



## REVESTIMENTOS POR PINTURA FOTORRETICULÁVEIS PARA PROTEÇÃO SUPERFICIAL DO BETÃO

*M. Paula M-C. Rodrigues<sup>1</sup>, Susana Cabral-Fonseca<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Departamento de Materiais, LNEC, mprodriques@lnec.pt, <sup>2</sup>Departamento de Materiais, LNEC, sbravo@lnec.pt*

### RESUMO

A degradação prematura de infra-estruturas de betão armado devido à corrosão das armaduras é um problema corrente e que pode acarretar custos de reparação elevados. A aplicação de produtos de protecção superficial que restringem o acesso de substâncias agressivas ao interior do betão e às armaduras, nomeadamente do ião cloreto, pode contribuir para aumentar a durabilidade das estruturas. Os produtos de protecção superficial mais comuns, nomeadamente as tintas, as membranas, os produtos de impregnação ou os hidrófugos, são materiais de natureza polimérica - de base acrílica, poliuretanos, poliureias, silicones, epoxídicos, fluorados – ou com base em silanos e oligómeros da família dos siloxanos.

Atualmente os produtos para protecção superficial do betão encontram-se abrangidos pela norma europeia harmonizada EN 1504-2 e são objecto de marcação CE. Essa norma define as propriedades, os métodos de ensaio para as avaliar e os respectivos requisitos mínimos para vários tipos de produtos que, depois de aplicados na superfície de betão, produzem uma camada superficial protectora ou penetram no betão, impregnando os poros ou tornando a sua superfície hidrofóbica.

No entanto, não basta conhecer o tipo de produto e a natureza química do polímero para o seleccionar para uma situação específica de utilização, pois produtos da mesma família podem possuir propriedades de desempenho muito diferentes, que dependem da formulação e do teor dos vários constituintes. Para além disso, as condições de aplicação podem ter uma grande influência nas características do revestimento formado ou no modo como o produto de impregnação penetra no betão.

Um dos factores que condiciona o desempenho em situações reais de utilização e também durante a fase de caracterização em laboratório é que o produto aplicado tenha as condições adequadas de secagem e cura. Nesta comunicação apresentam-se os resultados de um estudo experimental demonstrando a influência da eficácia da cura de um revestimento por pintura fotorreticulável, nas suas propriedades de barreira ao ião cloreto.

Palavras-chave: Revestimentos por pintura / Protecção superficial do betão / Fotorreticulação



## **1. INTRODUÇÃO**

Os iões cloreto são considerados como a principal causa de degradação prematura das estruturas de betão armado em ambiente marinho, por promoverem a corrosão das armaduras mesmo em condições de pH elevado, logo que o seu teor junto das mesmas atinja um determinado valor crítico (Hassmann, 1967).

Sob o ponto de vista estrutural, as principais consequências da corrosão das armaduras são as seguintes:

- fissuração do betão de recobrimento provocada pelas tensões resultantes da formação de produtos de corrosão expansivos;
- redução da aderência aço/betão;
- redução da secção das armaduras e deterioração das propriedades mecânicas do aço.

Os sistemas de protecção superficial - revestimentos por pintura e produtos similares - podem ser usados em estruturas novas, como uma medida preventiva da corrosão das armaduras ou de processos físicos e químicos de degradação do betão, ou em estruturas já existentes, quando o betão de recobrimento parece não ser capaz de resistir às condições ambientais de exposição. Estes sistemas podem actuar como uma barreira à penetração dos agentes ambientais agressivos, nomeadamente a água, o dióxido de carbono e, no caso de ambientes marinhos, os iões cloreto. No entanto o grau de eficácia é muito variável, mesmo em produtos do mesmo tipo. Quando se trata de tintas de base aquosa, relativamente às de solvente, essas diferenças podem ser ainda mais acentuadas, especialmente no caso da sua permeabilidade à água e aos iões cloreto (Cruz e Rodrigues, 2003). Assim, a seleção de um sistema de protecção para uma determinada aplicação deve ser feita por apreciação das suas características, avaliadas por métodos de ensaio específicos.

