

# Estruturas Metálicas – Guia Técnico de Recomendações: Requisitos de Durabilidade, Processos de Degradação, Métodos de Inspeção e Reparação

Hugo Patrício  
*REFER, E.P.E., Pontes – Inspeção e diagnóstico, Lisboa*

M. João Correia  
*LNEC, IP, Departamento de Materiais, Lisboa*

Hugo Pernetá  
*LNEC, IP, Departamento de Materiais, Lisboa*

**RESUMO:** A presente comunicação pretende dar a conhecer o trabalho de pesquisa, análise, compilação e tratamento da normalização e regulamentação existente, desenvolvido no âmbito do projecto DURATINET, com vista à elaboração de um guia de recomendações técnicas de apoio à manutenção das estruturas metálicas.

## 1 INTRODUÇÃO

A longevidade das estruturas deve ser sempre analisada à luz dos critérios de benefício económico, entendido num sentido lato do termo, de modo a poder acomodar critérios como a segurança, o valor histórico e cultural de uma estrutura.

A quantidade e longevidade do parque de pontes metálicas em exploração é um sinal visível da sua eficiência ao longo dos anos, tendo atravessado épocas históricas com diferentes paradigmas de mobilidade, transporte e exploração, desde a capacidade de carga requerida, velocidades de exploração e frequência de utilização, entre outros factores.

Para além do excelente comportamento estrutural do aço (e das ligas ferrosas), a versatilidade de utilização e manutenção de uma estrutura metálica é notável. Com facilidade se podem substituir peças danificadas e reforçar elementos existentes tornando a manutenção destas estruturas muito flexível.

O maior inconveniente da utilização de elementos metálicos é a sua instabilidade química (deterioração) quando expostos às condições atmosféricas. No entanto, este problema pode ser mitigado através da aplicação de adequados sistemas de protecção anticorrosiva e da sua correcta manutenção.

O guia de recomendações técnicas de apoio à manutenção das estruturas metálicas, elaborado no âmbito do projecto DURATINET visa dar a conhecer os principais parâmetros chave para se atingir a optimização da utilização das estruturas metálicas.

## 2 REQUISITOS DE DURABILIDADE

A durabilidade das estruturas de aço é determinada pelas suas condições funcionais, características do ambiente envolvente e propriedades dos materiais estruturais. Assim, a concepção de novas estruturas de aço e a reparação das já existentes

incluem a definição ou avaliação das condições de serviço, a caracterização dos macro e micro ambientes, bem como a avaliação das propriedades mecânicas e metalúrgicas dos materiais e sua adequação às especificidades do ambiente e condições de serviço.

## 2.1 Ambiente de exposição

O ambiente envolvente de uma estrutura influencia significativamente a taxa de corrosão dos materiais metálicos e a deterioração do revestimento de protecção. Então, a descrição e classificação da corrosividade ambiental é essencial para a selecção e concepção de um método de reparação ou sistema de protecção a aplicar numa estrutura metálica.

### 2.1.1 Exposição atmosférica

A exposição atmosférica é normalmente caracterizada como rural, urbana, industrial e marítima, com base na ocorrência dos principais agentes corrosivos, conforme descrito na EN 12500:2000. Além desta caracterização macro climática, o ambiente local e o micro ambiente, ou seja, o ambiente na interface entre o elemento estrutural e a sua envolvente, são os factores mais significantes na determinação da susceptibilidade à corrosão e desempenho de um metal ou liga.

A corrosividade de metais individuais pode ser estimada com base em medições da taxa de corrosão de amostras padrão, conforme indicado na ISO 9226:1992. Estas medições permitem classificar a corrosividade de diferentes metais, conforme ilustrado na Quadro 1, adaptado da ISO 9223:1992 e da NP EN ISO 12944-2:1999, para o aço carbono.

Quadro 1. Categorias de corrosividade ambiental e respectivas taxas de corrosão para o aço carbono, no primeiro ano de exposição, e exemplos de ambientes típicos.

