

**Universidade Federal de Minas Gerais**  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção  
*Curso de Especialização em Construção Civil*

**PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE  
CONCRETO**

**José Silva Lapa**

**Belo Horizonte  
2008**

**José Silva Lapa**

**PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE  
CONCRETO**

especialização  
Universidade

Monografia apresentada como requisito  
para obtenção de título de  
em Construção Civil da  
Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dalmo Lúcio Mendes  
Figueiredo

Belo Horizonte  
2008

## **Agradecimento**

Ao meu orientador, Prof. Dalmo Lúcio  
Mendes Figueiredo, que tornou possível  
A realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>07</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>09</b>
2.1 Generalidades sobre a durabilidade.....	09
2.2 Fatores de degradação do concreto.....	09
2.2.1 Processos principais.....	10
2.2.2 Causas mecânicas e físicas.....	10
2.2.3 Causas químicas.....	15
2.2.4 Biodeterioração do concreto.....	21
2.2.5 Causas eletroquímicas de degradação.....	23
<b>3. DIAGNOSTICANDO AS PATOLOGIAS DO CONCRETO.....</b>	<b>27</b>
3.1. Manifestação Patológica.....	28
3.2. Vistoria do local.....	28
3.3. Informações orais e formalizadas.....	29
3.4. Exames complementares.....	29
3.4.1. Exames em Laboratório.....	30
3.4.2. Exames In Loco.....	30
3.5. Pesquisa.....	31
3.6. O diagnóstico.....	31
3.7. Prognóstico e alternativas de intervenção.....	32
3.8. Definição da conduta a ser seguida.....	32
3.9. Avaliação da intervenção e registro do caso.....	32
<b>4. SISTEMÁTICA EMPREGADA NA EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE RECUPERAÇÃO DO CONCRETO DETERIORADO POR PATOLOGIAS DE ORIGEM FÍSICA E/OU QUÍMICA.....</b>	<b>33</b>
4.1 Deterioração do concreto por ações físicas.....	33
4.1.1 Desgaste superficial devido à abrasão.....	33
4.1.2 Desgaste superficial devido à erosão.....	34
4.1.3 Desgaste superficial devido à cavitação.....	34
4.2 Deterioração do concreto por reações químicas.....	34
4.2.1 Considerações particulares.....	35
4.3 Recuperação de elementos deteriorados por ações físicas.....	37
4.3.1 Desgaste superficial devido à abrasão.....	37
4.3.2 Desgaste superficial devido à erosão.....	38
4.3.3 Desgaste superficial devido à cavitação.....	38
4.3.4 Deterioração do concreto por ação do fogo.....	38
4.4 Recuperação de elementos deteriorados por reações químicas.....	38
4.4.1 Reações com formação de sais solúveis de cálcio.....	38
4.4.2 Reações com formação de sais de cálcio insolúveis e não expansivos.....	38
4.4.3 Ataques químicos por soluções contendo sais de magnésio.....	39
4.4.4 Reações envolvendo a formação de produtos expansivos.....	39

<b>5 .TRINCAS E FISSURAS.....</b>	<b>41</b>
5.1 Condições gerais.....	41
5.2 Definições e condições gerais da fissuração.....	42
5.2.1 Fissuração devida a gradientes normais de temperatura e umidade.....	42
5.2.2 Fissuração devida à pressão de cristalização de sais nos poros.....	42
5.2.3 Fissuração devida à carga estrutural.....	42
5.2.4 Fissuração devida à ação de temperaturas extremas.....	42
5.3 Trincas ativas.....	43
5.4 Trincas especiais.....	43
5.5 Trincas passivas.....	44
<b>6. TRATAMENTO DA CORROSÃO NA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>45</b>
6.1 Condições gerais.....	45
6.2 Condições específicas.....	45
6.2.1 Corrosão do aço.....	45
6.2.2 Corrosão do concreto.....	46
<b>7. PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE CONCRETO.....</b>	<b>47</b>
7.1 Condições gerais.....	47
7.2 Condições específicas.....	48
7.2.1 Apicoamento.....	48
7.2.2 Jateamento de ar.....	48
7.2.3 Jateamento de água.....	48
<b>8. REMOÇÃO DE CONCRETO.....</b>	<b>50</b>
8.1 Definições.....	50
8.2 Condições gerais.....	50
8.3 Condições específicas.....	50
8.3.1 Remoções superficiais externas: intervenções de limpeza.....	50
8.3.2 Remoções superficiais internas: intervenções de corte.....	50
8.4 Remoções profundas: intervenções de demolição.....	52
8.4.1 Demolições parciais.....	52
8.4.2 Demolições totais.....	52
CONCLUSÃO.....	53
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo estudar os fundamentos teóricos e experiências práticas sobre a manifestação de problemas patológicos nas estruturas concreto armado, envolvendo as fases de projeto, emprego de materiais e processos construtivos, visando a prevenção das falhas e adoção de técnicas corretas de reparo. Estabelece um procedimento de atuação através de vistoria do local, do histórico do edifício e do resultado de exames complementares; diagnóstico da situação e definição da conduta a partir da escolha de alternativa de intervenção mais conveniente.

Palavras- Chave: Patologia, recuperação, concreto armado

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos, o homem tem lançado mão de diversos materiais para suas construções. Madeira e pedra estabeleciam o limite da imaginação arquitetônica na antigüidade. O dimensionamento de estruturas ficou durante séculos, limitado às características intrínsecas desses materiais básicos. Não havia como ir além de obras com poucos pavimentos, paredes largas e pequenos vãos livres.

A tecnologia do concreto armado só ganhou espaço e credibilidade a partir do começo do século XIX, quando Monier aperfeiçoou técnicas para a produção desse material revolucionário, com características admiráveis de resistência, durabilidade e versatilidade. Com isso mudaram significativamente os conceitos de cálculo na engenharia civil, possibilitando estruturas esbeltas e grandes vãos livres, além da obtenção de formas arquitetônicas e soluções de engenharia arrojadas.

Emílio Baumgart foi quem melhor dominou essa ciência no Brasil. Professor e calculista de notável capacidade, muito além do conhecimento acadêmico da época, desenvolveu uma série de projetos notáveis. O edifício A Noite, no Rio de Janeiro, considerado na época o edifício mais alto do mundo, assim como outras construções célebres de sua genial autoria, marcaram história na engenharia civil nacional e mundial.

Tais obras representaram à quebra de vários recordes mundiais em dimensionamento de estruturas de concreto. Baumgart foi também o precursor de uma verdadeira linhagem de profissionais especialistas em cálculo estrutural, cujos nomes são marcos referenciais na engenharia brasileira.

A era de ouro da engenharia civil brasileira aconteceu na década de 70, durante o chamado "milagre brasileiro", período marcado por intenso desenvolvimento econômico. Além de milhares de obras residenciais, outras com características e portes notáveis, surgiram rapidamente em todo país, como a Usina Hidrelétrica de Itaipú, Ponte Rio-Niterói, Usina Nuclear de Angra dos Reis, Rodovia dos Imigrantes.

Entretanto, a velocidade com que o mercado da construção civil se expandiu acabou incentivando a adoção de técnicas construtivas ainda não tão aprimoradas, além de obrigar a contratação de mão-de-obra de baixa qualificação.

Os problemas decorrentes dessa combinação de fatores não tardaram a aparecer e foram agravados durante os anos 80 e 90, mesmo porque devido à crise econômica registrada na época, muitas das obras não passaram por manutenção adequada, visando prolongar sua vida útil.

Entretanto, embora apresente excelentes resultados de

desempenho e qualidade, o concreto armado requer certos cuidados na sua elaboração, visando otimizar a sua vida útil e desempenho. A correta execução envolve estudo do traço, além da dosagem, manuseio e cura adequados, a manutenção preventiva periódica e a proteção contra agentes agressivos.

E, quando algum desses itens não é devidamente seguido, os problemas resultantes precisam ser corrigidos com técnicas, produtos e mão-de-obra adequados.

No Brasil, a maioria das estruturas foi, e ainda é executada com o concreto armado. Tal situação justifica o fato do concreto armado ser o material basicamente abordado neste trabalho.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Generalidades sobre a durabilidade**

É possível observar que concretos executados há mais tempo, em geral, têm durabilidade superior aos executados recentemente. Durante os anos 60, para se produzir um concreto com resistência à compressão de 30 MPa era necessário um consumo de cimento muito alto, entre 400 a 500 kg/m<sup>3</sup>. Com o crescimento da atividade da construção a partir da década de 70 e o surgimento da indústria do concreto pré-misturado, verificou-se uma otimização nos traços dos concretos, procurando-se atingir concretos mais resistentes com um teor de cimento cada vez menor (FERREIRA, 2000).

Apesar de o concreto ser o material de construção mais consumido no planeta, o conhecimento e divulgação das práticas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento da atividade de construção, ocasionando seguidos descuidos nas obras, e reduzindo a capacidade do concreto em proteger as armaduras contra a corrosão. Com o tempo, a tecnologia de fabricação do concreto foi avançando, com a melhoria das propriedades dos aditivos, adições e ligantes, possibilitando uma redução significativa nas seções das peças de concreto armado em função do aumento das resistências mecânicas (FERREIRA, 2000).

A execução das obras não acompanhou o avanço tecnológico. Para facilitar o lançamento do concreto em peças cada vez mais estreitas e mais armadas, utilizou-se concretos mais fluidos e compostos com materiais mais finos, resultando em um produto final de qualidade inferior (VASCONCELOS, 2005).

Até o final da década de 80, a resistência à compressão ainda era, praticamente, o único parâmetro adotado para avaliar a qualidade do concreto. Em função disto, está ocorrendo uma degradação mais

acelerada nas estruturas de concreto armado, obrigando a comunidade que trabalha com este material a definir novos parâmetros, de forma a garantir a sua performance (FERREIRA, 2000).

Para isto deve-se atuar em todas as fases: projeto (arquitetônico e estrutural), execução da obra, inspeção e manutenção. Além dos cuidados com a composição do traço do concreto, é necessário adotar procedimentos adequados para o lançamento, adensamento e cura do concreto. Mas o cuidado com a manutenção das obras acabadas é também muito importante. Surge então um conceito até então pouco conhecido e praticamente não utilizado: a durabilidade do concreto. Este novo parâmetro é a capacidade do concreto de resistir às intempéries e aos demais processos de degradação.

## **2.2 Fatores de degradação do concreto**

Neste item serão mostrados os principais mecanismos que deterioram o concreto, interferindo diretamente na sua durabilidade.

### **2.2.1 Processos principais**

Os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos. Na realidade a deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. São processos complexos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como está exposto. Os processos de degradação alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente. Os três principais sintomas que podem surgir isoladamente ou simultaneamente são: a fissuração, o destacamento e a desagregação.

### **2.2.2 Causas mecânicas e físicas**

#### **2.2.2.1 Ciclos de gelo- degelo**

Apesar destes fenômenos não serem tão comuns no Brasil, eles são importantes nos países atingidos por baixas temperaturas durante o inverno. Os efeitos destes fenômenos sobre o desempenho do concreto dependerão do seu estágio de endurecimento. Se ocorrer o congelamento antes do endurecimento, o processo de hidratação do cimento será suspenso, sendo retomado após o descongelamento, sem perda significativa da resistência, apesar da expansão interna da água.

Se o congelamento ocorrer após o endurecimento do concreto, mas sem que ele tenha atingido sua resistência final, a expansão devido ao congelamento da água resultará em perdas significativas de resistência. Quando o concreto endurecido é exposto a baixas temperaturas, a água retida nos poros capilares congela e expande. Ao descongelar, verifica-se um acréscimo expansivo nos poros, que aumenta com a sucessão de

ciclos, causando uma pressão de dilatação que provoca fissuração no concreto, e conseqüentemente sua deterioração (FERREIRA, 2000).

Atualmente acredita-se que os efeitos das geadas no concreto se devem à pressão osmótica. Segundo esta tese, somente uma parte da água existente nos poros está sujeita ao congelamento à uma determinada temperatura. As águas dos pequenos poros e a solução de alta alcalinidade congelam somente com temperaturas muito baixas. Para alcançar o equilíbrio do sistema, ocorre a migração da água e da solução, gerando a pressão osmótica, que se for maior que a resistência do concreto, provoca a sua fissuração (SILVA, 1998).

A degradação do concreto pode ocorrer também pela aplicação de sal para acelerar o degelo. As ações de cloros neste processo podem ser danosas ao concreto, contribuindo para a sua degradação em função dos mecanismos de corrosão das armaduras (CODY, 1996).

A aplicação do sal produz também uma redução da temperatura na superfície do concreto causando um choque térmico, além de tensões internas que podem provocar fissuras devido a diferença de temperatura entre a superfície e o interior do concreto (SILVA, 1998).

#### **2.2.2.2 Tensões térmicas**

A variação de temperatura provoca uma mudança volumétrica nas estruturas de concreto. Se as contrações e expansões são restringidas, e as tensões de tração resultantes forem maiores que a resistência do concreto, poderão ocorrer fissuras. Em elementos de concreto com grandes dimensões, como por exemplo, barragens ou blocos de fundação, poderão surgir fissuras devido aos efeitos do gradiente térmico causado pelo calor de hidratação do cimento, que pode originar tensões de tração (FERREIRA, 2000).

Variações bruscas de temperatura provocam danos sobre as estruturas, uma vez que a temperatura da superfície se ajusta rapidamente, enquanto a do interior se ajusta lentamente. Os efeitos são destacamentos do concreto causados pelos choques térmicos.

#### **2.2.2.3 Deformação por retração e fluência**

O concreto pode estar sujeito tanto a condições de secagem ambiental como a carregamentos constantes. Estas condições podem refletir em variações de volume do concreto e estão ligadas à remoção de água da pasta de cimento.

Se a umidade ambiental estiver abaixo do nível de saturação, o concreto estará sujeito à uma deformação denominada retração por secagem. Se o carregamento for mantido ao longo do tempo, ocorre a

perda de água fisicamente adsorvida, ocorrendo uma deformação denominada fluência.

