

CORROSÃO DO AÇO-CARBONO NO CANTEIRO DE OBRAS: CUIDADOS NO RECEBIMENTO, NO ARMAZENAMENTO E NA PROTEÇÃO DE BARRAS DE ESPERA

ADRIANA DE ARAÚJO

Pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT

MAURÍCIO SILVEIRA MARTINS

Marketing Construção Civil da Gerdau

A corrosão das armaduras de aço-carbono é um dos principais fatores de redução da vida útil das estruturas de concreto armado e tem sido exaustivamente investigada nas últimas décadas. A despeito do domínio científico e tecnológico dos mecanismos da corrosão nas estruturas, pouco é discutido quanto à corrosão dos insumos para armadura e de barras de espera no canteiro de obras. Esse é o objetivo do presente artigo. Inicialmente, introduz-se o aço-carbono para armadura e o seu recebimento no canteiro de obras. Em seguida, procede-se à discussão da presença de impurezas e defeitos que podem ser detectados por meio de uma inspeção visual, e, ainda, do armazenamento dos insumos, período em que estes estão suscetíveis à corrosão atmosférica. A corrosão atmosférica é abordada com ilustração de sua ocorrência em barra de espera, bem como a formação de macrocélula de corrosão na região de sua inserção no elemento de concreto. Finalmente, é discutida a proteção de barra de espera contra a corrosão.

Aço-carbono para armadura

O aço-carbono é uma liga de ferro que contém quantidades de carbono entre 0,03% e 1,20% e, normalmente, adição de manganês e silício e baixíssima concentração de outros elementos, que são considerados residuais ou impurezas, como fósforo e enxofre.

O carbono é um elemento importante para a dureza e a resistência mecânica do aço-carbono: resiste bem à tração, à compressão e à flexão. Em contrapartida, a presença do carbono pouco altera a resistência do aço à corrosão em diferentes meios naturais. Mesmo assim, devido às propriedades mecânicas apropriadas e à excelente relação custo-benefício, o aço-carbono é largamente usado nas construções metálicas e como armaduras de estruturas de concreto armado.

Para o concreto armado, as barras e os fios redondos de aço-carbono (ABNT NBR 7480:2007) são cortados, dobrados e unidos (com arame ou por soldagem), formando a armadura dos elementos a ser concretados.

As armaduras podem ser montadas no canteiro de obras ou pré-fabricadas, como são as telas (ABNT NBR 7481:1990) e as armaduras treliçadas (ABNT NBR 14859-3:2017).

Normalmente, na siderurgia, as barras e os fios são produzidos com aço-carbono com 0,20% de carbono (SAE 1020), entretanto a ABNT NBR 7480:2007 não define uma composição química específica, sendo somente definidos requisitos de resistências e de deformações. As barras são obtidas por processo direto de laminação a quente e têm diâmetro nominal igual ou superior a 6,3 mm. Nesse processo, tem-se a formação de uma camada de oxidação na superfície das barras, chamada de carepa de laminação. Os fios de aço-carbono são obtidos por trefilação ou laminação a frio e têm diâmetro nominal igual ou inferior a 10,0 mm. Tanto as barras quanto os fios devem ser fornecidos em comprimento de 12 m (tolerância de 1%) (ABNT NBR 7480:2007).

As barras são comercializadas e divididas nas categorias CA-25, CA-50 e os fios na categoria CA-60. A nomenclatura em sigla (CA) indica o uso em Concreto Armado, enquanto a numeração indica o valor característico da resistência ao escoamento do aço-carbono, 250 MPa, 500 MPa e 600 MPa, respectivamente (ABNT NBR 7480:2007). A categoria CA-25 apresenta superfície obrigatoriamente lisa, enquanto a CA-50, superfície obrigatoriamente rugosa, ou seja, apresenta nervuras transversais e longitudinais. A categoria CA-60 pode ter superfície lisa ou rugosa, sendo esta última obrigatória para fios de 10 mm de diâmetro (ABNT NBR 7480:2007).

Usualmente, as barras nervuradas, CA-50, são denominadas de vergalhão, porém a norma ABNT NBR 6215:2016 define vergalhão de forma mais ampla, como sendo barras e fios com e sem nervuras como também barras nervuradas de seção transversal diferenciada (quadrada, sextavada ou oitavada), que são usadas como armadura.

