

O COLAPSO DE ANCORAGENS EM TERRENOS DEVIDO A FENÓMENOS DE CORROSÃO

FAILURE IN GROUND ANCHORS DUE TO CORROSION PHENOMENA

Carvalho, Mariana dos A. Rodrigues de, *LNEC, Lisboa, Portugal, marc@lnec.pt*
Sousa, Arlindo M. Gonçalves, *LNEC, Lisboa, Portugal, asousa@lnec.pt*
Fontinha, Isabel Rute, *LNEC, Lisboa, Portugal, rfontinha@lnec.pt*
Salgado, Francisco M., *LNEC, Lisboa, Portugal, fsalgado@lnec.pt*

RESUMO

As ancoragens em terreno, solo e/ou rocha, são usadas para suportar, estabilizar ou transferir cargas em conjunto com um variado espectro de estruturas de suporte. A sua capacidade de carga é condicionada pela preservação da resistência intrínseca de cada um dos seus componentes e pelas reacções mobilizadas na cabeça e ao longo da selagem ao terreno. Os problemas de corrosão em ancoragens definitivas e provisórias construídas em ambientes agressivos podem ser anulados ou minimizados com protecções adequadas. Estes problemas podem resultar em danos de qualquer dos seus componentes com o possível colapso das ancoragens e conseqüentemente da obra de suporte, condicionando a sua longevidade. Assim, o projecto e a verificação in situ da qualidade dos sistemas de protecção assumem grande relevância nas diversas fases de construção e de observação durante a vida útil da obra.

ABSTRACT

Ground anchors in soil or rock are used to stabilize or transfer loads together with a wide range of retaining structures. The anchor capacity depends on the resistance of each of its components as well as the reactions mobilized at the head and at the bond zone. The problems of corrosion can be avoided or minimized with the installation of adequate protections mainly for permanent anchors and temporary anchors built in aggressive environments. These problems can develop in any of the anchors components leading to its possible premature collapse. Therefore the design and the site verification of the quality of the protection against corrosion are extremely important during construction and long-term performance.

1. INTRODUÇÃO

Como elemento de transferência de carga as ancoragens consistem essencialmente num tirante de aço, que inclui cabeça, zona livre e comprimento selado. A protecção da armadura de aço ao ataque corrosivo, na sua génese, envolve os mesmos problemas patentes nas estruturas correntes pré-esforçadas. No entanto, no caso das ancoragens em terreno, solo e/ou rocha, as condições dos meios são mais severas, caracterizados por ambientes muito mais agressivos, com elevados graus de humidade, percolação de água, com soluções salinas presentes, nomeadamente cloretos. Em terreno heterogéneo, com deficiente caracterização dos parâmetros característicos dos estratos, a probabilidade de se verificarem acidentes por corrosão é elevada, caso as ancoragens não sejam devidamente protegidas. De acordo com a norma Europeia EN1537^[1], todos os elementos de aço sob tensão devem ser protegidos contra a corrosão durante a sua vida útil de projecto. Uma das exigências gerais prende-se com a protecção da totalidade do comprimento da armadura, incluindo a cabeça e os dispositivos de acoplamento. Note-se que a longevidade associada às ancoragens, em particular das definitivas ou das provisórias

construídas em ambientes agressivos, bem como o seu desempenho requer uma protecção eficiente, não dispensando contudo o recurso a técnicas de inspecção, monitorização e de intervenções correctivas adoptadas atempadamente. A corrosão da armadura de pré-esforço geralmente é muito mais gravosa que a corrosão da armadura do betão armado convencional, dado que a secção em tensão no primeiro caso é muito menor e está sujeita a tensões mais elevadas. O aço sujeito a tensões elevadas é mais susceptível à rotura frágil, devida à corrosão sob tensão e à ocorrência de fragilização por hidrogénio. Neste contexto, compreende-se que o aço de pré-esforço para ancoragens em terreno necessite de medidas de protecção particulares contra a corrosão durante o armazenamento, o transporte e em qualquer fase intermédia até à conclusão da construção da estrutura e durante a vida útil da obra. De acordo com um estudo estatístico Europeu sobre 242 incidentes de corrosão ocorridos em todo o mundo, entre 1951 e 1979, a Federação Internacional de Pré-esforço (FIP)^[2] apresenta os resultados em termos de gráficos de distribuição dos danos por corrosão relacionando-os com o tipo de aço, com a aplicação, com o método de pré-esforço, com o tipo de rotura da armadura (figura 1), com a idade e com as causas de corrosão (figura 2).