O fenômeno da retração está ligado a deformações em pastas de cimento, argamassas e concretos, independentemente do carregamento, sendo sua principal causa a perda de água da pasta de cimento. A retração pode ocorrer no concreto em seu estado plástico ou endurecido.

No estado plástico podem ocorrer o assentamento plástico e a retração plástica. O assentamento plástico está ligado a dois fenômenos: a acomodação das partículas sólidas devido à ação da gravidade, causando a sedimentação e, em sentido contrário, a exsudação, que representa a movimentação do ar aprisionado e da água.

A sedimentação pode provocar fissuras nos primeiros momentos após o lançamento do concreto, devido à presença de obstáculos como armaduras ou agregados maiores que impedem a movimentação homogênea das partículas sólidas.

A retração plástica é devida a perda de água do concreto ainda não endurecido por causa da exposição de sua superfície às intempéries como vento, baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas, as quais podem levar também à fissuração, denominada dessecação superficial.

A ocorrência deste fenômeno será tão mais intensa quanto maior for o consumo de cimento, a relação a/c e as proporções de finos no concreto, estando ligado ao fenômeno da exsudação. Se a evaporação da água da superfície for mais rápida que a exsudação, podem ocorrer fissuras por retração plástica (HASPARYK et al, 2005).

As fissuras no concreto endurecido, devidas à movimentação da água, podem ser resumidas basicamente em retração autógena e retração por secagem, existindo também retração por carbonatação e por origem térmica.

A retração autógena é definida como a remoção da água dos poros pela hidratação do cimento ainda não combinado, com a redução volumétrica macroscópica dos materiais cimentícios após o início de pega, sem que ocorra mudança de volume devido à perda ou ao ingresso de substância. Este fenômeno tornou-se importante com o advento do concreto de alto desempenho (CAD), por representar uma das suas principais causas de fissuração.

O mecanismo de retração autógena pode ser explicado por meio da retração química e autodessecação. A primeira ocorre com a hidratação do cimento Portland, quando o volume total de sólidos e líquidos diminui devido às reações químicas, enquanto a dessecação ocorre pela diminuição da umidade relativa no interior do concreto endurecido, sem qualquer perda de massa, devido ao consumo de água pela reação de hidratação. Desta maneira, formam-se meniscos cujos esforços resultantes da tensão

superficial levam à retração autógena. A retração autógena em um concreto comum, desenvolvida nas primeiras 24 horas, é desprezível quando comparada com a retração por secagem. Já no CAD, a retração autógena é intensa e mais importante que a retração de secagem nas primeiras idades.

A retração por secagem, ou retração hidráulica, é definida como a diminuição do volume da peça de concreto devido à remoção da água da pasta endurecida de cimento, quando o concreto “seca” pelo contato com o ar. O fenômeno é natural e ocorre como conseqüência da hidratação dos compostos anidros dos cimentos Portland. Para a explicação do fenômeno é importante saber que existem diversos tipos de água e com graus diferentes de dificuldade para serem removidos, como água livre, água capilar, água interlamelar (água de gel), água adsorvida e água de cristalização.

A água livre é toda a água que está na pasta de cimento ou no concreto, sem sujeição a qualquer força, ficando livre para evaporar durante o endurecimento da pasta e do concreto.

A água capilar pode ser livre ou retida por tensão capilar. A primeira se localiza em grandes vazios, de diâmetro maior que 50nm, e sua remoção não causa retração no sistema, enquanto a segunda se localiza em diâmetros menores (5 a 50nm) e sua remoção pode causar retração.

A água adsorvida está próxima à superfície dos sólidos da pasta, com suas moléculas fisicamente adsorvidas na superfície desta. Pode ser perdida por secagem da pasta a 30% de umidade relativa, e sua perda é a principal responsável pela retração da pasta por secagem.

A água de cristalização, ou quimicamente combinada, é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados de cimento. Esta água não é perdida por secagem, apenas por aquecimento a partir da decomposição dos hidratos.

A retração por carbonatação, fenômeno que será detalhado posteriormente, é provocada pela reação do CO<sub>2</sub> com os produtos hidratados, que além de neutralizar a natureza cristalina da pasta de cimento hidratado causa a sua retração. Quando o CO<sub>2</sub> é fixado pela pasta de cimento, a massa deste aumenta. Conseqüentemente, também aumenta a massa do concreto. A retração deve-se, provavelmente, à dissolução dos cristais de Ca(OH)<sub>2</sub> enquanto sujeito a tensões de compressão e à deposição de CaCO<sub>3</sub> nos locais livres de tensão. Por este motivo, a compressibilidade da pasta de cimento é aumentada temporariamente.

A retração por origem térmica é devida ao calor gerado durante a hidratação do cimento Portland, que causa tensões térmicas que tracionam o concreto na fase de resfriamento. Estes problemas ocorrem principalmente em estruturas massivas, onde o esfriamento à temperatura ambiente pode levar à fissuração (HASPARYK et al, 2005).

O concreto sob carga pode estar sujeito a três tipos de

deformação: elástica, plástica e viscosa, como também as combinações entre elas. A deformação elástica, ou imediata, é reversível e pode ser totalmente recuperada quando do descarregamento do concreto. Já a deformação lenta, ou por fluência, refere-se a uma deformação parcialmente reversível, plástica. A deformação viscosa não é recuperável quando ocorre o descarregamento do concreto.

A fluência ou deformação lenta pode ser definida como a deformação que o concreto sofre devido a um carregamento contínuo, podendo ocorrer

sob compressão, tração ou cisalhamento. Como ela é parcialmente reversível, trata-se de uma propriedade viscoelástica. Podem existir dois tipos de fluência, a básica e por secagem quando ocorre troca de umidade para o ambiente externo, sendo a fluência total a soma das duas. Portanto, a umidade relativa do meio envolvente é um dos fatores externos mais importantes neste processo, sendo a fluência tanto maior, quanto menor for a umidade relativa (HASPARYK et al, 2005).

A fadiga provoca o aumento da deformação por aplicação repetida de uma carga ao longo de um tempo. Tensões cíclicas e carregamentos repetitivos inferiores à tensão máxima resistente podem provocar ruptura por fadiga em estruturas de pontes, ou naquelas sujeitas às ações do vento e do mar (FERREIRA, 2000).

#### **2.2.2.4 Desgaste por abrasão, erosão e cavitação**

A abrasão é o processo que causa desgaste superficial no concreto por esfregamento, enrolamento, escorregamento ou fricção constante, sendo particularmente importante no estudo do comportamento de pisos industriais, pavimentos rodoviários e de pontes (BAUER, 2002).

A resistência superficial e a dureza do concreto influenciam o desgaste por abrasão. A utilização de agregados graúdos mais resistentes e o aumento da resistência à compressão, elevam a sua resistência à abrasão (ALMEIDA, 2000).

A erosão é importante para as estruturas sujeitas ao desgaste pelo escoamento das águas, sendo necessário separar o desgaste provocado pelo carreamento de partículas finas pela água dos estragos causados pela cavitação. Enquanto a erosão é o desgaste causado pela passagem abrasiva dos fluidos contendo partículas finas suspensas, a cavitação é a degradação da superfície do concreto causada pela implosão de bolhas de vapor de água quando a velocidade ou direção do escoamento sofre uma mudança brusca (ANDRADE, 1992).

#### **2.2.2.5 Efeito de altas temperaturas sobre o concreto**

Os efeitos da temperatura no concreto podem ter origem tanto externa como interna. Do ponto de vista externo, as condições climáticas, como o frio e calor, juntos com a umidade do ar e ventos, podem provocar problemas no concreto (ABRAMS, 1971). Do ponto de vista interno, o

calor gerado pela hidratação do cimento é um dos mais importantes causadores de manifestações patológicas. Neste item será tratado particularmente a influência de altas temperaturas no concreto, entre elas a ação de fogo.

A transferência de calor em uma estrutura ocorre em função da transmissão de energia de uma região para outra, seguindo três mecanismos básicos: condução, convecção e radiação. Na condução, o calor se propaga dentro de um corpo sólido, das regiões mais quentes para as mais frias, desde que estejam em contato direto. A convecção ocorre quando um fluido fica em contato com uma superfície sólida a uma temperatura distinta, resultando em um processo de troca de energia térmica entre estes materiais. A radiação é a transmissão de temperatura de um corpo com maior temperatura para outro de temperatura mais baixa através do espaço, mesmo sem contato (GRAÇA et al, 2005).

Os efeitos do calor no concreto podem ser muito prejudiciais. Quando as estruturas de concreto armado e seus elementos absorvem calor de tal maneira que se produzam transformações das mais diversas, em geral, são indesejáveis. As altas temperaturas podem afetar a resistência da estrutura de uma maneira notável (COSTA, 2002).

Quando um elemento de concreto é submetido a altas temperaturas sofre modificações importantes. A água livre ou capilar do concreto começa a evaporar a partir dos 100°C. Entre 200°C e 300°C, a perda de água capilar é completa, sem que se observem alterações na estrutura do cimento hidratado e sem redução considerável na resistência. De 300°C a 400°C produz-se a perda de água de gel do cimento, ocorrendo uma sensível diminuição das resistências e aparecendo as primeiras fissuras superficiais no concreto. Aos 400°C, uma parte do hidróxido de cálcio procedente da hidratação dos silicatos se transforma em cal viva. Até os 600°C, os agregados que não têm todos os mesmos coeficientes de dilatação térmica, se expandem com diferentes intensidades, provocando tensões internas que começam a desagregar o concreto (CÁNOVAS, 1988).

O concreto no processo de elevação de temperatura vai perdendo resistência e mudando sua coloração. Assim, a 200°C o concreto é cinza e não há perda de resistência apreciável; a 300°C a perda de resistência varia em torno de 10%, decrescendo progressivamente a partir desta temperatura; de 300°C a 600°C a cor muda para rosa a vermelha, a resistência à compressão cai para 50% do valor original, aproximadamente, o módulo de deformação reduz em até 20% e a resistência à tração chega a ter um valor praticamente desprezível (SOUZA, 2003); entre 600°C a 950°C a cor passa para um cinza com pontos vermelhos, com resistência à compressão muito pequena; de 950°C a 1000°C a cor muda para amarela alaranjada e o concreto começa a sinterizar-se; a partir de 1000°C o concreto sofre a sinterização, virando um material calcinado, mole e sem resistência. A porosidade e a mineralogia dos agregados influenciam o comportamento do concreto exposto às altas temperaturas, assim como concretos com boa granulometria comportam-se melhor frente ao calor (LIMA, 2003).

No concreto armado, o efeito da variação de temperatura não costuma ocasionar o surgimento de tensões quando as temperaturas são normais, pois o coeficiente de dilatação dos dois materiais é semelhante:  $1,2 \times 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$  para o aço e  $1,0 \times 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$  para o concreto. No entanto, quando as temperaturas se elevam, os coeficientes têm comportamentos diferentes, sendo que o do aço pode chegar a 30 vezes superior ao do concreto, produzindo tensões relevantes, que podem provocar o destacamento da camada de cobrimento das armaduras (VELASCO, 2003).

O aço exposto à alta temperatura se dilata, diminui seu limite elástico e sua tensão de ruptura, chegando ao colapso perto dos  $500^\circ\text{C}$  (COSTA 2004). É importante considerar que aços doces e laminados recuperam praticamente suas propriedades originais quando esfriam.

Os cobrimentos exercem papel importante como isolantes e protetores das armaduras frente à ação de altas temperaturas, particularmente o fogo, para conseguir que estas permaneçam abaixo das temperaturas críticas. Estruturas sujeitas à ação de altas temperaturas necessitam ser protegidas.

Por causa da baixa condutividade térmica do concreto, os cobrimentos formam uma camada protetora eficaz para as armaduras, desde que tenham espessuras adequadas. Um cobrimento de 2 cm de espessura, por exemplo, assegura uma proteção aproximada de meia hora. Portanto, quanto maior o cobrimento, maior será a proteção, mas para esta ser superior a 3 horas é necessário recorrer a barreiras especiais, mais leves, como vermiculita, fibras cerâmicas ou outros isolantes térmicos (CÁNOVAS, 1988).

### **2.2.3 Causas químicas**

O contato do concreto com ácidos em altas concentrações não é habitual. Já a ação de chuvas ácidas nos grandes centros e nas áreas industriais é mais freqüente. Os ácidos sobre o concreto atuam destruindo seu sistema poroso e produzindo uma transformação completa na pasta de cimento endurecida. O resultado destas ações é a perda de massa e uma redução da seção do concreto. Esta perda acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície exposta, sendo a velocidade da degradação proporcional à quantidade e concentração do ácido em contato com o concreto (ANDRADE, 2003).

Os fluidos agressivos podem penetrar nos poros do concreto de três formas: difusão, resultado da diferença de concentrações iônicas entre os fluidos externos e internos; por pressão hidrostática, resultado da diferença de pressão dos fluidos; por forças capilares, resultado de mecanismos capilares (FERREIRA, 2000).

A penetração pode ser resultado também de uma combinação de forças, que podem ser influenciadas por temperaturas, correntes

elétricas, etc (FERREIRA, 2000). As reações químicas se manifestam através de efeitos físicos nocivos, tais como o aumento da porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e destacamento. Atenção especial deve ser dada ao ataque de sulfatos, ataque por álcali-agregado e corrosão das armaduras, uma vez que estes fenômenos são responsáveis pela deterioração de um grande número de estruturas de concreto (MEHTA et al, 1994).

### **2.2.3.1 Ataque de sulfatos**

Os sulfatos podem ter origem nos materiais que o compõe o concreto ou no contato do concreto com os solos ou águas ricas com este agente. O ataque produzido por sulfatos é devido a sua ação expansiva, que pode gerar tensões capazes de fissurá-lo. Os sulfatos podem estar na água de amassamento, nos agregados ou no próprio cimento. Os sulfatos podem penetrar desde o exterior por difusão iônica ou por sucção capilar (SILVA, 1998).

