

5- DETERIORAÇÃO DO CONCRETO POR AGENTES FÍSICOS:

São vários os agentes físicos que podem causar danos ao concreto, dentre os quais podemos citar os seguintes:

- Variação térmica.
- Retração hidráulica.
- Gelividade.
- Ação do fogo.

5.1- Variação de Temperatura:

Como sabemos, os elementos componentes de uma estrutura estão sujeitos a variações de temperatura diárias ou sazonais. Essas variações de temperatura fazem com que o concreto sofra correspondentes variações volumétricas, positiva com o aumento da temperatura e negativa com a diminuição da mesma.

Como consequência, podem aparecer fissuras distribuídas geralmente de forma perpendicular à maior dimensão da peça devido ao efeito de tração nessas regiões da massa de concreto. Em casos onde a variação térmica assume gradientes diferentes na seção transversal do elemento estrutural, as fissuras serão parciais, ocorrendo nas regiões expostas à ação da variação da temperatura.

5.2- Retração Hidráulica:

Consiste a retração hidráulica na redução do volume de concreto devido à perda de água. A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis. Nesta hidratação ocorre a formação de uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros. Para a transformação dos compostos, é necessário cerca de 20% a 30% de água em relação à massa de cimento. Para a constituição do gel é necessária uma quantidade adicional de água em torno de 15% a 25%. Em média, uma relação a/c de aproximadamente 40% é suficiente para que o cimento se hidrate completamente.

Entretanto, no objetivo de se conseguir um concreto com uma melhor trabalhabilidade é acrescentada à mistura uma quantidade de água que não é utilizada no processo de hidratação, que será evaporada aumentando a intensidade do fenômeno da retração.

Como sabemos, ao secar, o concreto sofre uma diminuição no seu volume, que ocorre de três modos:

- Retração química.
- Retração por secagem.
- Retração por carbonatação.

A retração química ocorre devido às grandes forças de coesão despertadas pela reação química da água com o cimento, o que ocasiona a sua redução volumétrica. A água combinada quimicamente durante as reações de hidratação sofre uma contração de cerca de 25% em relação ao seu volume original.

Quanto à retração por secagem, a quantidade de água adicionada em excesso, permanecendo livre no interior dos poros, evapora posteriormente. A evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica (efeito em todos os sentidos) da massa, produzindo uma redução de volume.

A retração por carbonatação está relacionada com a liberação da cal hidratada durante as reações de hidratação que, ao reagir com o gás carbônico do ar forma carbonato de cálcio, com uma consequente redução volumétrica do material.

Como fatores que intervêm na retração do cimento, poderíamos destacar a finura do cimento (quanto mais fino o cimento, maior a retração), composição do cimento (maior teor de álcalis, maior a retração), quantidade de cimento (quanto maior o consumo de

cimento, maior a retração), natureza do agregado (maiores deformabilidade e retração d'água, maior retração), granulometria do agregado (quanto mais fino, maior quantidade pasta e maior a retração), quantidade de água (maior a/c, maior a retração) e condições de cura (maior evaporação antes da pega, maior retração).

5.3- Gelividade:

Como se sabe, a água pode congelar a temperaturas acima de 0° C, dependendo das dimensões das gotículas que se formam nas proximidades da superfície e das dimensões dos canais capilares que se formam na massa do concreto. Sabemos, também, que a água ao congelar se expande.

Nos canais capilares a expansão é impedida pela forte resistência da massa do concreto. Gera-se, em consequência, ação e reação com produção de trabalho e calor, o que faz com que não seja alcançado o ponto de congelamento. O mesmo não ocorre para as gotículas superficiais, que, por não receberem resistência à sua expansão, não geram calor, possibilitando atingir o ponto de congelamento. Em consequência, capas superficiais pouco resistentes podem ser expulsas levando à progressiva e lenta degradação na superfície do material.

5.4- Ação do Fogo:

A para temperaturas não superiores a 150° C, a ação do fogo sobre o concreto somente ocasiona a perda da água capilar. A partir de níveis mais elevados de temperatura iniciam-se seus efeitos negativos sobre os componentes do concreto, como se comenta a seguir:

- Acima da 150° C: Surgem as primeiras diferenças de dilatação entre os componentes da pasta de cimento hidratada e entre estes e os agregados, com diminuição progressiva da sua resistência à tração.
- Acima de 300° C: Inicia-se a perda da água de cristalização (hidratação estável quimicamente) com queda da resistência à compressão (redução entre 20% e 40%). Surgem as primeiras fissuras.
- Acima de 400° C: Inicia-se a expansão dos agregados, que, por não ser uniforme, gera tensões desagregadoras. Nesta fase, parte do hidróxido de cálcio formado transforma-se em óxido, bem menos resistente. Se não alcançada temperatura de 500° C, grande parte da resistência inicial pode ser recuperada (redução entre 40% e 50% na resistência à compressão).
- Acima de 500° C: Esta é a temperatura crítica para o concreto, porque acima da mesma não será mais possível recuperar níveis satisfatórios de resistência para o concreto. Nesta fase, todo o hidróxido de cálcio transforma-se em óxido, comprometendo em definitivo suas propriedades físicas e químicas (redução em 50%, ou mais, na resistência à compressão).
- Acima de 900° C: O concreto se transforma em uma massa plástica arenosa, sem nenhuma consistência.

O efeito do fogo sobre o concreto armado é bem mais grave do que sobre o concreto isoladamente. Embora tendo praticamente o mesmo coeficiente térmico que o concreto, o aço é muito mais transmissor de calor, reage em torno de 30 vezes mais rápido ao

calor. Portanto, sua dilatação ocorre mais rapidamente que o concreto, comprometendo seriamente a resistência do conjunto. Em conseqüência, as barras de aço se deslocam no interior da massa, rompendo as tensões de aderência com o concreto. Leve-se ainda em consideração que os aços das armaduras perdem a sua resistência para temperaturas entre 300° C e 550° C, nível de temperatura no qual o concreto ainda permanece com alguma reserva na sua resistência.

Como o concreto não é bom condutor de calor, nos incêndios as camadas superficiais que absorvem mais calor fissuram-se, o que, associado à maior concentração de armadura nessas regiões, faz com que as camadas de revestimento terminem por se desprenderem. Para o caso das vigas e lajes esta situação é crítica, pois o aço ao perder a sua resistência à tração e aumentando a sua deformabilidade conduz a flechas de grande magnitude e irreversíveis.

6- DETERIORAÇÃO DO CONCRETO POR AGENTES BIOLÓGICOS:

Entre os agentes biológicos desencadeadores de corrosão no concreto, podemos citar:

- Fungos.
- Bactérias.

6.1- Fungos:

O fungo ou mofo é uma manifestação micro-vegetal, que segrega enzima para fermentação digestiva. E esta fermentação que, mediante ataques bioquímicos, pode atacar o concreto desagregando.

Por ser o concreto um material mais resistente que as alvenarias, os fungos somente o atacam quando em ambiente propício ao seu desenvolvimento e em função das características do material.

6.2- Bactérias:

São raras as bactérias capazes de provocar danos ao concreto, em razão da sua resistência a este tipo de ataque. Contudo, deve-se chamar a atenção para certas bactérias que, em ambientes adequados ao seu desenvolvimento, podem danificar e até mesmo destruir estruturas de concreto. Entre estas bactérias, podemos citar a *thiobacillus concretivorus*, encontrada em obras subterrâneas, em meio ambiente permanentemente úmido, como é o caso de obras de esgotos sanitários. São obras que, por boa técnica, devem receber um tratamento especial nas suas superfícies.

7- AÇÃO ELETROQUÍMICA DO ATAQUE AO CONCRETO ARMADO:

Pode-se definir corrosão como a interação destrutiva entre um material e o meio-ambiente, causada por reação química (sem a presença de um eletrólito) ou eletroquímica, onde se formam zonas catódicas (zona de redução, para onde os elétrons migram) e anódicas (zona de oxidação e perda de elétrons, onde ocorre a corrosão) ao longo das armaduras.

7.1- Considerações sobre a Corrosão Eletroquímica:

Teoricamente, o processo de corrosão eletroquímica ocorrerá quando o meio ambiente propiciar as seguintes condições: Existência de campo eletrolítico, existência de diferença de potencial e a existência de oxigênio.

Em qualquer das condições o processo se acelerará pela presença de agentes agressivos no meio ambiente ou nos próprios elementos constituintes da massa do concreto (cimento, aditivos, água e agregados).

Como sabemos, a água está sempre presente na preparação do concreto e sempre em quantidade suficiente para atuar como meio para criação de campo eletrolítico, principalmente em meio fortemente agressivo. Por outro lado, sabemos também que alguns produtos da hidratação do cimento (por exemplo, o $\text{Ca}[\text{OH}]_2$) formam nos capilares da massa uma solução saturada que constitui um bom campo eletrolítico.

