

Boletim técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830

BT/PCC/121

**Fatores Determinantes da Iniciação
e Propagação da Corrosão da
Armadura do Concreto**

Enio J. Pazini Figueiredo

Paulo Helene

Carmen Andrade

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Boletim Técnico - Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. Francisco Romeu Landi
Vice-Diretor: Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Vahan Agopyan
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko
Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.
Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco
Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves
Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene

Coordenador Técnico

Profa Mércia Maria S. Bottura de Barros

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/
Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas
por docentes e pesquisadores desta Universidade.

Figueiredo, Enio J Pazini

Fatores determinantes da iniciação e propagação da corrosão da armadura do concreto / E.J.P. Figueiredo, P.R. do L. Helene, C. Andrade. -- São Paulo : EPUSP, 1993.

22p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/121)

1. Concreto - Corrosão - Proteção I. Helene, Paulo Roberto do Lago II. Andrade, Carmen III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil IV. Título V. Série

CDU 691.32:620.197

FATORES DETERMINANTES DA INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO DA CORROSÃO DA ARMADURA DO CONCRETO (*)

**Enio J. Pazini Figueiredo,
Paulo Helene,
Carmen Andrade**

Sumário

Resumo

1. Introdução

2. Iniciação da corrosão pela carbonatação

2.1 Parâmetros determinantes da velocidade e profundidade de carbonatação

2.1.1. Concentração de CO₂,

2.1.2. Umidade relativa do ambiente

2.1.3. Tipo e quantidade de cimento

2.1.4. Relação água/cimento

2.1.5. Condições de cura

2.1.6. Fissuras

2.2. Cálculo da velocidade de penetração do CO₂, no concreto

2.3. Medida da profundidade de carbonatação

3. iniciação da corrosão pelos íons cloreto

3.1 Parâmetros determinantes da velocidade e profundidade de penetração dos íons cloreto

3.1.1. Composição, tipo e quantidade de cimento

3.1.2. Relação água/cimento, adensamento e cura

3.1.3. Grau de saturação dos poros e concentração de íons cloreto

3.1.4. Efeito específico do cátion que acompanha o íon cloreto

3.1.5. Fissuras

3.1.6. Carbonatação

3.2. Cálculo do coeficiente de difusão dos íons cloreto

3.3 Medida da profundidade de alcance dos íons cloreto no interior do concreto

4. Fatores que controlam a propagação da corrosão

4.1 Efeito da umidade, resistividade e acesso do oxigênio

4.2 Efeito da temperatura

4.3 Formação de macrocélula de corrosão

Agradecimento

Bibliografia

(*) Este texto é parte do material básico que dará origem à tese de doutoramento intitulada "Contribuição ao Estudo de Reparos de Estruturas de Concreto Armado Corroídas - Avaliação do Comportamento das Imprimações Através de Técnicas Eletroquímicas (Rp e Impedância)".

FATORES DETERMINANTES DA INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO DA CORROSÃO DA ARMADURA DO CONCRETO

RESUMO

Devido a natureza alcalina do concreto, a armadura quando entra em contato com esse material se recobre de uma camada de óxidos passivante que a mantém constantemente protegida. A carbonatação do concreto e o ingresso dos íons cloreto são os principais agentes iniciadores da corrosão. Esse trabalho apresenta os fatores relacionados com o meio ambiente e com as características do concreto determinantes da velocidade e profundidade com que a frente de carbonatação e a frente de alcance dos íons cloreto avançam.

Por outro lado, existe uma série de fatores que por si só não desencadeiam o processo de corrosão, mas que após rompido o estado passivo da armadura são responsáveis pela propagação da corrosão. Este trabalho também discute a forma como estes fatores podem controlar a cinética da corrosão.

1 - Introdução

A armadura dentro do concreto normalmente encontra-se protegida da corrosão devido a alta alcalinidade desse material. Apesar de estar sendo alvo de estudos, a teoria de maior aceitação atualmente é a que diz que essa alta alcalinidade (pH entre 12,7 e 13,8, segundo LONGUET et al., 1973) favorece a formação de uma camada de óxidos submicroscópica passivante, compacta e aderente de γ - Fe_2O_3 sobre a superfície da armadura (GOUDA, 1966). Esta camada protege indefinidamente a armadura de qualquer sinal de corrosão enquanto o concreto preserve sua boa qualidade, não fissure e não modifique suas características físicas ou mecânicas devido a ação de agentes agressivos externos (ANDRADE, 1984). Para o caso das armaduras do concreto, a carbonatação e os íons cloreto são os principais agentes iniciadores da corrosão.

A presença de suficiente quantidade de íons cloreto no concreto pode estimular a corrosão da armadura, mesmo quando permanece a condição de elevada alcalinidade. A carbonatação do concreto, por outro lado, leva a uma diminuição do pH, trasladando a armadura da região de passivação do diagrama de POURBAIX (1976), para outra de corrosão (Figura 1.1).

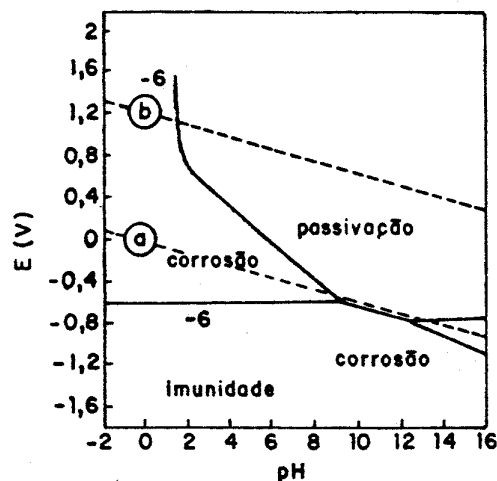


Figura 1.1 - Diagrama simplificado de Pourbaix para o sistema água-ferro a 25°C (POURBAIX, 1976).

O processo de corrosão da armadura do concreto está fundamentado nos princípios da corrosão eletroquímica, onde a armadura funciona como um eletrodo misto, na qual ocorrem reações anódicas e catódicas, e a solução contida nos poros do concreto é o eletrólito. A Figura 1.2, CEB/BI 152 (1984), mostra um esquema simplificado da célula de corrosão formada.

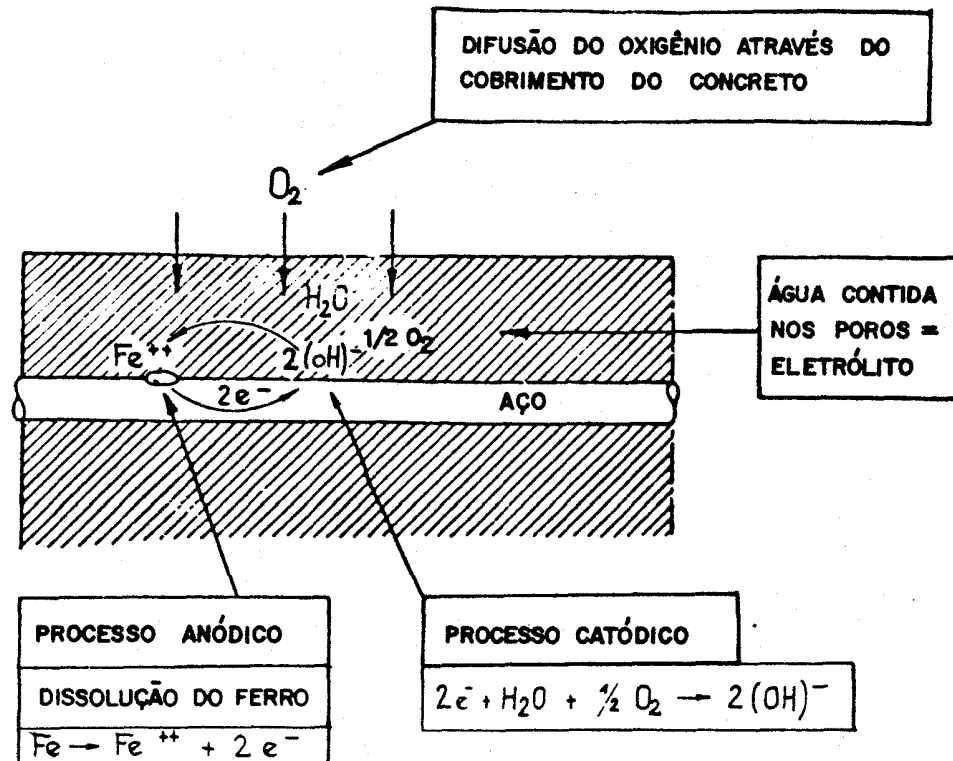
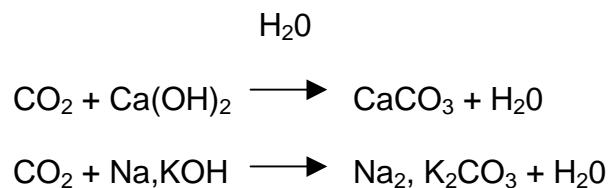


Figura 1.2 - Célula simplificada de corrosão (CEB/BI, 152, 1984).

2 - Iniciação da corrosão pela carbonatação

A carbonatação é o processo de neutralização da fase líquida intersticial saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados do concreto, contidos nesta fase líquida e na fase sólida do concreto. Esse processo recebe o nome de carbonatação devido à maior incidência do CO₂ nas reações.



Como resultado desta reação obtém-se uma diminuição do pH a valores inferiores a 9 (RILEM, 1988).

A Figura 2.1 mostra uma representação esquemática do processo de carbonatação, segundo CEB/BI 152 (1984).

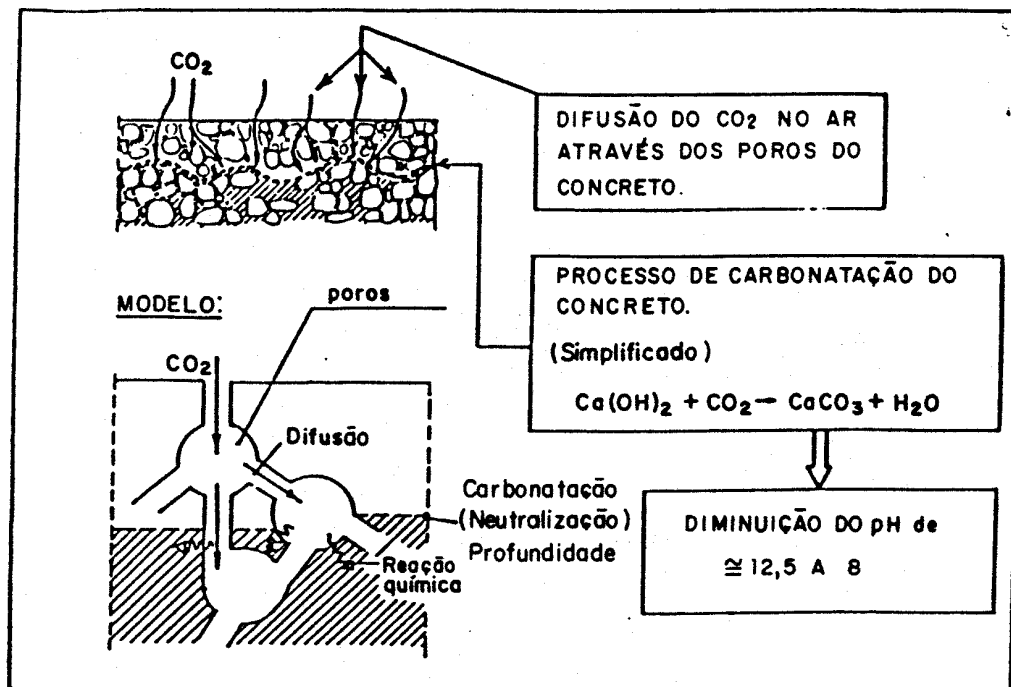


Figura 2.1 - Avanço do processo de carbonatação, segundo CEB/BI 152 (1984).