A presença de sulfatos solúveis, principalmente aqueles de sódio, cálcio e magnésio, é comum em áreas de operação de minas e indústrias químicas. Sódio e cálcio são os sulfatos mais comuns nos solos, águas e processos industriais. Sulfatos de magnésio são mais raros, porém mais destrutivos. Todos os sulfatos são potencialmente danosos ao concreto, reagindo com a pasta de cimento hidratado. No ataque, os íons sulfatos reagem principalmente com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e o aluminato tri-cálcico C3A, originando a etringita e o gesso. Esta formação expande-se, exercendo pressão e desintegrando a pasta de cimento.

Pode-se aumentar a resistência do concreto contra o ataque de sulfatos através da redução do fator a/c, com o uso de cimento resistente à sulfatos, com baixo teor de aluminato tri-cálcico, e com a introdução de proporções adequadas de sílica ativa e cinzas volantes (EMMONS, 1993).

### **2.2.3.2 Reação álcali-agregado**

A reação álcali-agregado pode criar expansões e severas fissuras nas estruturas de concreto. O mecanismo que causa esta reação não é perfeitamente entendido. É conhecido que certos agregados, como algumas formas reativas de sílica, reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio do cimento, e formam um gel em volta dos agregados reativos. Quando o gel é exposto à umidade ele expande-se, criando tensões internas que causam fissuras em torno dos agregados (umidade interna do concreto em torno de 80%) (ANDRADE, 2005).

O concreto sob reação álcali-agregado exibe em sua superfície um mapa de fissuras, que permite a entrada de mais umidade, acelerando ainda mais a reação. Esta reação pode passar despercebida durante um período de tempo, possivelmente anos, antes que possa estar evidenciada. Para se confirmar a reação álcali-agregado é necessário exames com microscopia eletrônica (EMMONS, 1993).

Geralmente ocorrem dois tipos de ataque. O ataque álcali-carbonato, envolvendo alguns agregados calcários dolomíticos e o ataque álcali-sílica, com agregados silicosos, como calcedônia, opalas e quartzo tectonizado (FERREIRA, 2000).

### **2.2.3.3 Ataque de água pura**

Água subterrânea, de lagos e de rios contém contaminações como cloretos, sulfatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. Denominada de água dura, geralmente não ataca os constituintes da pasta de cimento Portland. A água pura da condensação de neblina ou vapor, e água mole da chuva, podem conter pouco ou nenhum íon de cálcio. Quando estas águas entram em contato com a pasta de cimento Portland, elas tendem a hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio. O hidróxido de cálcio é o constituinte que, devido à sua solubilidade alta em água pura, é mais sensível à eletrólise, ocorrendo a lixiviação. Além da perda de resistência, a lixiviação do hidróxido de cálcio pode ser indesejável por razões estéticas. Frequentemente, o produto da lixiviação interage com o CO<sub>2</sub>, presente no ar, e resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, fenômeno conhecido como eflorescência (MEHTA et al, 1994).

### **2.2.3.4 Ataque por ácidos**

Em ambientes úmidos o CO<sub>2</sub>, o SO<sub>2</sub> e outros gases ácidos presentes na atmosfera atacam o concreto, dissolvendo e removendo parte da pasta de cimento Portland endurecido, que não é resistente aos ácidos.

O ataque ocorre em valores de pH próximos de 6,5. Para pH entre 3 e 6 a velocidade do ataque é proporcional à raiz quadrada do tempo, sendo determinante a difusão através dos produtos pouco solúveis que permanecem, depois que o Ca(OH)<sub>2</sub> foi dissolvido. A velocidade de ataque depende não só do pH, mas também da capacidade dos íons serem transportados.

Os concretos também são atacados por águas contendo CO<sub>2</sub> livre em terrenos pantanosos, com pH em torno de 4,4, e pelas águas puras com pouco CO<sub>2</sub>. As tubulações com esgotos sofrem deteriorações acentuadas quando os compostos de enxofre são transformados em H<sub>2</sub>S por bactérias anaeróbicas.

Este agente, mesmo não sendo agressivo, sofre oxidação pelas bactérias aeróbicas, dando como produto final o ácido sulfúrico, sendo que o ataque se processa acima do nível do líquido. O cimento se dissolve gradativamente e degrada o concreto.

Vários ensaios físicos e químicos de resistência aos ácidos foram desenvolvidos, mas não existem procedimentos padronizados. O Ph isoladamente não é um indicador adequado do potencial do ataque; a presença de CO<sub>2</sub> decorrente da dureza da água também tem influência sobre a situação; temperatura e pressão aumentam a intensidade do

ataque.

O uso de cimento de alto-forno e de pozolanas ajuda o desempenho do concreto, mas ele depende mais das suas próprias qualidades do que do tipo de cimento usado.

A resistência ao ataque químico aumenta quando a superfície está seca antes de ser exposta. A película de carbonato de cálcio, formada pela ação do CO<sub>2</sub> sobre cal, obstrui os poros e aumenta a permeabilidade da camada superficial. Portanto os concretos pré-fabricados tendem a ser mais resistentes que os moldados *in situ*.

As superfícies de concreto sujeitas aos ataques químicos devem ser protegidas com pinturas de borracha, resinas epóxicas e outras barreiras. O nível de proteção é bastante variável, mas é essencial que a barreira anti-ácida seja bem aderente ao concreto e resistente às ações mecânicas (NEPOMUCENO, 1982).

#### **2.2.3.5 Ataque da água do mar**

A água do mar contém sulfatos e ataca o concreto. Além da ação química, a cristalização dos sais nos poros do concreto pode provocar a degradação devido à pressão exercida pelos cristais salinos, nos locais onde há evaporação, acima da linha de água. O ataque só ocorre quando a água pode penetrar no concreto, portanto, o nível de impermeabilização é muito importante neste processo.

Os concretos localizados entre os limites da maré, sujeitos à molhagem e secagem alternadas, são severamente atacados, enquanto os concretos submersos permanentemente, são menos atacados.

A ação do mar sobre os concretos é acompanhada das ações destrutivas de impactos e abrasão das ondas, principalmente nas estruturas *off-shore*.

A ação dos sulfatos na água do mar não provoca a expansão do concreto, diferentemente das águas subterrâneas. A ausência de expansão é devida à presença de cloretos na água do mar, que inibem a expansão, por que o gesso e o sulfo-aluminato de cálcio são mais solúveis em soluções de cloretos do que em água e são, portanto, lixiviados pela água do mar.

No concreto armado, a absorção de sal cria regiões anódicas e catódicas, resultando em uma ação eletrolítica que leva à corrosão das armaduras, de modo que, os efeitos da água do mar são mais sérios no concreto armado de que no concreto simples. É preciso dotar as armaduras de cobertura suficiente e utilizar concretos densos e impermeáveis (NEPOMUCENO, 1982).

#### **2.2.3.6 Carbonatação**

O anidrido carbônico, CO<sub>2</sub>, presente na atmosfera tem uma

tendência notável para se combinar com as bases do cimento hidratado, resultando compostos com pH mais baixos.

A ação do CO<sub>2</sub> sobre os constituintes do cimento hidratado é complexa, pois não se limita ao hidróxido de cálcio, mas ataca e degrada todos os produtos da hidratação do cimento. O concreto é um material poroso e o CO<sub>2</sub> do ar penetra pelos seus poros. A reação mais simples e importante é a combinação com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento.  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

O concreto possui um pH da ordem de 12,5, principalmente por causa do Ca(OH)<sub>2</sub>. O desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratado e sua transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução em equilíbrio de 12,5 para 9,4, fator importante para o início da corrosão das armaduras.

O CO<sub>2</sub> penetra da superfície para o interior, pelo que a carbonatação inicia-se na superfície do concreto e penetra lentamente para seu interior. Em concreto de mediana qualidade observa-se que a velocidade da carbonatação varia entre 1 e 3 mm por ano (SILVA, 1995). A intensidade da corrosão devido à carbonatação é influenciada pela espessura do revestimento, sendo que a corrosão inicia-se nas armaduras onde as espessuras da camada de revestimento são menores.

A velocidade do processo é função da difusão de CO<sub>2</sub> no concreto, umidade relativa, tempo, relação a/c, tipo de cimento, permeabilidade do concreto e cura. O grau de carbonatação máximo ocorre a uma umidade relativa de 60%, enquanto que em um ambiente seco ou saturado a carbonatação é reduzida para 20% deste valor.

Se o concreto tem todos os seus poros cheios de água, o gás carbônico não pode penetrar e difundir-se. Por outro lado, se todos os poros estão secos, o gás carbônico não pode ionizar-se, e se o fizer, a carbonatação será realizada muito lentamente (SILVA, 1995).

Devido ao elevado número de fatores que influenciam a carbonatação seria difícil e complexo utilizar um modelo que levasse em consideração todos os elementos envolvidos.

À medida que se aumenta a relação a/c, a permeabilidade e a profundidade de carbonatação também aumentam, devido a maior capacidade de difusão do CO<sub>2</sub> no concreto. Cimentos mais finos contribuem para diminuir a profundidade de carbonatação. A cura tem grande influência neste processo. Deficiência de cura pode ocasionar fissuras no concreto, o que facilita a entrada do CO<sub>2</sub>.

A carbonatação por si só não causa a deterioração do concreto, mas possui efeitos importantes. Observa-se aumento na resistência à compressão do concreto e a retração por carbonatação, já descrita

anteriormente anteriormente.

A comprovação das áreas carbonatadas pode ser feita através de difração de Raio - X, análise térmica diferencial, termografia e observação microscópica. Mas a comprovação mais corrente é através de indicadores de pH a base de fenolftaleína ou timolftaleína.

Quando do uso de fenolftaleína, as regiões mais alcalinas apresentam-se com cor violeta, enquanto as menos alcalinas são incolores. Já a timolftaleína apresenta cor azul para as regiões mais alcalinas, enquanto as menos alcalinas ficam incolores (SILVA, 1995).

As superfícies do concreto podem ser protegidas para prevenir a carbonatação. A aplicação de barreiras espessas como rebocos, revestimentos com pedras ou cerâmicos, além de pinturas, evitam a entrada do CO<sub>2</sub>, ressaltando-se que as pinturas possuem uma vida útil reduzida, necessitando de novas intervenções para garantir o bloqueio da carbonatação.

### **2.2.3.7 Cloretos**

A literatura sobre durabilidade freqüentemente aponta a ação dos íons cloretos como um dos principais causadores da corrosão das armaduras do concreto. Os íons cloretos podem chegar até o concreto através de diversas formas, como uso de aceleradores de pega que contêm CaCl<sub>2</sub>, impureza na água de amassamento e nos agregados, água do mar e maresia, sais de degelo e processos industriais.

Existe muita controvérsia a respeito da quantidade de íons cloretos suficientes para romper a camada de óxidos passivantes e iniciar o processo de corrosão das armaduras. Este limite não está associado a um valor fixo, embora algumas normas recomendem alguns valores orientativos.

A NBR 6118 (2003) não se reporta ao teor de cloretos, chamando somente a atenção quanto ao uso de aditivos contendo cloretos. As Normas Européias CEB (1991), ENV 206 (1991) e a BS 8110:1 (1985) recomendam um limite de 0,40% em relação à massa de cimento, enquanto a ACI 318- 21 (2003) limitam em 0,15% em ambientes com cloretos, 0,3% em ambientes normais, 1% em ambientes secos e 0,06% em concreto protendidos (FIGUEIREDO, 2005).

Basicamente os parâmetros que influenciam a penetração de cloretos são os mesmos para a penetração do CO<sub>2</sub>. O tipo de cimento utilizado influencia a concentração de cloros, tendo aqueles com teores mais elevados de C<sub>3</sub>A desempenho superior aos cimentos com baixos teores de C<sub>3</sub>A.

Relação a/c, adensamento e cura são fatores significativos que influenciam a qualidade do concreto e têm relação direta com a penetração de cloretos. As fissuras no concreto favorecem a penetração dos

cloretos, sendo que velocidade depende da abertura das fissuras e da qualidade do concreto.

A concentração de cloretos necessária para promover a corrosão é fortemente afetada pelo pH do concreto. Foi demonstrado que é necessário um nível de 8.000 ppm de íons cloretos para iniciar o processo quando o pH é de 13,2, mas quando o pH cai para um patamar de 11,6, a corrosão se inicia com somente 71 ppm de íons cloretos (EMMONS, 1993).

Portanto os efeitos da interação da carbonatação com os íons cloretos levam a uma aceleração da velocidade de corrosão quando comparada com a ocorrência dos ataques de forma independente.

O aumento da temperatura eleva a mobilidade molecular e favorece o seu transporte pela microestrutura (FIGUEIREDO, 2005). Para a determinação do teor de cloretos no concreto são utilizados diferentes métodos, geralmente divididos em dois grupos: medição da relação cloretos totais/livres e medição da relação cloretos fixos/livres. O número total de cloretos é soma de íons livres mais fixos. O cloreto livre existe na solução intersticial, sendo de fácil extração, enquanto o fixo é fortemente absorvido pelas paredes dos poros, sendo quimicamente ligado à matriz cimentícia, originando os cloro- aluminatos (FERREIRA, 2000).

A medição de cloretos é feita em amostras de pó retiradas do concreto, em diferentes profundidades da estrutura, e a análise quantitativa é feita por via química (ASTM C 1152- 1992) ou por análise de fluorescência de Raio-X (FIGUEIREDO, 2005).

#### **2.2.4 Biodeterioração do concreto**

A biodeterioração é a mudança indesejável nas propriedades do material, devido à ação de microorganismos.

O concreto é considerado um material bioreceptivo ao ataque microbiológico, devido às condições de rugosidade, porosidade, umidade e composição química, que combinadas com as condições ambientais, como umidade, temperatura e luminosidade, podem promover a biodeterioração do concreto.

Os microorganismos podem atuar sobre o concreto em ações deletérias contra a pasta de cimento e os agregados, interferindo em sua estética, reduzindo sua durabilidade comprometendo sua integridade.

A biodeterioração pode ser classificada em quatro categorias: física ou mecânica, estética, química assimilatória e química não assimilatória. Os mecanismos podem ocorrer separados ou simultaneamente. A biodeterioração física ou mecânica é o rompimento do material devido à pressão exercida na superfície pelo microorganismo, durante seu crescimento ou locomoção.