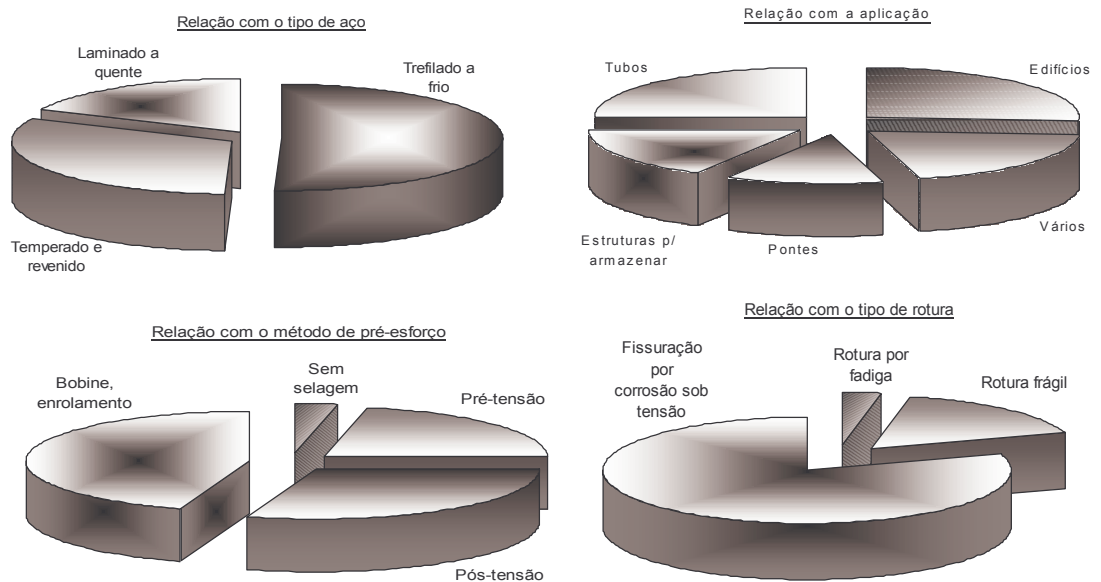


Figura 1 – Distribuição dos danos por corrosão

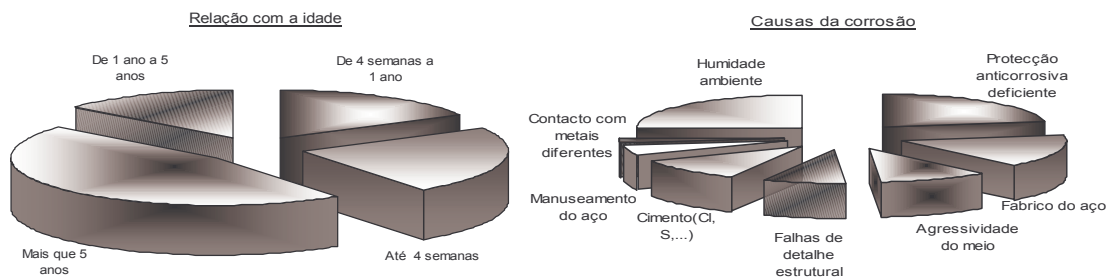


Figura 2 – Distribuição dos danos por corrosão com a idade da estrutura e distribuição das causas

As ocorrências de corrosão e de rotura com a idade estão directamente relacionadas com uma protecção inadequada e/ou deficiente. Na figura 2, o fabrico de aço refere-se aos diferentes tipos de aço e à sua susceptibilidade à corrosão; o manuseamento refere-se a danos resultantes de técnicas inadequadas, ou deficiente aplicação de carga ou desvios abruptos no alinhamento das ancoragens; a agressividade do meio resulta da envolvente e também da possível agressividade de materiais armazenados conjuntamente com o aço de pré-esforço.

Dado que o aço de pré-esforço é um material de construção utilizado com elevada frequência e em crescendo, apresenta-se uma súmula do estado de arte no domínio da protecção, detecção e remediação da problemática que envolve a corrosão em ancoragens.

2. CORROSÃO, PROTECÇÃO CONTRA A CORROSÃO EM AÇO DE PRÉ-ESFORÇO

A rotura dos aços por corrosão sob tensões elevadas é complexa, não sendo ainda possível especificar os mecanismos que geram este processo. Há duas estratégias básicas que permitem lidar com este problema de um modo seguro, que são: (1º) a análise dos vários tipos de corrosão e a compreensão dos vários ambientes em que o aço estará exposto, avaliando o nível de corrosividade; (2º) orientar a filosofia de projecto de forma a assegurar uma protecção completa do aço de pré-esforço.

2.1 Tipos de corrosão

Utiliza-se o termo corrosão para designar a deterioração dos metais por reacção com o meio ambiente através de processos electroquímicos. Com respeito às causas e efeitos resultantes, a corrosão agrupa-se em 3 tipos principais (figura 3)^[2]:

- corrosão generalizada - ataque uniforme generalizado da superfície metálica (corrosão uniforme (a)). A redução da secção transversal é praticamente uniforme, processa-se da superfície exterior para o interior. O produto resultante deste tipo de corrosão (a ferrugem) nos aços de pré-esforço não possui coesão e é facilmente removível por circulação ou por infiltração;
- corrosão localizada - sem grandes perdas de material, origina a formação de cavidades e uma concentração local de tensões que pode resultar em rotura prematura. A corrosão por picada (b), uma das formas mais comuns de corrosão localizada, pode ocorrer na presença de iões agressivos, como os cloretos. Uma armadura que apresente corrosão por picada deve ser sempre rejeitada, pois não pode ser reparada com limpeza ou por revestimento. A corrosão intersticial (c) e a corrosão sob depósitos (d) são outras formas frequentes de corrosão localizada, que também podem originar a formação de picadas. A corrosão intersticial pode ter origem em defeitos da laminagem ou em contactos do aço com outro corpo e a corrosão sob depósitos desenvolve-se sob depósitos de materiais.
- corrosão fissurante sob tensão (e) e por fragilização por hidrogénio – resultam da combinação da acção estática das tracções no aço e da corrosão localizada. Neste caso, a tensão pode manter-se durante algum tempo antes do aço ter rotura frágil.

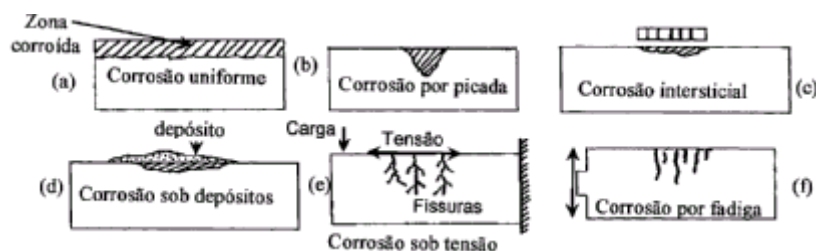


Figura 3 – Exemplos de tipos de corrosão

Outras formas comuns de corrosão nos aços de pré-esforço são: a corrosão por fadiga (f) que resulta da acção combinada da corrosão com ciclos de carga e descarga; a corrosão por atrito que ocorre quando duas superfícies possuem movimentos oscilatórios de pequena amplitude, pode ocorrer entre o aço de pré-esforço e a bainha metálica ou entre os fios dos cordões, especialmente nas secções em que há mudança de direcção da armadura. Geralmente deste fenómeno resultam fissuras localizadas. A corrosão bacteriana, em consequência do

metabolismo de bactérias e ainda a corrosão por correntes vagabundas que podem encontrar-se no terreno, como resultado de fugas de corrente ou de roturas no isolamento de cabos eléctricos. A corrosão ocorre nas secções em que a corrente sai da estrutura. O aço de pré-esforço também é muito sensível aos seus efeitos, devendo ser tomadas precauções quando se preveja a sua existência.

