

## SISTEMAS DE PROTECÇÃO CONTRA CORROSÃO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

M. J. Correia<sup>a</sup>, H. Perneta<sup>a</sup>, M. P. Rodrigues<sup>a</sup>, E. V. Pereira<sup>a</sup>, M. Salta<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

**Resumo.** A corrosão é um dos principais mecanismos de deterioração dos materiais metálicos pelo que, a prevenção e protecção contra a corrosão é essencial para que as estruturas metálicas apresentem um adequado desempenho durante a sua vida útil. Com esta comunicação pretende-se fazer uma abordagem dos princípios, factores e requisitos que devem ser considerados na selecção dos sistemas de protecção contra a corrosão de uma estrutura de aço, bem como os requisitos que devem ser especificados tendo em vista o controlo de qualidade da sua aplicação. Apresenta-se ainda a abordagem, de carácter interactivo, que é feita sobre os sistemas de protecção, na versão *web* do Guia Técnico de Apoio à Manutenção e Reparação de Infra-estruturas de Transporte, preparado no âmbito do projecto europeu DURATINET.

### 1. Introdução

Os materiais metálicos mais utilizados na construção civil são os aços, os ferros fundidos e as ligas de alumínio, cobre e zinco. Para além dos processos físicos de deterioração, de que se destaca principalmente a fadiga, a corrosão constitui a principal forma de degradação destes materiais. O desempenho à corrosão depende, naturalmente, não só do tipo de metal ou liga e da sua microestrutura, mas também das condições de exposição.

Dado que os mecanismos de corrosão e os factores que determinam a velocidade de corrosão no ar, na água e no solo são distintos, é habitual considerar três tipos de exposição: atmosférica, em águas e em solos. Por sua vez, na exposição atmosférica, são habitualmente consideradas várias categorias de corrosividade que dependem, principalmente, da humidade e da presença de agentes agressivos como, por exemplo, os cloretos e o dióxido de enxofre (veja-se a este respeito as normas ISO 9223:1992 [1] e EN ISO 12944-2:1999 [2]).

Alguns metais, como o aço inoxidável, formam espontaneamente na sua superfície uma fina camada de óxidos, muito estável e aderente, que proporciona uma barreira protectora eficaz e confere a este tipo de aços uma excelente resistência à corrosão uniforme em diversos ambientes. Contudo, a grande maioria dos materiais metálicos utilizados na construção, devido à sua fraca resistência à corrosão, necessita de ser protegida, sendo o método de protecção mais usual a aplicação de revestimentos que exercem um efeito barreira entre o metal e o meio ambiente. Os alumínios são protegidos por anodização ou por lacagem. O aço não liga-

do é habitualmente revestido com revestimentos metálicos, com revestimentos orgânicos ou, mesmo, com revestimentos mistos, constituídos por revestimentos metálicos e orgânicos.

Assiste-se actualmente a importantes desenvolvimentos na área dos revestimentos de protecção de materiais metálicos, impulsionados quer pelas crescentes exigências de desempenho na protecção anti-corrosiva quer pelas crescentes exigências de sustentabilidade ambiental.

Para além da aplicação de revestimentos, outro método comum utilizado na protecção contra a corrosão das estruturas metálicas é a protecção catódica. Este tipo de protecção envolve a modificação do potencial do substrato metálico, seja pela aplicação de uma corrente fornecida por uma fonte de alimentação ou pela acção galvânica resultante da ligação eléctrica a um metal mais electronegativo. Em alguns casos, a eficácia da protecção contra a corrosão pode ser melhorada através da utilização conjunta da protecção catódica com sistemas de revestimento adequados.

Embora exista uma grande variedade de sistemas de protecção, não existe uma solução universal para a protecção contra a corrosão das estruturas de aço. Assim, deve ser escolhido um sistema de protecção apropriado, de acordo com os requisitos especificados, considerando diferentes factores: o projecto, a preparação da superfície, o custo, a aplicação, o desempenho, a manutenção, a agressividade do ambiente e as condições de exposição expectáveis.

Esta comunicação apresenta, de acordo com as normas internacionais relevantes, os métodos mais comuns de protecção contra a corrosão, tais como os esquemas de pintura, os revestimentos metálicos e a protecção catódica. À preparação de superfície também é dedicada particular atenção, dado que é um dos factores que mais influencia o tempo de vida dos sistemas de protecção.