Categoria	Corrosividade	Taxa de corrosão		Exemplos de ambientes típicos em clima moderado (apenas informativo)	
		g/(m <sup>2</sup> ano)	µg/ano	Exterior	Interior
C <sub>1</sub>	Muito baixa	≤10	≤1.3	-	Edifícios com aquecimento e atmosferas limpas.
C <sub>2</sub>	Baixa	>10 ≤200	>1.3 ≤25	Atmosferas com um nível baixo de corrosão. Geralmente zonas rurais.	Edifícios sem aquecimento, onde pode ocorrer condensação.
C <sub>3</sub>	Média	>200 ≤400	>25 ≤50	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Zonas costeiras com baixa salinidade.	Salas de produção com elevada humidade e alguma poluição atmosférica.
C <sub>4</sub>	Elevada	>400 ≤650	>50 ≤80	Zonas industriais e costeiras com salinidade moderada.	Indústria química, piscinas, estaleiros costeiros de navios e barcos.
C <sub>5-1</sub>	Muito elevada	>650 ≤1500	>80 ≤200	Zonas industriais com elevada humidade e atmosfera agressiva.	Edifícios ou zonas com condensação quase permanente e poluição elevada.

### 2.1.1 Exposição à água e ao solo

A corrosão de estruturas imersas em água ou enterradas no solo é influenciada por diversos factores, tornando complicada a definição e normalização destas categorias de corrosividade. No entanto, para um propósito específico, é possível classificar este

tipo de ambientes, conforme descrito na NP EN ISO 12944-2:1999. Esta norma descreve três tipos de ambiente, nomeadamente: Im 1 – água fresca; Im 2 – água do mar; e Im 3 – solo; com o objectivo de suportar a escolha de um sistema de protecção contra corrosão, para estruturas de aço.

## 2.2 Propriedades do material

Na reparação de estruturas metálicas é necessário respeitar as especificações, relacionadas com as propriedades dos materiais utilizados na execução de estruturas de aço, assim como a sua compatibilidade com os materiais utilizados na reparação. O conhecimento das propriedades químicas e físicas dos materiais de reparação e dos materiais estruturais aplicados são essenciais no planeamento de uma reparação.

Os tipos e as propriedades de ligas ferrosas são determinados pela sua composição, assim como pelos procedimentos e técnicas utilizadas na sua produção. Existem três tipos principais de ligas ferrosas, que são representados esquematicamente na Figura 1, de acordo com o seu conteúdo em carbono (C): ferro pudelado ( $C < 0,08\%$ ); aço ( $C < 2\%$ ); e ferro fundido ( $C > 1,7\%$ ).

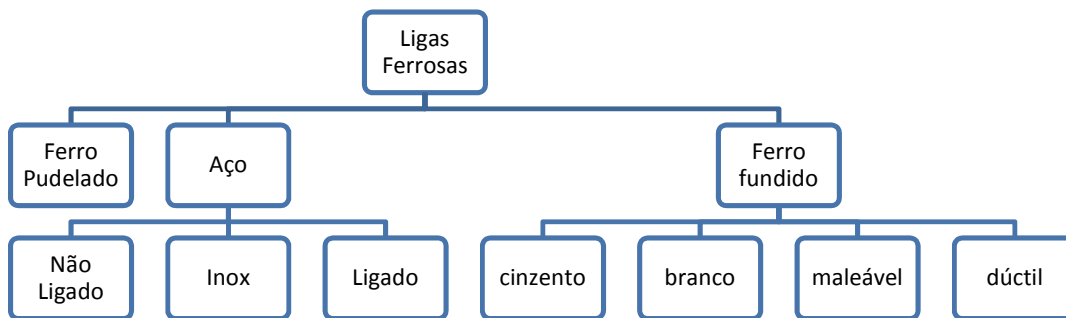


Figura 1. Classificação de ligas ferrosas

## 3 DEGRADAÇÃO

A degradação das estruturas provoca defeitos que podem comprometer o desempenho de um elemento estrutural e, em casos mais graves, levar à rotura, comprometendo a função e/ou segurança da estrutura. Assim, o conhecimento dos processos e mecanismos de degradação das ligas ferrosas, em condições normais de funcionamento, bem como as suas causas mais comuns e consequências, é essencial para se definirem medidas preventivas que garantem a durabilidade do material e o adequado desempenho das infra-estruturas, durante o seu tempo de vida útil.