A biodeterioração estética é causada pela presença de microorganismos que interferem na estética do concreto, mudando sua cor, manchando-o, muitas vezes de forma inaceitável. A biodeterioração química assimilatória ocorre quando o material, constituído de nutrientes para os microorganismos, tem sua microestrutura alterada, apresentando déficit de compostos essenciais para sua integridade.

A biodeterioração química não assimilatória é o resultado da ação dos produtos metabólicos, sobre os constituintes do material, formando compostos prejudiciais à sua integridade. Produtos metabólicos são substâncias produzidas pelos microorganismos durante o metabolismo.

Os principais microorganismos envolvidos nos mecanismos acima citados são as algas, fungos, bactérias, líquens e protozoários (SILVA et al, 2005). A deterioração provocada pelos microorganismos está relacionada com seu crescimento e sua reprodução, sua fixação e seu processo metabólico.

Os mecanismos de biodegradação, que promovem o envelhecimento, comprometem a durabilidade e integridade do concreto, podem se manifestar através de formação de biofilme, ataque ácido, tensões provocadas pela cristalização de sais e complexação (SILVA et al, 2005).

Os biofilmes são ecossistemas microbianos, de consistência gelatinosa, apresentando-se em forma de película, na presença de água ou umidade. Depois de estabelecido, o biofilme pode proporcionar a fixação de outros microorganismos e adesão de outras partículas, bem como se destacar da superfície, criando microambientes com concentrações de pH e oxigênio diferenciados, levando à formação de manchas e pátinas biológicas características da biodeterioração estética.

Podem funcionar como camada impermeabilizante que, se por um lado impede a penetração de água no seu interior, por outro, impede o fluxo inverso, fazendo com que os sais, cristalizados no seu interior, acelerem a deterioração do material por expansão.

Os produtos metabólicos ácidos reagem com os elementos minerais do concreto, promovendo sua dissolução, alterando sua microestrutura e reduzindo sua durabilidade. É considerado o ataque mais agressivo devido à sua natureza alcalina.

Os ácidos excretados durante o metabolismo dos microorganismos, em contato com a pasta de cimento, podem ser convertidos em sais capazes de causar tensões e esfoliações no material.

Os ácidos orgânicos excretados pelos microorganismos podem promover a complexação de certos metais. Este é o mecanismo pelo qual certas substâncias químicas podem remover moléculas de metais de vários substratos, tornando disponíveis elementos como ferro, potássio, manganês e cálcio, que são minerais solúveis, facilmente lixiviados pela água.

Para identificar e avaliar a sanidade da microestrutura são utilizadas técnicas diretas como microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e microscopia acústica de varredura, ou indiretas, como difração de Raio-X, resistividade elétrica, termografia, porosimetria e análises químicas (SILVA et al, 2005).

Na prática o mais significativo ataque biológico ao concreto é o que ocorre em esgotos. No interior dos esgotos, em condições anaeróbicas, as bactérias produzem ácido sulfídrico, composto de pouca agressividade ao concreto.

Ao escapar de dentro do esgoto para o ar, o ácido sulfídrico vai colocar-se ao alcance de bactérias aeróbicas, que habitam na superfície livre do esgoto. Estas bactérias transformam o ácido sulfídrico em ácido sulfúrico, que é bastante agressivo ao concreto, dando-se um ataque de ácidos de sulfatos, que vai provocar uma rápida degradação da superfície livre interna da estrutura de concreto em contato com o esgoto, com velocidades de ataque na ordem de 5 a 10 mm por ano.

Outra forma comum de ataque biológico é o crescimento de raízes de plantas, algas e líquens em fendas ou zonas porosas do concreto, originando forças expansivas de degradam mecanicamente o concreto, facilitando o transporte de outros agentes agressivos para seu interior.

Em estruturas marinhas subaquáticas, as plantas e cracas que se desenvolvem nas superfícies do concreto têm efeito benéfico, pelo fato de consumirem o oxigênio antes que ele possa penetrar no concreto, inibindo o processo de corrosão das armaduras.

## **2.2.5 Causas eletroquímicas de degradação**

### **2.2.5.1 Fundamentos da corrosão**

Os metais encontram-se na natureza geralmente formando compostos tais como óxidos e sulfetos, com outros elementos. Para usá-los na forma elementar é preciso extrair o metal mediante um processo de redução, o que requer aplicar uma certa quantidade de energia. O processo inverso pelo qual o metal volta ao seu estado natural é acompanhado de uma redução de sua energia, isto é, tem lugar através de uma reação espontânea. Este processo, que corresponde a uma oxidação, é conhecido por corrosão, e representa a lenta destruição do metal (ANDRADE, 1992).

A corrosão metálica, quando tem lugar em meio aquoso, é um fenômeno eletroquímico, isto é, supõe-se a existência de uma reação de oxidação e uma de redução, e a circulação de íons através do eletrólito. Assim, sobre a superfície do metal são geradas duas zonas, atuando como ânodo aquela em que se produz a oxidação do metal, liberando elétrons, que migram através do metal em direção a outro lugar, onde reagem

para produzir uma redução de alguma substância existente no eletrólito.

O processo de corrosão pressupõe, portanto, a constituição de uma pilha eletroquímica. A corrosão através do metal e do eletrólito, entre o ânodo e o cátodo, pressupõe o funcionamento de um circuito fechado. Se o circuito se interrompe em algum de seus pontos, a pilha não pode funcionar e a corrosão se detém (ANDRADE, 1992).

Ressalta-se que é necessário não só considerar se um dado metal está em corrosão ou não, como também considerar a velocidade deste processo, já que a corrosão pode evoluir tão lentamente que seu efeito seja desprezível. No processo corrosivo influem além da natureza do eletrólito, o conteúdo de oxigênio e a resistividade do meio.

#### **2.2.5.2 Corrosão das armaduras no concreto armado**

O concreto confere ao aço uma barreira física que o separa e o protege do meio ambiente, mas também confere a este, uma elevada alcalinidade, que permite formar uma película fina de óxido de ferro na superfície do aço, chamada de camada de passivação, mantendo-o inalterado por um tempo indeterminado, desde que o concreto seja de boa qualidade, e que suas propriedades físico-químicas não se alterem devido às ações externas. A camada de passivação é criada pouco depois do início da hidratação do cimento, sendo constituída de  $Fe_2O_3$ , e adere fortemente ao aço (FERREIRA, 2000).

A corrosão eletroquímica da armadura do concreto pode ocorrer devido à falta de uniformidade do aço (diferentes aços, soldas), do contato com metais com menor potencial eletroquímico, assim como da heterogeneidade do meio físico e químico que rodeia o aço (FERREIRA, 2000).

Quando as condições de serviço se modificam, e o concreto se altera através da penetração de substâncias agressivas, ocorre o rompimento da película passivante, e inicia-se a corrosão das armaduras. Os óxidos expansivos, gerados na corrosão, ocupam um volume várias vezes maior que o volume do aço original, causando fissuras e destacamento da camada de cobrimento, facilitando o ingresso de mais agentes agressivos.

O aço em corrosão diminui de seção ou converte-se totalmente em óxido, há redução da aderência aço/concreto e conseqüentemente, ocorre uma perda da capacidade estrutural do elemento de concreto.

Essencialmente são duas as causas que podem dar lugar a destruição da capa passivante. A presença de uma quantidade suficiente de cloretos, adicionada durante o amassamento do concreto ou penetrada do exterior, ou outros íons despassivantes em contato com a armadura, e a diminuição da alcalinidade do concreto por reação com substâncias ácidas do meio (ANDRADE, 1992).

Para que ocorra o processo corrosivo é necessária a presença simultânea de oxigênio e umidade. A presença destes dois componentes acelera fortemente o processo, e a ausência deles detém o processo completamente.

Em um concreto com uma umidade relativa abaixo de 60%, provavelmente não haverá corrosão. O mesmo acontece quando o concreto estiver saturado com água. A umidade ótima para ocorrer o processo encontra-se entre 70 a 80%, sendo que, acima deste nível, a difusão de oxigênio é reduzida consideravelmente (ARANHA,1994).

A corrosão está intimamente ligada à despassivação do aço pelo processo de carbonatação e pela penetração de cloretos. A introdução de determinados materiais cimentícios reduzem significativamente a penetrabilidade no concreto, aumentando a sua resistência e, conseqüentemente, reduzindo a velocidade de corrosão.

A qualidade do concreto e a espessura da camada de cobrimento são fatores fundamentais na proteção das armaduras. Quanto melhor for a qualidade do concreto e maior o cobrimento, maior será o intervalo de tempo necessário para que a frente de carbonatação e os íons cloretos atinjam a superfície das armaduras.

### **2.2.5.3 Tipos de corrosão**

#### **a) Corrosão generalizada**

A corrosão uniforme ou generalizada ocorre devido a uma perda generalizada da película de passivação, resultante da frente de carbonatação no concreto e/ou presença excessiva de cloretos.

Também pode ocorrer por efeito de lixiviação do concreto produzido pela percolação e/ou lavagem por águas puras ou ligeiramente ácidas.

#### **b) Corrosão localizada**

A corrosão localizada forma-se por dissolução localizada da película de passivação, tipicamente causada pela penetração de íons cloretos no meio, vindos do exterior ou pertencente a algum constituinte do concreto. Forma-se uma célula de corrosão onde existe uma área passivada intacta, atuando como um cátodo, e uma pequena área atuando como ânodo, que perdeu a película passiva e onde se reduz o oxigênio dissolvendo o aço. As pequenas áreas despassivadas, conhecidas pelo nome de pite, podem gerar condições suficientes para a sua continuidade e crescimento, e decrescem o pH localmente.

#### **c) Corrosão sob tensão**

A corrosão sob tensão se caracteriza por ocorrer em aços submetidos a elevadas tensões, em cuja superfície é gerada uma microfissura que vai progredindo muito rapidamente, provocando uma ruptura brusca e

frágil do metal, ainda que a superfície não mostre evidências de ataques. Este tipo de corrosão acontece, preferencialmente, em concretos protendidos, sendo um fenômeno muito específico e normalmente associado à má qualidade do concreto (bainhas mal preenchidas, lixiviação do concreto) ou a presença de determinados íons.

#### d) Corrosão galvânica

Este tipo de corrosão ocorre quando existem diferentes tipos de metal no mesmo meio eletrolítico, conforme mostrado na Figura 2.26. O metal com menor atividade eletroquímica é corroído. Uma das situações mais comuns encontradas é o uso de alumínio dentro do concreto armado (EMMONS, 1993).

### 3. DIAGNOSTICANDO AS PATOLOGIAS DO CONCRETO

O concreto armado, sendo um material não inerte, está sujeito a alterações, ao longo do tempo, em função de interações entre seus elementos constitutivos (*cimento, areia, brita, água e aço*), entre esses e materiais que lhe são adicionados (*aditivos*), e com agentes externos (*ácidos, bases, sais, gases, vapores, microorganismos e outros*).

Muitas vezes, dessas interações resultam anomalias que podem comprometer o desempenho da estrutura, provocar efeitos estéticos indesejáveis, ou causar desconforto psicológico nos usuários.

Quando o desempenho da estrutura é ameaçado ou comprometido, a anomalia caracteriza uma doença, moléstia ou enfermidade.

Portanto, saúde das estruturas pode ser entendida como a capacidade delas desempenharem as funções para as quais foram idealizadas.

Sendo doença falta de saúde, e saúde das estruturas entendida como seu bom desempenho, pode-se, definir quais são as enfermidades das estruturas de concreto.

As enfermidades podem ser congênitas (*nascem com a estrutura*) ou adquiridas ao longo de sua vida, devido à ação direta de inúmeros agentes externos (incluindo usuários) ou fenômenos físicos (*choques, terremotos, incêndios, enchentes, explosões, recalques, variações de temperatura, etc.*).

Para que uma enfermidade seja perfeita e completamente entendida (diagnosticada), é necessário que se conheça suas formas de manifestação (sintomas), os processos de surgimento (mecanismos), os agentes desencadeadores desses processos (causas) e em que etapa da vida da estrutura foi criada a predisposição a esses agentes (origens).

Deve-se salientar que na engenharia, ao contrário da medicina, não há o necessário rigor na aplicação desses termos técnicos, sendo, o termo patologia freqüentemente usado no lugar de enfermidade, assim como, um pelo outro, sintoma e enfermidade.

A patologia das estruturas pode, então, ser entendida como o ramo da engenharia que estuda as enfermidades sob esses aspectos. Por serem manifestações das enfermidades, é à partir dos sintomas que se inicia todo o processo de averiguação das causas e origem do fenômeno patológico, fundamental para o correto diagnóstico.

As enfermidades do concreto armado devem ser evitadas (Profilaxia) ou então tratadas (Terapia), para que não ocorra a perda da estrutura ou de peças estruturais (morte do paciente)

É óbvio que a medida ideal no combate as enfermidades é a profilaxia. Entretanto, a evolução natural do conhecimento teve que percorrer primeiro os caminhos da terapia. A descoberta das enfermidades (através de seus sintomas), de suas causas, origens, e dos mecanismos de formação exigiu primeiro o desenvolvimento de procedimentos para sua cura, a terapia.

Só a partir daí foi possível relacionar as medidas necessárias para se evitar o surgimento das enfermidades do concreto armado - as medidas profiláticas.

Nos últimos anos, as normas vêm incorporando, mais intensamente, em seus textos tais medidas - critérios de durabilidade -, que se fundamentam predominantemente nos mecanismos de deterioração do concreto (expansão e corrosão) e do aço (corrosão).

Tais critérios somados às demais recomendações para projeto e execução das estruturas constituem as principais medidas da PROFILAXIA.

### **3.1 Manifestação patológica**

Na maioria dos casos, anomalias são detectadas pelos próprios usuários da edificação. Muitas vezes elas não são sintomas de enfermidades, mas quando o são, geralmente, as doenças já se encontram em adiantado estado de desenvolvimento.