As barras lisas CA-25 são pouco empregadas nas construções, enquanto as barras nervuradas CA-50 predominam na armação dos

elementos de concreto armado. Como a categoria CA-50 pode apresentar boa capacidade de soldabilidade e ótimo dobramento, poderia estar presente em telas e treliças, no entanto na produção delas predominam fios nervurados CA-60. Explica-se que as telas (ABNT NBR 7481:1990) são formadas pela sobreposição de fios transversais e longitudinais que são soldados nos pontos de contato (nós). As armaduras treliçadas (ABNT NBR 14859-3:2017) têm estrutura espacial prismática que, de forma simplificada, é formada pela união de três barras ou fios (dois de base e um de topo), que são interligados (eletrossolda) em espaçamentos regulares com dois fios diagonais (sinusoidais).

Os vergalhões Gerdau GG50 e CA-60 são nervurados e possuem controle rígido de composição química, o que garante uma adequada soldabilidade em todas as bitolas e apresentações (barras retas, dobradas, rolos e carretéis). O vergalhão Gerdau CA-25 possui superfície lisa e é também soldável em todas as bitolas.

Recebimento dos insumos de aço-carbono

Em canteiros de obras tem-se uma cadeia de recebimento, inspeção e armazenamento de suprimentos de materiais, o que inclui barras e fios e outros insumos de aço-carbono destinados à execução de elementos de concreto armado. Na chegada desses insumos, é adotado o procedimento padrão de conferência em relação ao descrito na nota fiscal e ao pedido original, seguido da identificação do certificado de conformidade do aço-carbono conforme normalizações mencionadas.

Impurezas e defeitos nos insumos de aço-carbono e sua inspeção

Após os procedimentos iniciais de recebimento dos insumos de aço-carbono, é recomendada uma inspeção geral por meio de exame visual (à vista desarmada). O objetivo é verificar a presença de impurezas e/ou de defeitos na superfície metálica. Dentre as impurezas mais prováveis, citam-se óleos, graxas e partículas depositadas, como fuligem e areia contaminada com íons Cl⁻. Cita-se que os sais de íons Cl⁻ também se depositam na superfície dos insumos, em especial pelo carreamento pelo vento de gotículas da água do mar, na forma de névoa salina. Dentre os defeitos, citam-se como exemplo a presença de escamas geradas na etapa de conformação na siderúrgica, dobras e rompimento de pontos de soldas no transpasse e manuseio, além de prejuízos mecânicos. Outro importante defeito é a corrosão (ferrugem), que ocorre em especial na armazenagem.

A norma ABNT NBR 7480 (2007) descreve que as barras e os fios destinados à armadura para concreto armado devem ser isentos de defeitos prejudiciais, sendo permitida somente uma corrosão superficial, que é

aquela que não deixa evidências após a remoção dos seus produtos. Na prática, essa corrosão ocorre de forma generalizada (também chamada de corrosão uniforme), compreendendo parte ou toda a superfície exposta do aço-carbono à atmosfera. Além disso, por ser uma corrosão de baixa intensidade, as propriedades e a configuração das barras e dos fios não são afetadas, sendo preservados o diâmetro nominal e a superfície nervurada, assim como a variação nominal de massa definida pela norma.

A ISO 8501-1:2007 estabelece quatro padrões visuais para avaliar a corrosão do aço-carbono antes da sua preparação para receber uma pintura de proteção, a saber:

- **Grau A:** superfície de aço-carbono completamente coberta de carepa de laminação intacta e aderente, com pouca ou nenhuma corrosão aparente;

- **Grau B** (Figura 1a): superfície de aço-carbono com princípio de corrosão generalizada (parte marrom-avermelhado na Figura 1a), sendo degradada somente parte da carepa de laminação (parte acinzentada na Figura 1a);

- **Grau C** (Figura 1b): superfície de aço-carbono com corrosão generalizada, em que a carepa de laminação não é mais visualizada. A superfície pode apresentar uma ligeira formação de pites que são áreas localizadas de corrosão com abertura muito pequena e que tendem a se agrupar, formando alvéolos de corrosão. Esse tipo de corrosão localizada é característico do ataque dos íons Cl⁻;

- **Grau D:** superfície de aço-carbono com intensa corrosão generalizada, com aparente acúmulo de produto de corrosão na superfície e com ou sem pites e alvéolos de corrosão em áreas aleatórias.

Dentre esses padrões, a Figura 1 apresenta o grau B (Figura 1a) e o grau C (Figura 1b) de corrosão para ilustrar o aspecto da corrosão atmosférica superficial de barras de aço-carbono. Como mostra a Figura 1a, a corrosão se inicia em zonas descontínuas ao longo da superfície do aço-carbono, apresentando coloração alaranjada e/ou marrom-alaranjado ou avermelhado. Nas barras e fios, a tendência é da corrosão ser visualizada primeiro em zonas de tensões mecânicas residuais, que são as de dobramento e torções, e nas extremidades que foram cortadas. Além disso, inicia-se no semicírculo inferior e nas regiões de sobreposições em que usualmente o tempo de umidificação da superfície do aço-carbono é maior e ocorre acúmulo de partículas carreadas pela água pluvial.