2.1 - Parâmetros determinantes da velocidade e profundidade de carbonatação

A velocidade e a profundidade de carbonatação dependem de fatores relacionados com o meio ambiente e com as características finais do concreto endurecido.

2.1.1 - Concentração de CO₂

A velocidade de carbonatação aumenta quando o ambiente possui uma maior concentração de CO₂ principalmente para concretos de elevadas relações água/cimento. Segundo NEVILLE (1982), a concentração de CO₂ pode variar de meio para meio da seguinte forma:

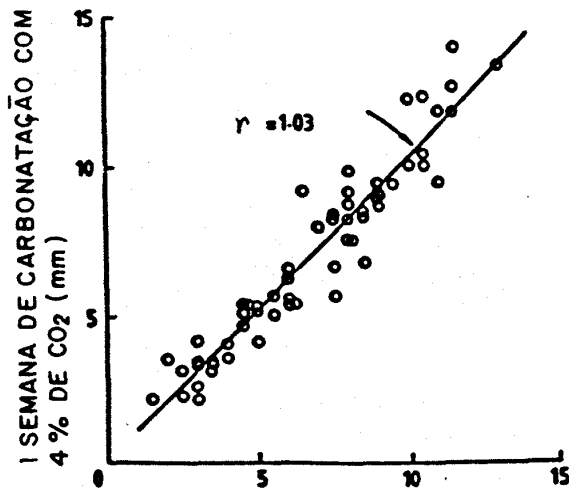
Meio rural : 0,03 % em volume;

Laboratório : 0,10 % em volume;

Grandes cidades : 0,30 % em volume, podendo chegar a 1%

Em ambientes específicos como em túneis, garagens, indústrias etc. A concentração de CO₂ pode ser superior aos valores anteriormente apresentados.

Nos ensaios de laboratório, efetuados em curto intervalo de tempo, normalmente se realiza um enriquecimento em CO₂ da atmosfera que vai estar em contato com os corpos-de-prova. A correlação entre os resultados de ensaios realizados em curtos períodos de tempo com ensaios naturais ou de longos intervalos de tempo vem sendo alvo de pesquisas. HO; LEWIS (1987) encontraram uma aproximação entre os resultados obtidos com 5 anos de estocagem em laboratório e os resultados obtidos após uma semana em uma atmosfera enriquecida com 4% de dióxido de carbono (Figura 2.2).



1 ANO DE CARBONATAÇÃO NATURAL EM LABORATÓRIO (mm)

Figura 2.2 - Comparação entre os resultados encontrados em ensaios de curta duração e de longa duração para diferentes tipos de concreto (HO; LEWIS, 1987).

2.1.2 - Umidade relativa do ambiente

A umidade relativa do ambiente exerce influência sobre a quantidade de água contida nos poros do concreto e esta, por sua vez, condiciona a velocidade de difusão do CO_2 através dos poros do concreto.

Os poros do concreto podem conter diferentes quantidades de água em função da umidade relativa do ar (Figura 2.3). A difusão de um gás, neste caso o CO_2 , é bastante diferente quando o meio difusor é a água ou o ar.

Quando os poros estão secos, o CO_2 difunde até às regiões mais internas sem dificuldades; porém, a reação de carbonatação não ocorre devido à falta de água. Quando os poros estão cheios de água, a frente de carbonatação é freitada devido à baixa velocidade da difusão do CO_2 na água. Por outro lado, se os poros estão apenas parcialmente 'preenchidos com água' a frente de carbonatação avança devido à coexistência dos dois fatores: água e possibilidade de difusão de CO_2 (VÉNUAT; ALEXANDRE, 1969).

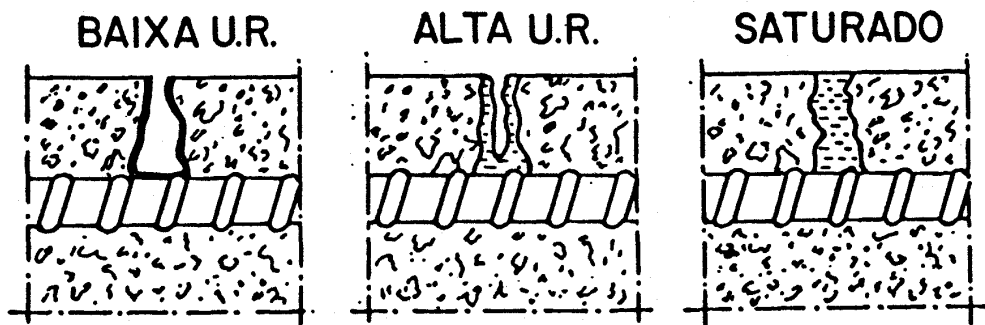


Figura 2.3 - Conteúdo de água no interior dos poros do concreto em função da umidade ambiental (IccET, 1988).

Segundo CEB/BI 148 (1982), as maiores taxas de carbonatação ocorrem quando a umidade relativa situa-se entre 50 a 60%. O BRE DIGEST 263 (1982) indica o intervalo de 50 a 75% de umidade relativa como responsável pelas maiores velocidades de carbonatação. A Figura 2.2 apresenta uma relação entre o grau de carbonatação e a umidade relativa.

Através da Figura 2.4 observa-se que os maiores graus de carbonatação ocorrem quando a umidade relativa situa-se entre 50 a 65%. Por outro lado, com umidades inferiores a 20% ou superiores a 95% a carbonatação ocorre lentamente ou simplesmente não ocorre.

Na prática a relação da umidade relativa com a profundidade de carbonatação em função do tempo é bastante complexa devido aos randômicos ciclos de umedecimento e secagem a que as estruturas de concreto armado podem estar expostas.

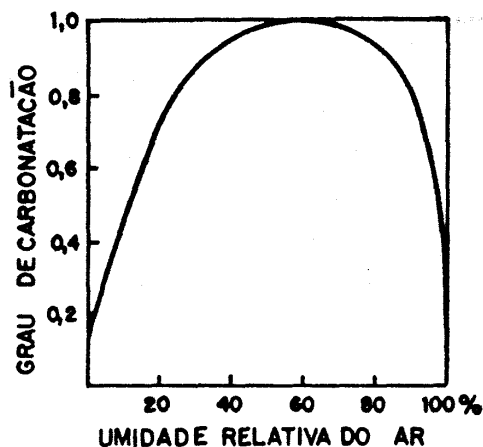


Figura 2.4 - Grau de carbonatação em função da umidade relativa do ambiente, supondo que a umidade do concreto está em equilíbrio com a umidade ambiental (Verbeck, 1950, citado por Vénuat e Alexandre, 1969).

2.1.3 - Tipo e quantidade de cimento

A quantidade disponível de compostos alcalinos para reagir com o CO_2 depende do tipo de cimento empregado na produção do concreto.

A bibliografia é praticamente unânime em concluir que os cimentos com adições apresentam um desempenho inferior aos cimentos Portland puros, em igualdade de condições de ensaio, no que se refere a resistência a carbonatação (NEVILLE, 1982; PAILLÉRE et al., 1986; HO; LEWIS, 1987; ANDRES, 1989). Para o CEB/BI 152 (1984), no entanto, essa diferença tem origem nos diferentes cuidados com a cura que cada tipo de cimento exige. As adições pozolânicas, por exemplo, levam um certo tempo para que comecem a reagir pozolanicamente.

A bibliografia mostra que a profundidade de carbonatação diminui com o aumento da quantidade de cimento por metro cúbico de concreto. No entanto em alguns ensaios a consistência do concreto é mantida constante enquanto a quantidade de cimento é aumentada. Como resultado tem-se que o corpo-de-prova com maior quantidade de cimento também é o de menor relação água/cimento. Desta forma, a avaliação da influência da quantidade de cimento sobre a carbonatação fica prejudicada. Isto ocorreu, por exemplo,

nos ensaios realizados por VÉNUAT; ALEXANDRE (1969). HO; LEWIS (1987) não especificam o procedimento de dosagem para aumentar a quantidade de cimento.

A Figura 2.5 mostra que a adição de cinza volante ao concreto de cimento Portland fez com que aumentasse a carbonatação, o mesmo ocorrendo quando a quantidade de cimento, ou cimento mais cinza volante, por metro cúbico, foi aumentada (HO; LEWIS, 1987).

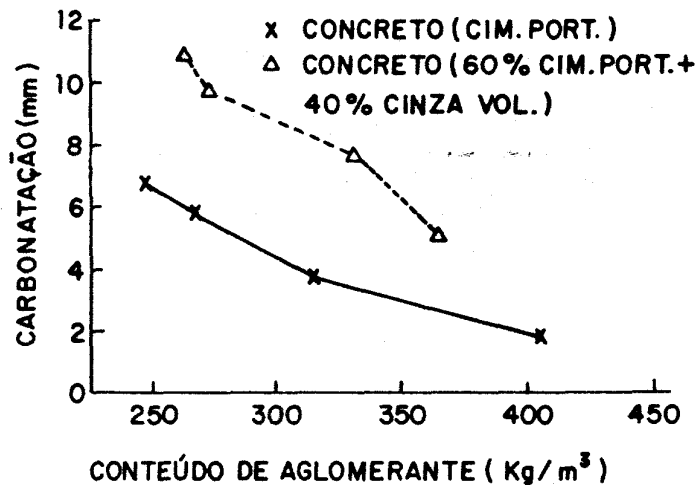


Figura 2.5 - Influência do tipo de cimento e sua quantidade por m³ sobre a profundidade de carbonatação (HO; LEWIS, 1987).

2.1.4 - Relação água/cimento

A relação água/cimento está intimamente relacionada com a quantidade e tamanho dos poros do concreto endurecido e com as propriedades mecânicas finais do material (POWERS, et al. 1974; POPOVICS, 1985). Quanto maior a relação água/cimento, maior será a porosidade e permeabilidade de um concreto. Quanto maior a porosidade, mais facilmente o CO₂ pode difundir através do concreto. A Figura 2.6 mostra a variação da profundidade de carbonatação em função da variação da relação água/cimento para um concreto de 350 Kg/cm₂ de cimento e igual composição (VÉNUAT, 1977). Devido a reconhecida relação inversa entre a relação a/c e a resistência à compressão do concreto difundida nos ábacos de Abrams, é lógico supor que a carbonatação diminui com o aumento da resistência do concreto (Figura 2.7).

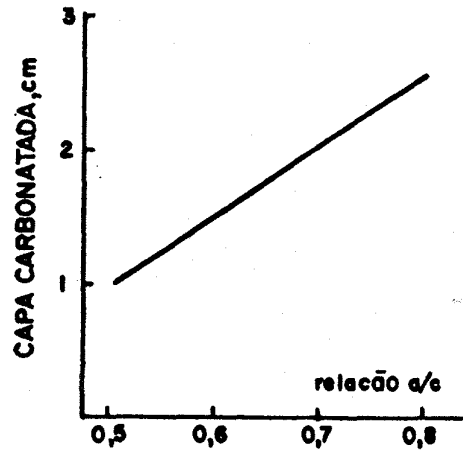


Figura 2.6 - Influência da relação água/cimento sobre a profundidade de carbonatação, após 3 anos de ensaio (VÉNUAT, 1977).

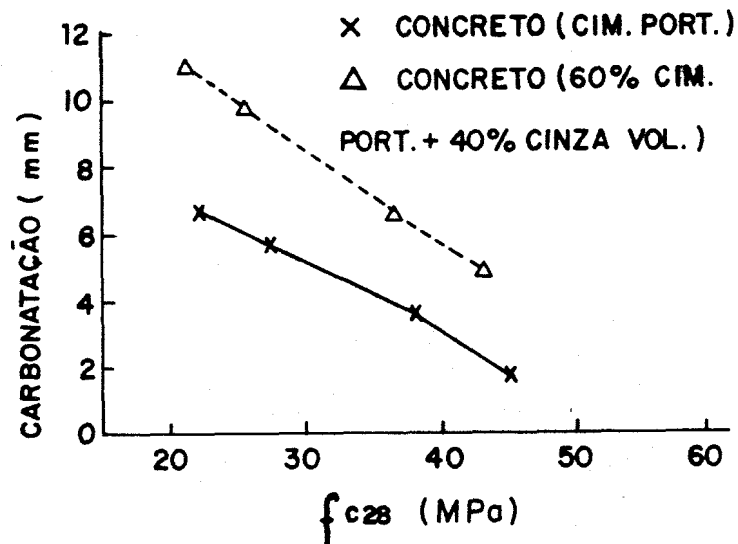


Figura 2.7 - Influência da resistência à compressão a 28 dias sobre a carbonatação (HO; LEWIS, 1987).