2.2 Factores condicionantes da agressividade dos ambientes

O solo é um meio poroso (contendo ar e água), mais ou menos contínuo, podendo ser coloidal, com constituintes solúveis e higroscópicos e com organismos vivos. A corrosão neste meio dá-se geralmente na presença de humidade e de oxigénio. A classificação da corrosividade dos meios relativamente ao aço é um factor preponderante.

A corrosividade dos terrenos depende de diversos factores^[3], tais como: (a) o teor em água – a acção de dissolução pela água das espécies químicas que promovem ou inibem a corrosão é muito importante; (b) a composição química do meio – o teor de espécies solúveis, nomeadamente cloretos e sulfatos, que acidificam o meio e promovem a corrosão; (c) a permeabilidade – ao ar e à água, é importante no desenvolvimento dos processos de corrosão; (d) a heterogeneidade do terreno - os terrenos heterogéneos propiciam o desenvolvimento da corrosão por efeitos galvânicos; (e) nível freático no terreno.

Com a finalidade de avaliar a corrosividade do meio devem efectuar-se colheitas de amostras, por exemplo durante o reconhecimento geotécnico, para análise das características químicas do estrato aquoso, sobretudo em locais sem dados históricos. Ainda quanto às propriedades químicas do meio, deve ser avaliada a sua agressividade relativamente aos cimentos.

A durabilidade das caldas^[4], que normalmente se utilizam para a selagem e protecção de ancoragens no terreno, encontra-se seriamente comprometida em terrenos húmidos e ácidos, nomeadamente contendo sulfatos, dada a vulnerabilidade dos materiais cimentícios ao ataque por ácidos e por sulfuretos. As soluções aquosas atacam a calda cimentícia durante a presa por meio de reacções químicas que dependem do tipo de cimento, e a velocidade desse ataque é condicionada pela permeabilidade da calda. Este processo é influenciado também pelos seguintes factores: a posição do nível freático normal e flutuações sazonais e a forma de construção.

É de opinião consensual que o aço pode ser protegido adequadamente se for envolvido num ambiente alcalino com um pH da ordem de 10 a 13. O cimento hidratado tem um pH de 12,6, o que inibe a acção de iões agressivos. A este pH forma-se uma película passiva na superfície do aço que pode inibir a corrosão ou reduzi-la para níveis inconsequentes. Deste modo, o revestimento com calda de cimento pode garantir uma protecção química e física do aço. No entanto, é normal que se verifique uma perda da alcalinidade ao longo do tempo, devida à permeabilidade e à porosidade da calda, que pode ocorrer devido a reacções com gases ácidos da atmosfera ou com água de lixiviação da superfície. Estes gases ácidos reagem com os álcalis neutralizando-os, formando carbonatos e sulfatos, reduzindo o pH. Se a carbonatação atingir a calda, ao nível da armadura pode causar corrosão, caso haja oxigénio e humidade. A protecção do aço garante-se com um recobrimento de calda de espessura superior à da frente carbonatada expectável (de alguns milímetros), para manter o aço num ambiente alcalino^[4].

Qualquer outro metal utilizado nas ancoragens tem que ser compatível com o aço da armadura, evitando desta forma problemas de corrosão bimetálica entre os diferentes materiais.

As fissuras na calda surgem na sequência de diversos factores, tais como o pré-esforço e a retracção. A formação das fissuras permite o ingresso do oxigénio, de iões agressivos, facilita a

carbonatação, etc. Se a fissura se formou e gradualmente atinge o aço, pode perder-se uma protecção considerável e haver tendência para o descolamento da calda, o que é favorecido pela tracção. Este fenómeno interrompe o contacto directo do aço com o meio alcalino da calda, destruindo a protecção na vizinhança do desligamento. A corrosão subsequente depende de diversos factores, como: a dimensão das fendas, as condições de carga, o grau de exposição e os efeitos ambientais. Nalguns casos, as fendas encontram-se preenchidas com produtos de carbonatação, de detritos ou combinações destes, que restringem o acesso de oxigénio e de humidade, inibindo desta forma o desenvolvimento de corrosão. No entanto, em fendas expostas ou que se propagaram a outras zonas devido à flutuação de cargas, verificar-se-á o acesso de oxigénio e de humidade à superfície desprotegida do aço. Neste caso, a corrosão desenvolver-se-á com uma velocidade imprevisível. Na figura 4^[5] efectua-se uma representação, idealizada, da distribuição das fendas na envolvente de uma barra nervurada deformada. Inicialmente a força é transferida do aço para o betão por acção mecânica das nervuras e pela adesão entre a superfície da barra e do recobrimento da calda de cimento. Os produtos resultantes da corrosão podem ocupar um volume superior em 2 a 3 vezes o do metal perdido, gerando tensões internas suficientes para interromper a calda envolvente^[6]. A capacidade da calda para resistir a estas tensões é dependente da localização da armadura, da tensão e do recobrimento. A capacidade de transferência de carga ao terreno perde-se largamente no decurso deste fenómeno.