Evidentemente, quanto mais cedo a enfermidade for detectada, menor terá sido a perda de desempenho, e mais simples e barato será o tratamento (terapia). Segundo Sitter, adiar uma terapia significa aumentar os custos numa progressão geométrica de razão igual a cinco (regra dos cincos).

Portanto, é de grande importância a realização de inspeções periódicas através de profissional habilitado, para que sintomas de enfermidades possam ser detectados precocemente.

### **3.2. Vistoria do local**

Na vistoria, contato direto com a anomalia, o técnico, usando seus cinco sentidos e testes simples, deve procurar colher o maior número possível de informações.

Não é possível definir um procedimento padrão de vistoria, mas, no mínimo, deve-se:

- determinar a existência da enfermidade através da observação dos sintomas;

- avaliar sua gravidade, tendo em vista a segurança do usuário, e tomar as medidas cabíveis. Nos casos críticos, escorar / evacuar a edificação;

- definir a extensão do quadro patológico, e, portanto, a extensão da vistoria;

- definir a seqüência da vistoria, ou seja, a ordem de verificação dos andares, dos cômodos, e das peças estruturais;

- levantar e registrar dados utilizando os cinco sentidos: características da anomalia; posição em relação à estrutura; extensão; forma de evolução.

- levantar e registrar dados utilizando testes e instrumentos simples: teste do grau de carbonatação (fenolftaleína); abertura de fissuras (fissurômetro); teste de percussão (martelo); teste de facilidade de destacamento (martelo de bico); teste preliminar de dureza superficial (escleometria);

- registrar, cuidada e sistematicamente, os dados colhidos, através de: descrição; croqui esquemático; fotos e filmes.

### **3.3. Informações orais e formalizadas**

Caso os dados coletados na vistoria do local não sejam suficientes para o diagnóstico do problema patológico, passa-se à fase de levantamento de subsídios para o entendimento da história do problema e, também, do edifício - a anamnese.

O vocábulo “anamnese” é de origem grega e significa “recordar”. Corresponde ao levantamento da história evolutiva do problema desde as suas manifestações iniciais, bem como, da vida da edificação desde a fase de projeto, incluindo o quadro geral de seu desempenho ao longo do tempo, as formas de solicitação, utilização e manutenção.

As duas fontes básicas de informações são:

a) Informações Orais: dos usuários; dos vizinhos; do projetista; do construtor; dos operários; da fiscalização.

Os “interrogatórios” exigem técnica, paciência, tato, e boa dose de psicologia, por serem diversos os tipos de interesse de cada pessoa com relação à obra.

b) Informações Formalizadas: projeto (incluindo desenhos “as built”); memorial de cálculo; caderno de encargos; especificações de serviços; especificações de materiais; especificações de uso (pouco comum); diário de obra; ensaios de recebimento de materiais; notas fiscais de materiais e componentes; contratos de execução de serviços; cronograma físico-financeiro previsto e executado.

### **3.4. Exames complementares**

Caso não tenha sido possível ainda diagnosticar, é preciso obter mais informações à partir de exames complementares (físicos, químicos e até biológicos).

Devem ser escolhidos os exames estritamente necessários, sendo que o patologista deve conhecer a capacidade de resolução, as limitações, e as possibilidades de erros de cada tipo de exame, para que possa fazer uma análise crítica dos resultados. Os exames complementares podem ser executados em laboratório ou “in loco”.

#### **3.4.1. Exames em laboratório**

a) Para determinação das características mecânicas dos materiais, tais como: resistência à compressão; resistência à tração; módulo de elasticidade; aderência; resistência à abrasão e à impactos;

b) Para determinação de propriedades físicas (inerentes ao material, ou seja independentes da forma do mesmo), tais como: densidade; permeabilidade; porosidade; absorção d’água; coeficiente de dilatação térmica; condutibilidade térmica; condutibilidade elétrica;

c) Para reconstituição do traço do concreto;

d) Para verificação e quantificação da presença de elementos ou compostos químicos (p.ex. cloretos, sulfetos, sulfatos, óxidos de enxofre);

e) Para verificação da reatividade alcali- agregados;

f) Verificar a presença de microorganismos vivos;

g) Análisar o desempenho e comportamento estrutural da edificação ou de suas partes através de modelos;

h) Análisar a micro- estrutura dos materiais.

#### **3.4.2. Exames In Loco**

A seguir são citados alguns dos exames executados diretamente sobre a edificação:

#### **3.4.2.1. Não Destrutivos**

Esclerometria (avaliação da dureza superficial - fck); Ultrasonografia (verificação da estrutura interna e estimativa da resistência e do módulo de elasticidade); Pacometria (avaliação do cobrimento, e estimativa de bitolas); Sonometria (verificação de aderência entre materiais); Resistividade e Potencial eletroquímico (atividade e potencial de corrosão); Raios X (verificação da estrutura interna); Gamagrafia (verificação da estrutura interna); Sondagem Sônica (verificação da integridade do concreto de estruturas enterradas); Prova de Carga (verificação do comportamento e desempenho menos freqüente nesta fase).

#### **3.4.2.2. Destrutivos**

Extração de corpos de prova (determinação de resistências, módulo de elasticidade, etc);

Ensaio de arrancamento (avaliação de aderência entre materiais e estimativa de resistência).

### **3.5. Pesquisa**

Caso ainda, por qualquer motivo, não tenha sido possível fazer o diagnóstico, deve-se fazer pesquisas, sejam bibliográficas ou tecnológicas.

Nesta fase, mais que nas anteriores, é muito oportuna a busca de auxílio de profissionais de outras áreas da ciência da engenharia, ou mesmo de outras ciências.

### **3.6. O diagnóstico**

O diagnóstico é, com certeza, a fase mais importante do processo. É ele que definirá o sucesso ou fracasso da terapêutica a ser adotada. Um diagnóstico equivocado implicará em intervenções que não conseguirão curar a enfermidade, e ainda dificultarão análises e estudos futuros, além do inútil gasto de dinheiro.

O diagnóstico pressupõe o entendimento de um quadro geral de fenômenos e manifestações dinâmicas - as enfermidades -, implicando no conhecimento de seus sintomas, mecanismos, causas e origens.

Os dados levantados nas fases anteriores devem ser interligados de maneira a formar uma história para o surgimento e evolução do quadro patológico. Todos os dados devem se encaixar nessa história, não

podendo, pois, ser desprezado nenhum deles.

O patologista trabalha, portanto, imaginando hipóteses e verificando a sua possível veracidade, através do perfeito encaixe dos dados disponíveis. Essa forma de trabalho - a formulação e eliminação de hipóteses, orienta todas as fases iniciais do estudo. Na realidade, nunca há a certeza, mas sim uma redução no número de dúvidas.

Haverá, portanto, sempre um grau de incerteza no diagnóstico, cuja eficácia, só poderá ser confirmada pela resposta satisfatória da estrutura ao tratamento prescrito. Observe-se que, ainda assim, a incerteza poderá persistir, visto que, existem enfermidades diferentes que podem ser tratadas com o mesmo “remédio”.

Salienta-se que os dados devem ser colhidos ordenadamente, até que seja possível fazer-se o diagnóstico. A colheita desordenada e excessiva de dados pode criar dificuldades e, até mesmo, desviar o patologista do caminho certo.

No estudo das hipóteses para a formulação do diagnóstico, deve-se iniciar sempre pelas mais simples e mais freqüentes, para só depois, se for necessário, chegar-se às mais raras.

Pelo exposto, pode-se deduzir que existem casos onde se tem que atuar com base num diagnóstico provisório, que será posteriormente aferido e adequadamente corrigido.

### **3.7. Prognóstico e alternativas de intervenção**

Após a definição do diagnóstico e antes da escolha da conduta a ser seguida, o patologista deve levantar hipóteses sobre a evolução futura do problema, o prognóstico.

Em função desse prognóstico, o especialista define o objetivo da intervenção, que poderá ser: Erradicar a enfermidade; impedir ou controlar sua evolução; Não intervir; estimar o tempo de vida da estrutura; limitar sua utilização; indicar sua demolição.

### **3.8. Definição da conduta a ser seguida**

Após a definição do diagnóstico e do prognóstico, vem a fase de elaboração das intervenções possíveis e a escolha daquela que será seguida.

As intervenções que visam erradicar uma enfermidade consistem em: corrigir pequenos danos (*Reparo*), devolver à estrutura o desempenho original perdido (*Recuperação*), ou aumentar tal desempenho (*Reforço*).

A partir das intervenções possíveis, a escolha daquela a ser adotada deve ser feita com base, no mínimo, nos seguintes parâmetros: Grau de incerteza sobre os efeitos que produzirão; Relação custo / benefício; Disponibilidade de tecnologia para a execução dos serviços.

### **3.9. Avaliação da intervenção e registro do caso**

Após a execução da intervenção, o desempenho da edificação, deve ser acompanhado para uma comparação entre resultados observados e previstos.

Dessa comparação obtêm-se dados que permitem concluir pela eficácia da intervenção, ou pela necessidade de nova análise que conduza a novas medidas corretivas. O processo de atuação sobre problemas patológicos é, portanto, cíclico.

Finalmente, o caso deve ser cuidadosamente registrado e publicado, para que possa ser mais uma fonte de informações sobre a patologia, a recuperação e o reforço de estruturas.

Independente do nível de êxito alcançado, ou mesmo de fracasso, a publicação contribui enormemente para o desenvolvimento dessa nova ramificação da Engenharia Civil.

Por tudo que foi visto, pode-se afirmar que: A Patologia, a Recuperação e o Reforço de Estruturas exigem conhecimentos específicos de diversas áreas do saber.

## **4. SISTEMÁTICA EMPREGADA NA EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE RECUPERAÇÃO DO CONCRETO DETERIORADO POR PATOLOGIAS DE ORIGEM FÍSICA E/OU QUÍMICA**

As causas físicas da deterioração do concreto podem ser agrupadas em duas categorias:

a) desgaste superficial, ou perda de massa devida à abrasão, à erosão e à cavitação;

b) fissuração, devidas a gradientes normais de temperatura e umidade, a pressões de cristalização de sais os poros, a carregamento estrutural e á exposição a extremos de temperaturas, tais como congelamento ou fogo.

As causas químicas da deterioração do concreto podem ser agrupadas em três categorias:

a) hidrólise dos componentes da pasta de cimento por água pura;

b) trocas iônicas entre fluidos agressivos e a pasta de cimento;

c) reações causadoras de produtos expansíveis, tais como expansão por sulfatos, reação álcali-agregado e corrosão da armadura no concreto.

### **4.1 Deterioração do concreto por ações físicas**

#### **4.1.1 Desgaste superficial devido à abrasão**

A abrasão refere-se a atrito seco e é a perda gradual e continuada da argamassa superficial e de agregados em uma área limitada; bastante comum nos pavimentos, pode ser classificada, conforme a profundidade do desgaste, em:

a) desgaste leve: perda da argamassa superficial em até 6mm de profundidade, já com exposição do agregado graúdo;

b) desgaste médio: perda da argamassa superficial de 7 a 12mm de profundidade, com perda também da argamassa entre o agregado graúdo;

c) desgaste pesado: perda de argamassa superficial de 13 a 25mm de profundidade, com clara exposição do agregado graúdo;

d) desgaste severo: perda da argamassa superficial, de partículas do agregado graúdo e também da argamassa de envolvimento do agregado graúdo em profundidades maiores que 25 mm, com possível exposição de armaduras.

Para obtenção de uma boa resistência à abrasão em superfícies de concreto, a resistência à compressão do concreto não deve ser menor que 28 MPa, sendo recomendáveis também, uma baixa relação água/cimento, com granulometria, lançamento e adensamento adequados.

#### **4.1.2 Desgaste superficial devido à erosão**

Quando um fluido em movimento, ar ou água, esta principalmente em pontes, contendo partículas em suspensão, atua sobre superfícies de concreto, as ações de colisão, escorregamento ou rolagem das partículas podem provocar um desgaste superficial do concreto.

A intensidade da erosão que, em ambiente aquífero, que é também conhecida como lixiviação, depende da porosidade e resistência do concreto e da quantidade, tamanho, forma, massa específica, dureza e velocidade das partículas em movimento

Para obtenção de uma boa resistência à erosão em superfícies de concreto, deve ser usado agregado com alta dureza e concreto com resistência à compressão, aos vinte e oito dias, de 40MPa, curado adequadamente antes da exposição ao ambiente agressivo.

#### **4.1.3 Desgaste superficial devido à cavitação**

Os concretos de boa qualidade têm excelente resistência a fluxos constantes de alta velocidade de água pura, mas fluxos não lineares, a velocidades acima de 12m/s, em ambientes abertos, podem causar uma erosão severa do concreto, devida à cavitação.

Em águas correntes, formam-se bolhas de vapor quando a

pressão absoluta local, em dado ponto na água, é reduzida à pressão de vapor ambiente da água, para dada temperatura ambiente. À medida que as bolhas de vapor que fluem na água entram em uma região de pressão mais elevada, elas implodem com grande impacto, pela entrada de água a alta velocidade nos espaços antes ocupados pelo vapor, causando severas erosões localizadas.

A cavitação provoca um desgaste irregular da superfície do concreto, dando-lhe uma aparência irregular e corroída, muito diferente das superfícies desgastadas de forma regular pela erosão de sólidos em suspensão.

## **4.2 Deterioração do concreto por reações químicas**

As reações químicas que provocam a degradação do concreto podem ser resultantes de interações químicas entre agentes agressivos presentes no meio ambiente externo e os constituintes da pasta de cimento ou podem resultar de reações internas, tipo reação álcaliagregado, ou da reação da hidratação retardada CaO e MgO cristalinos, se presentes em quantidades excessivas no cimento Portland, ou ainda, da corrosão eletroquímica da armadura do concreto.

Convém ressaltar que as reações químicas se manifestam através de deficiências físicas do concreto, tais como aumento da porosidade e da permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e lascamento.