Situações acidentais que introduzam condições de funcionamento das estruturas fora das condições fora dos limites de serviço, nomeadamente, sobrecarga, incêndio, descarrilamentos, assentamentos da fundação e outras acções semelhantes, que podem ser consideradas como mecanismos de degradação, estão fora do âmbito do guia de recomendações técnicas.

### 3.1 Classificação dos defeitos

A avaliação do estado das estruturas de aço, particularmente no que respeita às pontes, requer a utilização de um sistema de classificação capaz de identificar e quantificar adequadamente os defeito com potencial risco de comprometer a segurança e/ou funcionalidade de parte ou de toda a estrutura. Considerando os critérios de classificação mais utilizados, que são normalmente agrupados em critérios

(i) causa, (ii) causa-efeito e (iii) efeito, podemos encontrar várias metodologias na literatura. O critério adoptado no Projecto DURATINET para a classificação de defeitos é o do efeito.

Esta opção é justificada pelo facto de que geralmente existe uma combinação de causas, onde a origem principal do defeito não é imediatamente evidente, o que pode resultar em diferentes interpretações. Assim, o critério efeito foi escolhido numa tentativa de diminuir as discrepâncias inerentes à classificação dos defeitos e de tornar mais objectivo o exame visual.

Os principais tipos de defeitos são classificados num primeiro nível da seguinte forma: contaminação, deformação, deterioração, descontinuidade, deslocamento e perda de material (Figura 2). O segundo nível identifica os componentes estruturais onde os defeitos tendem a ocorrer, enquanto o último nível indica o subtipo do defeito, conforme indicado no Quadro 1.

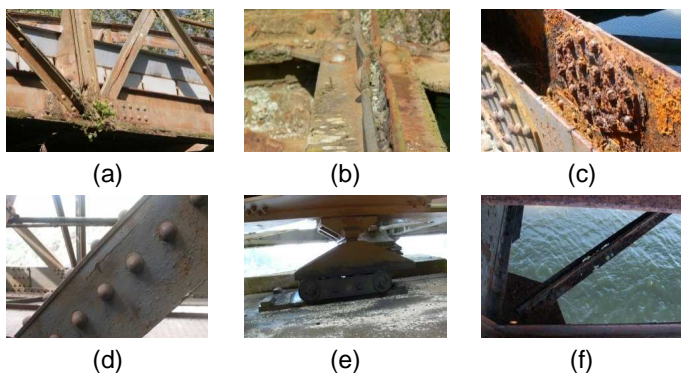


Figura 2. Principal tipo de defeitos nas estruturas de aço: (a) Contaminação; (b) Deformação; (c) Deterioração; (d) Descontinuidade; (e) Deslocamento; (f) Perda de material.

Quadro 2. Classificação dos defeitos nas estruturas de aço.

Tipo	Componente	Subtipo
Contaminação	Qualquer componente	Química
		Biológica
Deformação	Componente básico	Deflexão Distorção Torção
	Ligação aparafusada/rebitada	Deflexão Distorção Torção
	Ligação soldada	Deflexão Torção
Deterioração	Componente básico <sup>1</sup>	Uniforme Localizada
	Ligação aparafusada/rebitada	Uniforme Localizada
	Sistema de revestimento	Empolamento Enferrujamento Pulverulência Corrosão filiforme
	Ligação soldada	Uniforme Localizada

<sup>1</sup> Se os componentes básicos forem cabos de aço, o subtipo de deterioração é limitado a localizada.

Quadro 2. (continuação) Classificação dos defeitos nas estruturas de aço.

Tipo	Componente	Subtipo
Descontinuidade	Componente básico <sup>2</sup>	Fenda Fractura
	Ligação aparafusada/rebitada	Fenda Fractura
	Sistema de revestimento	Fissuração Delaminação Descamação
	Ligação soldada	Fissura Fractura
Deslocamento	Qualquer componente	Rotação Translação
Descontinuidade	Qualquer componente	

### 3.1 Mecanismos

Os principais processos de degradação, que podem ser classificados como químicos, biológicos e físicos, ou outros processos de dano, que actuando sobre o material estrutural influenciam o desempenho das estruturas de aço, podem ser correlacionados com os defeitos mais frequentemente relatados e adoptados na classificação apresentada na secção anterior (Quadro 2).