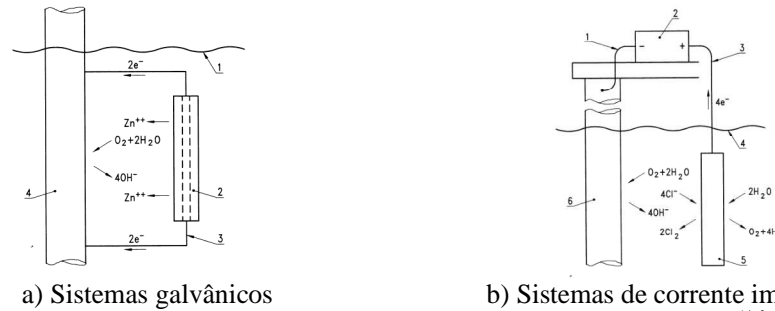
As informações aqui incluídas estão desenvolvidas no Guia Técnico de Apoio à Manutenção e Reparação de Infra-estruturas de Transporte, Parte III, Vol 5, [3] preparado no âmbito do projecto DURATINET, desenvolvido com o objectivo de fornecer orientação sobre os factores que determinam a protecção efectiva das estruturas de aço e, assim, servir de suporte ao processo de decisão no que concerne à protecção contra a corrosão.

## **2. Protecção catódica**

### **2.1 Generalidades**

A protecção catódica é um processo que reduz a velocidade de corrosão de um metal através da manutenção do potencial electroquímico do metal em valores para os quais existe imunidade à corrosão. A protecção catódica pode ser obtida por corrente impressa e por ânodos de sacrifício (Fig. 1), respectivamente, quando a corrente de protecção é fornecida por uma fonte externa de energia em conjunto com ânodos relativamente inertes, ou por ligação eléctrica a um metal com um potencial de corrosão mais negativo do que o do aço, como por exemplo o alumínio, o zinco e as ligas de magnésio. Uma protecção catódica eficaz também pode ser alcançada por sistemas híbridos, que compreendem a aplicação de ânodos galvânicos e a imposição de corrente impressa.

A protecção catódica fornecida por sistemas com ânodos de sacrifício tem as seguintes vantagens: não necessita de fontes de energia externas; os ânodos são robustos e de fácil instalação; os sistemas não são susceptíveis de causar interferência catódica nas estruturas adjacentes; exigem pouca manutenção e são auto-reguláveis. Estes sistemas também fornecem uma distribuição de potencial relativamente uniforme, com risco reduzido de sobreprotecção. As desvantagens associadas estão relacionadas com a produção limitada de corrente e potência, a impossibilidade da sua aplicação em ambientes com elevada resistividade e a necessidade de substituir os ânodos, quando o sistema tem exigências elevadas de corrente.



**Fig. 1:** Representação de sistemas de protecção catódica em água do mar. (Adaptado de [4])

Nos sistemas por corrente impressa, para que o sistema tenha uma vida útil longa, é necessário utilizar um ânodo com uma taxa de consumo pouco significativa. As vantagens deste tipo de sistema incluem: corrente e potência com grande alcance; níveis de protecção controláveis; grandes áreas de protecção e o facto de ser necessário um número reduzido de ânodos, mesmo em ambientes com elevada resistividade. As desvantagens são: maior risco de interferência com as estruturas adjacentes; requisitos mais exigentes de manutenção, que envolvem o fornecimento de energia por uma fonte externa; um maior risco de sobreprotecção e de ligações com polaridades incorrectas. Este tipo de sistemas também pode ser mais complexo e menos robusto do que os sistemas de ânodos de sacrifício, com a perda de ânodos a ser mais crítica no que se refere à eficácia do sistema de protecção catódica.

### 3. Revestimentos de protecção

#### 3.1 Generalidades

A aplicação de revestimentos constitui o meio de protecção anticorrosiva mais usual para as estruturas em aço. Os revestimentos de protecção integram habitualmente várias camadas compatíveis entre si. O aço não ligado é habitualmente revestido com revestimentos metálicos – por exemplo os revestimentos à base zinco ou zinco e alumínio – ou com revestimentos orgânicos (tintas e vernizes) ou, mesmo, com revestimentos mistos, constituídos por revestimentos metálicos e orgânicos. Desde que sejam respeitados os períodos de manutenção, geralmente a durabilidade de um revestimento misto é superior à soma da durabilidade de cada um dos revestimentos, uma vez que se beneficia de um efeito sinérgico entre eles. A norma europeia NP EN ISO 12944-5:2011 [5] sistematiza os esquemas de protecção anticorrosiva por pintura aplicáveis a estruturas de aço, servindo de suporte à selecção dos esquemas de pintura mais adequados a cada aplicação.