### **4.2.1 Considerações particulares**

#### **4.2.1.1 Reações por troca de cátions**

Os três tipos de reações, baseadas na troca de cátions e que degradam o concreto são as relacionadas a seguir:

##### **a) Formação de sais solúveis de cálcio**

Soluções ácidas contendo ânions que formam sais solúveis de cálcio são encontradas com freqüência nos processos industriais; ácido hidrocloreto, ácido sulfúrico e ácido nítrico são alguns deles.

As reações por troca de cátions entre as soluções ácidas e constituintes da pasta de cimento geram sais solúveis de cálcio que podem ser removidos pela lixiviação, degradando o concreto.

##### **b) Formação de sais de cálcio insolúveis e não expansivos**

Os sais insolúveis de cálcio, resultantes de reações de águas

agressivas que contêm certos ânions, com a pasta de cimento, se não forem expansivos e nem removidos por infiltrações, não degradam o concreto.

A exposição do concreto a restos de animais em decomposição ou a materiais vegetais, causa a degradação química do concreto através da ação do ácido húmico.

c) Ataques químicos por soluções contendo sais de magnésio

A água do mar, as águas subterrâneas e alguns efluentes industriais podem conter cloretos, sulfatos e bicarbonatos de magnésio em concentrações danosas ao concreto.

As soluções de magnésio reagem com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland, para formar sais solúveis de cálcio que podem ser lixiviados. O ataque prolongado de soluções de magnésio pode evoluir até provocar a perda de algumas características cimentícias, com grande degradação do concreto.

#### **4.2.1.2 Reações envolvendo hidrólise e lixiviação dos componentes da pasta de cimento endurecido: Eflorescência.**

Provocada quando águas puras com poucos ou nenhum íon de cálcio entram em contacto com a pasta de cimento Portland; elas podem hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio.

A lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto, além da perda de resistência, provoca agressões estéticas, já que o produto lixiviado interage com o CO<sub>2</sub> presente no ar, daí resultando a precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície.

A grande maioria das eflorescências pode ser removida por processos simples, tais como: escovação com escova dura e seca, escovação com escova e água, leve jateamento d'água e leve jateamento de areia.

Entretanto, alguns sais tornam-se insolúveis na água logo após entrarem em contacto com a atmosfera; eflorescências com estes sais podem ser removidas com soluções diluídas de ácido, desde que adotados os cuidados e procedimentos indicados a seguir.

As soluções sugeridas, que devem ser testadas em pequenas áreas não contaminadas, são:

- a) 1 parte de ácido muriático diluído em 9 a 19 partes de água;
- b) 1 parte de ácido fosfórico diluído 9 partes de água;
- c) 1 parte de ácido fosfórico mais uma parte de ácido acético diluídos em 19 partes de água.

A aplicação da solução diluída de ácido envolve quatro etapas:

a) saturar a superfície de concreto com água pura, para evitar a absorção da solução ácida;

b) aplicar a solução ácida em pequena áreas, não maiores que 0,5 m<sup>2</sup>;

c) aguardar 5 minutos e remover a eflorescência com uma escova dura;

d) lavar a superfície tratada com água pura, imediatamente após a remoção da eflorescência.

A prevenção da recorrência de novas eflorescências implica na necessidade de reduzir a absorção de água, o que pode ser realizado com o tratamento de trincas e fissuras e pinturas hidrofugantes.

#### **4.2.1.3 Reações envolvendo a formação de produtos expansivos**

Reações químicas envolvendo a formação de produtos expansivos no concreto endurecido podem provocar sua degradação; inicialmente a expansão pode não provocar danos ao concreto, mas o aumento das tensões internas pode causar o fechamento das juntas de expansão, deformações, fissuração, lascamento e pipocamento do concreto.

Os quatro fenômenos associados com reações químicas expansivas são: ataque por sulfato, ataque álcaliagregado, hidratação retardada de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) livres e corrosão da armadura de concreto.

##### **a) Ataque por sulfato**

A degradação do concreto em consequência de reações químicas entre o concreto de cimento Portland e íons de sulfato de uma fonte externa, pode se manifestar de duas formas distintas: pela expansão do concreto ou pela perda progressiva de resistência e perda de massa.

A expansão do concreto provoca sua fissuração e o consequente aumento da permeabilidade e da fragilidade para a penetração de águas agressivas.

Os sulfatos podem ser encontrados nos solos, na água do mar, em águas subterrâneas e em solos e em águas com adubos e defensivos agrícolas.

##### **b) Reação álcali- agregado ou reação alcalisílica**

As reações denominadas álcali- agregado ou álcali- sílica são reações químicas envolvendo íons alcalinos do cimento Portland, íons hidroxila e certos constituintes silicosos que podem estar presentes no agregado; resulta daí a importância da escolha do cimento, dos agregados e da compatibilidade destes materiais.

Manifesta-se pela expansão e fissuração do concreto, com perda de resistência, elasticidade e durabilidade.

#### c) Hidratação do MgO e CaO cristalinos

A hidratação do MgO e CaO cristalinos quando presentes em grandes quantidades no cimento, podem causar expansão e fissuração no concreto.

O efeito expansivo e altamente nocivo da grande quantidade de MgO no cimento foi reconhecida na França, quando o colapso de várias pontes de viadutos de concreto foi atribuído a este fator, e na Alemanha, que foi forçada a reconstruir um edifício, pelos mesmos motivos. O percentual de MgO que, nos exemplos citados, chegava a 30%, hoje é da ordem de 6%.

O CaO, que também pode ser nocivo, tem, da mesma forma, seu percentual limitado. Manifesta-se pela expansão e fissuração do concreto.

#### d) Corrosão da armadura do concreto

Manifesta-se pela expansão, fissuração, lascamento do cobrimento, perda de aderência entre aço e concreto e redução da seção transversal da armadura.

### **4.3 Recuperação de elementos deteriorados por ações físicas**

#### **4.3.1 Desgaste superficial devido à abrasão**

Na recuperação desta patologia, duas situações podem se apresentar: ou as áreas a recuperar são percentualmente pequenas, da ordem de 20% a 30% da área total, ou percentualmente consideráveis; no primeiro caso, a recuperação é localizada e artesanal e, no segundo caso, é geral e mecanizada.

Em virtude das pequenas espessuras das camadas desgastadas, a preparação superficial do concreto deve aumentar um pouco esta espessura, com auxílio de escarificadores e alargar a área afetada; o material de reposição, deve ser, no mínimo, uma argamassa de cimento Portland enriquecida por microsílica, acrílico, látex ou epóxi.

#### **4.3.2 Desgaste superficial devido à erosão**

A recuperação de elementos desgastados pela erosão, não havendo contaminação do concreto, pode, após uma limpeza com jatos de areia e água, ser efetuada com concreto projetado de boa resistência à erosão: alta dureza, baixa relação água/cimento e resistência à compressão, aos vinte e oito dias, de 40 MPa.

### **4.3.3 Desgaste superficial devido à cavitação**

Devem ser eliminadas as causas da cavitação, tais como desalinhamentos na superfície do concreto e mudanças bruscas de declividade; um concreto resistente, satisfatório para desgastes por abrasão e erosão, pode não ser satisfatório para desgastes por cavitação.

### **4.3.4 Deterioração do concreto por ação do fogo**

A recuperação de uma estrutura deteriorada pela ação do fogo inicia-se pela verificação de sua estabilidade e da necessidade de escoramentos parciais ou escoramento total.

O conhecimento da temperatura atingida pelo fogo, sua duração, a análise dos corpos de prova retirados dos elementos afetados pelo fogo, aliados a estudos específicos sobre a ação de altas temperaturas na pasta de cimento, no agregado e no concreto permitem decidir sobre a demolição ou o aproveitamento parcial ou total dos elementos.

A recuperação implica em descascamentos de concreto, reforços de armaduras e encamisamentos de concreto.

## **4.4 Recuperação de elementos deteriorados por reações químicas**

### **4.4.1 Reações com formação de sais solúveis de cálcio**

Os sais solúveis de cálcio, quando lixiviados, não podem ser recuperados; entretanto, o prosseguimento da lixiviação pode ser atalhado com o tratamento das trincas e fissuras e, se for o caso, com pinturas impermeabilizantes e revestimentos.

### **4.4.2 Reações com formação de sais de cálcio insolúveis e não expansivos**

Os sais insolúveis de cálcio, quando lixiviados, não podem ser recuperados; entretanto, o prosseguimento da lixiviação pode ser atalhado com o tratamento das trincas e fissuras e, se for o caso, com pinturas impermeabilizantes e revestimentos.

A ação do ácido húmico pode ser evitada com simples operações de manutenção.

### **4.4.3 Ataques químicos por soluções contendo sais de magnésio**

Não tendo sido usados cimento e concreto adequados e tratando-se de ataques por agentes externos, estes somente serão atalhados com o tratamento de trincas e fissuras e o revestimento dos elementos afetados com concreto de alta resistência, pouca porosidade e aditivado por

microsílica; a análise da gravidade dos ataques é que determinará a necessidade ou não de reforço estrutural.

#### **4.4.4 Reações envolvendo a formação de produtos expansivos**

##### **4.4.4.1 Ataque por sulfato**

Os fatores que influenciam o ataque por sulfato são: a quantidade e natureza do sulfato presente, o nível da água e sua variação sazonal, o fluxo da água subterrânea e a porosidade do solo, a forma de construção e a qualidade do concreto; são fatores externos e fatores que dependem de especificações construtivas.

A bibliografia registra inúmeros acidentes causados pelo ataque de sulfatos e a literatura técnica recomenda que, para um concreto com peso normal, uma relação água/cimento mais baixa deva ser usada para estanqueidade ou para proteção contra a corrosão; para condições de ataque muito severas, exige-se o uso de cimento Portland resistente a sulfato, uma relação água/cimento máxima de 0,45, um consumo mínimo de cimento de 370 kg/m<sup>3</sup> e uma camada protetora de concreto.

A literatura existente indica medidas preventivas, qualidade construtiva e camadas protetoras, não tendo sido localizadas diretrizes para recuperação.

##### **4.4.4.2 Reação álcali- agregado ou reação álcali- sílica**

Os fatores mais importantes que influenciam as reações álcali-agregado são:

- a) o conteúdo de álcalis do cimento e o consumo de cimento do concreto;
- b) a contribuição de íons alcalinos de outras fontes tais como aditivos, agregados contaminados com sais e penetração de água do mar ou de soluções salinas;
- c) a quantidade, o tamanho e a reatividade do constituinte reativo aos álcalis presentes no agregado;
- d) a disponibilidade de umidade junta à estrutura de concreto;
- e) a temperatura ambiente.

A reação álcali-agregado só é verdadeiramente identificada após testes laboratoriais. Não se conhece, até a presente data, um método definitivo de recuperação de estruturas afetadas por reações álcali-agregado: grandes estruturas, barragens principalmente, estão

irremediavelmente condenadas ao colapso, apesar de extensas e intermitentes intervenções.

A título de recuperação de pequenas estruturas afetadas, pode-se, após três a cinco anos, quando muitas trincas poderão estar estabilizadas, tratá-las com injeções de epóxi; até lá, convém tratar as trincas com argamassa mais fraca, para evitar a entrada de materiais agressivos; este tratamento poderá ter que ser repetido, decorridos mais três anos.

#### **4.4.4.3 Hidratação de MgO e CaO cristalinos**

Atualmente, com as limitações dos percentuais destes dois elementos, as degradações por eles provocadas são, praticamente desconhecidas; entretanto, se identificadas por testes laboratoriais, há que se limitar as expansões e tratar as trincas e fissuras.

## **5 .TRINCAS E FISSURAS**

A trinca é uma fratura linear no concreto; as trincas podem se desenvolver parcial ou completamente ao longo de um elemento estrutural, não havendo uma separação nítida e indiscutível entre trincas e fissuras, tendo essas últimas aberturas menores.

As trincas podem ser classificadas em capilares, médias e largas; as trincas capilares não podem ser medidas com instrumentos usuais enquanto que as trincas médias e largas podem ser medidas com instrumentos usuais.

Os regulamentos, inclusive as Normas Brasileiras, têm aumentado a tolerância em relação às aberturas das trincas e fissuras; assim:

a) a NB-1/1978 considerava a fissuração nociva quando a abertura das fissuras na superfície do concreto ultrapassava os seguintes valores:

- 0,1 mm para peças não protegidas em meio agressivo;
- 0,2 mm para peças não protegidas em meio não agressivo;
- 0,3 mm para peças protegidas.

b) a NBR-6118/2003 considera que “a abertura máxima característica  $w_k$  das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0.2 mm a 0,4 mm, conforme (tabela 13.3), sob ação de combinações freqüentes, não têm importância significativa na corrosão das armaduras passivas.”

“Como para as armaduras ativas existe a possibilidade de corrosão sob tensão, estes limites devem ser mais restritos e função direta da agressividade do meio ambiente, dada pela classe de agressividade

ambiental”.

Nesta Monografia considera necessária, com apoio em muitos regulamentos internacionais, que nos elementos concreto armado, todas as fissuras com abertura igual ou maior que 0,3 mm devem ser tratadas e que, nos elementos de concreto protendido, qualquer fissura é importante e nociva e deve ser estudada e tratada.

## **5.1 Condições gerais**

As trincas e fissuras são fenômenos próprios e inevitáveis do concreto armado e que podem se manifestar em cada uma das três fases de sua vida: fase plástica, fase de endurecimento e fase de concreto endurecido.

Na fase plástica podem surgir trincas em virtude da retração plástica e do assentamento plástico; na fase de endurecimento, em virtude de restrições à precoce movimentação térmica, à precoce retração do endurecimento e ao assentamento diferencial dos apoios; na fase de concreto endurecido, as principais causas do aparecimento das trincas e fissuras são o sub-dimensionamento, o detalhamento inadequado, a construção sem os cuidados indispensáveis, as cargas excessivas, o ataque de sulfatos ao cimento do concreto, a corrosão das armaduras devida ao ataque de cloretos, a carbonatação e a reação álcali-agregado.

O adequado tratamento das trincas e fissuras depende, inicialmente, de uma correta classificação em trincas ativas ou passivas e do conhecimento de suas causas.

