

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

Rodrigo Corrêa de Vasconcellos

**DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DO CONCRETO
ARMADO: Principais conceitos e fundamentos.**

**Rio de Janeiro – RJ
Agosto de 2011**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.

Rodrigo Corrêa de Vasconcellos

**DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DO CONCRETO
ARMADO: Principais conceitos e fundamentos.**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais..

Orientador: Prof. José Eduardo de Aguiar

V331d Vasconcellos, Rodrigo Corrêa de
Durabilidade das estruturas do concreto armado [manuscrito]: principais conceitos e
fundamentos / Rodrigo Corrêa de Vasconcellos. - 2011
62 f., enc. : il.

Orientador: José Eduardo de Aguiar.

"Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da
Universidade Federal de Minas Gerais."

Bibliografia: f. 62.

1. Construção civil. 2. Durabilidade (Engenharia). 3. Materiais de construção –
Durabilidade. I. Aguiar, José Eduardo de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola
de Engenharia. III. Título.

CDU:69.059

Ficha elaborada pelo Processamento Técnico da EEUFMG

Agradecimentos

A minha Família,

Aos meus amigos Leonardo Xavier e Aldo Godoi.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus Pais, Luciano Tavares de Vasconcellos (in memorian) e Lena Corrêa de Vasconcellos, que me deram a oportunidade de vir a este mundo e tornar-me hoje quem sou. O meu muito obrigado e Saudades eternas de você MEU PAI.

Epígrafe

RESUMO

Na engenharia civil depara-se com diversos problemas na construção de qualquer edificação e manutenção das mesmas. Um dos fatos que incidem sobre a construção civil são as fissuras que ocorrem no concreto das construções, onde nesse tema aqui realizado, serão abordados os fatores que antecedem a fissura, e também quais os meios de restauração e reparo de tal problema nas edificações antes que gerem maiores prejuízos na estrutura da construção levando em certos pontos até o desmoronamento em certos casos, conforme o grau da fissura e a que ponto atingiu as estruturas da construção. Entretanto, a engenharia civil está em constante evolução e acompanhando os processos e técnicas para tais procedimentos e dessa maneira prover a melhor solução para esse problema causado durante ou pós-edificação das construções.

Palavras-chave: Engenharia Civil, Edificações, Fissuras.

ABSTRACT

In civil engineering is faced with several problems in the construction of any building and maintaining them. One of the facts that bear on the construction are the cracks that occur in concrete constructions, where this issue held here will consider the factors that predispose to fissure, and also the means to restore and repair the problem in the buildings before generate greater losses in the structure of the building at certain points leading to the collapse in some cases, depending on the degree of craving, and it reached the point of building structures. However, engineering is constantly evolving and following the processes and techniques for such procedures and thus provide the best solution to this problem caused during or after construction of buildings.

Keywords: Civil Engineering, Building, Cracks.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA.....	12
3 OBJETIVOS	12
3.1 OBJETOS GERAIS.....	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
4. CONCRETO.....	13
4.1 CONCRETO ARMADO.....	13
4.2 COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO.....	14
4.2.1 Agregados.....	14
4.2.2 Cimento.....	15
4.2.3 Água.....	16
4.2.4 Aditivos.....	16
4.2.5 Aço.....	17
5. CARACTERÍSTICA E PROPRIEDADES DO CONCRETO LIGADAS A CORROSÃO.....	19
5.1 DURABILIDADE DO CONCRETO.....	19
5.2 PERMEABILIDADE.....	20
5.2.1 Permeabilidade a água.....	20
5.2.2 Permeabilidade aos gases.....	21
5.3 POROSIDADE.....	21
5.4 COBRIMENTO.....	23
5.5 FISSURAS E LASCAMENTOS DO CONCRETO CAUSADOS POR CORROSÃO.....	24
5.5.1 Fissuras causadas por carbonatação.....	25
5.5.2 Fissuras causadas por ataque de sulfatos.....	26
5.5.3 Fissuras causadas por ataque de cloretos.....	26