Para alcançar um desempenho optimizado do sistema de revestimento é essencial considerar as seguintes etapas [6]:

- 1) Ponderação dos requisitos do revestimento;
- 2) Selecção do sistema de protecção mais adequado às condições ambientais específicas;
- 3) Avaliação do projecto da estrutura para otimizar a aplicação e desempenho do revestimento;
- 4) Adequação do revestimento às técnicas de fabricação ou o inverso;
- 5) Elaboração de especificações claras e inequívocas;
- 6) Realização de concursos e aprovação dos requisitos;
- 7) Controlo de qualidade dos materiais especificados e fornecidos;
- 8) Inspeção de todas as fases do processo de aplicação do revestimento.

Devem ser elaboradas especificações eficazes, inequívocas e viáveis, por especialistas com uma boa compreensão da tecnologia envolvida nos sistemas de protecção por aplicação de

revestimentos. Esta avaliação por peritos é particularmente importante na aplicação de revestimentos em condições muito específicas de elementos estruturais em contacto com água (estacas, pilares-estaca, etc).

Também deve ser realizado um registo adequado e detalhado dos procedimentos de aplicação do revestimento, de modo a ser possível avaliar o desempenho e durabilidade dos esquemas de pintura e/ou revestimentos de protecção. Este tipo de informação é importante para avaliar possíveis falhas prematuras do sistema de protecção ou qualquer outro problema relativamente à sua aplicação ou desempenho, além de ser uma ferramenta importante na selecção futura de revestimento de protecção adequados.

A inspecção é essencial para garantir que todos os requisitos das especificações do revestimento são cumpridos. Só com um adequado controlo de qualidade em todo o processo de aplicação do revestimento, é possível atingir um bom desempenho do sistema aplicado.

Tanto para a aplicação de esquemas de pintura como de revestimentos metálicos existem diversas normas que devem ser respeitadas e aplicadas por especialistas familiarizados com a tecnologia envolvida.

### 3.2 Esquemas de pintura

Dentro dos revestimentos de protecção, os mais utilizados nas estruturas metálicas são os esquemas de pintura, pois fornecem diversas vantagens, tais como: fácil aplicabilidade; permite proteger estruturas com dimensões consideráveis; acabamento decorativo; e ainda diversas propriedades adicionais que sejam exigidas. A protecção contra a corrosão das estruturas de aço é normalmente assegurada pela aplicação de várias camadas de tinta, cada uma com um papel específico, formando um revestimento orgânico de protecção. As camadas de tinta devem ter diferentes cores para facilitar a sua identificação e são definidas pela ordem de aplicação ao substrato, nomeadamente: a camada de primário (1ª camada), a(s) camada(s) intermediária(s) (qualquer camada de tinta entre o primário e a camada de acabamento) e a camada de acabamento (camada final).

A tinta é normalmente constituída por ligante, pigmentos, cargas, aditivos, solventes e diluentes, estando os últimos dois sempre presentes nas tintas líquidas. Geralmente, o nome da tinta é dado pelo ligante, e.g. tinta epoxídica, tinta de poliuretano, tinta alquídica, tinta acrílica. A formulação da tinta deve ser equilibrada em termos dos seus constituintes, para que o revestimento por pintura cumpra todos os requisitos e propriedades especificadas. As condições de aplicação e o uso de métodos de aplicação apropriados contribuem de forma relevante para o sucesso do esquema de pintura seleccionado, pelo que deverão ser objecto de controlo. Um esquema de pintura com uma protecção eficaz contra a corrosão deve <sup>[6]</sup>: ser aplicável sob o conjunto especificado de condições; a secagem/cura deve ser feita dentro do limite especificado; aderir eficazmente ao substrato metálico; fornecer um revestimento com propriedades adequadas; cumprir os requisitos de decoração; e cumprir a durabilidade especificada.

O primário aplicado ao substrato deve possuir características de “molhagem” da superfície de aço, proporcionando uma boa aderência ao substrato e uma protecção anti-corrosão, ao mesmo tempo que originam uma boa base de aderência às tintas subseqüentes. A(s) camada(s) intermediária(s) é utilizada para aumentar a espessura geral do esquema de pintura. O acabamento deve apresentar boas características de resistência aos factores ambientais, e.g. luz ultravioleta do sol, possuir resistência à abrasão e proporcionar um acabamento decorativo, quando especificado.