2.1.5 - Condições de cura

AUSKERN; HORN, 1976, estudando o efeito de várias condições de cura (imersão, vapor etc.) sobre a porosidade capilar de pastas de cimento endurecidos encontrou diferenças superiores a 2 ordens de magnitude entre as médias dos diâmetros dos poros capilares de pastas curadas de distintas formas.

Os estudos relacionando diretamente as condições de cura com a resistência a carbonatação normalmente são realizados através da utilização de períodos distintos de cura (HO; LEWIS, 1987) ou através da utilização de distintas formas de cura, como por exemplo fazendo uso ou não de membrana de cura (ANDRES, 1989).

Quanto maior o tempo de cura, maior será o grau de hidratação do cimento, menor será a porosidade e permeabilidade e, por conseqüência, menor será a carbonatação.

2.1.6 - Fissuras

Através das fissuras o CO₂ pode penetrar mais rapidamente no interior do concreto. Os itens anteriores relativos a concretos não-fissurados também são válidos para a região fissurada. A Figura 2.8 apresenta esquematicamente o processo de penetração, difusão e reação de carbonatação do CO₂ através de uma fissura.

Dependendo da dimensão da abertura da fissura e da quantidade de íons OH⁻ e água no interior da fissura, o processo de carbonatação pode ser responsável pelo fenômeno de autocatrização da fissura.

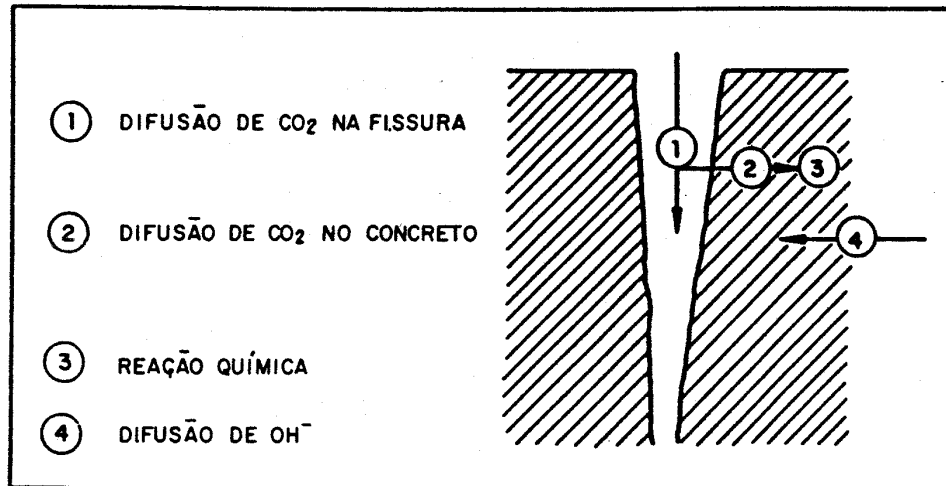


Figura 2.8 - Representação esquemática da carbonatação no interior de uma fissura (CEB/BI 152, 1984).

2.2 - Cálculo da velocidade de penetração do CO₂ no concreto

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

A equação mais comumente utilizada para caracterizar a velocidade do processo de carbonatação é:

$$E_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{t}$$

onde

E_{CO_2} é a profundidade de penetração do CO₂ em mm;

K_{CO_2} é uma constante que depende das características do concreto;

t é o tempo em anos.

Segundo SMOLCZYK (1968), essa equação oferece pouca divergência entre os dados experimentais e as estimações teóricas no intervalo entre 5 a 30 anos. No entanto, essa relação pode não aportar bons resultados em situações onde fatores mutáveis com o tempo assumem maior importância como, por exemplo, a variação da porosidade em relação ao grau de hidratação e ao conteúdo de umidade do concreto.

Apesar das inúmeras variações propostas, essa relação continua sendo a mais utilizada para prever a profundidade de penetração da carbonatação (TUUTTI, 1982).

2.3 - Medida da profundidade de carbonatação

A comprovação ou não de áreas carbonatadas pode ser feita através de difração de raios-X, análise térmica diferencial (ensaios qualitativos) e termogravimetria (análise quantitativa), onde se pode mostrar a presença de calcita ou aragonita ou sua decomposição pelo calor. Outra forma é através de observação microscópica, onde pode-se revelar a existência ou não de cristais de CaCO_3 nas suas variedades. Apesar disso, a comprovação mais corrente utilizada pelos engenheiros é através de indicadores de pH a base de fenolftaleína ou timolftaleína (BUCHER, 1989).

O CPC-18/RILEM (1988) recomenda a utilização de uma solução de 1% de fenolftaleína em álcool etílico de 70 %. Essa solução torna-se vermelha quando o concreto não está carbonatado. O mesmo documento recomenda, durante o registro dos valores de profundidade de carbonatação, que os valores mínimos e máximos sejam levados em consideração (Figura 2.9), embora o valor máximo seja o que mais se relacione com a corrosão da armadura.

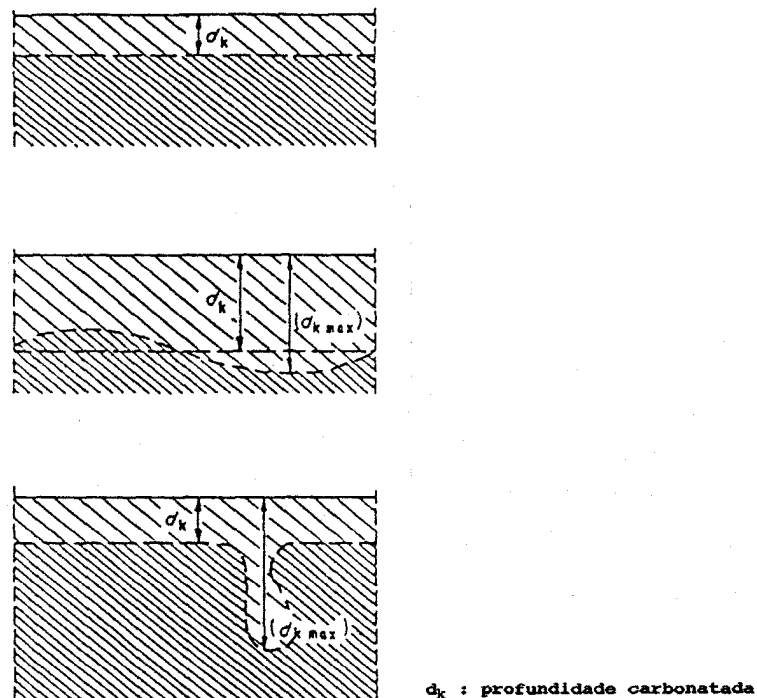


Figura 2.9 - Registro da profundidade carbonatada (CPC-18/RILEM, 1988).

3 - Iniciação da corrosão pelos íons cloreto

A literatura sobre durabilidade das estruturas de concreto freqüentemente aponta a corrosão da armadura devido a ação dos íons cloreto como um dos mais sérios problemas que sofre esse material (MANGAT; MOLLOY, 1992; DIAB et al., 1988; EL-SAYED et al., 1987; TREADAWAY et al., 1989; FUGINARA; MINOSAKU, 1990; BOGART et al., 1990).

os íons cloreto chegam até o concreto através de distintas formas:

- uso de aceleradores de pega que contêm CaCl_2 ;
- na forma de impureza indesejada dos agregados (areia e brita) e da água de amassamento;

- atmosfera marinha (maresia);
- água do mar (estruturas "off shore");
- uso de sais de degelo;
- processos industriais (etapa de branqueamento de indústrias de celulose e papel, por exemplo).

Os íons cloreto podem ser encontrados no interior do concreto em uma das seguintes formas:

- quimicamente combinados (cloroaluminatos);
- fisicamente adsorvidos na superfície dos poros de hidratação;
- livres na solução dos poros do concreto.,

Uma certa quantidade de íons cloreto pode ser tolerada sem risco de corrosão, uma vez que, após reagirem com os aluminatos, proveniente da hidratação do cimento, esses íons não estarão livres para atacar o filme passivante (HANSSON et al., 1985). No entanto, existe um valor limite de concentração no qual os íons cloreto podem romper a camada de óxidos passivante e estimular a corrosão da armadura. Esse limite não está associado a um valor fixo, embora algumas normas ou recomendações de alguns países apresentam valores orientativos. O BRE-(1980) considera que um baixo risco de corrosão está associado a uma quantidade de cloretos por peso de cimento inferior a 0,4 %, um risco intermediário a quantidades de cloreto entre 0,4 % e 1,0 % e um alto risco a quantidades superiores a 1%. O ACI-COMMITTEE 222 (1985) permite um conteúdo máximo de cloretos, em relação ao peso do cimento, de 0,15 % e a BSI-BS 8110 (1985) estabelece 0,4 % como o limite máximo para as estruturas correntes de concreto armado. Alguns pesquisadores estão trabalhando no sentido de encontrar uma relação limite de $[Cl^-]/[OH^-]$ onde o processo de corrosão inicia. HOUSMANN (1967), trabalhando em solução alcalina sugeriu o valor de 0,6 para esta relação. ANDRADE; GOÑI (1990), também trabalhando em soluções alcalinas obtiveram valores críticos de $[Cl^-]/[OH^-]$ similares de 0,3 e 0,8, em função do método de cálculo empregado para determinar os íons $[OH^-]$. LAMBERT et al. (1991), trabalhando com corpos-de-prova de concreto e uma fonte externa de cloretos encontraram que a partir de uma relação entre $[Cl^-]/[OH^-]$ igual a 3 ocorria a despassivação da armadura. MANGAT; MOLLOY (1992), trabalhando também em corpos-de-prova de concreto, encontrou velocidades de corrosão insignificantes com relação $[Cl^-]/[OH^-]$ igual a 11.

O mecanismo de penetração dos íons cloreto através do concreto, para que uma certa quantidade chegue até a armadura, na forma de cloretos livres, e consiga desencadear o processo de corrosão depende de uma série de fatores relacionados, por exemplo, com: o tipo de cátion associado aos cloretos, tipo de acesso ao concreto (antes ou depois de endurecido), presença de outro ânion como o sulfato, tipo de cimento empregado na produção do concreto, relação água/cimento, estado de carbonatação do concreto, condições de produção e cura do concreto, umidade ambiental (condições de saturação dos poros) e quantidade por 23 de cimento.

A Figura 2.10, CEB/BI 152 (1984), mostra a influência de alguns parâmetros como a umidade relativa, qualidade do concreto (cura e relação água/cimento), saturação dos poros, e carbonatação, no estabelecimento de um conteúdo crítico de íons cloreto capaz de despassivar as armaduras do concreto.