A avaliação da capacidade dos revestimentos por pintura em impedirem o acesso de cloretos até ao interior do betão pode ser feita em laboratório, por determinação da sua permeabilidade ao cloreto de sódio (Rodrigues *et al.* 2000). Para tal, procede-se à aplicação do produto de pintura num substrato apropriado, permitindo depois que ocorra a secagem e cura da película, antes de se proceder ao ensaio.

A cura da película deve ter atingido o grau necessário para assegurar que as propriedades de “barreira” do revestimento por pintura se encontram plenamente desenvolvidas, sendo



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

para isso necessário que os fabricantes dos produtos forneçam ao laboratório de ensaio toda a informação necessária relativamente às condições de cura, o que por vezes não acontece uma vez que, frequentemente, as fichas técnicas são incompletas.

Nesta comunicação apresenta-se o resultado de um estudo efetuado num revestimento por pintura de base aquosa em que a película se forma por evaporação da água e por coalescência do ligante polimérico, tal como acontece nos revestimentos aquosos tradicionais, mas em que ocorrem também reacções de reticulação à superfície da película, por acção da radiação solar, devido à presença de um polímero fotoativo na formulação da tinta. Com efeito, quando os provetes para o ensaio de permeabilidade ao ião cloreto são preparados da forma tradicional para os revestimentos por pintura de base aquosa – apenas por secagem em ambiente do laboratório com condições controladas de temperatura de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e humidade relativa de  $50\pm 10\%$  e ao abrigo da radiação solar directa – obtêm-se coeficientes de permeabilidade substancialmente inferiores aos obtidos com provetes submetidos também à acção da radiação natural ou artificial, durante alguns dias.

## 2. REQUISITOS

A utilização sistemas de protecção superficial com um objectivo de protecção possui actualmente um enquadramento científico e técnico consagrado no conjunto normativo EN 1504 relativo a “Produtos e Sistemas para a Protecção e Reparação do Betão”, que propõe nas suas 10 partes vários métodos de protecção e reparação do betão, definindo as características a avaliar e fixando os respectivos requisitos mínimos.

Na parte 9 da EN 1504 (2008) encontram-se sistematizados os conhecimentos actualmente disponíveis, quer quanto aos principais mecanismos de deterioração das estruturas de betão, quer relativamente às leis físicas ou químicas que permitem a redução ou estabilização dos processos de degradação do betão (físicos ou químicos) ou de corrosão das armaduras e definem-se os seguintes 11 princípios (P) básicos de protecção e reparação, que permitem actuar a nível do betão ou das armaduras: P1 - Protecção contra o ingresso; P2 - Controlo de humidade; P3 - Restauro do betão; P4 - Reforço estrutural; P5 - Resistência física; P6 - Resistência química; P7 - Preservação ou restauro da passivação; P8 - Aumento da resistividade; P9 - Controlo catódico; P10 - Protecção catódica; P11 - Controlo de áreas anódicas.

Estes princípios estão directamente relacionados com as acções resultantes da exposição ambiental e com as acções físicas ou químicas de que se pretende proteger o betão. Os 6



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

primeiros princípios de protecção e reparação estão relacionados com deficiências que podem ocorrer no betão e os restantes 5 dizem respeito à corrosão das armaduras.

Os produtos a aplicar superficialmente no betão, com o objectivo de o proteger, são tratados na parte 2 da EN 1504 (2004), podendo actuar de acordo com um dos seguintes cinco “princípios”: 1 (PI) protecção contra o ingresso; 2 (MC) controlo de humidade no betão; 5 (PR) resistência física; 6 (RC) resistência química; 8 (IR) aumento da resistividade do betão.

No caso do objectivo da aplicação dum sistema de protecção superficial ser a protecção anticorrosiva das armaduras, o seu “Princípio” de atuação será o “Princípio 1” – Protecção contra o ingresso. As características que, obrigatoriamente, devem ser avaliadas, são as quatro seguintes: aderência, permeabilidade ao vapor de água, permeabilidade ao CO<sub>2</sub> e permeabilidade à água. Adicionalmente deverão ser seleccionadas outras, caso a caso, consoante a agressividade ambiental e o tipo de acções físicas ou químicas a que o betão da estrutura está sujeito. No caso da exposição no exterior, com ou sem a influência do ambiente marinho, o LNEC estabeleceu as características a avaliar nos revestimentos por pintura (e respectivos requisitos mínimos), onde se incluem, entre outras, as características obrigatórias acima referidas (LNEC, Junho 2009).