Os esquemas de pintura podem ser aplicados em estaleiro ou “in situ”. A aplicação em estaleiro oferece vantagens como o melhor controlo das condições de aplicação, maior facilidade na reparação de danos e melhor controlo dos desperdícios e da poluição. Quanto às desvantagens, existem limitações quanto à dimensão dos componentes e à possibilidade de pro-

vocar danos durante o seu manuseamento, transporte e montagem. A aplicação “in situ” é muito influenciada pelas condições ambientais diárias, mas também oferece algumas vantagens, tais como um menor risco de danos e contaminação do revestimento. Para obras de manutenção, a aplicação é quase sempre realizada no local.

Os métodos mais usuais de aplicação da pintura são: aplicação manual – trincha e rolo [Fig. 2 a) e b)]; aplicação à pistola [Fig.2 c)]; e outros métodos de aplicação – por imersão, por cortina e por electroforese.



a) Trincha



b) Rolo



c) Pistola

**Fig. 2:** Aplicação de tinta por (cedidas por REFER): (a) trincha; (b) rolo; (c) pistola.

### 3.3 Revestimentos metálicos

Os revestimentos metálicos são geralmente compostos por metais não ferrosos, normalmente zinco, alumínio e suas ligas, e fornecem protecção contra a corrosão das estruturas de aço por acção barreira e galvânica. A acção “barreira” consiste na criação de uma protecção física entre o metal e os agentes ambientais agressivos que impede o contacto, enquanto a acção galvânica consiste na protecção do aço pelo metal de revestimento, de forma sacrificial, nas zonas danificadas ou nos pequenos poros do revestimento.

O metal de revestimento mais utilizado é o zinco, seguido pelo alumínio. O alumínio fornece uma maior protecção do que o zinco em ambientes agressivos, com a excepção dos ambientes alcalinos, no entanto, a sua utilização tem algumas desvantagens, nomeadamente, um maior custo e dificuldade de aplicação. Uma alternativa a este metal é o recurso a de ligas de zinco e alumínio, que embora proporcionem um protecção inferior à do alumínio, proporcionam maior protecção do que o zinco.

Os métodos mais utilizados para aplicação dos revestimentos metálicos são: (i) imersão a quente; (ii) projecção térmica; (iii) electrodeposição; e (iv) sherardização.

A galvanização por imersão a quente é um processo de formação de um revestimento de zinco e/ou ligas de ferro-zinco, por imersão em zinco fundido de elementos de aço ou ferro. A protecção conferida por estes revestimentos depende do método de aplicação, do design do componente e das características do ambiente envolvente.

Os revestimentos aplicados por projecção térmica envolvem o aquecimento de materiais até que estes atinjam um estado plástico ou fundido para depois projectá-los sobre uma superfície metálica previamente tratada, possibilitando a metalização por chama ou por arco eléctrico [7]. Também podem ser aplicados pós-tratamentos para obter propriedades específicas no material depositado.

A electrodeposição é um processo utilizado para protecção contra a corrosão através da deposição de diferentes metais no substrato metálico. Nas estruturas de aço, os revestimentos de zinco são os mais utilizados por este método de aplicação, dependendo a sua capacidade de protecção da espessura e das condições de serviço. Os revestimentos por conversão e outros tratamentos suplementares, por pintura, revestimentos em pó ou selantes, aumentam ainda mais a resistência deste tipo de revestimentos.

A sherardização é um processo de difusão térmica onde os componentes de aço são aquecidos juntamente com uma mistura composta por pó de zinco (com ou sem material inerte),

até uma temperatura de processamento, normalmente abaixo do ponto de fusão do zinco, num recipiente fechado. Durante este processo, formam-se ligas de zinco/ferro com a superfície do aço. A sherardização é geralmente utilizada para proteger contra a corrosão e o desgaste. A protecção contra a corrosão é influenciada pelo método de aplicação, desenho do componente e condições de exposição ambiental. A protecção contra o desgaste é proporcionada por propriedades específicas deste tipo de revestimentos, tais como a resistência à abrasão e dureza elevada.

### 3.4 Selecção do revestimento de protecção

Durante a selecção do revestimento para protecção contra a corrosão de aço estrutural devem ponderar-se as vantagens e desvantagens de ambos os tipos de revestimento disponíveis – metálicos ou obtidos com esquemas de pintura (Tabela 1).