Quadro 3. Tipos de defeito e processos de degradação correspondentes.

		Processos de degradação						
		Químicos e biológicos		Físicos	Outros eventos			
		Corrosão	Acumulação de detritos e pó	Fadiga	Impacto	Sobrecarga	Fogo	Acumulação de água
Tipo de defeito	Contaminação	■	■				■	■
	Deformação		■		■	■	■	■
	Deterioração	■		■			■	■
	Descontinuidade	■		■	■	■	■	
	Deslocamento		■		■	■	■	■
	Perda de material	■		■	■	■	■	■

Considerando a exclusão, previamente mencionada, das acções acidentais, a fadiga e corrosão são os principais mecanismos de degradação das estruturas de aço. Assim, a consideração destes dois mecanismos deve estar presente tanto nos projectos de estruturas novas como na manutenção das estruturas existentes. Os impactos sociais e económicos dos danos, associados a estes mecanismos, numa estrutura metálica justificam a implementação de medidas preventivas e de protecção para minimizar as suas consequências.

Além disso, a concepção e a manutenção das estruturas metálicas, durante a sua vida em serviço, é baseada em ferramentas de caracterização e previsão dos efeitos dos mecanismos de degradação, da corrosão e da fadiga, na integridade estrutural destas estruturas, sendo então fundamental o conhecimento destes processos.

<sup>2</sup> Se os componentes básicos forem cabos de aço, o subtipo de deterioração é limitado a fractura.

## 4 TÉCNICAS DE INSPECÇÃO

A existência de planos de manutenção nas pontes metálicas constitui um elemento chave na garantia das estruturas metálicas continuarem a alcançar tempos de vida longos, superiores a 100 anos, como está demonstrado pelo património existente de pontes metálicas antigas. Os planos de manutenção na generalidade devem compreender a existência de inspecções de rotina anuais, que se baseiam numa observação visual e durante as quais podem ser efectuadas operações simples de manutenção e limpeza; inspecções principais com uma periodicidade que poderá variar entre os 3 e 5 anos e que têm igualmente por base a observação visual mas em que os elementos estruturais são observados na sua totalidade incluindo o controlo por métodos expeditos, tais como, a batida do martelo, a verificação dos defeitos de pintura e dos danos por corrosão com medição da espessura por métodos directos ou técnicas de ultra-sons e a identificação visual ou por métodos não destrutivos simples de fissuras e de zonas críticas do ponto de vista da fadiga, seguindo procedimentos específicos, de acordo com o tipo de construção metálica: aparafusada, rebitada ou soldada; inspecções especiais sempre que seja detectado algum defeito relevante, dano físico accidental, corrosão avançada ou fissuração, ou se forem identificados pormenores passíveis de prejudicar o comportamento à fadiga da estrutura, que requeiram uma análise da evolução do defeito com monitorização e aplicação de métodos NDT ou uma avaliação mais profunda das características químicas e mecânicas do material estrutural.

Durante a vida útil da estrutura, os defeitos originados pelos mecanismos de degradação evoluem no tempo e levam a estrutura à redução ou mesmo perda da sua funcionalidade. Muitos dos defeitos/danos resultantes dos processos de degradação das estruturas metálicas são facilmente identificáveis pela simples observação visual, o que constitui uma vantagem face a outro tipo de materiais estruturais. Uma característica que pode servir de identificação das fissuras de fadiga é o facto de se manterem activas, sob a acção das cargas cíclicas, nomeadamente na passagem dos veículos pesados. A manifestação deste tipo de fissuras em elementos principais, i.e. vigas principais ou carlingas, requer uma inspecção muito pormenorizada com vista a identificar o risco de reincidência deste processo, tendo em conta a relevância destes elementos na segurança da estrutura. A detecção de perdas de espessura devido a corrosão na superfície dos elementos ou entre chapas é igualmente um defeito que requer quantificação porque não só reduz a resistência da estrutura como pode conduzir à destruição das ligações rebitadas ou aparafusadas e ainda criar novas zonas críticas para iniciação de processos de fissuração progressiva.