6. CORROSÃO NO CONCRETO.....	28
6.1 PROCESSO CORROSIVO DO CONCRETO RELACIONADO A INFLUÊNCIA DO MEIO.....	28
6.2 INICIAÇÃO DA CORROSÃO POR CARBONATAÇÃO.....	30
6.2.1 Carbonatação x Umidade relativa.....	31
6.2.2 Carbonatação x Lixiviação.....	33
6.2.3 Métodos usados para medir a espessura carbonatada.....	34
6.2.4 Cálculo da velocidade de carbonatação.....	35
6.3 INICIAÇÃO DA CORROSÃO POR ATAQUE DE CLORETOS.....	35
6.3.1 Mecanismo de rompimento da camada passiva no concreto por ação dos cloretos	36
6.3.2 Limite crítico de cloretos.....	37
6.3.3 Medida da profundidade de alcance dos íons cloretos no interior do concreto	38
6.4 INICIAÇÃO DA CORROSÃO POR ATAQUE DE SULFATOS.....	39
6.4.1 Protegendo o concreto dos sulfatos.....	40
6.5 PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO DO CONCRETO, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	40
6.5.1 Concreto compacto.....	40
6.5.2 Dosagem mínima de cimento.....	41
6.5.3 Arestas.....	41
6.5.4 Efeito parede.....	41
6.5.5 Pastilhamento.....	42
7. CORROSÃO NAS ARMADURAS.....	43
7.1 TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA CORROSÃO.....	46
7.1.1 Resistência de polarização.....	46
7.1.2 Curvas de polarização.....	47
7.1.3 Ruídos eletroquímicos.....	47
7.1.4 Impedância eletroquímica.....	48
7.1.5 Potenciais de corrosão.....	49
7.2 PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO DAS ARMADURAS (AÇO), LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	51
7.2.1 Armazenagem das barras e fios de aço.....	51

7.2.2 Barras e fios corroídos.....	52
7.2.3 Espaçadores.....	52
7.2.4 Proteção temporária dos arranques.....	53
8 INIBIDORES DE CORROSÃO.....	55
8.1 CLASSIFICAÇÃO DE INIBIDORES.....	55
8.1.1 Inibidores seguros e perigosos.....	56
8.1.2 Inibidores anódicos e catódicos.....	56
8.1.3 Inibidores oxidantes e não-oxidantes.....	58
8.2 REVESTIMENTOS PROTETORES.....	58
8.2.1 Revestimentos metálicos.....	58
8.2.2 Revestimentos não metálicos.....	59
8.2.3 Revestimentos Orgânicos.....	59
8.3 INIBIDORES DE CORROSÃO - VEGETAIS TROPICAIS.....	60
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

Nas edificações civis um fator cada vez mais ocorrente é a existência de corrosão de armadura nas estruturas onde se tem concreto armado, pelos fatores das variáveis as quais modificam no processo que originadas de diversas fontes dificultam um diagnóstico de maneira correta das estruturas corroídas.

A plausível justificar consiste na possível falta de cobrimento correto ao concreto, que de conformidade com a NBR 6118, que tece acerca de Projeto e execução de obras de concreto armado, ao qual delimita a espessura de cobrimento, incidiu modificações no ano de 2003, pela averiguação do qual o cobrimento com maior espessura traz problemas na penetração dos agentes agressivos da estrutura de concreto.

Em épocas mais antigas, as construções eram mais fortes, com um cobrimento considerado superior ao realizado na atualidade, e dessa maneira, pode-se notar uma vida útil maior destas obras. Por outro lado, as construções contemporâneas cada vez mais esbeltas, onde contem sua espessura de cobrimento também menor, conseguindo uma diminuição na vida útil das estruturas de concreto.

As fissuras ocorrem e advém justamente nestas falhas de projeto, de má construção e gerenciamento da edificação a ser erguida, com falhas de material no projeto, ao qual requer uma intervenção rápida e critica para que possa estabilizar o problema enquanto se há tempo para que seja permissível o não abalizamento da estrutura predial.

Outra justificativa para a corrosão seria as grandes construções de edificações como indústrias, e também a ampliação das cidades, ao aumentam de forma brusca a agressão ao meio ambiente nas próprias construções. Nas regiões litorâneas, por exemplo, as edificações se tornam submergidas aos atos da ação agressiva do ambiente marítimo, a própria atmosfera.

Esses episódios para serem solucionados possuem um custo alto para serem resolvidos, onde em certos casos por ser uma manifestação patológica de grande gravidade, muitas vezes não se pode conseguir a solução do problema ocasionado, advindo a acontecer a detrimento total do material em prejuízo.