Relativamente à permeabilidade à água, a EN 1504-2 (2006) refere que, quando o coeficiente de absorção de água,  $w$ , é inferior a  $0,01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ , não é expectável que ocorra a permeação de iões cloreto através da película. No entanto comprovou-se experimentalmente que revestimentos por pintura satisfazendo aquele requisito podem não impedir a permeação de cloretos no betão (Cruz e Rodrigues, 2003). Assim, em ambientes marinhos em que a capacidade de impedir o acesso de cloretos até ao interior do betão deve estar assegurada, é essencial que os revestimentos por pintura a utilizar na protecção superficial do betão sejam avaliados também quanto à sua permeabilidade ao ião cloreto.

### 3. REVESTIMENTO POR PINTURA

O produto de pintura de base aquosa estudado era formulado com uma mistura de ligantes de base acrílica. O fabricante informou que a mistura de ligantes incorporava uma resina modificada que induzia a ocorrência de reticulação à superfície, por acção da radiação solar, mas não disponibilizou informação quanto à gama de radiação a que o revestimento era sensível, durante o processo de fotorreticulação. Na Tabela 1 resumem-se algumas características e as condições de aplicação e secagem da tinta líquida, mencionadas na ficha técnica. Apresentam-se também os valores das características obrigatórias que a EN 1504-2 (2004) exige a revestimentos por pintura para protecção do betão atuando segundo



o “Princípio 1 (PI)” – Protecção contra o ingresso: aderência por tração (EN 1542, 1999) permeabilidade ao vapor de água (EN ISO 7783, 2011), permeabilidade ao CO<sub>2</sub> (EN 1062-6, 2002) e permeabilidade à água (EN 1062-3, 2008). Estas características foram determinadas no LNEC, no decorrer do estudo experimental, no revestimento por pintura aplicado em substratos de acordo com as respectivas normas de ensaio e seco conforme informação existente na ficha técnica (ao ar, em ambiente laboratorial com condições controladas de temperatura (T) e humidade relativa (HR): (23±2)°C e (50±10)%).

**Tabela 1 – Característica da tinta líquida e do revestimento por pintura**

Tinta líquida				
Massa volúmica (g.cm <sup>-3</sup> )	Rendimento de aplicação (m <sup>2</sup> /l)	Nº de demãos	Diluição (com água)	Condições de secagem
1,313	5,7 / demão	3	5% / demão	Secagem ao ar (T>5°C e HR<80%): cerca de 2 h, entre demãos; cerca de 1 h, superficial
Revestimento por pintura				
Espessura seca mínima recomendada, (l, µm)	Aderência (N.mm <sup>-2</sup> )	Permeabilidade ao vapor de água (S <sub>D</sub> , m)	Permeabilidade ao CO <sub>2</sub> (S <sub>D</sub> , m)	Permeabilidade à água (w, kg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-0,5</sup> )
210	3,3	0,83 (l = 231 µm)	8,7 × 10 <sup>2</sup> (l = 217 µm)	0,005

O revestimento por pintura, mesmo sem a acção da radiação solar, cumpre amplamente os requisitos obrigatórios exigidos pela EN 1504-2 (2004), para o princípio de protecção PI: aderência ao betão (mínimo de 1 N.mm<sup>-2</sup>); permeabilidade ao CO<sub>2</sub> (S<sub>D</sub> > 50 m); e permeabilidade à água (w < 0,01 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-0,5</sup>). No que respeita à permeabilidade ao vapor de água, pertence à classe I (permeável ao vapor de água).

## 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1. Preparação dos provetes

Tratando-se de um produto de base aquosa e tendo o fabricante informado que o mecanismo de cura envolvia, para além da evaporação da água e coalescência do ligante, habituais no processo de secagem dos revestimentos de base aquosa, a fotorreticulação superficial da película por acção da radiação solar, procedeu-se à cura da película através das seguintes duas condições, para além da secagem ao ar em ambiente interior



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

laboratorial (IN) condicionado em temperatura ( $23\pm 2$ )°C e humidade relativa ( $50\pm 10$ )%, durante cerca de 1 mês (condição A): a) 1 semana de exposição em câmara climática equipada com uma lâmpada de xénon (condição B); b) 1 semana de exposição em câmara climática equipada com lâmpadas tipo UVA 340 (condição C).

