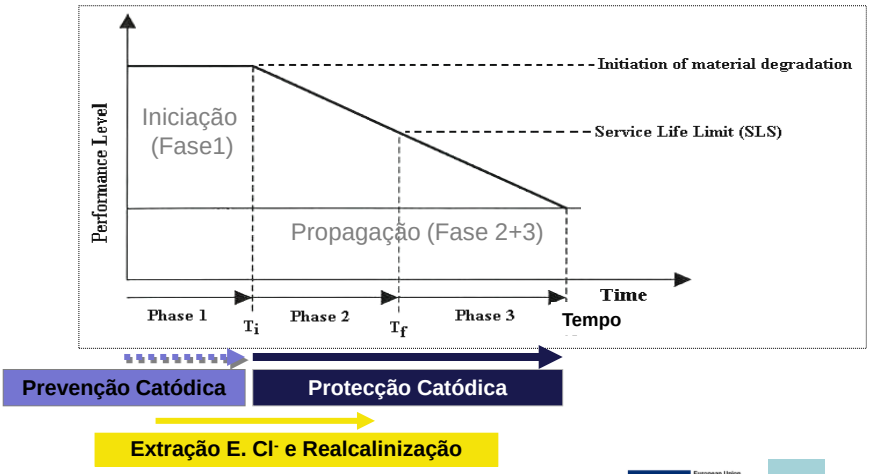
Características gerais

Características	PC e Prev C	EEC	RA
Objectivo	Polarizar as armaduras a um potencial de protecção	Remover os cloretos no betão de recobrimento /repassivação do aço	Repor a alcalinidade no betão recobrimento /repassivação do aço
Duração do tratamento	permanente	6-10 semanas	1-2 semanas
Densidade de corrente	0.2 -2 mA/cm² (Prev C) 2 – 20 mA/cm² (PC)	1-2 A/cm ²	1- 2 A/cm ²
Princípio	P10 – Cathodic protection of reinforcement	P7 – Restoring reinforcement passivity	
Normas	ISO/DIS 12696 EN 15257	CEN/TS 14038-2	CEN/TS 14038-1

ATLANTIC AREA
Transnational Programme

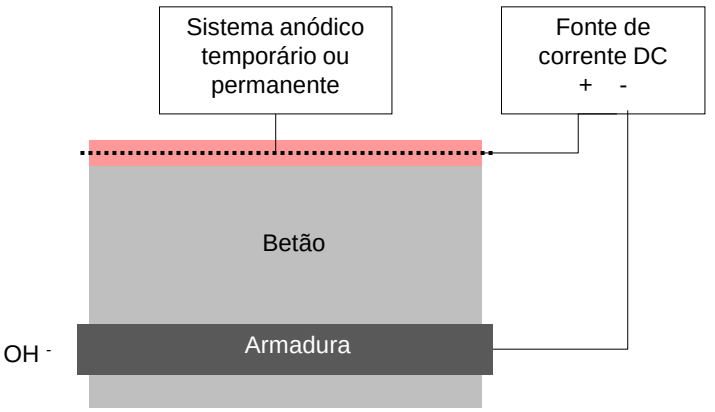
European Union
European Regional Development Fund

Métodos electroquímicos



duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Métodos electroquímicos



ATLANTIC AREA Transnational Programme
European Union European Regional Development Fund

Proteção catódica

> A Proteção Catódica é uma técnica eletroquímica instalada permanentemente na estrutura para prevenir a corrosão das armaduras resultante da contaminação por cloretos e carbonatação (embora neste caso a reparação tradicional seja geralmente economicamente mais vantajosa).

> O método baseia-se na mudança de potencial do aço das armaduras para valores mais negativos, reduzindo desse modo as diferenças de potencial entre as zonas anódicas e catódicas assim como a corrente de corrosão.

> A polarização negativa imposta também limita ou impede a migração dos iões cloreto para o betão impedindo-os de despassivarem o aço.

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Proteção catódica

Existem dois sistemas principais para aplicação da PC:

PC por **Corrente Impressa**
Uma corrente contínua é forçada a fluir entre um ânodo, colocado sobre a superfície externa de betão (por exemplo, uma malha de titânio ou um revestimento eletricamente condutor) e as armaduras (cátodo) que são ligadas ao pólo negativo de uma fonte de alimentação DC.