**Tabela 1:** Comparação entre esquemas de pintura e revestimentos metálicos. (adaptado de [6])

Esquemas de pintura		Revestimentos metálicos	
<b>Vantagens</b>	<p>Geralmente, a aplicação é fácil.</p> <p>A aplicação dos diferentes tipos de revestimento ao aço é mais simples.</p> <p>O equipamento necessário à pintura é adquirido facilmente.</p> <p>Não existem limites na dimensão ou tipo de estrutura.</p> <p>Ao contrário dos revestimentos metálicos, proporcionam uma boa resistência em condições ácidas e podem cumprir com diversos requisitos devido à disponibilidade de uma ampla gama de produtos e cores.</p>	<b>Desvantagens</b>	<p>Quando é necessária pintura adicional, a aplicação no revestimento metálico pode ser complicada.</p> <p>Na galvanização por imersão a quente, existem limitações nas dimensões permitidas para fabricação e na disponibilidade de plantas de galvanização.</p> <p>Se não for aplicada protecção adicional, os revestimentos metálicos normalmente desenvolvem uma aparência pouco agradável com o tempo.</p> <p>Quando é necessário soldar depois da aplicação de um revestimento metálico ou quando ocorre danos graves no revestimento, é difícil atingir um padrão de protecção idêntico ao resto da estrutura, nessas zonas.</p>
<b>Desvantagens</b>	<p>A aplicação é susceptível a muitos erros quando a mão-de-obra tem pouca qualidade. Logo, devem ser adoptados procedimentos adequados de controlo da qualidade.</p> <p>A vida expectável é muitas vezes difícil de prever, mesmo quando estão disponíveis normas e especificações.</p>	<b>Vantagens</b>	<p>A aplicação é simples e facilmente controlável.</p> <p>A especificação é mais simples devido às normas disponíveis e ao maior nível de certeza quanto ao desempenho.</p> <p>A durabilidade é mais fácil de prever e raramente ocorrem falhas prematuras.</p> <p>Maior resistência aos danos e manuseamento mais fácil.</p> <p>A resistência à abrasão é aproximadamente 10 vezes superior, ou mais, aos esquemas de pintura convencionais.</p> <p>Em caso de danos, a corrosão ataca preferencialmente o revestimento metálico, em vez do aço estrutural.</p> <p>É possível um revestimento espesso nas bordas.</p>

Os factores mais importantes na selecção dos revestimentos de protecção são: o tipo de estrutura e a sua importância, que permitem estabelecer o tempo de vida desejável; a caracterização ambiental, nomeadamente, macro e micro climas; a durabilidade exigida; o desempenho do revestimento e o seu custo. Particularmente, a temperatura e a humidade ambiental são muito importantes devido à sua influência no desempenho e durabilidade do revestimento. Devem ser aplicados revestimentos com elevada resistência em ambientes agressivos, enquanto revestimentos menos resistentes são satisfatórios para ambientes moderados, pois são normalmente de mais baixo custo.

A acessibilidade e requisitos gerais para a manutenção do revestimento também são importantes e devem ser considerados. Se o acesso é difícil e dispendioso, o revestimento de protecção deve possuir uma maior durabilidade. Os intervalos de tempo entre acções de manutenção também podem influenciar a selecção de um revestimento com maior ou menor resistência.

Deve ser dada preferência a revestimentos sem requisitos de aplicação demasiado complexos. A exigência de um padrão elevado ou baixo depende da importância da estrutura e é muito relevante. A aparência também pode ser determinante em algumas situações porque pode ser especificado um tipo específico de acabamento, que poderá afectar a periodicidade da manutenção.

Outro factor obviamente importante na selecção de um revestimento de protecção é o seu custo. Este custo compreende os custos iniciais e de manutenção, durante a vida prevista para a estrutura. Na prática, é difícil avaliar correctamente o custo da manutenção de uma estrutura porque ao longo da sua vida podem ocorrer mudanças que influenciem esse custo, como por exemplo, a utilização da estrutura, o ambiente de exposição ou as tecnologias de revestimento disponíveis. Os principais custos a considerar são os que envolvem <sup>[6]</sup>: a preparação da superfície, o material de revestimento, a aplicação do revestimento e outras despesas gerais. As despesas gerais abrangem a utilização de ferramentas e equipamento específicos, supervisão, administração, fiscalização e outros custos.