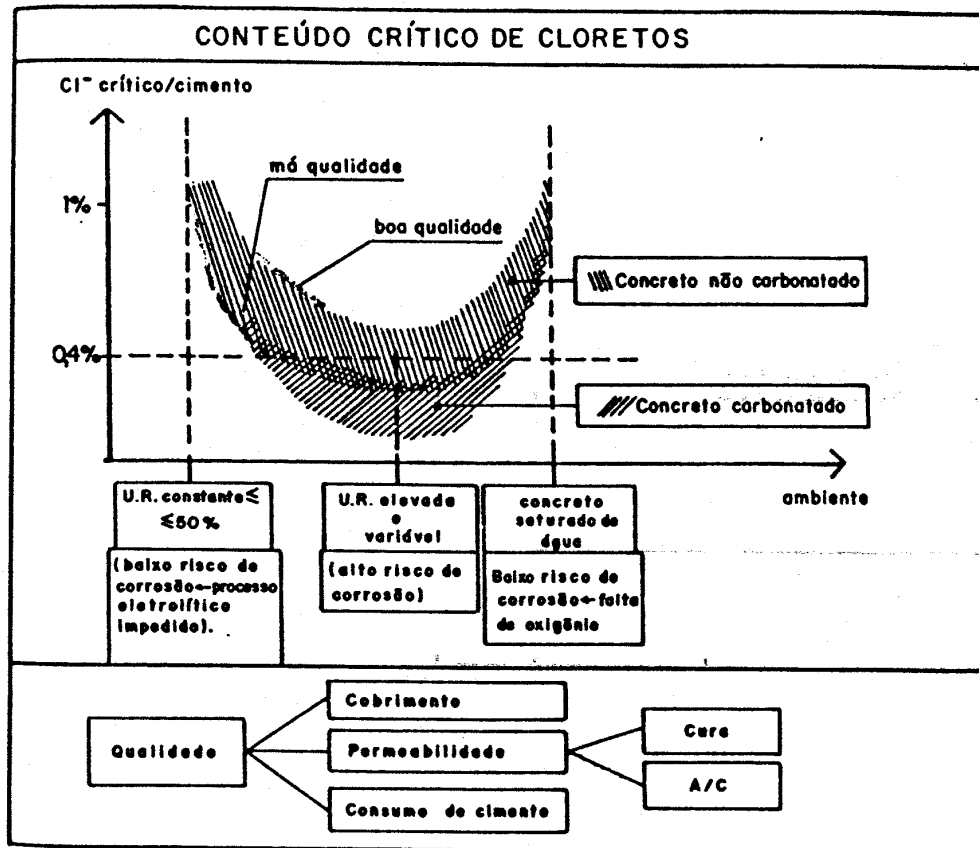


Figura 2.10 - Esquema da influência de parâmetros relacionados com a qualidade do concreto e umidade ambiental sobre o conteúdo crítico de cloretos (CEB/BI 152, 1984).

3.1 - Parâmetros determinantes da velocidade e profundidade de penetração dos íons cloreto

Basicamente os parâmetros que influenciam a penetração dos íons cloreto no concreto são os mesmos envolvidos na penetração do CO_2 . Entretanto, estes parâmetros nem sempre influenciam da mesma forma.

3.1.1 - Composição, tipo e quantidade de cimento

A quantidade de C_3A do cimento determina a capacidade de combinação com os íons cloreto (BAKKER, 1988). Cimentos com baixas quantidades de aluminato tricálcico possuem pouca capacidade de imobilizar os íons cloreto, através da formação de um sal complexo insolúvel, cloro-aluminato de cálcio hidratado (Sal de Friedel), que reduz a concentração de íons cloreto livres na solução aquosa dos poros do concreto (PAGE et al., 1986).

Nos experimentos realizados por ZHANG; GJORV (1991), a introdução de microssílica em pastas de cimento reduziu a difusividade dos íons cloreto. Os autores associaram este desempenho a diminuição da porosidade total e a distribuição dos poros da argamassa com microssílica. PAGE et al. (1986) encontraram que a adição de escória e cinza volante levava a uma diminuição da difusibilidade dos cloretos em relação ao cimento portland puro e que um cimento resistente a sulfatos (com baixo conteúdo de C_3A) apresentava um significativo aumento de difusão.

Estes ensaios revelam que os cimentos com adições, quando submetidos aos cloretos, apresentam comportamento contrário

àquele apresentado quando submetidos à carbonatação. Enquanto na carbonatação as adições parecem ter influir de forma negativa na capacidade de retardar o ingresso de CO_2 na iniciação pelos cloretos as adições agem de forma a frear a penetração dos íons cloreto.

MANGAT; MOLLOY (1992), estudando os fatores que influenciam a corrosão da armadura devido a ação dos cloretos, concluíram que a quantidade de cimento possui uma insignificante influência sobre a desp passivação.

3.1.2 - Relação água/cimento, adensamento e cura

Esses parâmetros, quando bem utilizados, contribuem de uma forma ou outra para a obtenção de um concreto mais denso.

Suas influências sobre a penetração dos íons cloreto são similares as anteriormente comentadas para o caso do avanço da frente de carbonatação.

GJORV; VENNESLAND (1979), estudando a difusão dos íons cloreto em concretos de diferentes fatores água/cimento e diferentes tipos de cimento, verificou que para curtos períodos de exposição o efeito da relação, água cimento foi limitado. Acamada superficial do concreto. Em longos períodos de exposição, o tipo de cimento apresentou uma maior influência sobre a profundidade de penetração dos cloretos que a relação água/cimento.

Segundo PAGE et al. (1981), as condições de cura possuem um marcado efeito sobre as propriedades de transporte de pastas de cimento endurecidas e por, conseguinte, sobre a difusibilidade efetiva dos íons cloreto. Segundo esses pesquisadores, as condições de cura modificam a estrutura dos poros da pasta e, por conseguinte, alteram a porosidade final.

3.1.3 - Grau de saturação dos poros e concentração de íons cloreto

As condições ambientais influenciam a penetração dos íons cloreto de forma diferente da forma como influencia a penetração de CO_2 . O CO_2 encontra nos poros parcialmente preenchidos pela água a melhor condição para difundir e carbonatar as partes mais internas do concreto (BAKKER, 1988).

O transporte dos íons cloreto somente ocorre em presença de água. Nas situações onde a água que contém os cloretos encontra -se estagnada, a penetração ao interior do concreto ocorre através de mecanismo de difusão. os íons cloreto também podem penetrar por sucção capilar da água que os contém. Esta última situação ocorre quando a estrutura de concreto está submetida a ciclos de umedecimento, com água que contém os íons cloreto, e posterior secagem. As estruturas submetidas a maré são exemplos desse tipo de situação. Nesses casos a profundidade que os íons cloreto podem atingir dependerá da duração dos períodos de secagem e umedecimento e da permeabilidade da superfície do concreto (BAKKER, 1988). Nas regiões da estrutura de concreto exposta a maré, a concentração de cloretos atinge níveis elevados devido a ascensão capilar da água do mar e sua posterior evaporação (HOLMES; BRUNDLE, 1987).

Com o aumento da quantidade de cloretos nos poros do concreto, a possibilidade de secagem do concreto é diminuída devido ao efeito higroscópico característico dos sais. LOPEZ; GONZÁLEZ (1993), associando a saturação dos poros de corpos-de -prova de argamassa com a resistividade e velocidade de corrosão

chegaram a um valor de saturação crítico, correspondente a uma resistividade de $10^5 \Omega m$, no qual a velocidade de corrosão começou a tornar-se inaceitável e oferecer problemas relevantes de durabilidade.

3.1.4 - Efeito específico do cátion que acompanha o íon cloreto

ANDRADE; PAGE (1986) estudaram o efeito de uma mesma quantidade de cloretos provenientes do NaCl e $CaCl_2$ sobre a corrosão da armadura, chegando a conclusão de que, os corpos-de-prova que continham $CaCl_2$ foram mais afetados pela corrosão, apesar de conterem menor quantidade de cloretos livres e menor relação $[Cl^-]/[OH^-]$. Esta maior agressividade do $CaCl_2$ pode ser atribuída a diminuição do pH resultante nesta situação (GOÑI et al., 1989). Apesar disso, (GOÑI ANDRADE (1990) reafirmam que a relação $[Cl^-]/[OH^-]$ é o fator mais relevante para a despassivação da armadura do concreto.

3.1.5 - Fissuras

Quando uma estrutura de concreto está exposta a água, vapor ou solo que contem íons cloreto, a quantidade necessária de cloretos para que inicie o processo de corrosão, será primeiramente atingido nas regiões fissuradas. Essa situação causaria a formação de pequenas regiões anódicas no interior das fissuras e regiões catódicas maiores fora delas (SCHIESSL; RAUPACH, 1991). A velocidade com que a corrosão se desenvolve depende da abertura da fissura, da qualidade do concreto e da relação área catódica/área anódica.

3.1.6 - Carbonatação

Um concreto carbonatado não possui a mesma capacidade de combinar cloretos como um concreto não-carbonatado.

Imaginamos um concreto que possui uma certa quantidade de cloretos combinados e outra livre, embora inferior a necessária para despassivar a armadura. Quando esse concreto começa a carbonatar, parte dos cloretos combinados passam a condição de livres. Desta forma a quantidade de íons livres pode atingir o limite crítico de rompimento da camada passiva (TUUTTI, 1982).

Segundo BAKKER (1988), essa combinação entre carbonatação e cloretos é normalmente a causa dos problemas mais severos de corrosão.

os dados obtidos por ROPER; BAWEJA (1989) sugerem que para estruturas de concreto armado correntes os efeitos da interação entre a carbonatação e os íons cloreto levam a uma aceleração da velocidade de corrosão quando comparada com a ocorrência dos dois ataques de forma independente.

3.2 - Cálculo do coeficiente de difusão dos íons cloreto

Os métodos atualmente empregados para medir o coeficiente de difusão dos íons cloreto no concreto podem ser classificados em ensaios em estado estacionário, em estado transitório e acelerado aplicando um campo elétrico.

Os métodos estacionários são algumas vezes criticados por serem lentos ou, quando utilizam corpos-de-prova de reduzidas espessuras, por ensaiarem amostras cuja estrutura porosa foi danificada no momento do corte e polimento (LUPING; NILSSON, 1992).

Além disso, nesses ensaios existe uma dependência importante dos resultados com os fatores geométricos do corpo-de-prova, como por exemplo a espessura (JACKSON; BROOKBANKS, 1989). Para a obtenção do coeficiente de difusão em regime estacionário, a primeira lei de Fick é aplicada.

PAGE et al., 1981 obtêm o coeficiente de difusão em condições quase estacionárias em corpos-de-prova de espessuras reduzidas, utilizando a célula de difusão mostrada na Figura 2.11.

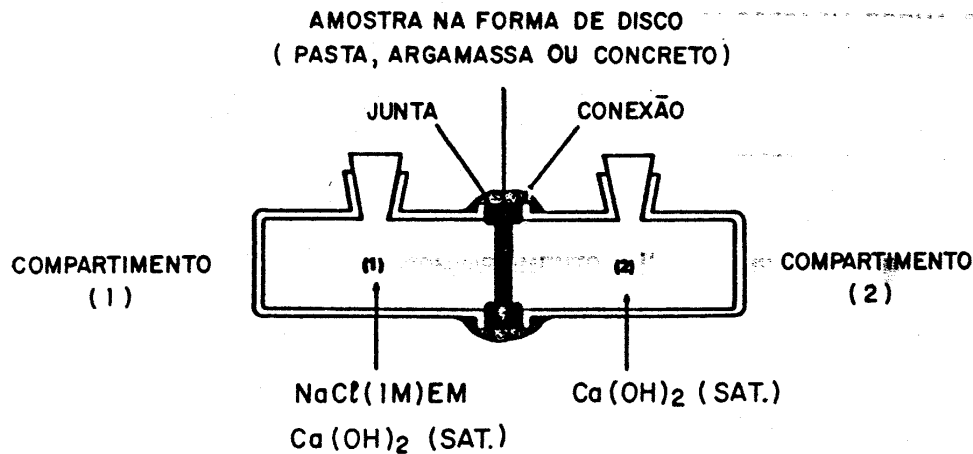


Figura 2.11 - Célula de difusão empregada por PAGE et al. (1981).

A utilização das fórmulas a seguir apresentadas implica supor que o fluxo de íons atravessa toda seção estudada de forma constante e que a atividade dos cloretos é efetivamente igual em todos os pontos da amostra.

O fluxo " $J(O_2)$ " em moles/cm². s de íons cloreto que entram no compartimento 2 é dado por:

$$J(O_2) = \frac{V}{A} \cdot \frac{dC_2}{dt} = \frac{D(O_2)}{l} (C_1 - C_2)$$

onde

V é o volume da solução no compartimento 2 em cm³

A é a área da seção ensaiada do disco em cm²;

l é a espessura do disco ensaiado em cm;

C₁ e C₂ são as concentrações das soluções dos compartimentos 1 e 2 em moles/cm³;

D (o₂) é o coeficiente de difusão em cm²/S.