Figura 1 - Padrões visuais fotográficos da ISO 8501-1:2007 do grau de corrosão atmosférica **B** (a) e **C** (b) do aço-carbono laminado a quente

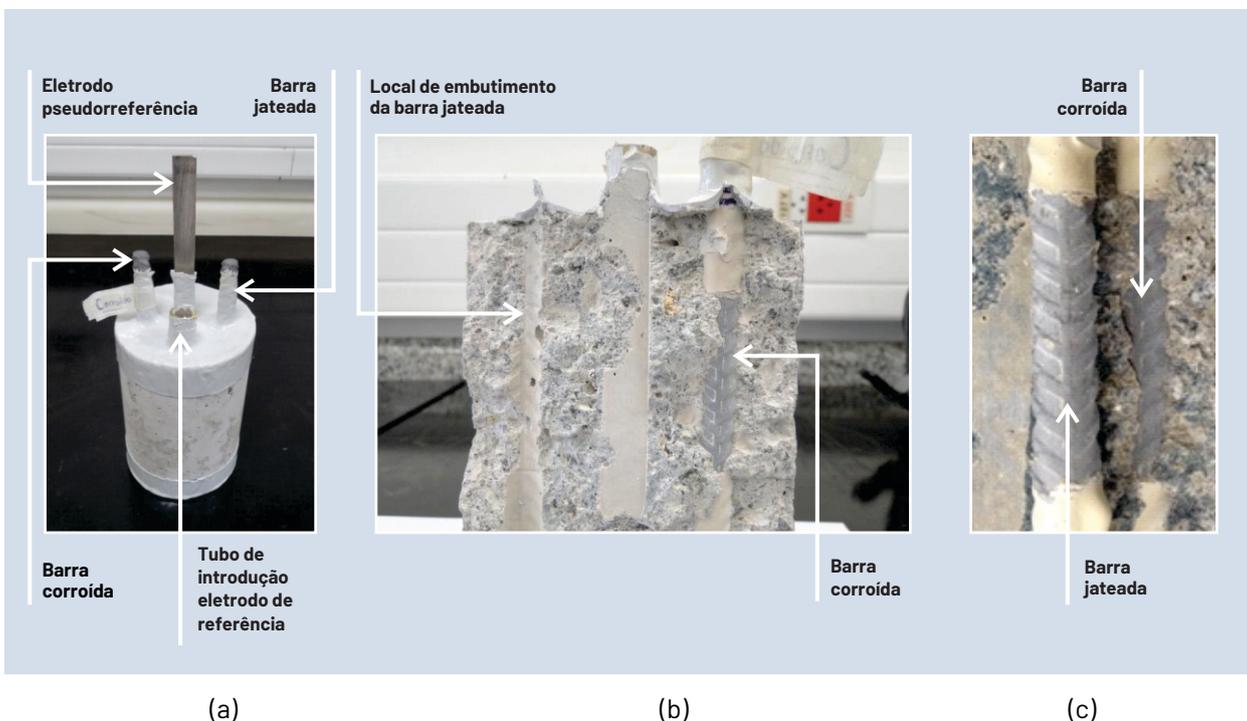


Na prática, a corrosão superficial também não implica prejuízos à passivação de barras e fios (sem impurezas na superfície) no meio alcalino de concreto comum de qualidade. Isso foi avaliado em ensaio laboratorial, que é ilustrado na Figura 2. A Figura 2a mostra a concepção de um corpo de prova (CP) cilíndrico (\varnothing 9,5 cm x 15 cm) de concreto comum (30 MPa) em que foram embutidas duas barras de aço-carbono (\varnothing 1 cm x 14 cm), uma jateada e outra com corrosão atmosférica, ao longo de toda a barra (grau **B** apresentado na Figura 1). Observa-se também que foi embutida uma chapa de aço inoxidável e um tubo plástico destinado à introdução de eletrodo de referência de prata/cloreto de prata - EPCP (Ag|AgCl|KCl 3 mol/L) para a medida do potencial eletroquímico das barras. O tubo foi

preenchido parcialmente com solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (pH ajustado regularmente para 12,5) e mesma solução de ciclos de imersão do CP.

As Figuras 2b e 2c mostram o aspecto visual das barras de aço-carbono ao término do ensaio. Pelo exame visual (à vista desarmada), ambas as barras apresentaram a mesma coloração acinzentada, típica de aço-carbono passivo. O potencial eletroquímico confirmou esse estado, sendo mantidos valores constantes e similares entre as barras ao longo de ensaio, sempre mais positivos que -100 mV/EPCP, indicando 90% de probabilidade de não ocorrência de corrosão de armadura de aço-carbono (ARAÚJO et al., 2017).