2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa demonstrar que uma má edificação de construções na área de engenharia civil, com projetos mal feitos e realizados sem organização e regulamentação adequada, pode comprometer a obra num total, causando desde fissuras nas estruturas da edificação até mesmo corrosões em pontos da construção, comprometendo a obra, e consecutivamente, o custo de elaboração da mesma e consequente reparo dos problemas ocorridos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETO GERAL

- Demonstrar que as fissuras ocorrem nas obras de engenharia civil, muitas vezes por falhas no projeto de edificação, por falhas humanas e emprego de materiais não adequados e que esse fator que poderia ser melhor gerenciado, pode trazer custos extras elevados na obra para eventual reparação da mesma.

3.1. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Demonstrar os tipos de fissuras nas edificações em engenharia civil, suas origens e como advém a restauração;

- Demonstrar também os processos de corrosão nas edificações em engenharia civil e os danos que a mesma provoca, assim como soluções.

4. CONCRETO

Segundo MEHTA (1994), o concreto tem extraordinárias qualidades mecânicas que aglomeram a alçada resistência à construção. A composição do concreto é produzida por cimento, agregados, adicionais e água, significando o cimento o material que igualmente intervém nos métodos físicos e químicos que modificam na sua resistência, como por modelo, a armação porosa do concreto e a abundância de água.

De combinação com GIAMMUSSO (1992), um concreto pode constituir-se seco, resistente, brando, elástico ou fluído, segundo o preceito de espessamento, ou melhor, rolagem, prensagem, centrifugação, oscilação, espessamento manual ou auto-espessamento.

Os concretos bem adensados comumente têm de 1% a 2% de vazios, entretanto um adensamento mal adimplido pode consentir conteúdos maiores.

QUADRO 01: Teor de vazios relacionado com a resistência em um concreto

		bem adensado					
Teor de vazios		1%	2%	3%	4%	5%	10%
Redução de resistência		8%	17%	24%	31%	37%	60%

Fonte: Giannusso (1992, p. 33).

4.1 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um contíguo de peças composto por uma dose correta de cimento, agregados e água, e em seu interno é implantado um princípio de barras de aço conectadas, de maneira a alcançar oposição ajustada com os empenhos requerentes.

Distingue-se do concreto pelo acontecimento de ser acrescentada uma armadura metálica a qual é passível por opor-se às energias de tração, enquanto que o concreto em si opõe-se à constrição.

4.2 COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO

De tal maneira o concreto consagrado como o armado se compõem dos próprios elementos: adicionados, cimento, água, aditivos e aço..

4.2.1 Agregados

Na intuição de MEHTA (1994), o agregado é um material granular composto por areia, pedra britada, calhau ou resíduo de alto forno, esses elementos concebem cerca de 80% do peso do concreto e afora de sua extensão útil quanto à compressão e à oposição, a dimensão, a densidade e a forma dos seus grãos deliberam diversas propriedades apetecidas no concreto. Assim como o material empata uma percentagem abrangida de massa de concreto, este necessita cooperar nas características do concreto fresco e endurecido. O aglomerado é mais barato que o cimento, dessa forma se torna forçoso o acréscimo da quantidade de massa de concreto. O emprego do agregado tem seus benefícios afora do valor monetário baixo em analogia ao cimento, propicia amplos melhoramentos técnicos ao concreto.

Em se abordando do volume dos grãos, os agregados podem estar divididos em grossos e pequenos. Todo o agregado que permanece armazenado na peneira de número 4 é estimado grosso, significando que o pequeno é o que impetra calhar por esta peneira.

Afora da dimensão eles podem ser qualificados como artificiais ou naturais, significando artificiais as areias e as pedras abrolhadas pelo meio do britamento de pedras, pois precisam da ação do homem para decompor o seu

volume, e as naturais são as areias removidas de rios ou barrancas e pedras da cama dos rios.

SILVA (1995), assevera que o adido não tem contorno geométrico marcante podendo ser cubiforme, comprido ou folhado. Sua textura superficial pode constituir bruta ou lisa, significando que quão mais áspera for, máximo será a adesão a pasta, porquanto além da implicação físico-químico possui o resultado do intertravamento maquinal entre os adicionados e a pasta de cimento.

4.2.2 Cimento

Conforme ANDREOLLO (1976) o cimento constituiria um material com aptidão de fragmentação, desenvolvendo-se uma massa densa. Esta importância conglomerada um mundo de materiais aglutinantes, tais quanto pedras, areia, blocos dentre outros.

Os cimentos que admitem que o concreto contenha característica de pega e endurecimentos sob a água são qualificados quanto cimentos hidráulicos, os quais são compostos por silicatos e aluminatos de cálcio, ponderados como cimentos naturais, portland ou aluminosos.