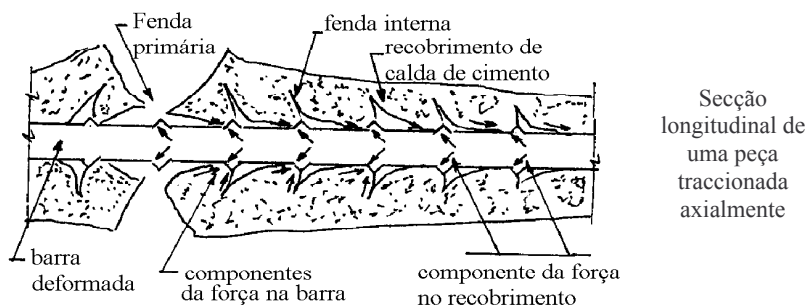


Figura 4 – Formação de fendas e condições eminentes para descolamento^[5]

2.3 Protecção contra a corrosão

Em projecto o objectivo primordial da protecção contra a corrosão é de assegurar que a probabilidade de se verificar uma corrosão de nível inaceitável, durante a vida útil económica das ancoragens, seja reduzida^[6]. Com o decurso do tempo é provável que as ancoragens construídas no terreno apresentem fenómenos de corrosão, variando muito a velocidade desses fenómenos em função do tipo de ancoragem e da sua construção. Não há processos para identificar com precisão suficiente a corrosividade dos meios, o que permitiria prever a velocidade de corrosão, facto que resulta na regra de proteger contra a corrosão todas as ancoragens definitivas. De igual modo, para garantir a duração até 2 anos de ancoragens provisórias em meios agressivos também deve ser incluída uma protecção adicional, caso contrário poderão durar apenas algumas semanas. Há a possibilidade de considerar vários níveis de protecção sendo a sua selecção da responsabilidade do projectista. Esta selecção deve ser realizada em conformidade com a severidade do problema, dependendo dos factores que originam a rotura, da agressividade do meio e dos seus custos. Para que a ancoragem ofereça resistência à corrosão deve ser protegida na sua globalidade. Caso se verifique haver zonas da ancoragem com protecção deficiente ou parcial, a corrosão pode desenvolver-se nessas zonas mais desprotegidas da armadura. Desta forma, as zonas com menor protecção definem a classe de protecção das ancoragens, i.é. simples ou dupla. Por definição a protecção simples implica a existência de uma barreira física contra a corrosão, que é garantida à armadura antes da instalação da ancoragem. A protecção dupla implica a existência de duas barreiras, sendo a finalidade da 2ª barreira, a exterior, de proteger a barreira interna contra danos durante o manuseamento e introdução da ancoragem. A 2ª barreira fornece uma segurança adicional,

sendo a distinção do grau de protecção das ancoragens construídas em terreno e por conseguinte da tecnologia da ancoragem a construir.

2.4 Sistemas de protecção contra a corrosão

Os sistemas de protecção devem: (a) ter uma vida útil efectiva pelo menos igual à requerida para a ancoragem; (b) não ter efeitos adversos no meio envolvente ou na ancoragem que protegem; (c) não restringir os movimentos do comprimento livre; (d) compreender materiais mutuamente compatíveis na deformabilidade, permanência e que não propiciem condições de corrosão; (e) permitir uma aplicação única do tratamento, dado que as expectativas de substituição ou de manutenção são reduzidas; (f) não devem sofrer rotura durante os ensaios de carga, nomeadamente nas juntas entre componentes do sistema de protecção; (g) o aperto deve ser eficaz, devendo permitir o manuseamento durante o processo de fabrico, o transporte e a construção da ancoragem no terreno; (h) devem permitir inspecção, sempre que possível, antes da introdução no furo. Os sistemas de protecção, para terem uma capacidade de resposta eficaz, devem ser hidrófugos e favorecer a exclusão de gases atmosféricos na envolvente dos metais. Os metais devem estar totalmente envoltos por uma cobertura e/ou bainha impermeáveis.

A calda injectada no furo de sondagem pode ser considerada como protecção temporária na selagem desde que o recobrimento ao longo da ancoragem sobre a armadura seja superior a 10 mm e a zona livre seja protegida com uma bainha plástica. Para além das dificuldades em garantir a qualidade e a integridade da calda na selagem, durante a sua presa e à medida que a estrutura sofre variações de tensão podem desenvolver-se fendas que dependem da grandeza das tracções e da ductilidade dos materiais. A dimensão da abertura das fendas é um factor determinante na evolução do processo de corrosão. Este facto é consubstanciado pelas recomendações expressas na EN1537^[1] relativamente aos limites superiores da abertura das fissuras em ancoragens definitivas, para os níveis de tensões correspondentes à carga de serviço, onde se refere que para que a calda possa ser aceite como barreira de protecção a abertura das fendas deve variar de 0,1 mm a 0,2 mm, consoante as tecnologias construtivas aplicadas.

Os compostos anticorrosivos também possuem limitações de protecção, pois requerem um dispositivo impermeável para protecção ou contenção, como uma bainha robusta resistente à corrosão. No entanto, estes materiais preenchem um papel importante nos sistemas de protecção actuando como material de enchimento que suprime o contacto da superfície do aço com a atmosfera, e reduzindo o atrito no comprimento livre. Estes compostos não são aceites como uma barreira física de protecção do comprimento livre integrado num sistema duplo de protecção de ancoragens definitivas, mas a sua aplicação é aceite em cabeças re-tensionáveis e acessíveis e em protecções temporárias.

Todas as partes que compõem as ancoragens são sujeitas aos mesmos critérios de protecção, mas é necessário detalhar de modo distinto a protecção a aplicar a cada uma delas. Os sistemas seleccionados pelo projectista devem ser adequados às exigências e às condições de serviço da ancoragem e do funcionamento estrutural das secções onde se instalam. É muito importante assegurar que as protecções nas secções de transição da selagem para a zona livre e desta última para a cabeça tenham uma sobreposição efectiva. Por outro lado, o manuseamento de ancoragens, ou dos seus elementos, não deve introduzir danos no sistema de protecção.