Figura 2 - Vista geral de corpo de prova armado (a), barras recém-expostas, após ensaio com ciclos de imersão em solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (b) e detalhes das barras do ensaio (c). Observa-se que as barras apresentam coloração acinzentada, típica de aço-carbono passivo, não sendo possível visualmente diferenciar qual delas foi embutida na condição jateada e qual na condição corroída.



Quando há incerteza da intensidade da corrosão do aço-carbono e de suas consequências, a remoção dos seus produtos passa a ser importante para um exame visual. Essa remoção pode ser feita somente em áreas aleatórias para verificação da preservação das características geométricas e dimensionais definidas na especificação. No caso de corrosão superficial, essa remoção pode ser feita por limpeza manual com uso de escova de cerdas metálicas. No caso de ser necessária uma limpeza mecânica, ela pode ser feita com uso de escova rotativa com cerdas metálicas ou com água sob pressão (processo de hidrojateamento).

Conforme a ABNT NBR 7480 (2007), há possibilidade da realização de novos ensaios para verificação de propriedades mecânicas e, assim, definir a aceitação ou não de insumo corroído. Quando a corrosão é intensa, não atendendo aos requisitos da especificação, a aceitação é de competência do engenheiro responsável pelo dimensionamento estrutural. Isso porque, eventualmente, ele pode definir o seu uso na execução de elementos de pouca relevância ou em diâmetro nominal inferior ao original.

No caso dos insumos apresentarem impurezas na superfície, recomenda-se que a sua aceitação seja condicionada à programação de uma limpeza que pode ser feita com água corrente sob pressão. No caso de óleo ou graxa, pode ser adicionado à água desengraxante alcalino, seguido do enxágue em água corrente. Cabe mencionar que o contato do aço-carbono com a água resulta em uma corrosão superficial muito leve de cor usualmente alaranjada (chamada de *flash rust*) que não implica prejuízos ao seu uso na montagem da armação de elementos de concreto armado e ao desempenho do concreto armado. Menciona-se ainda que essa limpeza e a remoção de produtos não aderentes de corrosão também são recomendadas na etapa da concretagem.

Armazenamento dos insumos de aço-carbono

Idealmente, o canteiro de obras tem *layout* planejado para armazenar diferentes insumos adequadamente, muitos deles em galpão fechado para controle, segurança e proteção contra deterioração, incluindo a decorrente da corrosão. No caso de barras e fios de aço-carbono e outros insumos para armadura, o armazenamento é usualmente previsto para ser inferior a dois meses, sendo estes mantidos fisicamente separados dos demais materiais. Para a proteção contra a corrosão, o ideal é que as condições de armazenamento restrinjam o contato dos insumos com as intempéries e com a umidade, bem como com as impurezas do solo e com as introduzidas pela ação humana, como óleos e graxas.

Cabe considerar que, para garantir o correto emprego dos insumos, o armazenamento deve permitir o fácil acesso e a correta identificação das etiquetas de

informações. É recomendado o armazenamento em sequência planejada de acordo com a de execução e conforme tipo e dimensões. Segundo a ABNT NBR 14931:2004, devem ser arquivados os documentos que comprovam a origem, as características e a qualidade dos insumos, incluindo os de barras fornecidas cortadas e pré-dobradas e de armaduras já montadas. No caso da necessidade da mencionada limpeza prévia dos insumos, deve-se arquivar o registro do procedimento adotado. Adicionalmente, deve-se considerar a importância da adoção de medidas de segurança na estocagem, sendo o fornecedor consultado quanto ao limite de empilhamento e ao uso de espaçadores e de peças de travamento de movimentação de barras e fios.

A melhor proteção contra a corrosão dos insumos de aço-carbono no período de armazenamento é no mencionado galpão coberto, para evitar a exposição às intempéries e, ainda, com piso suspenso ou uma cobertura do solo com camada de agregado graúdo ou material impermeável, para evitar o citado contato dos insumos com partículas e água proveniente do solo. No entanto, na prática, isso nem sempre ocorre, sendo as condições de armazenamento muito variáveis e dependentes de diferentes fatores, como o tipo e o volume de insumo e o período de estocagem e, ainda, a agressividade ambiental, denominada também como corrosividade da atmosfera.