As condições de exposição nas câmaras foram as seguintes:

Condição B – Lâmpada de xénon com filtros interior e exterior de brossilicado, irradiância em contínuo a 340 nm de  $0,41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ , T de  $38 (\pm 3)$ °C, HR de  $50 \pm (10)\%$ , T do padrão negro  $65 \pm (3)$ °C.

Condição C – Lâmpadas UVA 340, irradiância em contínuo a 340 nm de  $0,83 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$  (sem ciclo de condensação), T do ar  $60 \pm (2)$ °C, sem controlo de humidade.

Adicionalmente e para efeitos comparativos com as condições de cura artificiais a) e b), procedeu-se à exposição em ambiente exterior natural (EN) no terraço do LNEC durante cerca de 1 semana (condição D) e 2 semanas (condição E), de provetes secos durante cerca de 1 mês como indicado anteriormente (secagem ao ar em ambiente laboratorial condicionado a ( $23\pm 2$ )°C e ( $50\pm 10$ )%).

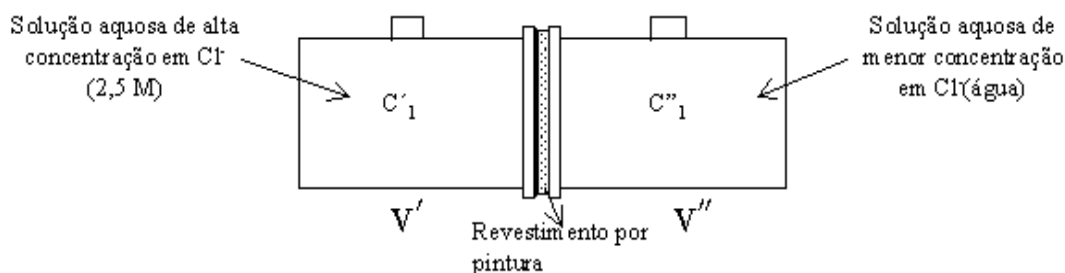
### 4.2. Permeabilidade ao ião cloreto

A avaliação da resistência dos revestimentos por pintura à penetração de iões cloreto pode ser efectuada pela determinação do coeficiente de permeabilidade ao sal, usando uma célula de permeação (E 468, 2005). Confirmou-se em trabalhos anteriores que existe uma correlação entre os resultados obtidos por este método e os obtidos com provetes de betão pintados e expostos em ambiente marítimo durante alguns meses ao fim dos quais se avaliou a capacidade de protecção dos revestimentos por pintura, pela determinação do teor de ião cloreto a diferentes profundidades (Rodrigues, 1998). Na sequência desses estudos o LNEC estabeleceu como valor mínimo para o coeficiente de permeabilidade ao cloreto de sódio o valor de  $1 \times 10^{-14} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , determinado pelo método da célula de permeação (E 468, 2005 e LNEC, 2006).

A célula de permeação, Fig. 1, é formada por duas meias células, estando o provete cuja permeabilidade ao cloreto de sódio se pretende determinar colocado como meio de separação das mesmas. O provete é constituído por uma “bolacha” de azulejo cerâmico não vidrado de elevada permeabilidade pintado com o produto de pintura a ensaiar. Uma das câmaras que constituem a célula de permeação, foi cheia com água desmineralizada e a outra com uma solução aquosa 2,5 M em cloreto de sódio de modo a impor, entre os dois



lados do provete, uma diferença de concentração de 2,5 M em ião cloreto. O fluxo iónico estabelecido do lado de maior concentração para o de menor concentração provocou um aumento de concentração em ião cloreto na câmara inicialmente cheia com água. Esta concentração foi medida periodicamente por condutimetria (E 468, 2005).