Para t > t₀ e C₁ >> C₂ temos que:

$$C_2 = \frac{D(O_2) \cdot A \cdot C_1}{V \cdot l} \cdot (t - t_0)$$

onde

(t - t₀) é o tempo de ensaio em segundos.

Desta forma o coeficiente de difusão " $D(O_2)$ " pode ser calculado em função da inclinação da parte linear da curva formada por C₂ versus t.

Métodos acelerados mediante a aplicação de um campo elétrico, migração, são também empregados (AASHTO/WHITING, 1981; LUPING; NILSSON, 1992; ANDRADE; SANJUÁN, 1993).

O coeficiente de difusão " $D(O_2)$ " é obtido a partir do registro da intensidade " i " durante o ensaio, uma vez que existe uma proporcionalidade entre o fluxo " $J(O_2)$ " do íon que migra com a intensidade aplicada ou registrada (ANDRADE; SANJUÁN, 1993). Desta forma temos que

$$J(O_2) = \frac{it}{nF};$$

onde

- i é intensidade aplicada ou registrada;
- n é número de elétrons envolvidos;
- F é constante de Faraday;
- t é número de transferência do íon.

Substituindo a equação acima na equação de Nernst - Plank e aplicando-a para uma única espécie iônica, obtém-se a seguinte equação:

$$D(O_2) = \frac{RT}{nF^2} \Lambda = \frac{RT}{nF^2} \cdot \frac{it}{\Delta E} \cdot \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{CZ}$$

onde

- $D(O_2)$ é o coeficiente de difusão ou do íon em cm^2/s ;
- R é constante = 1,987 2 em Cal/mol/Kelvin;
- F é igual a 23.063 Cal/volt/eq;
- ΔE é a diferença de potencial aplicada em volt;
- T é a temperatura em ° Kelvin;
- C é a atividade inicial dos íons em mol/ cm^3 ;
- l é a espessura do disco em cm;
- Z é a carga elétrica;
- i é a intensidade total em ampers;
- Λ é a mobilidade iônica total em cm^2 /ohm ;
- S é a área da amostra em cm^2 .

3.3 - Medida da profundidade de alcance dos íons cloreto no interior do concreto

Em analogia a expressão freqüentemente utilizada de "frente de carbonatação", o termo "frente de alcance dos íons cloreto" pode ser utilizado para expressar a profundidade que o conteúdo crítico de cloretos atinge, a partir da superfície do concreto. A medida é feita em amostras de concreto retiradas de diferentes profundidades da estrutura, na forma de pó (com perfuradoras) ou sólida. Neste último caso, um corpo-de-prova testemunho pode ser extraído, seccionado e moído.

A análise quantitativa do íon cloreto nas amostras pode ser feita por via química (ASTM C 1152, 1992; VALDERGORIN; DANTAS, 1984) ou por análise de fluorescência de raios-X, entre outros. Outro método factível de ser empregado, é o recomendado pelo UNI 79 -28 (1978), para determinar a penetração do íon cloreto, onde uma solução de $AgNO_3$ é vaporizada sobre a superfície fraturada do concreto. Após a aplicação, observa-se a formação de precipitados brancos de cloreto de prata nas áreas onde os íons cloreto atingem. O $AgNO_3$ reage com as hidroxilas, formando óxido de prata e aparecendo na superfície do concreto na forma de um precipitado marrom (OTSUKI. et al., 1992).

4 - Fatores que controlam a propagação da corrosão

A velocidade de corrosão pode ser basicamente controlada pelos quatro processos mostrados na Figura 2.11.

Existe uma série de fatores que por si só não representam risco de corrosão da armadura, mas que após desencadeado o fenômeno são responsáveis pela propagação da corrosão. Esses fatores são comentados a seguir.

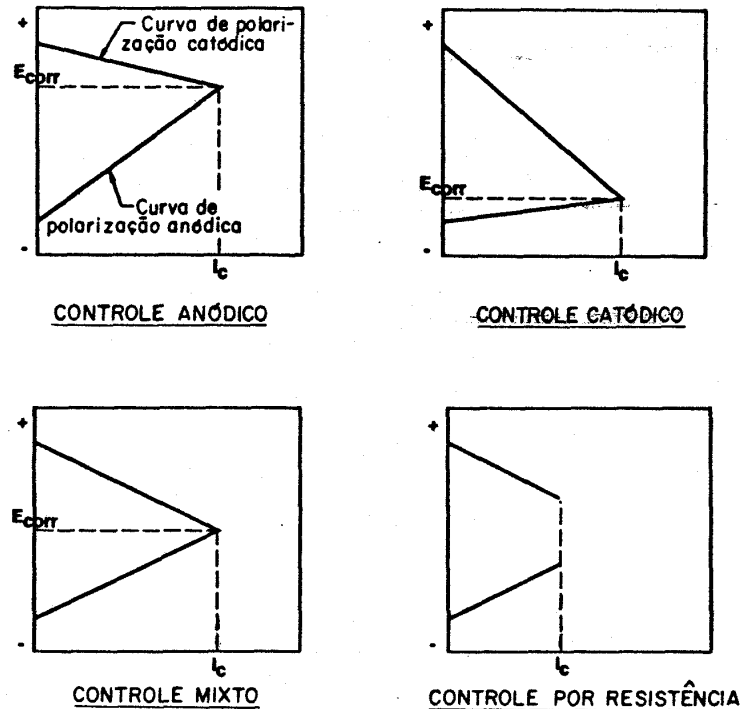


Figura 2.11 - Diagramas de Evans mostrando a influência dos processos de controle catódico, anódico, misto e por resistência sobre a intensidade de corrosão.

4.1.1 - Efeito da umidade, resistividade e acesso de oxigênio

o conteúdo de umidade no interior do concreto exerce importante papel sobre a corrosão, quer seja porque a água é necessária para que ocorra a reação catódica de redução do oxigênio, ou porque influi na resistividade do concreto e na permeabilidade ao oxigênio.

O concreto seco possui uma alta resistividade, podendo atingir valores da ordem de 10^{11} ohm.cm quando é submetida a temperaturas de 105°C (MANFORT, 1968). Nessas condições o concreto não permite a mobilidade dos íons; Por outro lado, a medida que a umidade interna do concreto aumenta, a resistência ôhmica vai diminuindo e o processo de corrosão pode desenvolver-se.

Quando os poros do concreto estão saturados de água, a resistividade é a menor possível, porém o oxigênio encontra maior dificuldade para chegar até a armadura. Nessa situação, o processo de corrosão está controlado pelo acesso de oxigênio, ou seja controlado catodicamente (Figura 4.1). A velocidade de corrosão resultante é baixa ou moderada, igual como a que ocorre

em estruturas de concreto armado situadas a certa profundidade do mar.

CAVALIER; VASSIE (1981), realizando uma série de medidas de resistividade (método dos quatro eletrodos) em estruturas de pontes na Inglaterra sujeitas aos sais de degelo, perceberam que em concretos com resistividade superior a 12.000 ohm.cm a corrosão era dificilmente identificada, com resistividade entre 5.000 a 12.000 ohm.cm era provável a identificação da corrosão e com resistividade inferior a 5.000 ohm.cm a corrosão era sempre evidenciada.

Devido ao caráter higroscópico dos sais, como por exemplo o NaCl ou CaCl₂, os concretos que os contêm em seus poros possuem maior capacidade de reter a umidade no seu interior (Rasheeduzzafar et al., 1985). No mesmo sentido, deve-se levar em consideração que o concreto absorve com maior facilidade a umidade do ambiente do que deixa escapar esta mesma quantidade de água (IccET, 1988).

As velocidades de corrosão máximas ocorrem em concretos com elevados conteúdos de umidade, porém não-saturados. Desta forma o oxigênio pode chegar livremente até a armadura e a resistividade é suficientemente baixa para permitir elevadas velocidades de reação.

4.1.2 - Efeito da temperatura

O aumento da temperatura estimula a mobilidade das moléculas, favorecendo seu transporte através da microestrutura do concreto (Goñi et al., 1989). Por outro lado, quando a temperatura diminui, pode ocorrer condensação no concreto, ocasionando um aumento da umidade do material (Helene, 1983).

4.1.3 - Formação de macrocélula de corrosão

As macrocélulas de corrosão são as pilhas de corrosão formadas entre duas áreas de caráter distinto, onde uma é corroída e atua como ânodo e a outra mantém-se passiva e atua como cátodo. Quando essa situação ocorre, o efeito da ação das micropilhas se soma a ação da macropilha, aumentando a velocidade de corrosão. Essa aceleração da corrosão vai depender dos potenciais de corrosão do ânodo e do cátodo e da resistência ôhmica entre ambos.

Entre os fatores responsáveis pela formação de macrocélulas de corrosão podemos citar as heterogeneidades da fase metálica (anisotropia dos grãos cristalinos, impurezas na matriz metálica, regiões submetidas à tensão e à deformação elástica, bordas de grãos, etc) e heterogeneidades do meio (aeração diferencial, concentrações salinas diferenciadas, pH etc.).

No caso das estruturas de concreto armado, LEWIS; COPENHAGEN (1957), citados por MARIBONA (1991), propuseram cinco tipos de células de corrosão.

a) Diferença de concentração de sais (íons Cl⁻)

Em meios marinhos, ou próximos a ele, as pilhas oriundas da concentração diferencial de sais são as de maior incidência nas estruturas. A Figura 2.12 mostra um exemplo típico onde os íons cloreto penetram pela parte superior de uma estrutura de concreto armado, atingindo inicialmente as armaduras superiores que, por sua vez, estão conectadas através dos estribos às armaduras inferiores. Neste caso as armaduras superiores sofrerão processo corrosivo, enquanto as inferiores permanecerão passivas até que

os íons cloreto não atinjam a profundidade onde estão localizadas.

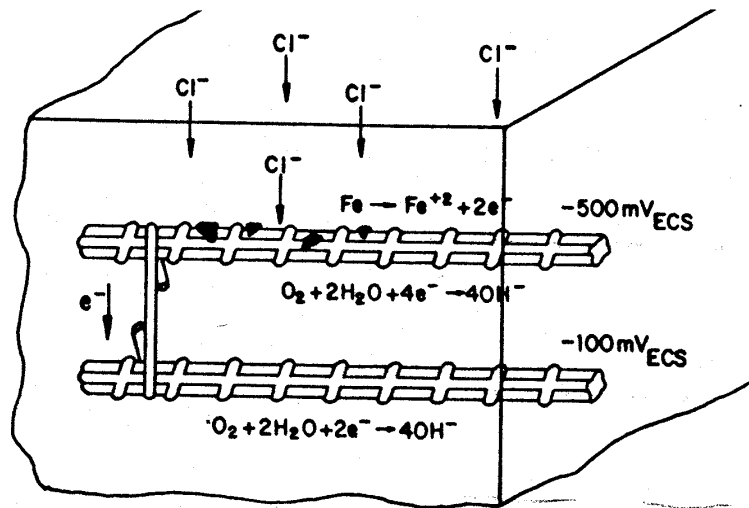


Figura 2.12 - Funcionamento esquemático de uma macrocélula de corrosão formada devido a ação dos íons cloreto (IccET, 1988).

b) Diferença de pH

os fatores responsáveis pela velocidade e profundidade de carbonatação, comentados no item 2.1, são os responsáveis pela formação desse tipo de macrocélula de corrosão. Concretos com características distintas permitem que algumas áreas sejam carbonatadas, enquanto outras permanecem com pH elevado.

c) Presença de fissuras

Através das fissuras agentes agressivos como os íons cloreto ou o CO, podem penetrar e romper a passividade da armadura do concreto. No caso de fissura transversal à armadura, a região próxima a fissura atuará, como ânodo, enquanto que as regiões laterais atuarão como cátodo (Figura 2.13.a). No caso de fissura longitudinal, a região adjacente à armadura atuará como ânodo e a região inferior da armadura como cátodo (Figura 2.13.b).