A corrosividade da atmosfera depende muito do microclima local, como da temperatura e da umidade relativa do ar (UR), binômio que permite calcular o tempo em que uma superfície metálica fica coberta por uma película de eletrólito (ABNT NBR 14643:2001; ABNT 15085:2004). Esse cálculo não corresponde necessariamente ao tempo real de superfície úmida, o qual é influenciado por diversos fatores, como a orientação do objeto metálico, a natureza de poluentes sobre a sua superfície e a quantidade de produtos de corrosão (ABNT NBR 14643:2001). No caso do galpão de armazenagem, o tempo de superfície úmida é menor se o ambiente for arejado, em especial quando há controle climático, enquanto este tempo é maior em galpão não ventilado e em condições úmidas (ABNT NBR 14643:2001).

Cabe explicar que a corrosão atmosférica é um fenômeno eletroquímico em que a célula de corrosão é formada quando há eletrólito, ou seja, há o contato direto do metal com uma solução aquosa condutiva e aerada. Uma vez iniciado o processo de corrosão, a sua taxa é dependente das características do metal e do eletrólito, dentre outras variáveis, como a concentração de poluentes presentes na atmosfera, em destaque de íons Cl⁻ e de compostos de enxofre (SO₂).

A corrosividade atmosférica para diferentes metais pode ser definida com a aplicação de uma das duas metodologias apresentadas na ABNT NBR 14643:2001, que foi baseada na BS EN ISO 9223:1993 (revisada em

2012). Uma dessas metodologias se baseia na determinação da taxa de corrosão obtida em ensaio não acelerado de corrosão em que corpos de prova metálicos padronizados (ABNT NBR 6210:2001; BS EN ISO 9226:2012) são expostos no local de interesse. A outra metodologia se baseia na determinação da taxa de deposição de Cl^- (ABNT NBR 6211:2001) e de SO_2 (ABNT NBR 6211:2001) e no conhecimento do tempo de superfície úmida em que se têm valores informativos na ABNT NBR 14643:2001. O tempo de superfície úmida pode ser obtido pela instalação de sensores seguindo diretrizes da ABNT NBR 15085:2004.

Os resultados da aplicação dessas metodologias são adotados para a classificação da atmosfera, que é dividida em cinco categorias. Essas categorias e as taxas de corrosão do aço-carbono padrão (após o primeiro ano de exposição atmosférica) são as seguintes (ABNT NBR 14643:2001):

- **C1:** agressividade atmosférica muito baixa - taxa de corrosão $\leq 1,3 \mu\text{m/ano}$;
- **C2:** agressividade atmosférica baixa - taxa de corrosão $> 1,3 \mu\text{m/ano}$ até $\leq 25 \mu\text{m/ano}$;
- **C3:** agressividade atmosférica média - taxa de corrosão $> 25 \mu\text{m/ano}$ a $\leq 50 \mu\text{m/ano}$;
- **C4:** agressividade atmosférica alta - taxa de corrosão $> 50 \mu\text{m/ano}$ a $\leq 80 \mu\text{m/ano}$;
- **C5:** agressividade atmosférica muito alta - taxa de corrosão $> 80 \mu\text{m/ano}$ a $\leq 200 \mu\text{m/ano}$.

Barras de espera

As barras de espera, também chamadas de armaduras de espera ou de arranques, são necessárias para a emenda de armação de um mesmo elemento ou na união entre elementos distintos, sendo, assim, fundamentais para a transmissão de esforços previstos na concepção do projeto estrutural. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), é possível que a emenda entre barras seja feita por traspasse, por meio de luvas (com preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas) ou por solda ou outra técnica devidamente justificada. Entre essas, na prática, o traspasse de barras é o tipo de emenda mais adotado nas obras brasileiras.

Idealmente, as barras de espera de aço-carbono devem permanecer expostas à atmosfera por um período de tempo menor possível, para que não seja necessário prever a sua proteção em razão de processo de corrosão por envelhecimento natural. Como mencionado anteriormente, o aço-carbono

exposto à atmosfera é suscetível à corrosão, que ocorre usualmente de forma generalizada. Além desse tipo de corrosão, tem-se a possibilidade de corrosão na região de inserção da barra de espera no elemento de concreto. Essa corrosão ocorre de forma localizada por formação de uma macrocélula, induzida pelo avanço da frente de carbonatação do concreto ou da contaminação do concreto com íons Cl^- .

A carbonatação é um fenômeno resultante da difusão do gás carbônico (CO_2) atmosférico na estrutura porosa do concreto. O gás se dissolve na água de poro e reage com os álcalis e o hidróxido de cálcio. Como resultado, tem-se a redução do pH da água de poro, que assume valores em torno de 9. Com a diminuição do pH, o aço-carbono perde a estabilidade eletroquímica, sendo assim considerado despassivado, susceptível à corrosão. A contaminação do concreto por íons Cl^- ocorre por meio da penetração de solução aquosa salgada. Uma vez presente em teor crítico dos íons Cl^- na interface da armadura de aço-carbono/concreto, estabelece-se um processo de corrosão localizada, em que há nucleação dos mencionados pites e formação de alvéolos de corrosão. Com o avanço da contaminação ao longo do concreto de cobrimento da armadura, a corrosão se generaliza (ARAUJO; PANOSSIAN, 2016).