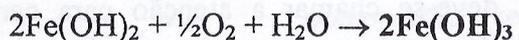
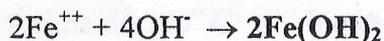
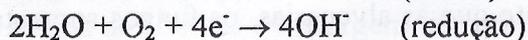
Quando o aço fica em presença de uma solução em um campo eletrolítico, parte dos átomos de ferro tende mover-se através da mesma, deixando a armadura com carga negativa e criando um potencial de equilíbrio que, em presença de agentes capazes de sofrer redução, ou seja, combinar-se com o elétron liberado na reação de produção do íon ferroso, formando uma “pilha de corrosão eletroquímica”.

7.2- Fatores Desencadeadores da Corrosão Eletroquímica:

Para ocorrer o desencadeamento de uma “pilha eletroquímica” é necessária a existência de uma diferença de potencial, pausada principalmente pelos seguintes fatores:

- Diferença de umidade.
- Concentração salina.
- Forte aeração.
- Concentração de tensão no concreto ou no aço.

É necessário, em qualquer caso, haver a disponibilidade de oxigênio para a formação da ferrugem, que com o eletrólito e hidróxido de cálcio produz o fenômeno da corrosão, que pode ser dividido nas seguintes fases:



PRODUTOS DA CORROSÃO

7.3- Corrosão Localizada:

Como vimos, a situação mais agressiva é representada pela ação do cloreto. Os íons sulfetos e sulfatos podem, também, instalar uma corrosão localizada, mas é menos freqüente que o caso dos cloretos.

Outros fatores que podem dar origem a uma corrosão localizada são os seguintes:

- Pilhas de pH.
- Aeração diferencial.
- Pilhas galvânicas e correntes erráticas.

No caso do cloreto, este íon tem a capacidade de destruir de forma pontual a capa passivante do aço, dando origem à corrosão por picaduras (pites). Estes pontos são o ânodo da pilha de corrosão, progredindo em profundidade, podendo levar a um rompimento da barra por diminuição elevada da sua seção transversal.

Pela sua importância no processo de deterioração das armaduras do concreto, o cloreto tem sua presença limitada na massa do concreto, sendo definidos pelas especificações os correspondentes conteúdos máximos admitidos para este íon. Geralmente, as normas limitam este valor a 0,4% em relação à massa de cimento e 500mg/l em relação à água de amassamento.

7.4- Corrosão Generalizada:

O processo de corrosão do tipo generalizado ocorre por uma redução da alcalinidade do concreto, tanto pode ser causado por lixiviação do material por águas puras ou ligeiramente ácidas como provocada pela reação dos compostos de caráter básico (NaOH, KOH e $\text{Ca}(\text{OH})_2$, principalmente) da fase aquosa do concreto com os componentes ácidos da atmosfera (associados ao CO_2 e SO_4 , principalmente).

Por ser mais abundante, o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se evidencia, causando o problema da carbonatação, fenômeno caracterizado pela existência de uma frente de avanço que separa duas zonas com pH bastante diferente, uma com $\text{pH} > 12$ e outra com $\text{pH} < 8$.

É importante ressaltar que em umidades elevadas, os poros do concreto estão saturados, e o CO_2 penetra com mais dificuldade até a armadura, e nas regiões pouco úmidas os poros estão praticamente secos, e o CO_2 não poderá reagir sem a presença de água. A umidade considerada ideal para o avanço da carbonatação situa-se dentro dos limites 50% e 80%.

O tempo para que a frente de carbonatação se instale na armadura é chamado de "período de despassivação". Nesta situação, a carbonatação tende a generalizar a corrosão na armadura, com o agravante da umidade permanecer no interior do concreto.

7.5- Efeitos da Corrosão:

Dentre os efeitos deletérios que a corrosão acarreta nas peças de concreto, algumas vezes comprometendo a segurança das obras, podemos relacionar as seguintes como as mais importantes:

- Efeito sobre o aço:
Diminuição da sua capacidade mecânica e conformação superficial.
- Efeito sobre o concreto:
Redução da sua resistência pelo surgimento de fissuras e trincas, janelas abertas para a penetração de novos agentes agressivos.
- Efeito sobre o trabalho solidário [aço+concreto]:
Redução considerável da aderência entre os dois materiais. Para esta situação, merecem cuidados especiais as zonas de ancoragem das barras.

Obs.: Vale salientar que as barras afetadas pela corrosão apresentam um aumento volumétrico de 3 a 10 vezes em relação ao seu volume original, provocando a fissuração e expulsão do concreto de cobrimento, deixando-as expostas.