O Quadro 3 resume os diferentes tipos de métodos não destrutivos (NDT) mais utilizados na inspecção dos defeitos em estruturas metálicas.

Por vezes, quando se pretende conhecer as características da liga metálica e das suas propriedades mecânicas e de soldabilidade ou avaliar a compatibilidade de sistemas de pintura com as pinturas existentes, é necessário proceder também a exames de carácter destrutivo (DT) para os quais é necessário extrair amostras. Esta operação tem que ser feita sempre sob a orientação do engenheiro de estruturas para que não sejam induzidos danos na estrutura que ponham em risco a segurança e deve ter em conta, sobretudo em estruturas antigas, a possível diversidade dos materiais existentes.

A avaliação do estado do sistema de protecção, nomeadamente do revestimento metálico ou por pintura, é igualmente importante para avaliar o tipo de intervenção de que o mesmo deve ser objecto, substituição por um revestimento novo ou reparação localizada e apenas renovação geral do esquema de pintura existente.

Quadro 4. Métodos NDT aplicáveis a estruturas metálicas

Método de ensaio	Fundamento	Aplicação
Magnetoscopia	A superfície de aço é magnetizada e pequenas partículas de ferro fosforescentes são aplicadas. Estas partículas são atraídas pela descontinuidade do campo magnético, identificando assim a fissura.	Identificação de fissuras à superfície; verificação de furações após remoção de rebites e antes da aplicação de parafusos pré-esforçados; controlo da execução da técnica de reparação <i>stop hole</i> .
Líquidos penetrantes	O líquido penetrante é aplicado na superfície do material e absorvido por capilaridade revelando, após algum tempo, as fendas.	Identificação de fissuras à superfície.
Radiográfico	O elemento de aço é irradiado com raios gama e, após penetração, os defeitos são apresentados como imagens acinzentadas num filme ou imagem do elemento.	Identificação de fissuras à superfície e internas.
Ultrasons	Emissão de sons de elevada frequência que atravessam o material sendo reflectidas nas descontinuidades ou superfície do material.	Detecção de descontinuidades e sua localização em profundidade; medida da espessura do material (excluindo no ferro pudelado).
Correntes de Eddy/ Foucault	Baseia-se nos princípios da indução electromagnética. Os defeitos são identificados quando as correntes eléctricas induzidas são distorcidas.	Detecção de fissuras nas furações após remoção de rebites e em elementos com fraca espessura; medição da espessura das camadas do revestimento.
Emissão acústica	O movimento súbito de materiais sob tensão produz emissões acústicas que podem ser lidas por sensores.	Deformação do material, fissuras em chapas sobrepostas e fissuras activas em propagação.

Convém salientar que existem defeitos de pintura decorrentes da fase de aplicação e que desde que não atinjam a base muitas vezes não são relevantes do ponto de vista da durabilidade, nem têm carácter evolutivo. No entanto, há que os distinguir dos processos de degradação dos revestimentos por pintura que podem originar diferentes tipos de defeitos com carácter evolutivo, tais como, fissuração, empolamento, descamação, pulverulência, delaminação por perda de aderência e perda localizada do efeito barreira com desenvolvimento de corrosão da base e que correspondem a estados e causas distintas da degradação do sistema de protecção que devem ser avaliados. As diversas partes da norma NP EN ISO 4629 indicam o modo de identificação, classificação e quantificação dos defeitos nos revestimentos por pintura.

## 5 MÉTODOS DE REPARAÇÃO

Quando a integridade de uma estrutura está em risco, devem-se adoptar medidas correctivas, tais como reparação ou reforço, de modo a restituir o nível de segurança necessário à estrutura. Estas medidas correctivas podem ser utilizadas para reabilitar estruturas com problemas de durabilidade, normalmente devido a uma má qualidade dos materiais de construção, construção com fraca qualidade e/ou manutenção insuficiente, ou para reforçar as estruturas antigas, em que o nível original já não é

adequado às exigências actuais. A implementação destas medidas deve resultar de uma investigação especializada, onde são considerados os requisitos actuais, as propriedades do material, as condições ambientais e funcionais, o tipo de sistema estrutural e os requisitos do pormenor avaliado, de modo a ser possível identificar as causas da falha e respectivos efeitos, para, assim, proceder à selecção dos procedimentos de reparação mais adequados. Nas estruturas antigas, é necessário dar particular atenção à compatibilidade dos materiais, bem como à pormenorização das ligações estruturais, especialmente quando ocorrem mudanças no sistema interno de forças.