2.4.1 Comprimento livre

A protecção do comprimento livre da armadura geralmente obtém-se com aplicação prévia de um composto flexível anticorrosivo na armadura e de pelo menos um tubo de revestimento. A

aplicação da protecção é realizada em fábrica ou em obra em locais para o efeito, assegurando condições de higiene adequadas e ar seco. O sistema de protecção no comprimento livre deve permitir o movimento e extensão razoável, sem inibições, da armadura durante o pré-esforço.

Geralmente a protecção é conferida com aplicação de bainhas plásticas, de tubos plásticos ou metálicos e de compostos anticorrosivos. As bainhas plásticas impermeáveis aplicadas em fábrica têm tido grande divulgação na construção de ancoragens definitivas e provisórias. As bainhas e tubos plásticos usados na construção de ancoragens devem respeitar o disposto nas normas europeias, devem ter continuidade, ser impermeáveis e não devem fragilizar-se no tempo. Também devem apresentar resistência às radiações ultravioletas durante o armazenamento, transporte e construção. As ligações entre as diversas componentes de plástico devem ser completamente seladas e inviabilizar totalmente o ingresso de água. No caso de se recorrer à utilização de PVC, este deve resistir ao envelhecimento e não deve produzir cloretos livres. De acordo com a EN1537^[1] a espessura mínima da parede do tubo corrugado exterior, quer seja individual ou comum a diversos tirantes, é a seguinte: (a) 1,0 mm se o diâmetro interno (ϕ_i) \leq 80 mm; (b) 1,5 mm se $120 \geq \phi_i > 80$ mm; (c) 2,0 mm se $\phi_i > 120$ mm. A espessura mínima da parede de um tubo ou de uma bainha lisa comum, que esteja em contacto com o exterior, deve ser acrescida de 1,0 mm relativamente à espessura exigida para o tubo corrugado, ou em alternativa deve ser reforçado. A espessura mínima da parede de uma bainha interior é de 1,0 mm e no caso do tubo corrugado interior a sua espessura mínima é de 0,8 mm.

Os compostos anticorrosivos devem ser descritos e definidos pelo projectista, devendo apresentar estabilidade contra a acção da água e do oxigénio. Outras propriedades importantes, são a resistência à degradação por ataque de bactérias e de microorganismos e a resistência eléctrica elevada. Deve verificar-se se os compostos são compatíveis com a envolvente e com os materiais das bainhas utilizados.

As bainhas metálicas corrugadas leves não são aplicáveis como protecção, pois são facilmente perfuradas pela corrosão.

2.4.2 Comprimento selado

O comprimento selado requer o mesmo grau de protecção que o comprimento livre. Adicionalmente, os elementos de protecção têm que ter capacidade de transmitir para o terreno as tensões elevadas que se desenvolvem na armadura. Estas exigências de características de resistência e de deformabilidade têm que ser verificadas estruturalmente. A deformação de cada elemento do sistema de protecção não deve criar fluência nem expor, com fissuras, a armadura na selagem. Estas exigências entram em conflito, havendo disponíveis poucos materiais que as cumpram, sobretudo nas condições de níveis de tensão elevados como os que envolvem o bolbo. Alguns materiais, como as resinas epoxídicas e de poliéster, possuem resistências adequadas de ductilidade e de resistência à corrosão. No entanto, podem na maioria das vezes ser substituídos por caldas cimentícias menos onerosas. Quando se recorre à utilização de encamisamentos na armadura do bolbo em combinação com tubos plásticos, a compatibilidade das propriedades elásticas desses componentes da ancoragem tem que ser avaliada para minimizar o descolamento ou o deslizamento dos materiais de selagem. A geometria do tubo plástico é muito importante pois para além de conferir a protecção anticorrosiva também deve permitir a transferência de tensões ao terreno por intermédio de material de enchimento externo, por exemplo com calda, sem deslocamentos ou perdas de cargas. Para assegurar a transferência efectiva de carga entre o tubo e a calda, os tubos devem ter uma geometria do tipo corrugada. O passo das nervuras deve ser de 6 a 12 vezes a espessura do tubo e a sua amplitude não deve ser inferior a 3 vezes a espessura da parede do tubo. A espessura mínima do tubo é de 0,8 mm; no entanto, há que considerar que o tipo de material, o método de construção e o funcionamento

podem introduzir danos nas maiores espessuras, particularmente com o aumento do diâmetro dos tubos. O material constituinte dos tubos deve ser impermeável aos fluidos e com juntas seladas, sejam ou não em rosca. As injeções em furos encamisados, com orientação vertical ou inclinada, devem ser executadas com recurso à utilização de um tubo de betonagem submerso ou com a introdução da calda a partir da extremidade inferior da bainha, para assegurar a expulsão do ar e providenciar uma boa qualidade do contacto da calda com a armadura. Este contacto é crítico e muito importante na resistência da selagem e na protecção contra a corrosão.

Se o tubo de manchetes, a partir do qual se realizam as injeções de calda, se considerar uma barreira protectora deve demonstrar-se que as manchetes, após injeção, não permitem o ingresso de água. O tubo deve ter uma espessura da parede não inferior a 3,0 mm e o recobrimento de calda que envolve esse tubo deve ter no mínimo 20 mm. Devem ser verificadas a capacidade do bolbo e a integridade da protecção anticorrosiva com ensaios de sistema. No caso de se aplicar um tubo de aço de 3,0 mm de espessura ou um tubo plástico de manchetes corrugado, complementa-se o controlo das fissuras da calda com a verificação da espessura mínima, de 20 mm, da calda de revestimento.

A calda cimentícia espessa de central, pode ser considerada uma das protecções de um sistema duplo de protecção, desde que se garanta que o recobrimento entre a armadura e a protecção exterior seja superior a 5,0 mm e que fique provado que a abertura das fissuras à correspondente carga de serviço não excede 0,1 mm.