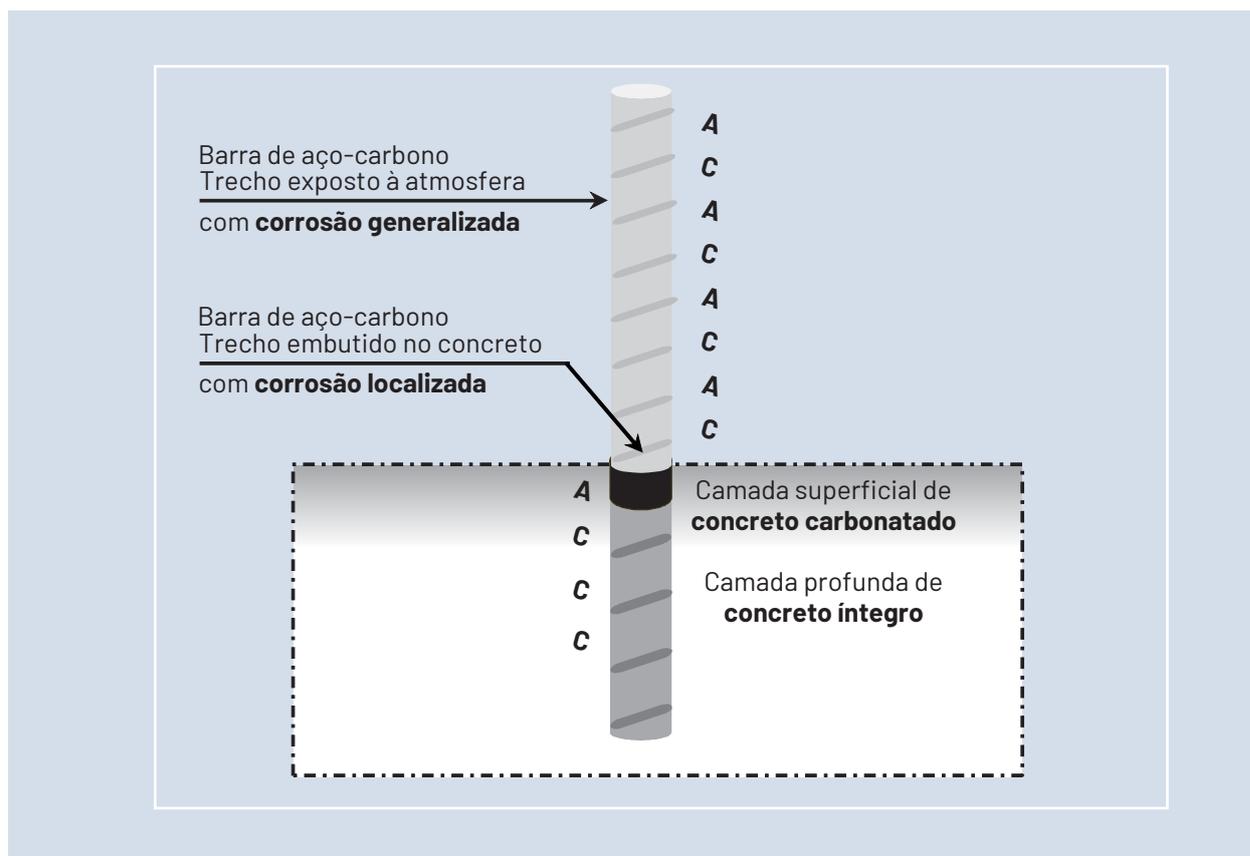
A corrosão por macrocélula é caracterizada pela presença de uma área predominantemente anódica e outra predominantemente catódica, as quais estão fisicamente separadas, sendo ambas visíveis à vista desarmada. Na anódica (**A**), ocorre reação de oxidação do ferro, em que há transferência de íons metálicos através da interface armadura de aço-carbono/concreto e liberação de elétrons. Simultaneamente, na catódica (**C**), ocorre a reação de redução do oxigênio, em que o excesso de elétrons no aço-carbono é consumido. Entre **A** e **C**, há um fluxo de corrente que é estabelecido pela diferença de potencial elétrico existente entre **A** e **C**. Uma corrente iônica flui pelo volume do concreto de **A** para **C** e uma corrente eletrônica movimenta-se pelo metal. A resistividade elétrica do concreto de cobrimento da armadura de aço-carbono é o parâmetro predominante para a taxa de corrosão, pois influencia fortemente a intensidade do fluxo da corrente iônica e na relação de área **A/C** (ARAUJO; PANOSSIAN, 2016; ARAUJO et al., 2017).