## **5.2 Definições e condições gerais da fissuração**

### **5.2.1 Fissuração devida a gradientes normais de temperatura e umidade**

Sempre que as mudanças de volume nos elementos de concreto, causadas por gradientes de temperatura e umidade, provocarem tensões de tração superiores às tensões de tração admissíveis, poderá haver o aparecimento de fissuras de origem física.

### **5.2.2 Fissuração devida à pressão de cristalização de sais nos poros**

Segundo a ACI, há evidências de que a ação, puramente física, da cristalização de sulfatos nos poros do concreto pode ser responsável por danos consideráveis, sem envolver o ataque químico ao cimento.

Como exemplo, pode ser citado o caso de um muro de arrimo ou laje de um concreto permeável que, de um lado está em contacto com uma solução salina e, do outro lado está sujeito à evaporação: o concreto pode deteriorar-se por tensões resultantes da pressão de sais que

cristalizam nos poros.

### **5.2.3 Fissuração devida à carga estrutural**

Sobrecargas excessivas, impactos não previstos e cargas cíclicas podem provocar solicitações que ultrapassam as solicitações de fissuração, provocando o aparecimento destas patologias.

### **5.2.4 Fissuração devida à ação de temperaturas extremas**

#### a) Deterioração por ação do congelamento

A deterioração por congelamento no concreto pode ter várias formas, sendo a mais comum a fissuração e destacamento do concreto superficial; lajes de concreto expostas a congelamento e degelo, na presença de umidade e produtos químicos para degelo, são suscetíveis a descascamento, isto é, a superfície acabada do concreto escama ou descasca.

As causas da deterioração do concreto endurecido pela ação do congelamento podem ser relacionadas à complexa microestrutura do material e às condições específicas do meio ambiente.

A incorporação de ar tem demonstrado ser uma maneira efetiva de reduzir o risco de danos ao concreto pela ação do congelamento.

#### b) Deterioração por ação do fogo

O comportamento real de um concreto exposto à alta temperatura resulta de muitos fatores que interagem simultaneamente e que são de grande complexidade para uma análise exata.

Basicamente, o concreto é considerado um material de boa resistência ao fogo: é incombustível e não emite gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas; ao contrário do aço, é capaz de manter resistência suficiente por períodos longos quando sujeito a temperaturas da ordem de 700 a 800° C.

Há estudos específicos sobre a ação de altas temperaturas na pasta de cimento, no agregado e no concreto; estes estudos, o conhecimento da temperatura atingida pelo fogo, sua duração e a análise de corpos de prova retirados de elementos afetados pelo fogo, permitem avaliar o grau de comprometimento da estrutura.

## **5.3 Trincas ativas**

No tratamento das trincas ativas, cujas causas não possam ser eliminadas, tornando-as passivas, os procedimentos são os seguintes:

#### a) medir, através de monitoramento, a amplitude da

movimentação da trinca;

b) definir se é necessário tratar a trinca ativa como junta móvel;

c) selecionar um selante plástico e o comprimento que a junta móvel a ser criada deve ter para absorver a movimentação da trinca ativa;

d) com um cinzel alargar a trinca ativa para o comprimento calculado da junta móvel;

e) limpar e secar a trinca alargada com jateamentos de água e ar;

f) encher cuidadosamente a abertura com o selante plástico.

#### **5.4 Trincas especiais**

Os elementos estruturais cujas trincas no concreto tenham origem em corrosão de armaduras, reação sílica-agregado ou excesso de cloretos na composição do cimento, devem ser objeto de estudo especial:

a) nas trincas com origem em corrosão de armaduras, há necessidade de remoção de concreto e todo o tratamento dado à corrosão de armaduras;

b) nas trincas com origem na reação sílica-agregado ou no excesso de cloreto no cimento, há necessidade de monitoramento e tratamento com impregnações no concreto.

#### **5.5 Trincas passivas**

Nas trincas passivas, que não as de tipo especial, os procedimentos convencionais obedecem às seguintes etapas:

a) adquirir os produtos recomendados no projeto e selecionar operador ou empresa com reconhecida experiência em trabalhos semelhantes;

b) limpar a trinca de todos os contaminantes tais como óleos, graxas e qualquer tipo de partícula, preferencialmente com jato de água;

c) secar a trinca com jato de ar;

d) selar as superfícies da trinca para impedir o epóxi de vazar quando de sua injeção;

e) fazer furos ao longo da trinca, espaçados de dez a trinta centímetros e ligeiramente mais profundos que a trinca;

f) introduzir tubos plásticos nos furos, com pontas salientes de 10 cm e fixados no selante;

g) injetar o epóxi em um tubo de cada vez, começando pelo inferior se a trinca for vertical e por uma das extremidades, se a trinca for horizontal; nesta fase, todos os outros tubos estarão com a extremidade externa obturada;

h) terminada a injeção de todos os tubos, cortar as pontas salientes e limpar a superfície tratada, lixando o material excedente com lixadeiras elétricas.

## **6. TRATAMENTO DA CORROSÃO NA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos.

No concreto armado, o estudo e tratamento da corrosão são importantes tanto no aço como no concreto, onde as ações do tipo químico são as que maiores prejuízos causam.

### **6.1 Condições gerais**

A corrosão é a causa mais freqüente da deterioração e redução de resistência das armaduras do concreto e é também uma das principais causas da degradação do concreto; sendo um fenômeno expansivo, a corrosão provoca fissuras, trincas e, até, desagregação do concreto.

As principais causas da corrosão das armaduras são a presença do cloreto na sua vizinhança e a carbonatação do concreto.

As principais causas da corrosão do concreto são os gases contidos na atmosfera, as águas puras, ácidas ou marinhas e os compostos fluidos ou sólidos de natureza orgânica.

O tratamento da corrosão, tanto do aço como do concreto, implica em remoção de concreto, com limpeza e, às vezes, com a substituição de armaduras e com recomposição das partes removidas. Como a remoção do concreto pode fragilizar a estrutura, prejudicando sua estabilidade, qualquer tratamento somente poderá ser iniciado após uma inspeção e a existência de um projeto com especificações.

### **6.2 Condições específicas**

#### **6.2.1 Corrosão do aço**

A corrosão eletroquímica do aço, a mais importante, costuma se

apresentar, inicialmente, em pequenos trechos localizados, logo se generalizando; o aço, inicialmente mergulhado em meio alcalino, visto que o concreto é básico, está em sua forma passiva, que somente se altera quando atacado por cloretos, sulfatos e sulfetos, que podem estar na própria massa do concreto ou provenientes do meio ambiente.

Há um tipo especial de corrosão que se manifesta em armaduras sob forte tensão, caso das armaduras protendidas: é a stress-corrosion; este tipo de corrosão é extremamente perigoso visto que pode conduzir a rupturas frágeis.

O tratamento da armadura corroída deve abranger as etapas indicadas a seguir, excetuadas as que, explicitamente, foram incluídas no projeto:

- a) definir a área a ser tratada, já indicada no projeto;
- b) remover todo o concreto contaminado em redor da armadura com corrosão, com jato d'água ou ferramentas manuais, para não prejudicar ainda mais a armadura ou sua aderência ao concreto; a remoção deve deixar um espaço livre, entre armadura e o concreto de 2cm, no mínimo, e ser prolongada até atingir um comprimento de ancoragem de barra íntegra;
- c) limpar cuidadosamente as barras corroídas, com escova de aço para pequenas áreas ou jato d'água e ar para grandes áreas;
- d) examinar cuidadosamente as barras corroídas e já limpas, para avaliação da perda da sua capacidade resistente; se a perda for superior a 10% as barras devem ser suplementadas;
- e) após a remoção de todos os detritos, a armadura tratada e a suplementar, se esta for necessária, devem ser pintadas com tinta especial anti-ferruginosa;
- f) quando não forem necessárias fôrmas, seção pode ser recomposta com concreto convencional, moldado no local e aditivado; havendo necessidade de fôrmas, é preferível utilizar o concreto projetado, aditivado e desempenado; em ambos os casos, há que se levar em conta as vibrações provocadas pelo tráfego bem como efetuar cura prolongada, mínima de sete dias;
- g) a resistência característica do concreto novo não deve ser 20% superior à do concreto existente.

### **6.2.2 Corrosão do concreto**

O concreto armado, além de suas características mecânicas que o tornam resistente a ações estruturais externas, deve ser dosado e moldado de modo a poder resistir a ações de caráter físico e químico, internas e externas.

As ações internas de caráter físico são menos importantes e são provocadas por efeitos expansivos de reações internas, em concretos mal dosados e mal executados, e por corrosão de armaduras, que têm efeito expansivo.

As ações de caráter químico, muito mais importantes, têm três causas principais: gases nocivos da atmosfera, águas, que podem ser puras, ácidas ou marinhas e compostos fluídos ou sólidos de natureza orgânica.

## **7 PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE CONCRETO**

Preparação de superfície é a aplicação de um processo para obtenção, a partir de um elemento estrutural que necessita de tratamento, de superfícies onde o concreto seja são, limpo e adequadamente áspero para receber camadas de pintura, de selantes ou de reforços de concreto.

### **7.1 Condições gerais**

#### **7.1.1 Seleção de métodos de preparação de superfícies**

A escolha do método de preparação de superfícies depende, basicamente, dos seguintes fatores:

a) estado do elemento: a resistência do substrato, a presença de materiais superficiais deteriorados ou inibidores de aderência são fatores que podem definir a natureza e a intensidade da preparação necessária;

b) limitações impostas pelo proprietário da obra: alguns efeitos secundários gerados pelos métodos de preparação, tais como ruídos, vibração, poeira e água, podem não ser tolerados pelo proprietário da obra;

c) limitações impostas pelos materiais: alguns métodos de preparação podem ser incompatíveis com o substrato ou com o material de revestimento a ser aplicado;

d) limitações impostas pelos métodos de preparação: a geração de resíduos que necessitam serem coletados, tais como poeiras e água, podem ser determinantes na seleção do método de preparação.

Os principais métodos de preparação de superfícies são:

a) métodos abrasivos: forças de abrasão aplicadas através de discos de polimento, podem retirar a argamassa superficial e agregados finos, até produzir uma superfície plana e ligeiramente áspera;

b) apicoamentos: alguns métodos de preparação usam equipamentos dotados de placas com pontas de material duro e resistente que golpeiam a superfície do elemento estrutural a ser tratado, provocando pequenas fraturas tanto na argamassa superficial como no agregado, deixando a superfície do substrato bastante áspera;

c) jateamentos: basicamente de três categorias, são utilizados para limpezas e expulsão de poeiras e resíduos: jateamentos de ar, para remoção de detritos e jateamentos de água e ar, para limpeza e remoção de materiais aderentes de pinturas e materiais de forte aderência em superfícies de concreto e aço.

## **7.2 Condições específicas**

### **7.2.1 Apicoamento**

Somente para áreas muito pequenas pode ser permitido o apicoamento manual, quase sempre irregular e deficiente; para áreas maiores somente será permitida a utilização de ferramentas elétricas.

O produto final do apicoamento deve ser uma superfície bastante áspera e adequada para receber materiais de proteção e de recuperação ou reforço, tais como argamassas, concreto projetado ou concreto aditivado.

### **7.2.2 Jateamento de ar**

O jateamento de ar não causa danos às estruturas e somente deve ser utilizado para expulsão de resíduos naturais ou resultantes de outras preparações de superfície.

### **7.2.3 Jateamento de água**

O jateamento de água, dependendo da pressão com que a água é lançada, pode ser utilizado como simples preparação de limpeza ou como processo de remoção de concreto.

#### **7.2.3.1 Jateamento de água com baixa pressão**

a) o jateamento de água, se utilizado a pressões baixas, inferiores a 5.000 psi ou 35 MPa, é adequado para remover detritos e materiais friáveis soltos; não se presta para remoção de concreto e é um processo complementar a outros processos de preparação de superfícies;

b) a grande variedade de equipamentos portáteis e versáteis permite o fácil acesso a todo tipo de superfície, inclusive arestas, cantos e concavidades;

c) o processo produz grande ruído e muita umidade; materiais e equipamentos sensíveis à umidade devem ser afastados para uma distância segura;

d) os equipamentos necessários são simples e, basicamente, bombas de água, mangueiras com bicos adequados, tanque de água, carrinho para deslocamento de parte do equipamento, eventuais plataformas de acesso e dispositivos de proteção e coleta de água e detritos.

#### **7.2.3.2 Jateamento de água com alta ou muito alta pressão**

a) o jateamento de água, se utilizado a pressões altas, 40 a 120 N/mm<sup>2</sup>, ou muito altas, 140 a 240 N/mm<sup>2</sup>, é adequado para remover concreto deteriorado, fortes incrustações de detritos, materiais friáveis e algumas pinturas protetoras;

b) este tipo de jateamento não é recomendável para remoção de concreto são;

c) o processo produz grande ruído e muita umidade; materiais e equipamentos sensíveis à umidade devem ser afastados para uma distância segura;

d) os equipamentos necessários incluem bombas de água com capacidade de produzir as pressões desejadas, fontes de ar comprimido, mangueiras de alta pressão com bicos apropriados e dispositivos de proteção e coleta de água e detritos; eventuais plataformas de trabalho podem ser necessárias;

e) o processo de remoção de concreto com jateamento de água, a hidro-demolição, é considerado satisfatório do ponto de vista estrutural não provoca fissuras ou trincas no concreto, remove o concreto de forma seletiva e limpa e não danifica as armaduras; além disso, é um processo rápido e de custo razoável.

## **8 . REMOÇÃO DE CONCRETO**

### **8.1 Definições**

a) Remoções superficiais externas: intervenções de limpeza

São consideradas remoções superficiais externas apenas as que removem detritos, manchas, asperezas e eflorescências da superfície de um elemento estrutural, e não propriamente o concreto.

b) Remoções superficiais internas: intervenções de corte

Remoções superficiais internas são as que removem uma espessura de concreto que não ultrapassa 6 cm e que, geralmente, antecedem operações de recuperação ou de reforço de um elemento estrutural.

Como se trata de uma remoção bem mais profunda de concreto que as propiciadas por apicoamentos e jateamentos, estas remoções são identificadas como cortes de concreto.