2.4.3 Cabeça da ancoragem

A maioria dos danos que se verificaram em obra, nas ancoragens em serviço, tiveram como causa a corrosão na parte interior das cabeças das ancoragens. Com efeito, a cabeça das ancoragens não pode ser completamente pré-fabricada havendo, pois, a necessidade de ter cuidados especiais e um controlo adequado na aplicação das medidas de protecção em obra. Dadas as tensões instaladas na armadura associadas ao pré-esforço e ao atrito desenvolvido com o aperto da armadura pelas cunhas, ou com as porcas de blocagem no caso das barras, a armadura não deve ser bloqueada antes de mobilizar a totalidade da extensão. Todas as blocagens requerem fios, cordões ou barras descarnados, o que obriga à remoção das protecções anticorrosivas aplicadas em fábrica. Esta necessidade resulta na exposição de duas secções da armadura, à frente e no tardo da chapa de distribuição (zona exterior e interior da cabeça, respectivamente), facto que requer medidas separadas de protecção, adicionais às da chapa de distribuição de carga. A protecção interna é garantida pela sobreposição efectiva com a protecção do comprimento livre, para proteger o troço da armadura exposto por detrás da chapa de distribuição e para isolar a secção da armadura que passa através da chapa. Adicionalmente as protecções têm que permitir o movimento livre da armadura.

Para criar uma protecção interna do compartimento da cabeça geralmente utiliza-se um tubo de aço soldado na parede do tardo da chapa de encosto ao maciço de apoio preenchido na extremidade com um selante anelar a envolver a armadura e a cavidade restante é preenchida com uma substância inibidora de corrosão. Deve garantir-se o total preenchimento de vazios e a não permanência de ar e da água. Quando se recorre a técnicas de injeção para além do tubo de injeção deve ser utilizado um tubo de purga, que se localizará superiormente, para assegurar um total preenchimento dos vazios. Se o interior da cabeça é inacessível para o seu preenchimento devem colocar-se previamente compostos anticorrosivos pré-embalados. O projectista deve decidir acerca da conveniência dos materiais a aplicar no interior da cabeça, tecendo as considerações necessárias acerca das condições de durabilidade, movimentos estruturais previstos e a natureza global do projecto.

Na zona exterior da cabeça, o atrito das cunhas ou das porcas de bloqueio na placa de distribuição de carga da cabeça da ancoragem divide-se em duas categorias que têm a ver com a possibilidade ou não de se reaplicar pré-esforço. Para a hipótese de reaplicação do pré-esforço os componentes da caixa de protecção da cabeça e o seu conteúdo devem ser removíveis, para permitir o acesso adequado à armadura, sendo o material mais correntemente utilizado uma substância anticorrosiva lubrificante dentro de bainhas plásticas ou metálicas. Contudo podem também ser utilizadas fitas impregnadas com massas lubrificantes a envolver a armadura e bainhas termo-retracteis. Quando não for admitida a hipótese de reaplicar pré-esforço podem aplicar-se resinas ou outros selantes que endureçam. A parte exterior da cabeça pode ser tapada com betão ou com uma caixa adequada. A chapa de distribuição e os outros elementos em aço também importantes devem ser protegidos antes de levados para o local, sendo necessário que as superfícies do aço estejam limpas e isentas de todos os vestígios de ferrugem e de todas as matérias que lhe sejam prejudiciais. O projecto deve conter recomendações nesse sentido. Os revestimentos devem ser compatíveis com os materiais seleccionados para a aplicação na protecção interior e exterior da cabeça. As chapas de distribuição nas estruturas de betão armado podem ser instaladas no betão durante a fase de betonagem. Em ambientes agressivos a protecção da cabeça deve ser realizada com a maior celeridade possível, tanto no caso das ancoragens definitivas como nas provisórias. A protecção exterior das cabeças (figura 5) das ancoragens definitivas com caixas de aço exige que estas possuam uma espessura mínima de 3,0 mm, com a aprovação da fiscalização podem ser aplicadas caixas plásticas reforçadas que neste caso devem ter uma espessura mínima de 5,0 mm.

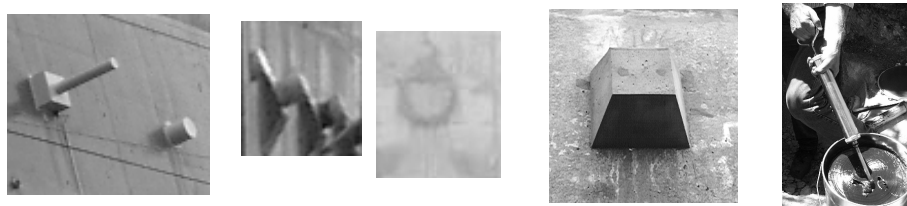
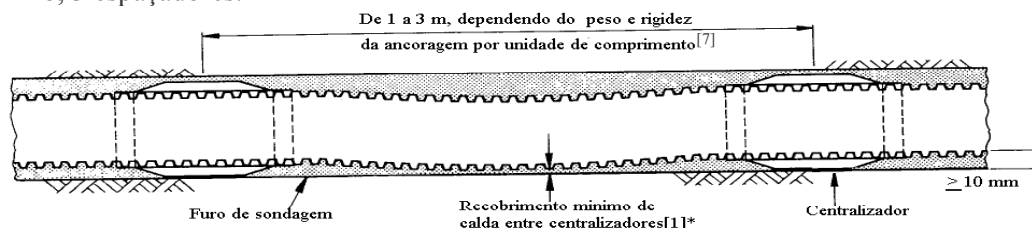


Figura 5 – Tipos de protecção exterior das cabeças das ancoragens e aplicação de substância anticorrosiva

2.4.4 Centralizadores e espaçadores

Para assegurar o posicionamento central e espaçado da armadura no furo de sondagem, devem ser utilizados centralizadores e espaçadores adequados (figura 6). A sua correcta utilização, nomeadamente a sua colocação com ligações firmes e com espaçamento adequado, deve garantir a correcta distribuição da armadura e a espessura adequada do recobrimento ou do enchimento de calda na envolvente da armadura. Para ancoragens definitivas ou provisórias em terrenos agressivos, no bolbo de selagem estes dispositivos devem ser de materiais não corrosíveis, i.é. plásticos ou metal revestido de plástico. Na selagem^[7] devem ser colocados, no mínimo, 3 espaçadores.