A Figura 3 apresenta desenho esquemático de uma barra de espera com corrosão generalizada no trecho exposto à atmosfera e com corrosão localizada no trecho adjacente, inserido na camada superficial carbonatada do concreto. A corrosão generalizada do trecho exposto ocorre por formação de microcélulas, em que se têm inúmeras áreas **A** e

C, que estão imediatamente adjacentes, sendo distribuídas aleatoriamente de maneira dinâmica e em distâncias microscópicas (ANDRADE et al., 2008). A corrosão localizada, no trecho inserido no concreto, ocorre por formação de macrocélula, sendo a área em cor preta o local em que ocorre a oxidação do ferro (**A**) e, portanto, o local em que se tem uma diminuição gradativa da seção da barra do aço-carbono ao longo do

tempo. Observa-se que a área **C** da macrocélula está adjacente à área **A**. Quando o concreto apresenta teor elevado de umidade, sua resistividade elétrica diminui e, assim, maior pode ser a área **C** em relação à área **A**. Nessa condição e na presença de oxigênio dissolvido na superfície umedecida da barra, a taxa de corrosão pode ser intensa.

Figura 3 – Desenho esquemático de barra de espera em concreto com avanço da frente de carbonatação. Tem-se corrosão atmosférica do trecho exposto da barra e corrosão localizada no trecho adjacente, embutido no concreto carbonatado.



Baseado na mencionada ABNT NBR 15085:2004, o trecho exposto da barra de espera em atmosfera de média agressividade teria uma taxa de corrosão em torno de 40 $\mu\text{m}/\text{ano}$, usualmente decorrente do controle da taxa de dissolução do oxigênio na água, que umidifica a superfície do aço-carbono. Quanto ao trecho que está inserido no concreto, deve-se consultar a ABNT NBR 6118:2014, haja vista não se aplicaram as metodologias da ABNT NBR 15085:2004. Cita-se que a média agressividade definida nesta última não se refere especificamente à agressividade moderada (Classe II) definida na ASTM NBR 6118. A agressividade moderada se aplica a grandes centros urbanos, em que a corrosão é induzida pela carbonatação do concreto. No caso de ambiente marinho, em que há exposição à névoa salina, este é classificado como de forte agressividade (Classe III) às estruturas de concreto.

BERTOLINI et al. (2014) descrevem que a intensidade da

taxa de corrosão é de baixa a moderada para corrosão induzida pela carbonatação, chegando até ao máximo, em torno do valor de 10 $\mu\text{m}/\text{ano}$, em ambiente com UR entre 70% a 90%. Cabe considerar que as reações de carbonatação alteram a matriz de concreto, que fica mais densa e menos porosa, dificultando o ingresso de água, que, assim, controla a taxa de corrosão. Em ambientes em que a UR está acima de 80%, típico de ambiente marinho, a taxa de corrosão é normalmente intensa, inclusive atingindo o mencionado valor de 40 $\mu\text{m}/\text{ano}$ de corrosão atmosférica.

No processo de corrosão do aço-carbono em concreto, Broomfield (2007) assume que a espessura da camada de produtos de corrosão que se acumulam na superfície do aço-carbono é aproximada três vezes a espessura de perda de sua seção. Como exemplo: 1,16 $\mu\text{m}/\text{ano}$ (0,1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$) de perda de seção corresponde a uma camada de produto de corrosão de espessura em torno

de 3,5 µm. Essa camada seria suficiente para gerar tensões internas que podem causar a fissuração do concreto e, assim, iniciar a degradação também do concreto.

A corrosão atmosférica da barra de espera pode ser especialmente preocupante em casos de interrupção da concretagem por longos períodos. Na prática, é difícil prever o prazo limite para evitar uma corrosão atmosférica significativa da barra de espera por longos períodos, bem como para a formação de macrocélula de corrosão, haja vista a variedade de fatores que influenciam os processos de corrosão. Em geral, recomenda-se uma inspeção visual periódica das barras de espera e, quando da observação de que a corrosão atmosférica está se intensificando, a sua proteção superficial ou o planejamento breve da concretagem.

Proteção das barras de espera

Quando da definição da proteção da barra de espera, esta deve ser tanto do trecho exposto à atmosfera como de parte da superfície do concreto da região de sua inserção. A proteção tem o objetivo de prevenir ou mitigar a corrosão atmosférica, bem como a formação de macrocélula de corrosão.