O custo da preparação de superfície depende essencialmente do estado da superfície e do grau de preparação, que está relacionado com o tempo dispendido. Os custos dos revestimentos obtidos por aplicação de esquemas de pintura são determinados através da espessura de película seca e área coberta. Os custos dos revestimentos galvanizados por imersão a quente são normalmente especificados por peso/unidade de área e os custos dos revestimentos projectados termicamente são determinados pela espessura do revestimento. De acordo com Bayliss e Deacon [6], os custos da aplicação de revestimentos por pintura são na ordem de 1:2:3:4, respectivamente, para aplicação à pistola sem ar, pistola com ar comprimido, rolo e trincha. As perdas de tinta na aplicação são aproximadamente de 30% no caso da utilização da pistola com ar e de 5% para o rolo e trincha. O custo é influenciado também pelo tipo de tinta seleccionado, por exemplo, as tintas alquídicas apresentam normalmente custos 15-20% inferiores aos das tintas de dois componentes. Finalmente, devem também ser considerados outros custos inerentes à utilização de revestimentos por pintura, e.g. o uso de equipamento de protecção.

#### 3.4.1 Selecção de esquemas de pintura

A selecção do esquema de pintura deve ter por base o conhecimento da corrosividade do ambiente de exposição que está classificada na NP EN ISO 12944-2:1999 [2] e é abordada no Guia Técnico de Apoio à Manutenção e Reparação de Infra-estruturas de Transporte, Parte III, Vol. 1 [8]. A selecção de um esquema de pintura deve considerar as condições de corrosão especiais a que uma estrutura é submetida, bem como situações particulares no que concerne à zona microclimática da estrutura. Este aspecto é relevante uma vez que alguns pormenores de projecto e o tipo de utilização a que está sujeita a estrutura podem induzir condições de corrosão específicas, que não são consideradas na classificação de ambiente. O Anexo B da norma

NP EN ISO 12944-2:1999 [2] fornece informações sobre a corrosividade para situações especiais, bem como para acções específicas.

A NP EN ISO 12944-5:2007 [5] fornece orientação na identificação e selecção dos esquemas de pintura mais adequados. Este processo de decisão pode também ser assistido por métodos de ensaio laboratoriais destinados à avaliação do desempenho dos esquemas de pintura, conforme especificado na NP EN ISO 12944-6:1999 [9].

O Anexo A da NP EN ISO 12944-5:2007 [5] apresenta um resumo geral sobre vários esquemas de pintura, destinados à protecção de aço não ligado, bem como para estruturas de aço galvanizado e metalizado. Estes esquemas de pintura são caracterizados e divididos de acordo com a categoria de corrosividade do ambiente e durabilidade requerida.

Na falta de ensaios de desempenho, a selecção de um esquema de pintura deve ser preferencialmente realizada com base na experiência da sua utilização em casos semelhantes à situação prevista. Isto porque a durabilidade depende de vários factores externos. Nos casos em que o metal está sujeito à corrosão por picadas, a espessura de película seca ou o número de camadas deve ser aumentado (relativamente às indicações dadas no Anexo A da NP EN ISO 12944-5:2007 [5]).

Uma protecção eficaz durante a vida útil da estrutura é particularmente determinante nos componentes que não são acessíveis após a montagem. Nestes casos, pode ser aconselhável especificar esquemas de pintura com maior durabilidade do que aquela exigida pela categoria da corrosividade ambiental.

Na selecção de esquemas de pintura é importante também considerar as principais características físicas, químicas e propriedades mecânicas dos diferentes tipos genéricos de pintura para acabamento (Anexo C da NP EN ISO 12944-5:2007 <sup>[5]</sup>), a compatibilidade entre tintas no esquema de pintura, bem como entre a pintura a aplicar e, eventualmente, um revestimento antigo que se encontra em bom estado de conservação.

### 3.4.2 Selecção de revestimentos metálicos

Na selecção do metal de revestimento deve-se considerar a resistência à corrosão, nas condições ambientais especificadas, e os custos do metal e da sua aplicação.

Em geral, a escolha do tipo de revestimento metálico, para aplicar numa estrutura de aço, recai normalmente entre a galvanização por imersão a quente em zinco e a projecção térmica de alumínio ou zinco [6]. A galvanização por imersão a quente tem como vantagens o controlo fácil da fabricação e a possibilidade de produzir revestimentos com uma elevada espessura, mas a dimensão dos componentes é limitada pela dimensão da tina de galvanização. A principal vantagem da projecção térmica é o facto de ser o único método de aplicação que pode ser aplicado no local e, embora geralmente a execução dos trabalhos em estaleiro seja melhor controlada, evita-se o risco de danos durante o manuseamento, transporte e montagem.