### c) Remoções profundas: intervenções de demolição

Remoções profundas são as que envolvem demolições completas ou de parte de elementos estruturais degradados, inservíveis ou que não podem ser aproveitados em projetos de melhoramentos ou de reforços.

## **8.2 Condições gerais**

Em qualquer tipo de intervenção de remoção, seja ela de limpeza, de corte ou de demolição, deve haver uma inspeção preliminar e um projeto ou uma seqüência completa de atividades necessárias a desenvolver.

Em virtude da responsabilidade das atividades de remoção, algumas delas podendo ameaçar a própria estabilidade da estrutura e outras podendo apressar sua degradação, o pessoal mobilizado deve ser especializado, sob a supervisão de um engenheiro e os equipamentos devem ser os adequados, revisados e aferidos; escoramentos parciais ou total podem ser necessários.

## **8.3 Condições específicas**

### **8.3.1 Remoções superficiais externas: intervenções de limpeza**

As remoções superficiais externas são tratadas em outros dois capítulos desta Monografia: Preparação de Superfícies de Concreto e Patologias do Concreto.

Na remoção de manchas e eflorescências, quando forem utilizadas soluções ácidas ou alcalinas, ainda que muito diluídas, devem ser observadas, obrigatoriamente, duas operações: a saturação prévia do elemento a ser tratado e a lavagem cuidadosa da superfície após o tratamento; ambas as operações devem empregar água pura.

### **8.3.2 Remoções superficiais internas: intervenções de corte**

Os cortes de concreto não são, obrigatoriamente, efetuados com ferramentas cortantes e nem sempre cortam o concreto de forma regular; dois tipos de cortes serão considerados:

#### **8.3.2.1 Corte de concreto degradado**

O corte do concreto degradado, que se aprofunda até, no mínimo, 2cm além da armadura oxidada, pode ser efetuado manualmente, para tratamento de pequenas áreas, ou mecanicamente, para grandes áreas; manualmente, utilizam-se ponteiros e marretas leves e, mecanicamente, martelletes pneumáticos ou elétricos de pequeno porte.

O estado rugoso final, após a remoção do concreto degradado, é

desejável, visto que facilita a aderência do novo concreto, que somente poderá ser lançado após cuidadosa limpeza das superfícies tratadas com jateamentos de ar comprimido e água.

Os detritos e entulhos resultantes da remoção do concreto degradado devem ser coletados no próprio local da remoção, para posterior encaminhamento a local pré-determinado.

Dependendo da adequação do equipamento adotado, o corte e a remoção do concreto degradado podem provocar microfissuras no concreto sadio mais externo.

O comprimento de remoção do concreto degradado deve ser controlado, para não deixar inoperante parte das armaduras.

### **8.3.2.2 Corte de concreto: juntas de contração e limitação de remoções**

#### a) Juntas de contração

As juntas de contração, que devem ser executadas tanto longitudinalmente como transversalmente, servem para minimização das trincas e fissuras provocadas pelas variações volumétricas do concreto de uma sobrelaje e pela combinação dos efeitos de empenamento restringido das placas e das solicitações do tráfego.

A junta de contração é formada pelo enfraquecimento de uma seção da placa, através de um sulco na superfície da mesma, que deve ser executado no concreto fresco ou ser serrado de 8 a 12 horas após a cura; o sulco, que deve ser executado por serras circulares com segmentos adiamantados e preenchido com material selante, tem 4 mm de largura e uma profundidade igual a  $\frac{1}{4}$  da espessura da sobrelaje;

#### b) Limitação de remoções

Quando somente uma parte da estrutura existente deve ser removida, o que ocorre nos alargamentos e modificações estruturais, um corte de 25mm de profundidade, efetuado por serras circulares com segmentos adiamantados, limitará o trecho a ser demolido.

## **8.4 Remoções profundas: intervenções de demolição**

### **8.4.1 Demolições parciais**

Nas demolições parciais, o que ocorre quando a estrutura existente será alargada ou terá seu sistema estrutural modificado e somente parte dela será demolida, esta demolição deve ser conduzida de maneira a não danificar a estrutura remanescente, que deve ficar em condições de aproveitamento adequado.

A demolição, previamente delimitada por um corte de 25mm de

profundidade, efetuado por serra circular com segmentos adiamantados, deve preservar as armaduras que serão aproveitadas.

Os equipamentos utilizados nas demolições parciais são os marteletes pneumáticos ou elétricos.

#### **8.4.2 Demolições totais**

Nas demolições totais, vários são os fatores determinantes, entre os quais: vulto da obra, condições ambientais e disponibilidade de equipamentos e de mão de obra especializada.

Em obras de grande vulto, processos artesanais são proibitivos; algumas possibilidades de demolição são indicadas a seguir:

a) utilização de martelos demolidores, pneumáticos ou elétricos, desconectando elementos estruturais pesados, com a subsequente remoção por guindastes;

b) utilização de agentes demolidores expansivos e remoção por guindastes;

c) utilização da implosão, quando as condições ambientais o permitirem.

### **CONCLUSÃO**

As pessoas que tiverem uma boa bagagem de conhecimento sobre a física e a química aplicada aos materiais de construção e que estiverem estreitamente ligadas ao processo da construção, tem condições e resolver a grande maioria dos problemas patológicos.

O diagnóstico da situação é o entendimento dos fenômenos em termos das múltiplas relações de causa e efeito que normalmente caracterizam um problema patológico. O objetivo do diagnóstico é entender os porquês e como a partir de dados conhecidos.

Através do diagnóstico são identificadas as origens do problema, suas causas precisas, os fenômenos intervenientes e seus mecanismos de ocorrência. Entendida a situação, o patologista está capacitado a definir a conduta a ser seguida com relação ao problema. Esta fase de definição deve ser conduzida inicialmente pelo levantamento das alternativas de evolução futura dos fenômenos. Com o prognóstico estabelecido, o profissional se define por uma das alternativas estudadas, sempre baseado na relação custo/benefício de cada uma delas.

A alternativa definida pode requerer um tipo de intervenção ou

não. Normalmente a decisão por intervir significa a aceitação de um desempenho insatisfatório em vista do custo de uma eventual terapia.

A intervenção ou a terapia requerida normalmente tem tecnologia dominada, podendo, portanto ser aplicada no caso. Existem situações, no entanto em que não se dispõe da tecnologia necessária, restando a necessidade de pesquisá-la e desenvolvê-la.

O processo se encerra com a execução dos serviços prescritos, quando necessário e com o registro do caso. Este registro é feito com a finalidade de manter formalizada a história da obra, para possíveis novas intervenções e principalmente para a divulgação do conhecimento adquirido.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRAMS, M. S. *Compressive Strength of concrete at temperature to 16000 F*. American Concrete Institute SP 25 Temperature and Concrete. Detroit, Michigan, 1971

ALMEIDA, I. R. *Influência da resistência à abrasão do agregado na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho*. In: Congresso Brasileiro do Concreto – REIBRAC, 42, 2000, Fortaleza. Anais. São Paulo: IBRACON, 2000 (CD Rom)

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *Concrete repair manual*. 2nd. ed. Farmington Hills, MI, 2003.

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. *Construção de concreto*. São Paulo: PINI, 1984.

ANDRADE, J.J.O. et al. *Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química*. In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 45, 2003, Vitória - ES. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003 (CD Rom)

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. *Vida Útil das Estruturas de Concreto*. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. 2. v, cap. 31, p. 923- 951. ISBN 85- 98576- 05- 0

ANDRADE, Maria del Carmem. *Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras*. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992. 104 p. ISBN 85- 7266- 011- 9

ANDRADE, T. Tópicos sobre Durabilidade do Concreto In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, cap. 25, p. 752- 792. ISBN 85- 98576- 04- 2

ANDRADE, W. P. *Abrasão do concreto de superfícies hidráulicas*. In: Congresso Brasileiro do Concreto. REIBRAC, 34, 1992, Curitiba - PR. Anais. São Paulo: IBRACON, 1992 (CD Rom)

ARANHA, P. M. F. *Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado da região da Amazônia*. Porto Alegre: UFRGS, 1994. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994, 144p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos*. Rio de Janeiro, 2003. 170 p.

ASTM C114- 97 – Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement. 1997.

ASTM C1218/C1218M- 97 - Standard Test Methods for Water- Soluble Chloride in Mortar and Concrete. 1997.

BAUER, R. J. F. et al *Influência dos endurecedores de superfícies sobre a resistência ao desgaste por abrasão* In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 44, 2002, Belo Horizonte - MG. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002 (CD Rom)

CÁNOVAS, Manuel Fernández. *Patologia e terapia do concreto armado*. Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

CARNEIRO, A. Inspeção nas pontes da cidade do Recife. Relatório Técnico – Prefeitura da cidade do Recife. Recife- PE, 2004. 228p

CODY, R. D. et al *Experimental deterioration of highway concrete by chloride deicing salts*. Environment & Engineering Geoscience. V. 2, n. 4, Winter , 1996. p. 575- 588

COSTA, C. N. et al *O fenômeno do lascamento (spalling) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica*. In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 44, 2002, Belo Horizonte - MG. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002 (CD Rom)

COSTA, C. C. & SILVA, V. P. *Considerações sobre a segurança das estruturas de concreto em situações de incêndio* In: NUTAU 2004 – Seminário Internacional – Demandas Sociais, Inovações tecnológicas e a Cidade. Anais. NUTAU/FAU/USP. São Paulo, 2004 (Cd Rom).

EMMONS, Peter H. *Concrete Repair and Maintenance*. Kingston: R. S. Means Company, 1993. 295 p. ISBN 0- 87629- 286- 4

FERREIRA, Rui Miguel. *Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão*. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. Efeitos da carbonatação e de cloretos no

concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 27, p. 828- 855. ISBN 85-98576- 04- 2

GRAÇA, Newton G.; BITTENCOURT, Rubens M.; SANTOS, Sérgio B. dos. Efeitos da Temperatura sobre o Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, cap. 23, p. 687- 711. ISBN 85- 98576- 04- 2

HAMMOND, E. & ROBSON, T.D. *Comparison of electrical properties of various cements and concretes*, The Engineer, 199, pp. 78- 90, Jan. 21, 1955

HASPARYK, Nicole Pagan; LOPES, Anne N. M.; ANDRADE, Moacir A. S.; SANTOS, Sérgio B. dos. Deformações por Retração e Fluência. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1 cap. 22, p. 655- 685. ISBN 85- 98576- 04- 2

HELENE, Paulo R. L. *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*. 1993. 231 f. Tese (Livre- Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. *LNEC E 393:1993: Betões. Determinação da absorção de água por capilaridade*. Lisboa, 1993. 2 p.

LIMA, Maryangela Geimba. Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, cap. 24, p. 713- 751. ISBN 85-98576- 04- 2

LIMA, R. C. A. et al *O concreto de alto desempenho em temperaturas elevadas* In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo - SP. Anais. São Paulo, 2003 (CD Rom)

LIU, T. C. & MCDONALD, J. E. *Abrasion-erosion resistance of fiber-reinforced concrete*. *Cement, Concrete and Aggregates*. v. 3, n. 2, p. 93-100. 1981

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. Tradução de Paulo Helene et al. 1. ed. São Paulo, PINI, 1994. 580p. ISBN 85- 7266- 040- 2

METHA, P. K. *Point of view durability – critical issues for the future*. *Concrete International*. American Concrete Institute. Detroit. v.19, n.7, p. 27- 33, 1997

NEPOMUCENO, Antônio Alberto. Mecanismos de Transporte de Fluidos no Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. 2. v, cap. 26, p. 793- 827. ISBN 85-98576- 05- 0

NEPOMUCENO, Adam Matthew. *Propriedades do concreto*. Tradução

Salvador E. Giammusso. 1. ed. São Paulo: Pini, 1982. 738 p.

PEREIRA, Alexandre da Costa. *Estudio de métodos probabilísticos para la predicción de la vida útil de estructuras de hormigón: influencia del factor variabilidad espacial en el caso de plataformas offshore en Brasil*. 2003. 527 f.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2003.

Piancastelli, E.M. - Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado - Ed. Depto. Estruturas da EEUFMG - 1997 - 160p. - Apostila para Curso de Extensão

Publicação Sika S.A., Sem Título, São Paulo, 98p.

RAINA, V. K. *Concrete bridges: inspection, repair, strengthening, testing and load capacity evaluation*. New York: McGraw-Hill, 1996.

SARJA, A. & VERSIKARI, E. *Durability design of concrete structures*. Report of RILEM Technical Committee 130 – CLS, RILEM Report !4. London ; E & FN SPON., 1994

SILVA, Moema Ribas; PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. Biodeterioração do concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 28, p. 857- 878. ISBN 85-98576- 04- 2

SILVA, Paulo Fernando A. *Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana*. 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 152 p. ISBN 85-7266-043-7

SILVA, Turíbio José da. *Predicción de la vida útil de forjados unidireccionales de hormigón mediante modelos matemáticos de deterioro*. 1998. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola técnica superior d'enginyers de Camins, Universidade Politècnica da Catalunya, Barcelona, 1998.

SITTER, W. R. *Cost for service optimization the "Law of Fives"*. Comite Euro International du Beton – CEB. Copenhagen, Denmark, n. 152, p.131 - 134, 1983

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: PINI, 2001.

SOUZA, A. A. A & MORENO Jr., A. L. *Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto* In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo - SP. Anais. São Paulo, 2003 (CD Rom)

TEIXEIRA, P. W. G. N. & GONÇALVES, F. D. R. *Avaliação geral do estado*

*de conservação de pontes existentes nas rodovias do Piauí* In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo - SP. Anais. São Paulo, 2003 (CD Rom)

VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JÚNIOR, Renato. *A escola brasileira do concreto armado*. 1. ed. São Paulo: Axis Mundi, 2005. 207 p. ISBN 85- 85554- 34- 7

VELASCO, R. V. et al *Comportamento tensão- deformação do concreto de alto desempenho submetido a altas temperaturas* In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo - SP. Anais. São Paulo, 2003 (CD Rom)