* Anc. definitivas: (a) calda de cimento espessa de central ou equivalente: 5 mm se a fissuração à carga de serviço (T_s) < 0,1 mm; (b) calda injectada a pressões > 500 kPa: 20 mm se a fissuração a T_s < 0,2 mm. Anc. provisórias: 10 mm entre a armadura e o furo.

Figura 6 – Representação esquemática de uma secção longitudinal tipo

Qualquer componente instalado no interior do furo de sondagem deve possuir localização e espaçamento adequados de modo a não reduzir a capacidade resistente da ancoragem.

2.4.5 Ensaios de verificação da qualidade dos sistemas de protecção

Todos os sistemas de protecção anticorrosiva devem ter sido sujeitos pelo menos a um ensaio de sistema, in situ ou em laboratório, que permita comprovar a sua eficácia. Os resultados destes ensaios devem encontrar-se documentados^[1].

Os sistemas de protecção contra a corrosão devem ser montados em conformidade com os métodos acordados, devendo ser verificados para cada sistema de modo a assegurar a sua qualidade, a integridade dos componentes pré-fabricados e a adequada sobreposição das barreiras de protecção nas interfaces críticas (i.é. na cabeça da ancoragem/comprimento livre e comprimento livre/comprimento selado). As propriedades das caldas de injecção, i.é. resistência e exsudação também devem ser verificadas. Recomenda-se a realização do seccionamento em diversas secções da selagem (figura 7), completo para permitir a verificação da qualidade e da integridade do trabalho executado do sistema de protecção. A salvaguarda da qualidade e da durabilidade da protecção em obra apenas se garante com mão de obra constituída por especialistas experientes neste tipo de construção. Durante as injecções, para além do controlo de pressões, devem ter associadas o controlo de qualidade e de volume do material injectado.

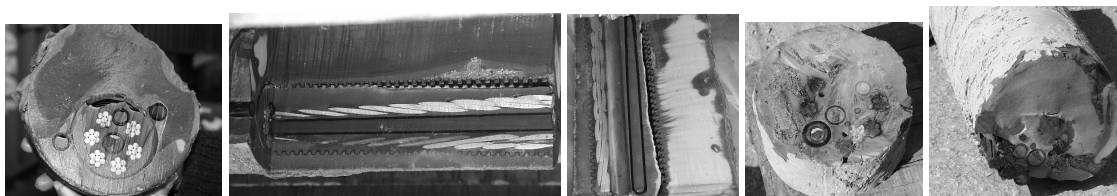


Figura 7 – Ensaios de sistema: exemplos de resultados inaceitáveis

3. INSPECÇÃO DE DANOS DE CORROSÃO

Para a detecção da corrosão devem utilizar-se métodos que se adequem a cada caso particular. Nalguns casos é necessário o recurso a diversos métodos, que podem ser de inspecção directa ou indirecta. Sempre que se constatem indícios de fenómenos de corrosão, nomeadamente numa inspecção de rotina (figura 8), deve-se de imediato averiguar a sua origem e dimensão.

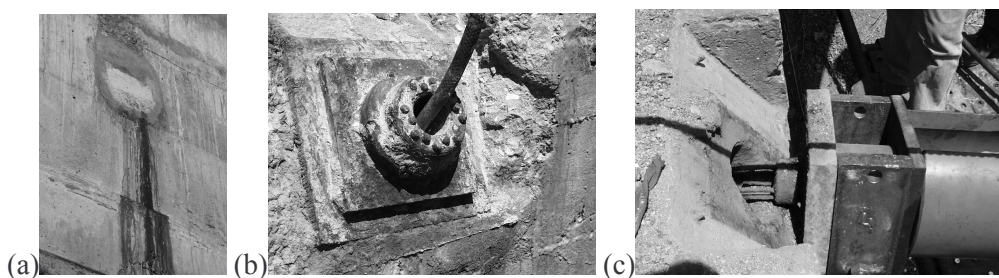


Figura 8 – a) Escorrência de óxido de ferro; b) cabeça oxidada; c) rotura em ensaio de verificação

3.1 Métodos indirectos, não destrutivos

Actualmente a medição do potencial redox e da resistividade do solo são uma forma generalizada, e aceite, de avaliar o índice de risco de corrosão^{[7][8]}, apesar dos valores de referência existentes actualmente para essa classificação se referirem a solos homogéneos.

A medição de resistência eléctrica possui métodos simples e convenientes de verificação do isolamento: (a) conferido pela bainha à armadura relativamente ao terreno envolvente, através

de injeção de corrente na armadura sem carga; (b) total da ancoragem, relativamente ao terreno e à estrutura; e (c) da cabeça da ancoragem relativamente à estrutura. No caso (b) realiza-se o ensaio antes de proteger a cabeça e após a aplicação do pré-esforço. Com base em experiências de campo e de acordo com a EN1537^[1], para (a) e (b) a resistência mínima deverá ser de 0,1MΩ quando se injecta corrente contínua de 500 V (figura 9) entre o aço e o terreno (terra) e entre a chapa de distribuição e o terreno, respectivamente. Uma bainha plástica, impermeável e sem defeitos terá valores superiores a 100 MΩ. Para se verificar apenas o isolamento da cabeça da ancoragem, i.é. (c), deve aplicar-se uma corrente alternada, de 40 V, entre a cabeça da ancoragem e o terreno. Neste caso, a EN1537^[1] refere como valor mínimo 0,1kΩ; se forem obtidos valores superiores a 100 Ω considera-se, tal como a experiência também o indica^[2], que fica demonstrada a inexistência de contactos directos entre a cabeça da ancoragem e a chapa de apoio ou o aço de reforço da estrutura. A EN1537^[1] recomenda apenas a realização do ensaio referido em (c) quando as medições efectuadas para o caso (b) após blocagem forem inferiores a 0,1MΩ. Futuramente, estes ensaios apresentarão grandes potencialidades, mas é necessário ainda que a experiência desenvolva técnicas de controlo da resistência eléctrica, conjuntamente com métodos indicativos e com a proposta de tolerâncias, antes de generalizar os critérios de aceitação.