De acordo com a norma EN ISO 14713-1:2009 [10], a selecção do sistema de revestimento de zinco deverá considerar os seguintes aspectos: o ambiente de exposição, tanto o macro como o microclima, incluindo futuras alterações identificadas e qualquer exposição excepcional; o tempo de vida exigido até à primeira manutenção do sistema de revestimento; a necessidade de pós-tratamento, protecção temporária e pintura; a disponibilidade e o custo; e a dificuldade de manutenção. Esta norma também fornece o tempo de vida até à primeira manutenção dos sistemas de protecção por revestimentos de zinco, de acordo com a categoria de corrosividade atmosférica a que a estrutura será exposta.

Para componentes de aço de reduzidas dimensões, tais como porcas e parafusos, a escolha normalmente recai entre a galvanização por imersão a quente e a sherardização [6]. A sherardização tem maiores custos mas proporciona uma superfície mais adequada para a pintura posterior e permite o controlo das tolerâncias, o que é muito útil para componentes roscados.



Os revestimentos metálicos podem ainda ter a sua vida aumentada com a aplicação suplementar de um esquema de pintura (“sistemas duplex”), aplicável tanto em estruturas de aço novas como na sua manutenção.

#### 4. Preparação da superfície

A preparação da superfície do aço tem por objectivo a remoção dos produtos de corrosão e outros contaminantes que sejam prejudiciais a uma boa aderência do revestimento ao substrato metálico, que é essencial para ao seu desempenho a longo prazo. Uma má aderência do revestimento pode conduzir ao seu empoamento ou destacamento e reduzir a sua capacidade de protecção.

Quando ocorre uma ligação química entre o revestimento e o substrato, como no caso da galvanização por imersão a quente, a aderência é boa. No entanto, na maioria dos revestimentos orgânicos a aderência resulta da interacção de efeitos polares e mecânicos. A aderência devida aos efeitos polares é apenas eficaz a uma distância molecular do aço, sendo para isso essencial que a superfície esteja limpa. A adesão mecânica é garantida pela rugosidade da superfície e também pela limpeza e estabilidade do substrato. [6]

Portanto, o desempenho dos revestimentos de protecção contra a corrosão das estruturas de aço depende em grande parte da condição do substrato metálico, antes da aplicação do revestimento [11]. A superfície do aço deve estar livre de contaminantes, tais como, óleos, óxidos de laminação, produtos de corrosão e outros tipos de contaminantes.

A NP EN ISO 12944-4:1999 [12] descreve vários métodos de preparação de superfície, agrupando-os em três tipos: limpeza com água, solventes e produtos químicos; limpeza mecânica, incluindo a decapagem por projecção (Fig.3); e a limpeza com chama.

Na manutenção de estruturas protegidas por revestimento, devem considerar-se os seguintes parâmetros [11]: idade e localização da estrutura, qualidade da superfície anterior, grau de dano do revestimento existente, corrosividade do ambiente e a compatibilidade com o revestimento de protecção proposto.

A NP EN ISO 8504-1:2001 [11] fornece orientação sobre os métodos de preparação da superfície, os princípios gerais para a selecção das suas principais características, que devem ser consideradas na elaboração das especificações, assim como também sobre a aplicação dos revestimentos de protecção.



**Fig. 3:** Exemplo de decapagem por projecção, neste caso, de água. (cedida por REFER)

Orientações específicas sobre a adequação dos métodos de preparação de superfície podem ser encontradas em normas internacionais ISO e EN já publicadas, seja considerando a matéria a remover ou o tipo de superfície a preparar.

## 5. Guia Técnico DURATINET de apoio à Manutenção e Reparação de Infra-estruturas de Transporte

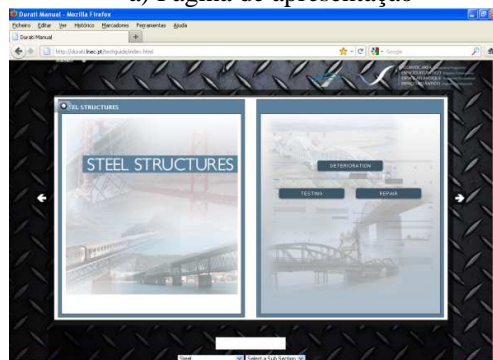
O Guia Técnico de apoio à Manutenção e Reparação de Infra-estruturas de Transporte [13], elaborado no âmbito do projecto DURATINET, visa dar a conhecer os principais processos de reparação utilizados nas infra-estruturas de transporte.