**Fig. 1 – Célula de permeação para determinação da permeabilidade ao cloreto de sódio de revestimentos por pintura**

O coeficiente de transporte de massa,  $L$  ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ), que traduz a permeabilidade ao cloreto de sódio das películas de revestimento por pintura e que é uma função do coeficiente de difusão dos iões na película e do coeficiente de partição dos iões entre a película e a solução adjacente, foi determinado através da seguinte expressão (E 468, 2005):

$$\ln(C'_1 - C''_1) = -\frac{L \cdot A}{l} \left( \frac{1}{V'} + \frac{1}{V''} \right) t + \ln(C'_{1(t=0)} - C''_{1(t=0)})$$

$C'_1$  – concentração em iões cloreto no lado de concentração mais elevada, ppm

$C''_1$  – concentração em iões cloreto no lado de concentração mais baixa, ppm

$A$  – área disponível para a permeação,  $m^2$

$l$  – espessura do provete, m

$V'$  – volume do lado de concentração mais elevada,  $m^3$

$V''$  – volume do lado de concentração mais baixa,  $m^3$

$t$  – tempo, s

$t_0$  – período de tempo ao fim do qual o processo de permeação de cloretos atinge o equilíbrio



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

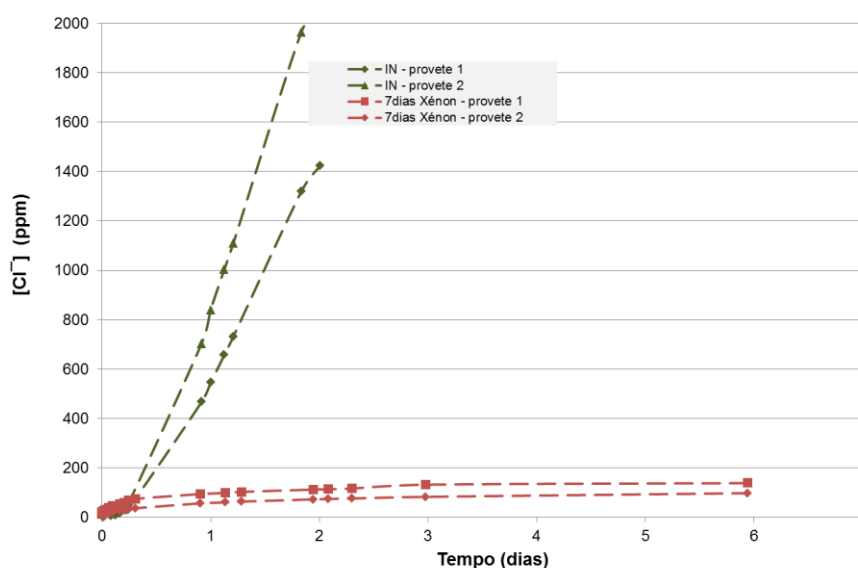
Na Tabela 2 apresentam-se os coeficientes de permeabilidade ao cloreto de sódio obtidos em cada uma das condições de secagem e cura dos provetes, indicadas em 4.1 (ensaios feitos em duplicado).

**Tabela 2 – Permeabilidade ao cloreto de sódio do revestimento por pintura,  $P_R$  ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )**

Condição A (1 mês IN)	Condição B (1mês IN+1 semana xénon)	Condição C (1mês IN +1 semana UVA340)	Condição D (1mês IN +1 semana EN)	Condição E (1mês IN + 2 semanas EN)
$2 \times 10^{-12}$	$2 \times 10^{-15}$	$4 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-13}$	$6 \times 10^{-14}$

Analisando os resultados, observa-se que o revestimento por pintura sujeito a 1 semana de radiação numa câmara equipada com uma lâmpada de xénon possui um coeficiente de permeabilidade três ordens de grandeza menor que o do revestimento seco em ambiente laboratorial, fora da acção da radiação solar direta, cumprindo o requisito estipulado pelo LNEC ( $P_R \leq 1 \times 10^{-14} m^2 \cdot s^{-1}$ ).

Na Fig. 2 representa-se graficamente a evolução do teor de cloretos ao longo do tempo, na célula inicialmente cheia de água (com volume  $V''$  – Fig. 1), de provetes submetidos à radiação da lâmpada de xénon (condição B), comparada com o caso dos provetes preparados por secagem ao ar no interior do laboratório (condição A).