Aplicação: estruturas imersas ou emersas
Eficácia : controlo das condições de instalação (polarização)

PC por **Ânodos de Sacrifício**
As armaduras estão ligadas eletricamente com um ânodo de sacrifício, por exemplo, magnésio ou zinco, colocado no meio electrólitico em contacto com as armaduras. A dissolução do metal do ânodo ligado às armaduras fornece a corrente necessária para a diminuição do potencial das armaduras, substituindo assim a fonte de energia externa.

Aplicação: estruturas imersas ou semi-imersas
Eficácia : selecção tipo do ânodo

Proteção catódica

- A PC pode ser aplicada a estruturas novas e existentes.
- A PC é particularmente efetiva contra a corrosão devido a contaminação por cloretos e em casos onde os danos resultantes da corrosão das armaduras ainda não são tão extensos que seja necessário remover o betão e substituir as armaduras.
- Uma vez aplicada, a proteção catódica e a prevenção catódica devem ser mantidas e monitorizadas continuamente para a restante vida útil da estrutura.
- São necessários cuidados especiais para a aplicação de proteção catódica no aço pré-esforço do, devido à possível ocorrência de fragilização por hidrogénio.
- Para estruturas afetadas por RAA, a PC pode afetar negativamente a progressão dos danos. É recomendado que o potencial residual de expansão da estrutura seja avaliado.

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Extração eletroquímica de cloretos

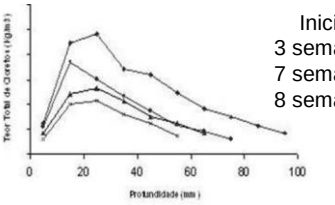
- A extração Eletroquímica de Cloretos (EC), às vezes denominada dessalinização, é um processo eletroquímico para remover os iões cloreto do betão contaminado da migração destes iões.
- Um ânodo, incorporado num eletrólito, é temporariamente aplicado sobre a superfície do betão.
- Uma densidade de corrente relativamente alta é aplicada entre o ânodo e as armaduras, promovendo a migração de iões cloreto das armaduras do betão para o ânodo.
- Após a aplicação, todo o equipamento, incluindo o ânodo com eletrólito e os iões cloreto são removidos da estrutura.
- Medidas de proteção adicionais devem ser implementadas para evitar uma futura contaminação por cloretos, nomeadamente a aplicação de sistemas de proteção da superfície

ATLANTIC AREA Transnational Programme
European Union European Regional Development Fund

Extração eletroquímica de cloretos

- A quantidade de Cl- extraídos depende da condutividade do betão, do teor inicial em Cl- e da sua distribuição no betão, da corrente aplicada e também da geometria das armaduras que condiciona a distribuição da corrente.
- Deve fazer-se o registro contínuo de tensão e corrente durante todo o processo da EC. Devem ser retiradas regularmente da superfície amostras de betão e estas devem ser analisadas para avaliar o decréscimo do teor de cloretos. O eletrólito deve ser verificado regularmente e reposto quando necessário.
- O teor de cloreto não consegue ser reduzido totalmente e o rendimento da extração diminui à medida que o teor de cloretos no betão baixa.
- Habitualmente estabelece-se como meta um teor de 0,4 % em relação à massa de cimento.
- O efeito da extração eletroquímica de cloretos não está limitada à zona entre a superfície de betão e a camada das armaduras mais próximas, podendo ser desencadeada em maiores profundidades de betão, caso as armaduras estejam presentes e ligadas com as camadas superiores das armaduras.

Avaliação do perfil de cloretos durante o tratamento



duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Extração eletroquímica de cloretos

- A EC não é recomendada em betão pré-esforçado uma vez que pode ocorrer fragilização por hidrogénio dos cabos de pré-esforço durante a aplicação da extração eletroquímica de cloretos. Nestes casos a aplicabilidade tem de ser demostrada.
- O método também não é aplicável em betão com armaduras galvanizadas.
- Quando existirem agregados reativos o aumento da alcalinidade do betão pode aumentar a probabilidade de reação álcalis-agregado (RAA).

Extração eletroquímica de cloretos

> A aplicação da EC deve realizar-se preferencialmente antes de se iniciar a corrosão. Se as armaduras já estiverem corroídas e estiverem presentes fissuras, delaminação e destacamentos, o betão danificado deve ser removido e a superfície reparada antes da aplicação da EC.