Este guia técnico é disponibilizado numa versão em livro, onde se apresenta informação detalhada sobre os processos de deterioração, técnicas de ensaios de inspecção e métodos de reparação, e numa versão interactiva na internet (<http://durati.lnec.pt/techguide>), onde é feita uma abordagem mais simplificada dos diferentes aspectos.

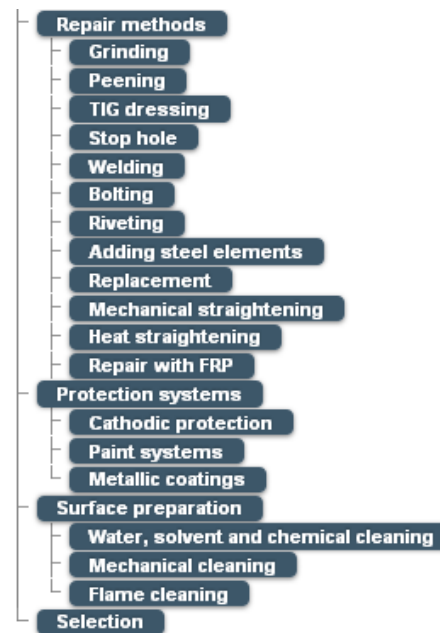
A informação relativa aos sistemas de protecção das estruturas de aço é apresentada na secção do Estruturas de aço – Reparação | Protecção, da versão interactiva do Guia Técnico Duratinet (Fig. 4). Nesta secção, temos uma introdução geral ao tema e um esquema tipo árvore, conforme ilustrado na Fig. 4c). Os últimos níveis deste esquema contêm hiperligações a diferentes fichas, com informação resumida mais relevante sobre os assuntos em questão. Ao escolher estas fichas, também se pode encontrar hiperligações a outras fichas relacionadas dos processos de deterioração, defeitos e técnicas de ensaio.



a) Página de apresentação



b) Secção das estruturas de aço



c) Secção Reparação | Protecção

Fig. 4: Guia Técnico Duratinet de apoio à Manutenção e Reparação de Infra-estruturas de Transporte.

## Agradecimentos

Esta comunicação foi elaborada no âmbito do projecto nº 049/2009 DURATINET - Durable Transport Infrastructures in the Atlantic Area Network, aprovado no Programa Transnacional Espaço Atlântico, co-financiamento pelo FEDER.

## Referências

- [1] ISO 9223:1992, *Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification*.
- [2] NP EN ISO 12944-2:1999, *Tintas e vernizes. Protecção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura. Parte 2: Classificação de ambientes (ISO 12944-2:1998)*.
- [3] CORREIA, M. J., H. PERNETA e M. SALTA. *Maintenance and repair of transport infrastructures – Technical guide. Part III – Steel structures. Vol 5 – Protection systems*. DURATINET project – WG A4. Lisbon: LNEC, 2011. To be published.
- [4] EN 12473:2000, General principles of cathodic protection in sea water.
- [5] NP EN ISO 12944-5:2011, *Tintas e vernizes. Protecção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura. Parte 5: Esquemas de pintura (ISO 12944-5:2007)*.
- [6] BAYLISS D.A. and D.H. DEACON. *Steelwork Corrosion Control*. 2nd ed., revised. London: Spoon Press, 2002.
- [7] EN 14616:2004, *Thermal spraying – Recommendations for thermal spraying*.
- [8] CORREIA, M. J., H. PERNETA e M. SALTA. *Maintenance and repair of transport infrastructures – Technical guide. Part III – Steel structures. Vol 1 – Durability Factors*. DURATINET project – WG A4. Lisbon: LNEC, 2011. To be published.
- [9] NP EN ISO 12944-6:1999, *Tintas e vernizes. Protecção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura. Parte 6: Ensaios de desempenho em laboratório (ISO 12944-6:1998)*.
- [10] EN ISO 14713-1:2009, *Zinc coatings. Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures. Part 1: General principles of design and corrosion resistance (ISO 14713-1:2009)*.
- [11] NP EN ISO 8504-1:2001, *Preparação de substratos de aço antes da aplicação de tintas e produtos similares. Métodos de preparação de superfícies. Parte 1: Princípios gerais (ISO 8504-1:2000)*.
- [12] NP EN ISO 12944-4:1999, *Tintas e vernizes. Protecção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura. Parte 4: Tipos de superfície e de preparação de superfície (ISO 12944-4:1998)*.
- [13] DURATINET Technical Guide - *Maintenance and repair of transport infrastructures*. Edited by DURATINET Network, Project nº 049/2009. Lisbon: LNEC, 2011.