Alguns dos métodos aqui abordados são utilizados na reparação genérica de danos em estruturas de aço, com respectivos limites e efeitos associados ao tipo de defeito e causa, enquanto outros são especificamente aplicados como métodos de optimização do desempenho à fadiga. Os métodos normalmente utilizados na optimização do desempenho à fadiga são o esmerilamento, a martelagem e a refusão TIG (*Tungsten Inert Gas*), enquanto os métodos de reparação de danos incluem: *stop hole*; soldadura; aparafusamento; rebitagem; adição de elementos metálicos; substituição de elementos; endireitamento mecânico; endireitamento a quente; e reparação com FRP. A Figura 3 ilustra vários exemplos de aplicação de alguns destes métodos de reparação.

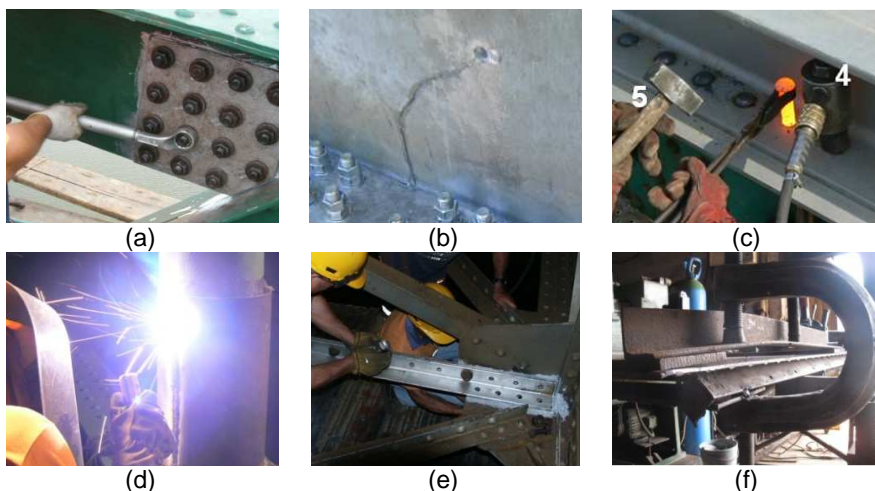


Figura 3. Exemplos de métodos de reparação: (a) Aparafusamento; (b) *Stop hole*; (c) Rebitagem; (d) Soldadura; (e) Substituição de elementos; (f) Endireitamento mecânico.

### 5.1 Adequação da reparação ao dano

A selecção do método de reparação mais adequado requer a caracterização do dano ou falha, assim como a identificação das causas associadas, processos/mecanismos de degradação. Adicionalmente, para uma reparação mais eficaz, também deve ser efectuada uma análise aos seguintes aspectos: características do material estrutural; sistema estrutural; elementos danificados e seus requisitos correntes; condições funcionais e do ambiente envolvente.

Os Quadros 4 e 5 mostram a adequação dos métodos mais aplicados na prática corrente de reparação dos defeitos mais comuns nas estruturas de aço, considerando o sistema de classificação de defeitos adoptado pelo projecto DURATINET (Quadro 1). A complexidade associada aos danos e tipos de falha comuns normalmente exigem adaptações e a utilização combinada de vários métodos e a definição de adequados procedimentos para que uma reparação seja eficaz.



Quadro 5. Adequação dos métodos de reparação aos defeitos relacionados com processos de degradação físicos.