Figura 9 – Medição da resistência eléctrica

Com a finalidade de avaliar qualitativamente a qualidade da calda de injeção dentro de uma tubagem a FIP^[2] refere dois métodos de ensaios de perda de energia com ensaios ultra-sónicos: (a) por reflexão; e (b) sonoros. Considera-se que apenas o método (a) se adequa às ancoragens em terreno, uma vez que apenas é possível realizar leituras numa extremidade, a da cabeça. Para detecção de anomalias na calda, de efeitos de concentração de corrosão ou roturas do aço de pré-esforço pode recorrer-se a ensaios de radiação, com raios X ou γ , que permitem a realização de radiografias e radioscopias através dos materiais^[2].

3.2 Métodos directos

Quando a utilização de métodos não destrutivos é difícil ou inviável pode recorrer-se à execução cuidadosa de pequenos furos, com equipamento de furação especial. Pode, em alternativa, remover-se a protecção exterior e tentar vias alternativas de acesso à cabeça da ancoragem. Através destes processos podem realizar-se a inspecção, reparação e/ou aplicação de materiais de protecção. Para a realização da inspecção pode recorrer-se ao endoscópio (figura 10), que se introduz a partir da cabeça da ancoragem, podendo obter imagens de vídeo ou fotografias.

4. CONCLUSÕES

O projecto e a qualidade da mão de obra utilizada na construção de ancoragens podem condicionar de forma directa a vida útil e o bom desempenho das ancoragens.

Devem ser realizados os ensaios de sistema preconizados pela norma europeia^[1] de forma a permitir uma comprovação da qualidade dos sistemas de protecção contra a corrosão, dada a sua importância na durabilidade das ancoragens.

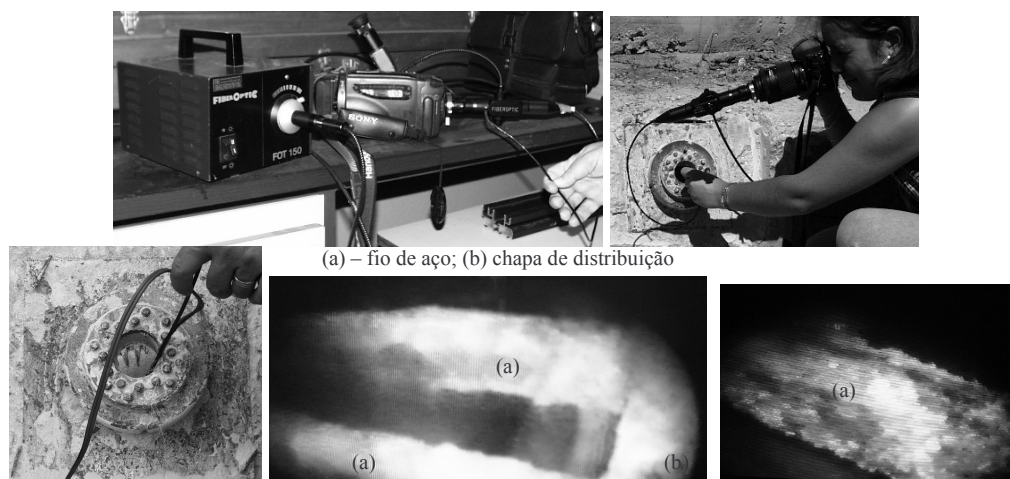


Figura 10 – Endoscópio: equipamento de inspecção, sua utilização e imagens recolhidas

A colocação dos centralizadores e dos espaçadores deve ser cuidada, devendo sempre respeitar as recomendações efectuadas pelos fabricantes relativamente à tecnologia em construção e visando a vida útil prevista pelo projecto.

Devem realizar-se inspecções periódicas às cabeças das ancoragens, nomeadamente às que se encontram instrumentadas por serem mais vulneráveis, de modo a averiguar a existência de eventuais fenómenos de corrosão, pois trata-se de uma das partes da ancoragem mais sensível à corrosão. No caso de se constatarem estes fenómenos, que pode traduzir-se em danos irreparáveis das ancoragens, devem tomar-se de imediato medidas correctivas.

No sentido de minimizar a possibilidade da ocorrência de fenómenos de corrosão, deve garantir-se a integridade dos dispositivos de protecção do sistema de observação que instrumentam as obras ancoradas.

Agradecimentos: os autores agradecem a colaboração da Eng.^a Maria Manuela Salta, Investigadora Coordenadora no Núcleo de Materiais Metálicos do Departamento de Materiais do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, na revisão desta comunicação.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] CEN EN 1537:1999 E – Execution of special geotechnical work – Ground anchors.
- [2] FIP, Federation International de la Precontrainte: Corrosion protection of prestressing steels. September 1996.
- [3] Fontinha, Isabel Rute, 2002 – Compatibilidade de materiais metálicos com o meio de exposição. Lisboa.
- [4] Xanthakos, Petros P., 1991 – Ground anchors and anchored structures.
- [5] Goto, Y., 1971 – Cracks formed in concrete around deformed tension bars. J. Am. Conc. Inst., 68 (4), 244.
- [6] FIP, Federation International de la Precontrainte: Design and construction of prestressed ground anchorages. April 1996.
- [7] British Standard, CP 8081:1989, 1989 - Ground anchorages. British Standards Inst., London.
- [8] King, R. A., 1977 – a Review of soil corrosiveness with particular reference to reinforced earth, TRRL supplementary report 316. Transport and Research Laboratory. Crowthorne.