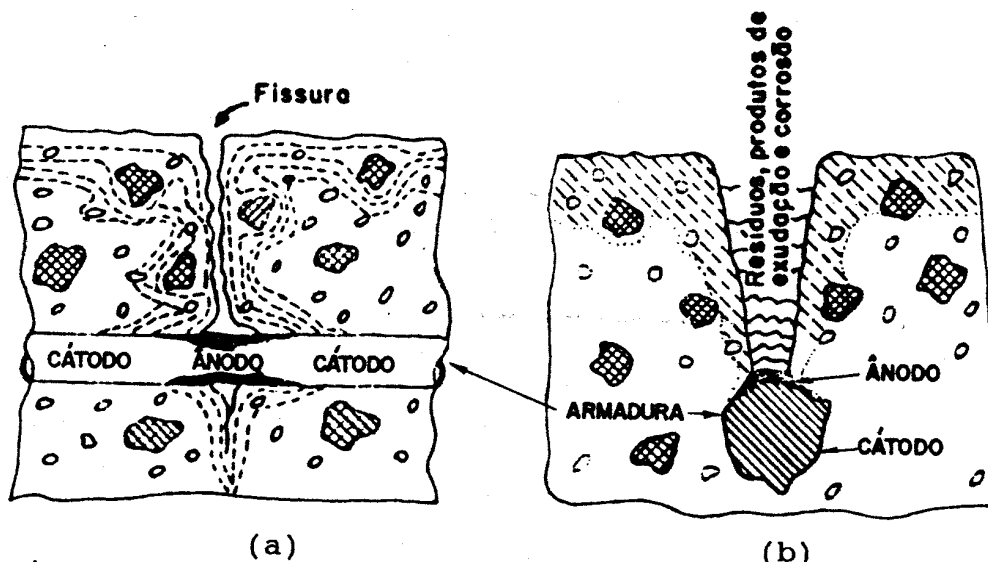


Figura 2.13 - Modelos de formação de macrocélulas de corrosão em estrutura fissurada.

d) Aeração diferencial

Qualquer fator que leve a uma diminuição localizada de concentração de oxigênio, em relação as demais regiões da superfície da armadura, contribui para a formação de pilhas de aeração diferencial. Nesse caso a reação catódica tende a produzir-se nas áreas de maior acesso de oxigênio, enquanto que a anódica instala-se nas regiões de menor concentração de oxigênio.

Estruturas com concretos de diferentes qualidades, estruturas enterradas em solos com diferentes permeabilidades ou mesmo acúmulo de produtos de corrosão, representam situações favoráveis ao aparecimento deste tipo de macrocélula de corrosão.

No caso de estruturas reparadas, o uso de revestimentos para proteção da armadura ou de argamassas de reparo mais impermeáveis do que o concreto antigo, também poderiam favorecer a formação de pilhas de aeração diferencial. LEWIS; COPENHAGEN (1957), citados por MARIBONA (1991), baseados em trabalhos de outros autores, chegaram a conclusão que a ação das macrocélulas por aeração diferencial, em geral, são menos importantes que a ação de outros mecanismos (a,b,c, e).

e) Pilhas galvânicas

Essas macrocélulas são formadas quando as armaduras estão conectadas a outras estruturas metálicas, ou quando a armadura utilizada foi galvanizada. Nesses casos, o metal mais ativo atuará como ânodo em relação ao outro mais nobre. O uso de revestimentos do tipo epoxi rico em zinco pode levar a formação destas macrocélulas.

AGRADECIMENTO

Aos professores doutores Paulo Helene, principal responsável pela minha formação de pesquisador, e Carmen Andrade, reconhecida pesquisadora da área de corrosão da armadura do concreto que dedicou parte do seu tempo para orientar a parte experimental da minha tese de doutoramento.

BIBLIOGRAFIA

ACI-COMMITTEE 222. Corrosion of Metals in Concrete. ACI 222R-85, American Concrete Institute Journal, Proc. 82(1), 1985, p. 3-32.

ANDRADE, C. e PAGE, C.L.. Pore Solution Chemistry and Corrosion in Hvdrated Cement Systems Containing Chloride Salts; a Study of Cation Specific Effects. British Corrosion Journal, Vol. 21, Nº1, 1986, p. 49-53.

ANDRADE, C.; SANJUAN, M.A. e ALONSO, C.-. Melasurement of Chloride Diffusion Coefficient from Migration Tests. In: Corrosion 93/NACE, EUA, Paper Nº 319, 1993, 11 p.

ANDRADE, C.. Corrosión Localizada del Acero en Contacto con el' Hormigón. Rev. Iberoamericana de Corrosión y Protección, Vol. 15, Nº 4, 1984, p. 27-34.

ANDRES, P.R.. A Influencia da Natureza do Aglomerante e suas adições na Carbonatação de Argamassas de Concreto. In: IX Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção. São Paulo, Mai., 1989.

AUSKERN, A. B. e HORN, W. H. . Effect of Curing Conditions on the Capillary Porosity of Hardened Portland Cement Pastes. Journal of the American Ceramic Society, Vol. 59, N° 1-2, Jan.-Fev., 1976, p. 29-33.

BAKKER, R.F.M.. Initiation Period. Corrosion of Steel in Concrete; State of the Art Report. Cap. 3, RILEM TC 60-CSC, Editor Peter Schiessl, Ed. Chapman & Hall, 1988, p. 22-54.

BORGARD, B.; WARREN, C.; SOMAYAJI, S. e HEIDERSBACH, R.. Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete. Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065 Editores N.S. Berke, V. Chaker e D. Whiting, Philadelphia, 1990, p. 174-183.

BRE. The Durability of Steel in Concrete: Part. 1; Mechanism of Protection and Corrosion. Garston, Building Research Establishment Digest, Digest -2,63 1982, 7 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Structural Use of Concrete. Part 1: Code of Practice for Design and Construction. London, BS 8110, 1985.

BUCHER, H.R.E.. A Carbonatação do Concreto na Corrosão da Armadura. In: 312 Reunião do IBRACON, São Paulo, 31 Jul. à 4 Ago., 1989, p. 481-496.

CEB. Durability of Concrete Structures. Report of CEB-RILEM International Workshop. Copenhagen, Mai, 1983; também CEBBulletin D' Information, N2 152, 1984.

CEB. Durability of Concrete Structures: State of the Art Report. Bulletin D' Information N2 148, Paris, 1982.

DIAB, H.; BENTUR, A.; HEITNER-WIRGUIN, C. e BEN-DOR, L.. The Diffusion of Cl⁻ Ions through Portland Cement and Portland Cement Polymer Pastes. Cement, and Concrete Research Vol. 18 1988, p. 715-722.

EL-SAYED, H.A.; ABD EL-WAHED e ALI, A.H.. Some Aspects of the Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete in Marine Atmospheres. Durability of Building Materials, Vol. 5, 1987, p. 13-25.

FUJIWARA, M. e MINOSAKU, K. . Repair Methods for Concrete Bridges Deteriorated by Chloride Ions . The United States Strategic Highway Research Program, Ed. Thomas Telford, London, 1990, p. 125-134.

GJORV, O.E. e VENNESLAND, O.. Diffusion of Chlorides Ions from Seawater into Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 9, 1979, p. 229-238.

GOÑI, S.; MORAGUES, A. e ANDRADE, C.. Influencia de la Conductividad v Fuerza Iónica de Soluciones Sintéticas que Simulan la Fase Acuosa del Hormigón en el Fenômeno de la Corrosión de Armaduras. Materiales de Construcción, Vol. 39, N° 215, Jul. Ago. Sept., 1989, p. 19-28.

GOÑI, S. e ANDRADE, C.. Synthetic Concrete Pore Solution Chemistry and Rebar Corrosion Rate in the Presence of Chlorides. Cement and Concrete Research, Vol. 20, 1990, p. 525-539.

GOUDA, V.K.. Anodic Polarization Measurements of Corrosion and Corrosion Inhibition of steel in Concrete. British Corrosion Journal, Vol. 1, 1966, p. 138-142.

HANSSON, C.M.; STRUNGE, H.; MARKUSSEN, J.B. e FRÖLUND, T.. The Effect of Cement Type on the Diffusion of Chloride. Nordic Concrete Research, Publicação Nº 4, Dinamarca, 1985, p. 70-80.

HAUSMANN, D.A.. Steel Corrosion in Concrete; How does it occur? Materials Protection, Nov. 1967, p. 19-23.

HELENE, P.R.L.. Corrosión de las Armaduras en el Hormigón Armado, Cemento y Hormigón, Vol. 54, Nº 591-93, fev-mar-abr, 1983.

HO, D.W.S. e LEWIS, R.K.. Concrete Quality after One Year of Outdoor Exposure. Durability of Building Materials, 5, 1987, p. 1-11.

ICCET. Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras. Consejo Superior ---de Investigaciones Científicas, Madrid, Coordenação Carmen Andrade, 1989, p. 122.

JACKSON, P.C. e BROOKBANKS, P.. Chloride Diffusion in Concretes Having Different Degrees of Curing and Made using Portland Cements and Blended Cements Containing Portland Cement, Pulverized-Fuel Ash and Ground Granulated Blastfurnace Slag. In: 3rd International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Trondheim, ACI SP-114, Editor M. Malhotra, 1989, p. 641-655.

LONGUET, P.; BURGOEN, L. e ZELWER, A.. La Phase Liquide du Ciment Hydraté. Rev. Mater. Constr., Nº 676, 1973, p. 35-42.

LOPEZ, W. e GONZALEZ, J.A.. Influence of the Degree of Pore Saturation on the Resistivity of Concrete and the Corrosion Rate of Steel Reinforcement. Cement, and, Concrete, Research, Vol. 23, 1993, p. 368-376.

LUPING, T. e NILSSON, L.. Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field. American Concrete Institute Materials Journal, Jan.-Feb., 1992, p. 49-53.

MANGAT, P. S. e MOLLOY, B. T. . Factors Influencing Chloride-Induced Corrosion of Reinforcement in Concrete. Materials and Structures, Vol. 25, 1992, p. 404-411.

NEVILLE, A.M.. Propriedade do Concreto. São Paulo, Ed. Pini, 1982, 738 p.

OTSUKI, N.; NAGATAKI, S. e NAIÇASHITA, K.. Evaluation of AgNO₃ Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials. American Concrete Institute Materials Journal, Nov.-Dec., 1992, p. 587-592.

PAGE, C.L.; SHORT, N.R. e EL TARRAS, A.. Diffusion of Chlorides Ions in Hardened Cement Pastes. Cement and Concrete Research, Vol. 11, 1981, p. 395-406.

POURBAIX, M.. Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions. NACE, Cebelcor, 1974.