		Defeitos																		
		Deformação						Descontinuidade						Perda de material						
		Componente básico			Ligação aparafusada / rebitada			Ligação soldada			Componente básico			Ligação aparafusada / rebitada			Ligação soldada			Qualquer elemento
		Deflexão	Distorção	Torção	Deflexão	Torção	Deflexão	Torção	Fenda	Fractura	Fenda	Fractura	Fenda	Fractura	Fenda	Fractura				
Métodos de reparação	Esmerilamento							■		■		■		■						
	Martelagem							■		■		■		■						
	Refusão TIG							■						■						
	Stop hole							■						■						
	Soldadura													■						
	Aparafusamento	■				■			■									■		
	Rebitagem	■				■												■		
	Adição de elementos metálicos								■	■		■			■			■		
	Substituição de elementos	■	■	■		■	■		■		■	■		■	■			■		
	Endireitamento mecânico	■	■	■		■	■		■		■									
Endireitamento a quente	■	■	■		■	■		■		■										
Reparação com FRP								■	■		■			■						

Quadro 6. Adequação dos métodos de reparação aos defeitos relacionados com processos de degradação químicos/biológicos.

		Defeitos											
		Contaminação		Deterioração						Perda de material			
		Construção de aço		Componente básico		Ligação aparafusada / rebitada		Ligação soldada		Qualquer elemento			
		Química	Biológica	Uniforme	Localizada	Uniforme	Localizada	Uniforme	Localizada				
Métodos de reparação	Limpeza	■	■										
	Aparafusamento												■
	Rebitagem												■
	Adição de elementos metálicos				■	■		■	■		■	■	■
	Substituição de elementos				■	■		■	■		■	■	
Reparação com FRP				■	■								

## 6 SISTEMAS DE PROTECÇÃO

A corrosão é um dos principais mecanismos de degradação das estruturas de aço. Este facto torna essencial a protecção das estruturas metálicas contra este

mecanismo, de modo a ser possível alcançar o tempo de vida útil previsto. A prevenção da corrosão e as suas consequências podem ser asseguradas por revestimento de protecção ou por protecção catódica. Estes sistemas de protecção podem funcionar por: (i) acção barreira - isolamento do aço relativamente ao meio ambiente; (ii) inibição química - utilização de inibidores de corrosão nos revestimentos; e/ou (iii) protecção galvânica - protecção do substrato de aço por um metal de potencial mais activo.

## 6.2 Revestimentos de protecção

Os revestimentos de protecção consistem na aplicação de esquemas de pintura, revestimentos metálicos, ou ainda na combinação destes dois, que é designada por "sistema duplex". Para garantir um adequado desempenho destes sistemas de protecção devem ser tidos em conta os seguintes factores: caracterização das condições ambientais; estabelecimento dos requisitos exigidos ao sistema de revestimento e selecção do mais adequado; adequação do revestimento tendo em conta os pormenores de projecto e as técnicas de aplicação; preparação de especificações claras e inequívocas sobre o revestimento de protecção; e controlo da qualidade dos materiais a aplicar e do processo de aplicação. Além destes factores, também é fundamental uma preparação adequada da superfície do aço para melhorar a adesão do revestimento.

### 6.2.1 Pintura

Os esquemas de pintura são os sistemas de protecção mais aplicados nas estruturas metálicas, pois oferecem diversas vantagens, tais como, aplicação fácil, inexistência de limitações na dimensão dos elementos a proteger, acabamento decorativo e outras propriedades adicionais. A protecção fornecida por este sistema é geralmente assegurada mediante a aplicação de várias camadas de tinta, cada uma com uma função específica, formando, assim, um revestimento orgânico de protecção. Os diferentes tipos de camadas são definidos pela ordem de aplicação no substrato (primário, intermédio e camada de acabamento) com cores diferentes para facilitar a sua identificação, quer durante a fase de aplicação quer já na fase de exploração e conservação.

A aplicação dos esquemas de pintura pode ser realizada tanto em estaleiro como *in situ* (Figura 4), no entanto, a aplicação em estaleiro permite um melhor controlo das condições de aplicação. Normalmente, a camada de acabamento só é aplicada em obra.