A prática mostra que a forma mais simples de fazer esta proteção é por meio do **revestimento superficial com argamassa cimentícia industrializada**. Para garantir a aderência ao aço-carbono (previamente limpo para remoções de impurezas e defeitos) e um efeito barreira à penetração da água e de agentes agressivos por maiores períodos, é recomendado o uso de argamassa composta de cimento Portland e aditivos especiais.

Uma busca entre produtos disponíveis no mercado nacional mostrou que há argamassas cimentícias industrializadas específicas e com aditivos especiais para a proteção de barras de espera de obras não concluídas, inclusive com adição de

inibidores de corrosão. Como exemplo podemos citar os seguintes produtos: Nafufill KMH (MC-Bauchemie), Eucorepair Ferroprotec (Viapol) e MasterEmaco P122 (BASF). Explica-se que os inibidores são compostos químicos que, quando em determinadas concentrações junto às superfícies de armaduras, podem retardar a corrosão ou reduzir muito a taxa de corrosão, sem alterar substancialmente as propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto.

De modo geral, a argamassa de proteção pode ser aplicada por meio de duas a três demãos com uso de trincha de cerdas curtas, objetivando atingir uma espessura de cerca de 2 mm. Antes dessa aplicação, deve ser feita a mencionada limpeza da barra de espera para a remoção de impurezas e de produtos não aderentes de corrosão.

Devido à baixa espessura da argamassa de proteção e, ainda, à esperada diferença de propriedades entre as argamassas industrializadas, recomenda-se consultar o fabricante para estimar o prazo de sua reaplicação. Isso é reforçado por uma busca bibliográfica que mostrou a ausência de estudos nacionais específicos quanto à proteção de barras de espera. De modo geral, espera-se que a reaplicação ocorra em período superior a 6 meses, mesmo em obras não concluídas localizadas em grandes centros urbanos (ricos em CO₂) ou em ambiente marinho (rico em íons Cl⁻). Esse período pode ser verificado por meio de uma inspeção visual periódica, em que são monitoradas possíveis alterações, como fissuração, manchamento e o deslocamento da argamassa. Adicionalmente, podem ser realizados ensaios para avaliação da carbonatação e da contaminação com íons Cl⁻.

No momento da utilização futura das barras de espera, é necessária uma avaliação visual do estado da barra. Caso o revestimento e a barra estejam intactos, não haverá necessidade de remoção da argamassa para concretagem da peça.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6210**: Preparo, limpeza e avaliação da taxa de corrosão de corpos de prova em ensaios de corrosão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6211**: Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6215**: Produtos siderúrgicos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2016. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7481**: Tela de aço soldada - Armadura para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1990. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14643**: Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14859-3**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 3 - Armaduras treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15085**: Corrosão atmosférica - Determinação do tempo de superfície úmida em superfícies metálicas expostas à atmosfera. Rio de Janeiro, 2004. 4 p.

ANDRADE, C.; GARCÉS, P.; MARTÍNEZ, I. Galvanic currents and corrosion rates of reinforcements measured in cells simulating different pitting areas caused by chloride attack in sodium hydroxide. **Corrosion Science**, v. 50, p. 2959-2964, 2008.

ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z. Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: passivação e corrosão. **Téchne**, n.236, p.46-51, nov., 2016.

ARAUJO, A. et al. Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: potencial de eletrodo e densidade de corrente elétrica. **Téchne**, n.247, p.47-52, out., 2017.

BASF. **MasterEmaco® P 122**, ficha técnica. Disponível em: https://assets.master-builders-solutions.com/pt-br/ficha_tecnica_masteremaco-p_122.pdf Acesso em: 14 out. 2020

BERTOLINI, L. et al. **Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair**. Weinheim, KgaA: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2014. 393 p.

BROOMFIELD, J. B. **Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair**. 2.ed. London: E & FN Spon, 2007. 271 p.

EUROPEAN STANDARDS. **BS EN ISO 9223**: Corrosion of metals and alloys, corrosivity of atmospheres; classification, determination and estimation, BSI Group, England, 2012. 26 p.

EUROPEAN STANDARDS. **BS EN ISO 9226**: Corrosion of metals and alloys, corrosivity of atmosphere; Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. BSI Group, England, 2012. 16 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501-1**: Preparation of steel substrates before application of paints and related products. Geneve, 2007. 12 p.

MC-BAUCHEMIE. **Nafufill KMH**. Disponível em: <https://www.mc-bauchemie.com.br/produtos/reparo-concreto/ponte-aderencia-protetor/nafufill-kmh.html>. Acesso em: 14 out. 2020

VIAPOL. **Eucorepair Ferroprotec**. Disponível em: <http://www.viapol.com.br/produtos/prote%C3%A7%C3%A3o-reparo-e-refor%C3%A7o/argamassa-de-reparo/eucorepair-ferroprotec/>. Acesso em: 14 out. 2020