- PAGE, C.L.; SHORT, N.R. e HOLDEN, W.R.. The Influence of Different Cements on Chloride-Induced Corrosion of Reinforcing Steel. Cement and Concrete Research, Vol. 16, 1986, p. 79-86.
- PAILLERE, A.M.; RAVERDY, M. e GRIMALDI, G.. Carbonation of Concrete with Low-Calcium Fly Ash and Granulated Blast Furnace Slag: Influence of Air-Entraining Agents and Freezing and Thawing Cycles. In: 2th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. ACI, Vol. 1, SP 91-25, 1986, p. 541-562.
- POWERS, T.C.; COPELAND, L.E.; HAYES, J.C. e MANN, H.M. Permeability of Portland Cement Paste. Journal of the American Concrete Institute, Title N2 51-14, Nov., 1974, p. 285-298.
- RASHEEDUZZAFAR. Influence of Cement Composition on Concrete Durability. ACI Materials Journal Vol. 89, N° 6, Nov. Dec., 1992, p. 574-586.
- RILEM CPC-18. Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth. Materials and Structures p. 453 - 455
- RODRIGUEZ-MARIBONA, I.. Corrosión en Estructuras de Hormigón debida a la Acción de Macropores Situados en Paralelo. Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 1991. Tese de doutoramento. 306 p.
- ROPER, H. E BAWEJA, D.. Carbonation-Chloride Interactions and their Influence on Corrosion Rates of Steel in Concrete. EUA, American Concrete Association, ACI SP 126-16, 1989, p. 295-315.
- SCHIESSL, P. e RAUPACH, M.. Macrocell Steel: Corrosion in Concrete Caused by Chlorides. In: Second CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete. Montreal, 1991, p. 565-583.
- SMOLCZYK, H.. Discussion of Principal Paper on Carbonation of Concrete by Hamada. In 5th, International Conference of Cement, Tokyo, Vol. 3, 1968, P. 369-384.
- TREADAWAY, K.; COX. R.N. e BROWN, B.L.. Durability of Corrosion Resisting Steel in Concrete. Proc. Instn. Civ. Engrs, Part 1, 86, Apr., 1989, p. 305-331.
- TUUTTI, K.. Corrosion of Steel in Concrete. Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. Tese de doutoramento. 469 p.
- UNI 79-28. Determinazione della Permeabilita dello Ione Cloruro. Roma, 1978.
- VAIDERGORIN, E.Y.L. e DANTAS, F.A.S, Determinação de cloretos., em Concretos Endurecidos. In: RAIBRAC, São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, 27-31 Ago., 1984.
- VÉNUAT, M. e ALEXANDRE, J.. De la Carbonation du Béton. França, CERILM, Publicação N° 195, 1969, 30 p.
- WHITING, D.. Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete. Public Roads, Vol. 45, N2 3, Dez., 1981, p. 101-1124

BOLETIM TÉCNICO . TEXTOS PUBLICADOS

TECHNICAL BULLETIN - ISSUED PAPERS

- BT 01.A/86 Ação do Incêndio sobre as Estruturas de Concreto Armado / The Effect of Fire on Reinforce Concrete - FRANCISCO R. LANDI
- BT 01.B/86 Ação do Incêndio sobre as Estruturas de Aço / The Effect of Fire on Steel - FRANCISCO R LANDI
- BT 02/86 Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria / Resistent Masonry Mortar for Structural Brickwork - FERNANDO H. SABBATINI
- BT 03/86 Controle de Qualidade do Concreto / Quality Control of the Concrete - PAULO R. L. HELENE
- BT 04/86 Fibras Vegetais para Construção Civil - Fibra de côco Vegetable Fibres for Building Coir Fibres - HOLMER SAVASTANO JR.
- BT 05/86 As Obras Públicas de Engenharia e a sua Função na Estruturação da Cidade de São Paulo/The Public Works of Civil Engineering and its Function on Structuring the City of São Paulo - WITOLD ZMITROWICZ
- BT 06/86 Patologia das Construções. Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação / Building B.Pathology. Diagnosis and Recovering Procedures - N. B. LICHTENSTEIN
- BT 07/86 Medidas Preventivas de Controle de Temperatura que Induz Fissuração no Concreto Massa / Preventive Measurements to Control the Temperature wich Produces Cracking in Mass Concrete - GEORGE INOUE
- BT 08/87 O Computador e o Projeto do Edifício / The Computer and The Building Design - FRANCISCO F. CARDOSO
- BT 09/87 Porosidade do Concreto / Concrete Porosity - VICENTE C. CAMPITELI
- BT 10/87 Concretos Celulares Espumosos / Lightweight Concrete: Foam Concrete - OSWALDO FERREIRA
- BT 11/87 Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria - Determinação das Vazes de Projeto / Building Cold Water Supply Systems - Design Flowates Determination - MOACYR E.A. GRAÇA, ORESTES GONÇALVES
- BT 12/87 Estabilização de Solos com Cimentos Pozolânicos / Soil Stabilization with Pozzolanic Cernents - ALEX KENYA ABIKO
- BT 13/87 Vazes de Projeto em Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria - Modelo Probabilístico para Microcomputadores / Design Flowates in Building Cold Water Supply System - Probabilistic Model for Microcomputers - MOACYR E. A. GRAÇA, ORESTES GONÇALVES
- BT 14/87 Sistemas Prediais de Coleta em Esgotos Sanitários: Modelo Conceitual para Projeto / Building Drainage Systems: A Conceptual Approach for Design - MOACYR E.A. GRAÇA, ORESTES GONÇALVES
- BT 15/87 Aplicação do Método de Simulação do Desempenho Térmico de Edificações / Application of Building Thermal Performance Method - VIRGINIA ARAUJO
- BT 16/87 A Representação do Problema de Planejamento do Espaço em Sistemas de Projeto Assistido por Computador / Space Planning Problem Representation on Computer Aided Design Systems - M. C. R. BELDERRAIN
- BT 17/87 Aspectos da Aplicabilidade do Ensaio de Ultra-Som em Concreto / Aplicability of Ultra Sound Test in Concrete - L. T. HAMASSAKI
- BT 18/87 O uso da Grua na Construção do Edifício / The Use of The Tower Crane in Building - N. B. LICHTENSTEIN
- BT 19/87 A Adição de Fibras em Concreto de Baixo Consumo de Cimento e Análise da Fissuração devido à Retração / Fibre Reinforcement for Low Cement Contend Concretos and Analysis of Their Cracking due to Shrinkage - FRANCISCO DANTAS, VAHAN AGOPYAN
- BT 20/88 Desempenho de Alvenaria à Compressão / Compression Performance of Masonry - LUIZ SÉRGIO FRANCO
- BT 21/88 A Análise dos Liminares em Planejamento Urbano / Threshold Analysis in Urban Planning - JOSÉ L. C. RONCA, WITOLD ZMITROWICZ
- BT 22/88 O Solo Criado - Sistemática para Avaliação do Preço / Systematic Procedures to Appraise the Value of a "Created Lot" - JOÃO R- LIMA JR.
- BT 23/90 O Conceito de Taxa de Retorno na Análise de Empreendimentos (Uma Abordagem Crítica) / A Rate of Return in Projetc Analysis (A Critical Approach to the Problem) - JOÃO R. LIMA JR
- BT 24/90 (BE 01/87) Carta de Brasília - FIGUEIREDO FERRAZ

- BT 25/90 O Preço das Obras Empreitadas - análise e modelo para sua formação / Mie Price in Construction - analysis and a simulator for calculation - JOAO R. LIMA JR.
- BT 26/90 Sistemas de Informação para o Planejamento na Construção Civil -Gênese e Informatização - Information Systems for Planning in Civil Engineering - Genesis and Computer Aid Systems - JOÃO R. LIMA JR.
- BT 27/90 Gerenciamento na Construção Civil - Uma Abordagem Sistêmica / Construction and Business Management in Civil Engineering - A Systemic Approach - JOÃO R. LIMA JR.
- BT 28/90 Recursos para Empreendimentos Imobiliários no Brasil - Debêntures e Fundos / Funds Real State Developments in Brasil - Debentures & Mutual Funds - JOÃO R LIMA JR.
- BT 29/90 O Desenvolvimento Urbano: A Europa não Romana / Urban Development: Non-Roman Europe - WITOLD ZMITROWICZ
- BT 30/91 Avaliação do Risco nas Análises Econômicas de Empreendimentos Habitacionais / Risk Analysis in Economic Evaluation for Residential Building Projects - JOÃO R. LIMA JR.
- BT 31/91 Tendências Atuais na Formação dos Engenheiros Civis – O Vetor da Modernidade e a Abordagem do Gerenciamento Civil / Engineering Graduation Tendencies Modern Trends and Business Administration Teaching - JOÃO R. LIMA JR
- BT/PCC/32 Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos - FERNANDO H. SABBATINI, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/33 A Laje Composta na Construção Civil - UBIRACI E. L. SOUZA, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/34 Formulação de Modelo Computacional para Análise de Redes de Hidrantes - LUIZ B. M. LATERZA, ORESTES GONÇALVES
- BT/PCC/35 Resistência ao Fogo de Estruturas de Aço de Edifícios: Quando É Possível Empregar Perfis sem Proteção - SILVIO B. MELHADO, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/36 Shopping Centers: Uma Abordagem do Dimensionamento do Potencial e das Áreas de Venda - ELIANE MONETTI, JOÃO R. LIMA JR.
- BT/PCC/37 Alternativas de Projeto de Instalações Prediais de Gás em Edificações Habitacionais - EDUARDO IOSHIMOTO, ORESTES GONÇALVES
- BT/PCC/38 Estudo dos Parâmetros Relacionados com a Utilização de Água Quente em Edifícios Residenciais - MARINA S. O. ILHA, ORESTES GONÇALVES
- BT/PCC/39 Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachada dos Edifícios - SILVIA M. S. SELMO, PAULO R. L HELENE
- BT/PCC/40 Estudo das Correlações entre Resistências à Compressão de Paredes e Prismas de Alvenaria Estrutural Cerâmica Não Armada Submetidos a Esforços de Compressão Axial - MÔNICA SIBYLLE KORFF MULLER, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/41 Perspectivas de Superfícies Poliédricas Auxiliadas por Computador - ANA MAGDA A. CORREIA, SÉRGIO F. GONTUO DE CARVALHO
- BT/PCC/42 Estudo do escoamento em Condutos Horizontais de Sistemas de Coleta de Esgotos Sanitários de Edifícios Residenciais - LÚCIA HELENA DE OLIVEIRA, ORESTES GONÇALVES
- BT/PCC/43 Estudos da Microestrutura da Zona de Transição entre a Pasta de Cimento e o Agregado - VLADMIR. ANTONIO PAULON, PAULO J. M. MONTEIRO
- BT/PCC/44 Tecnologia de Produção de Contrapisos para Edifícios Residenciais e Comerciais - MERCIA MARIA S. BOTTURA DE BARROS, FERNANDO H. SABBATINI
- BT/PCC/45 Crescimento Populacional, Urbanização e Desenvolvimento - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- BT/PCC/46 A Concentração Urbana e as Implicações Ambientais - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- BT/PCC/47 Usos, Funções e Propriedades das Argamassas Mistas Destinadas ao Assentamento e Revestimento de Alvenarias FREDERICO AUGUSTO MARTINELLI, PAULO R. L. HELENE
- BT/PCC/48 A Influência da Relação Água-Gesso nas Propriedades Mecânicas do Fibrogesso - IVANA S. S. DOS SANTOS, VAHANAGOPYAN
- BT/PCC/49 Controle de Qualidade na Indústria de Pré-fabricados - PÚBLIO P. F. RODRIGUES, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/50 Urbanização e Controle de Enchentes - O Caso de São Paulo: Seus Conflitos e Inter-relações - MARIA DE S. B. OSTROWSKY, WITOLD ZMITROWICZ
- BT/PCC/51 Industrialização da Construção e Argamassa Armada: Perspectivas de Desenvolvimento - PAULO E. F. de CAMPOS, JOÃO B. de HANAI
- BT/PCC/52 As Áreas Habitacionais Populares nas Cidades Médias Paulistas: O Caso de Limeira - SÍLVIA A. M. GONÇALVES PINA, SUZANA P. TASCHNER