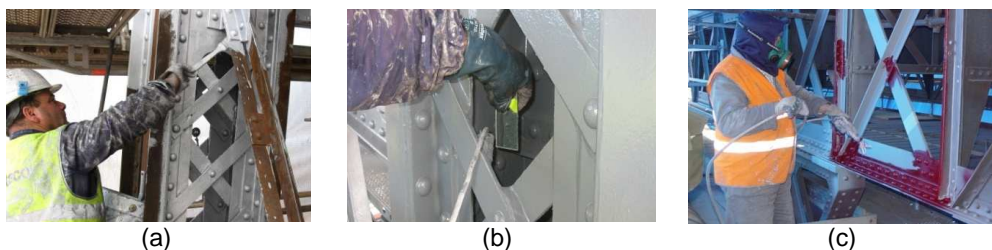


Figura 4. Aplicação de pintura por: (a) trincha; (b) rolo; (c) spray.

### 6.2.2 Revestimentos metálicos

Os revestimentos metálicos, que são normalmente compostos por zinco ou ligas de zinco e alumínio, formam uma ligação química com o metal base e conferem protecção contra a corrosão, às estruturas metálicas, por acção barreira e protecção galvânica. Os métodos de aplicação mais utilizados são: (i) imersão a quente; (ii) projecção térmica, (iii) electrodeposição e (iv) difusão.

### 6.3 Protecção catódica

A protecção catódica é um processo que previne ou reduz a taxa de corrosão de um metal deslocando o seu potencial para valores na região de imunidade. A protecção catódica pode ser realizada por corrente imposta, quando a corrente de protecção é fornecida por uma fonte externa de energia utilizando ânodos, de matérias relativamente inertes, ou por ânodos de sacrifício constituídos por metal ou liga com um potencial de corrosão mais negativo do que o aço como, por exemplo, zinco, alumínio e ligas de magnésio. Podem ainda ser aplicados sistemas híbridos, que incluem tanto os ânodos galvânicos como a corrente impressa.

A aplicação conjunta da protecção catódica com sistemas de revestimento adequados permite aumentar a eficácia da protecção contra a corrosão.

## 7 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido no projecto DURATINET com vista à elaboração de um guia de recomendações técnicas apoiou-se numa compilação e tratamento da informação já existente e fez um enquadramento da normalização nacional e internacional. Com este guia técnico pretende-se dispor um documento de apoio aos principais intervenientes na gestão das estruturas, tais como donos de obra de entidades nacionais e municipais, empreiteiros e projectistas.

Com o intuito de dar uma maior difusão a este guia, para além da versão impressa em manual, irá ser disponibilizada uma versão interactiva na internet, que poderá ser acedida através do site [www.duratinet.org](http://www.duratinet.org), cujo funcionamento assenta na apresentação da informação em:

- Fichas detalhadas sobre defeitos e degradação, técnicas de ensaios e inspecção, metodologias de reparação e sistemas de protecção enunciando-se por exemplo quais as principais vantagens de uma técnica sobre outra, exibindo vídeos de aplicação de técnicas de reparação etc.
- Tabelas interactivas para correlação dos defeitos, técnicas de inspecção e métodos de reparação e sistemas de protecção.

## REFERÊNCIAS

- D.A. Bayliss, D.H. Deacon. Steelwork Corrosion Control. 2nd Edition. Spoon Press. London, 2002.
- EN 12500:2000 - Protection of metallic materials against corrosion. Corrosion likelihood in atmospheric environment. Classification, determination and estimation of corrosivity of atmospheric environments.
- H. Perna, M.J. Correia, A.M. Baptista, M. Salta. Artigo apresentado no REABILITAR 2010 – Encontro Nacional de Conservação e Reabilitação de Estruturas.
- ISO 9223:1992 – Corrosion of metals and alloys – corrosivity of atmospheres – classification.
- ISO 9226:1992 - Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
- 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).
- Sustainable Bridges Project. Guideline for Inspection and Condition Assessment of Existing European Railway Bridges - Priority 6. 2007. [www.sustainablebridges.net](http://www.sustainablebridges.net).
- W. Radomski. Bridge Rehabilitation. Warsaw University of Technology, Poland. Imperial College Press, 2002.
- Z. Agócs, J. Ziólko. J. Vican and J. Brodniansky. Assessment and Refurbishment of Steel Structures. Spoon Press, 2005.