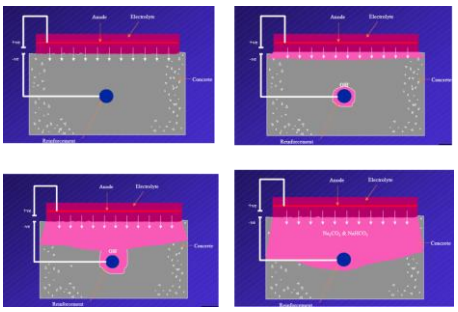
> Zonas de delaminações e com materiais de reparação com resistividade elétrica muito alta e/ou que contenham materiais que possam prejudicar a aplicação eficaz da corrente devem ser tratadas previamente.

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Extracção electroquímica de cloretos

Degradação do betão e particularidades	Adequação	Observações
Cloretos de origem externa Contaminação pouco profunda	Sim	Caso mais favorável
Cloretos introduzidos durante a amassadura	Não	Grande percentagem de cloretos ligados Só são extraídos os cloretos superficiais
Cloretos de origem externa Delaminação importante Oxidação visível do aço	A considerar	Deverá proceder-se a trabalhos de reparação
Cloretos de origem externa Contaminação estende-se para lá da armadura	Não	Descontaminação parcial
Betão pré-esforçado	Desaconselhado	Risco de fragilização do aço por H_2

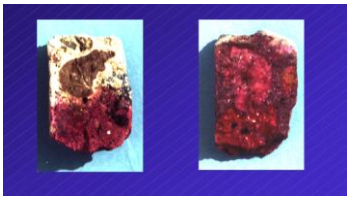
Realcalinização



- A realcalinização do betão é um processo eletroquímico através do qual a passivação do aço no betão carbonatado é restabelecida pela penetração de um eletrólito alcalino através da superfície de betão e pela produção de iões OH^- na superfície das armaduras.
- Uma corrente contínua é aplicada entre as armaduras (cátodo) e um ânodo rodeado por uma solução de carbonato de sódio (ou outro metal alcalino) temporariamente colocada sobre a superfície exterior do betão.
- Com uma densidade de corrente relativamente alta uma camada de recobrimento de betão carbonatado de vários cms pode ser realcalinizada num prazo relativamente curto, geralmente alguns dias a algumas semanas. O ânodo e o eletrólito são depois removidos da estrutura.
- Devem depois ser implementadas medidas de proteção adicionais para evitar uma futura carbonatação (sistemas de proteção da superfície)

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Realcalinização



- O controlo de qualidade deve incluir o registro contínuo de tensão e corrente durante o processo da realcalinização do betão.
- Devem ser retiradas regularmente da superfície amostras de betão que são analisadas para determinar o progresso da realcalinização.
- O eletrólito deve ser verificado regularmente e reposto quando necessário.

Realcalinização

- O método é particularmente adequado antes de ocorrência significativa de deterioração do betão e perda de seção do aço das armaduras.
- Se as armaduras já estiverem corroídas e estiverem presentes fissuras, delaminção, etc. o betão danificado deve ser removido e a superfície reparada antes da aplicação da realcalinização.
- Se estiverem presentes agregados reativos, o aumento da alcalinidade do betão pode aumentar a probabilidade de ocorrer reação álcalis-agregado.
- A RA não é aplicável em betão que contem revestimentos isolantes ou armaduras galvanizadas ou se a contaminação por cloretos estiver a contribuir para a corrosão das armaduras.

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Realcalinização

Degradação do betão e particularidades	Adequação	Observações
Carbonatação generalizada ao nível das armaduras com delaminação pouco extensa	Sim	Caso mais favorável
Recobrimento das armaduras insuficiente, com betão carbonatado e delaminação muito frequente	Não	Deve ser adoptado um processo de reposição do recobrimento com betão ou argamassa
Carbonatação do recobrimento com poucas zonas atingindo as armaduras e pouca delaminação	Não	Refazer as zonas delaminadas e aplicar um revestimento barreira que permita aumentar a resistividade do meio e seja resistente à penetração do CO_2
Betão pré-esforçado	Desaconselhado	Risco de fragilização por H_2