- BT/PCC/53 As Relações entre a Legislação de Uso e Ocupação do Solo e o Espaço Urbano Local: Subsídios para o Planejamento de Bairros - ISAURA R. F. PARENTE CAMPANA, CÂNDIDO MALTA C. FILHO
- BT/PCC/54 Janelas de PVC Rígido: Características da Qualidade - VERA DA CONCEIÇÃO FERNANDES, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/55 Um Ensaio Acelerado para a Previsão da Resistência à Compressão do Cimento Portland Comum Utilizando Energia de Microondas - EMIR CESAR MAIDA, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/56 Sensoriamento Remoto Via Orbital Aplicado a Estudos Urbanos - MARIA AUGUSTA JUSTI PISANI, WITOLD ZMITROWICZ
- BT/PCC/57 Controle do Desenvolvimento através da Determinação de Padres Espaciais Urbanos - VERA LÚCIA BLAT MIGLIORINI, GILDA COLLET BRUNA
- BT/PCC/58 Avaliação Experimental da Corrosão de Armaduras em Concreto Utilizando a Técnica de Medida dos Potenciais de Eletrodo - OSWALDO CASCUDO MATOS, PAULO R. L HELENE
- BT/PCC/59 Gerenciamento da Demanda e Consumo de Energia Elétrica para Aquecimento de Água em Habitações de Interesse Social - RACINE TADEU ARAUJO PRADO, ORESTES GONÇALVES
- BT/PCC/60 Fôrmas para Concreto Armado - Aplicação para o Caso do Edifício - HERMES FAJERSZTAJN, FRANCISCO R LANDI
- BT/PCC/61 Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Inovadores Destinados a Habitações Térreas Unifamiliares -Desempenho Estrutural - CLÁUDIO VICENTE MITIDIERI FILHO, DANTE FRANCISCO VICICORIO GUELPA
- BT/PCC/62 Método para Gerenciamento de Empreendimentos Imobiliários - EMILIO RACHEI) ESPER KALLAS, FRANCISCO R LANDI
- BT/PCC/63 Contribuição ao Estabelecimento de Parâmetros para Dosagem e Controle dos Concretos de Cimento Portland -PAULO R. L HELENE, FRANCISCO R. LANDI
- BT/PCC/64 Caracterização do Agregado Leve Obtido a partir do Lodo de Esgoto da Cidade de Londrina - GILSON MORALES, VAHANAGOPYAN
- BT/PCC/65 Uma Abordagem sobre o Estado da Arte da Microsilica - MÁRCIA FANTINATO DE MORAES, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/66 O Fator Humano - A Motivação do Trabalhador da Construção Civil - SÉRGIO DO RÊGO BARROS MACHADO, PAULO R- L HELENE.
- BT/PCC/67 Látex Estireno-Butadieno - Aplicação em Concretos de Cimento e Polímero - MARCOS STORTE, YASUKO TEZUY,A
- BT/PCC/68 Estudos para o Desenvolvimento de um Concreto Expansivo - SELMO CHAPIRA KUPERMAN, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- BT/PCC/69 Corrosão das Armaduras do Concreto: Mecanismos e Controle - ROBERTO FERNANDO DOS SANTOS FARIAS, YASUKOTEZUKA
- BT/PCC/70 Estudo para Identificação e Avaliação de Parâmetros de Projeto de Bacias Sanitárias de Ação Sifônica tendo em vista a Redução do Consumo de água - ADILSON LOURENÇO ROCHA, FRANCISCO R- LANDI.
- BT/PCC/71 Pintura à Base de Cal - KAI LOH UEMOTO, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/72 Comportamento à Flexão de Placas de Argamassa Armada com Fibras de Aço Onduladas - LAÉRCIO FERREIRA E SILVA, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/73 Verificação de algumas Propriedades de Argamassas com Saibro da Região de Uberlândia para Assentamento de Tijolos Cerâmicos - MARILDA BARRA DE OLIVEIRA, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/74 Adaptação de Método de Medida da Água Quimicamente Ligada, para Avaliação da Hidratação em Pastas de Cimento Portland - MANUEL VITOR DOS SANTOS, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/75 Indicadores de Qualidade dos Serviços e Infra-Estrutura Urbana de Saneamento - CARLOS MELLO GARCIAS, NELSON L. R. NÚCCI
- BT/PCC/76 O Aproveitamento de Lã de Vidro Residual em Matriz de Gesso - OSVANDO BRAGA JÚNIOR, FRANCISCO DE ASSIS SOUZA DANTAS
- BT/PCC/77 Determinação das Tensões de Origem Térmica para Indução de Juntas de Contração em Barragens de Concreto Corripactado a Rolo - GEORGE INOUE, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/78 Desenvolvimento de Componentes para Edificações: Blocos Cerâmicos de Vedação - DÉBORAH MARTÍNEZ DE MATTOS, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/79 Patologia por Ação Térmica em Coberturas de Edifícios Habitacionais - ADMIR BASSO, FRANCISCO R. LANDI

- BT/PCC/80 A Contratação do Gerenciamento na Construção Civil: Uma Abordagem Sistêmica - GILBERTO RICARDO SCHWEDER, JOÃO R. LIMA JR.
- BT/PCC/81 Considerações sobre algumas Propriedades dos Concretos Celulares Espumosos - FERNANDO JOSÉ TEIXEIRA FILHO, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/82 Zoneamento: Qual é o seu Poder de Transformar o Espaço Urbano? - CLÁUDIA DE BARROS MARCONDES, GILDA COLLET BRUNA
- BT/PCC/83 Comportamento de Argamassas com e sem Microsílica Imersas em ácidos Orgânicos - CLAUDIO KERR DO AMARAL, YASUKOTEZUKA
- BT/PCC/84 Influência da Finura e da Porcentagem de Adição de Escória de Alto Forno na Estrutura das Pastas de Cimento Portland de Alto Forno - ANTONIO LUIZ GUERRA GASTALDINI, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/85 Argamassas Reforçadas com Fibras de Sisal - Comportamento Mecânico à Flexão - ARNALDO CARDIM DE CARVALHO FILHO, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/86 Controle da Microestrutura para o Desenvolvimento de Concretos de Alto Desempenho - PAULO JOSÉ MELARAGNO MONTEIRO
- BT/PCC/87 Aplicação de Projeto Assistido por Computador ao Projeto de Arquitetura: um Sistema de Apoio a Alocação de Espaço - MARIO MASAGÃO ANDREOLI, DANTE FRANCISCO VICTORIO GUELPA
- BT/PCC/88 Caracterização da Zona de Transição entre Fibras e Pasta de Cimento Portland - HOLMER SAVASTANO JR., VAHANAGOPYAN
- BT/PCC/89 Contribuição ao Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Basaltos Desagregáveis como Agregado para Concreto Massa - DANILO AGUILLAR FILHO, YASUKO TEZUKA
- BT/PCC/90 Habitações para a Classe Média. Escolha de um Método Construtivo Adequado às Condições do Interior do Estado de São Paulo. Microrregião de Jahu - ADONIS MAITINO FILHO, SAVÉRIO ANDREA FELICE ORLANDI
- BT/PCC/91 Influência do Uso de Dispositivos de Admissão de Ar no Comportamento Hidráulico-Pneumático dos Sistemas Prediais de Coleta de Esgotos Sanitários de Edifícios Residenciais - VERA MARIA CAETANA FERNANDES, ORESTES GONÇALVES
- BT/PCC/92 Concreto Projetado: O Controle do Processo de Projeção - ANTONIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO, PAULO HELENE
- BT/PCC/93 A Experiência das Operações Interligadas em São Paulo - VERA LÚCIA BLAT MIGLIORINI, VIVIANE PALOMBO CONCÍLIO, ALEX KENYA ABIKO
- BT/PCC/94 Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto - LUIZ SÉRGIO FRANCO, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/95 BDI nos Preços das Empreitadas - Uma Prática Fr41 - JOÃO R. LIMA JR.
- BT/PCC/96 Proposições para o Ensino do Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP - IDONE BRINGHENTI, MILTONVARGAS
- BT/PCC/97 Concreto de Alta Resistência com Cimento Prodand de Alto Forno - FERNANDO LORDELLO DOS SANTOS SOUZA FRANCISCO DE ASSIS SOUZA DANTAS
- BT/PCC/98 Alvenaria Estrutural não Armada de Blocos de Concreto: Produção de Componentes e Parâmetros de Projeto - JONAS SILVESTRE MEDEIROS, FERNANDO H. SABBATINI
- BT/PCC/99 Securitização de Portfolios de Base Imobiliária - JOÃO R. LIMA JR-
- BT/PCC/100 A Evolução Histórica das Instalações Hidráulicas - FRANCISCO R. LANDI
- BT/PCC/101 Um Modelo para Avaliação dos Efeitos do Impacto Ambiental no Valor Imobiliário e sua Aplicação com o Estudo de Caso da Usina de Compostagem de Lixo da Vila Leopoldina - ROBINSON ANTONIO VIEIRA BORBA, WITOLD ZMITROWICZ
- BT/PCC/102 A Tomada de Decisões Estratégicas no Segmento de Empreendimentos Residenciais: Uma Sistemática de Análise -CLAUDIO TAVARES DE ALENCAR, JOÃO R. LIMA JR-
- BT/PCC/103 Estudo sobre o Dimensionamento de Sistemas Prediais de Drenagem de Águas Pluviais de Coberturas e Pequenas Áreas Pavimentadas - CLEONICE DEL CONTI, MOACYR EDUARDO ALVES DA GRAÇA
- BT/PCC/104 Sistemas da Qualidade na Construção de Edifícios - FLÁVIO AUGUSTO PICCHI, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/105 Análise de Decisões na Incerteza Aplicada ao Planejamento Econômico-Financeiro na Construção Civil - ROBERTO SARQUIS BERTÉ, JOÃO R. LIMA JR.
- BT/PCC/106 Métodos de Programação de Empreendimentos: Avaliação e Critérios para Seleção - SÉRGIO ALFREDO ROSA DA SILVA, DANTE FRANCISCO VICTÓRIO GUELPA
- BT/PCC/107 Concreto Projetado com Adição de Microsílica - MARISTELA GOMES DA SILVA, PAULO R. L. HELENE

- BT/PCC/108 Estudo de Fissuras em Paredes de Tijolos de Solo-Cimento Destinadas a Edificações Habitacionais - AURINILCE APARECIDA PORT DO NASCIMENTO, PAULO R. L. HELENE
- BT/PCC/109 Durabilidade das Estruturas de Concreto aparente em Atmosfera Urbana - PAULO FERNANDO A. SILVA, JOÃO GASPARGIAN
- BT/PCC/110 Planejamento do Produto no Mercado Habitacional - JOÃO R LIMA JR.
- BT/PCC/111 Construção Habitacional por Mutirão. Gerenciamento e Custos - LUIZ REYNALDO DE AZEVEDO CARDOSO, ALEX KENYA ABIKO
- BT/PCC/112 Estudo da Habitação Rural e do Uso do Espaço Interno-Externo, pelo Pequeno Produtor e Proprietário Rural. O Caso de Babylônia (São Carlos-SP). Visão do Ponto de Vista Sócio-Cultural - ANDREA PICCINI, MARIA RUTH AMARALDESAMPAIO
- BT/PCC/113 Concreto de Elevado Desempenho: Estudo da Aderência com a Armadura - VITOR ANTONIO DUCATI1, VAHAN AGOPYAN
- BT/PCC/114 Resistência à Compressão de Cimentos segundo três Distintos Métodos de Ensaio - HUGO DA COSTA RODRIGUES FILHO, PAULO R. L. HELENE
- BT/PCC/115 Características do Cimento Portland de Alto-Forno - MARIO WILLIAM ESPER, PAULO R. L HELENE
- BT/PCC/116 Revendo Modelos Habitacionais Induzidos pelas Exigências Legais - RICARDO DE SOUSA MORETI1, WITOLD ZMRROWICZ
- BT/PCC/117 O Processo Diagenético e sua Aplicação na Obtenção de Aglomerantes para a Construção Civil - CLAUDIO SBRIGHI =0, PAULO R. L HELENE
- BT/PCC/118 Concreto Projetado por Via Seca: Metodologia de Dosagem - LUIZ ROBERTO PRUDÊNCIO JR., PAULO R. L. HELENE
- BT/PCC/119 Prognóstico de Ruído de Instalações Prediais Hidráulicas Sanitárias - JOSÉ GERALDO QUERIDO, SYLVIO REYNALDO BISTAFA
- BT/PCC/120 Qualidade na Construção Civil. Conceitos e Referenciais - JOÃO R. LIMA JR.

**Escola Politécnica da USP - Dept° de Engenharia de Construção Civil
Edifício de Engenharia Civil - Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2
Cidade Universitária - CEP 05508-900 - Caixa Postal 61548 - São Paulo - SP
Telex: (011) 81266 - Fone: (011) 818-5234 - Fax: (011) 211-4308**