**Fig. 2 – Curvas experimentais do ensaio de determinação da permeabilidade ao cloreto de sódio: condição A (IN – provetes 1 e 2); condição B (7 dias xénon – provetes 1 e 2)**





## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

A exposição em câmara equipada com lâmpadas do tipo UVA 340 não é eficaz para a promoção de alterações no coeficiente de permeabilidade, relativamente à secagem em ambiente laboratorial - no caso em estudo, os coeficientes de permeabilidade são da mesma ordem de grandeza.

Confirma-se também que, após cada semana de exposição à radiação solar natural, o revestimento por pintura passa a apresentar coeficientes de permeabilidade crescentes e cada vez mais próximos do valor máximo estipulado pelo LNEC, tal como aconteceu com os provetes sujeitos à radiação da lâmpada de xénon. Este facto pode ser explicado pelo tipo de radiação emitida por esta lâmpada, que simula melhor a gama espectral da radiação solar (Kockott e Beratung, 2011) do que as lâmpadas do tipo UVA340 que emitem radiação apenas na gama do ultravioleta.

### 6. CONCLUSÕES

As condições de secagem e cura utilizadas na preparação de provetes para ensaios em laboratório devem ser planeadas de modo a reproduzir as condições inerentes ao processo de formação de película do revestimento por pintura. Essas condições devem estar explicitadas na ficha técnica dos produtos.

A utilização de câmaras de envelhecimento artificial acelerado equipadas com lâmpadas de xénon revelou ser um método adequado para promover a fotorreticulação de revestimentos do tipo do estudado.

Embora muitos dos revestimentos por pintura de base aquosa não cumpram habitualmente o requisito estabelecido pelo LNEC quanto à permeabilidade ao cloreto de sódio (embora satisfaçam os requisitos em todas as outras características obrigatórias segundo a EN 1504-2), uma formulação adequada pode permitir a obtenção de revestimentos com a permeabilidade adequada. Uma das formas de melhorar a formulação é por utilização de ligantes fotorreticuláveis.

### 7. REFERÊNCIAS

- Cruz, A. S., Rodrigues, M. P. 2003. Revestimentos por pintura de base aquosa e de solvente para protecção do betão armado. *Corrosão e Protecção de Materiais*, 22 (2).
- E 468. 2005. Revestimentos por pintura para protecção do betão armado contra a penetração dos cloretos. Método de ensaio e requisitos. Especificação LNEC E 468.
- EN 1062-3: EUROPEAN STANDARD. 2008. Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete: Part 3: Determination and classification of liquid-water transmission rate (permeability)



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

- EN 1062-6: EUROPEAN STANDARD. 2002. Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete: Part 6: Determination of carbon dioxide permeability
- EN 1504-2: EUROPEAN STANDARD. 2004. Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: Part 2: Surface protection systems for concrete
- EN 1504-9: EUROPEAN STANDARD. 2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: Part 9: General principles for the use of products and systems
- EN 1542: EUROPEAN STANDARD. 1999. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off
- EN ISO 7783. EUROPEAN STANDARD. 2011. Paints and varnishes - Determination of water-vapour transmission properties. Cup method
- Hassmann, D.A.. 1967. Steel corrosion in concrete. How does it occur?". Materials Protection, 19.
- LNEC, Junho 2009. Regras para a concessão de documentos de aplicação a revestimentos por pintura para protecção de superfícies de betão em condições de exposição atmosférica. ([http://www.lnec.pt/fotos/editor2/QPE/regras\\_da\\_tintasbetao\\_net.pdf](http://www.lnec.pt/fotos/editor2/QPE/regras_da_tintasbetao_net.pdf))
- Kockott, D., Beratung, W. 2011. Parameters characterizing the grade of fitting the spectral distribution of solar simulators to a "reference sun". 5th European Weathering Symposium, September 21-23, Lisbon, Portugal
- Rodrigues, M. P. 1998. Durabilidade de revestimentos por pintura para protecção do betão armado. LNEC, Lisboa, February 1998 (tese apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, para obtenção do grau de doutoramento)
- Rodrigues, M.P.M.C., Costa, M.R.N., Mendes, A.M., Eusébio, M.I. December 2000. Effectiveness of surface coatings to protect reinforced concrete in marine environments protection under severe conditions. Materials and Structures, Vol. 33, pp. 618-626.