O cimento Portland se compõe por múltiplos elementos, dos quais são quatro os que também se sobressaem, havendo grande extensão em suas qualidades.

QUADRO 02: Basilares compostos do cimento

Compostos	Formulas químicas	Formulas simplificada
Silicato Tricálcico	3 CaO.SiO ₂	C3S
Silicato Dicálcico	2 CaO.SiO ₂	C2S
Aluminato Tricálcico	3 CaO.Al ₂ O ₃	C3A
Ferro Aluminato Tetracálcico	4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF

Fonte: SILVA (1995, p. 22).

Afora dos compostos basilares do cimento, podem encontrar-se presentes compostos de segundo grau, tais como, óxido de cálcio livre, óxido de sódio e potássio (apelidados de álcalis do cimento), de magnésio, manganês, fosfatos, fluoretos e sulfatos. Esses elementos permanecem presentes no clínquer e suas extensões no próprio pendem dos arranjos da rocha calcária e argila, afora das grandezas da combinação desses materiais.

Têm cinco tipos de cimentos regularizados no Brasil, o cimento portland comum, composto, alto-forno, pozolânico e de alta resistência primitiva. Além desses ainda pode ser empregado o cimento branco.

4.2.3 Água

De combinação com MEHTA (1994), para se conseguir um concreto de boa propriedade, a água necessita estar libera de impuridades, tais como óleos, ácidos, sais, objetos orgânicos e distintas que possam intervier nas reações de hidratação do cimento, porquanto as próprias em abuso na água de amassamento podem disfarçar o período de pega, resistência e falhas arquitetônicas nas superfícies, atentando o acontecimento de eflorescência e destruição da armadura.

4.2.4 Aditivos

Segundo ANDRIOLO (1976), os adicionais são matérias que juntados ao concreto ou argamassa em sua combinação, podem aprimorar suas características na condição fresca ou endurecida, como aprimorar a trabalhabilidade, acrescer a resistência, delongar ou apressar a pega e a enriquecimento da resistência, coligar o ar, em meio a outras melhoras. O adicional pende de seu tipo e desígnio para se aferir se seu valor significará elevado ou desprezível.

SILVA (1995) lembra que um adicional não apresenta a intenção de emendar falhas no concreto, originados pela dosagem mal calculada ou emprego mal feito.

Tipos de adicionais:

- 1 Plastificantes;
- 2 Aceleradores;
- 3 Incorporadores de ar;
- 4 Impermeabilizantes
- 5 Retardores;
- 6 Superplastificantes
- 7 Pigmentos.

Os aditivos conforme sua atuação pode constituir-se diferenciados por serem físicos, químicos ou físico-químicos. Assim como com ação química são apelidados de aceleradores ou retardadores, modificando o pH e a solubilidade da etapa líquida, porquanto se altera a hidrólise da água, prontamente os com ação física consistem nos superplastificantes, plastificantes ou incorporadores de ar, e os de atuação físico-químico consistem nos plastificantes retardadores, expansores, e os impermeabilizantes.

4.2.5 Aço

O aço comumente empregado para o concreto pode ser equipado por diferentes compões, tipos e grandezas. Podendo ser barras laminadas, com rugosidade ou lisas, cordoalhas, malhas soldadas ou fios.

Segundo a NBR 6118:2003, nas concepções de estrutura de concreto precisam ser usados aços de convenção com a NBR 7480:1986, com predicado de resistência de vazante segundo as categorias: CA-25, CA-50 e CA-60.

ANDRIOLO (1976) profere que a propriedade de tração do aço pode ser ponderada quanto: tensão de quebradura, tensão de escoamento, módulo de elasticidade, alongamento e a quebradura.

5 CARACTERÍSTICA E PROPRIEDADES DO CONCRETO LIGADAS A CORROSÃO

5.1 DURABILIDADE DO CONCRETO

De combinação com MEHTA (1994), o concreto é estável assim como o próprio preenche todas suas colocações ambicionadas durante um apurado espaço de tempo.

Aferir a resistência do concreto incide em aceitar, considerar e qualificar o nível de ofensiva do meio ambiente e a armação do concreto (resistência) para, portanto apreciar a união dentre esses. Sua resistência pende da resistência do concreto e da armadura, significando que se possuir a degradação de um deles, ambos permanecerão danificados.

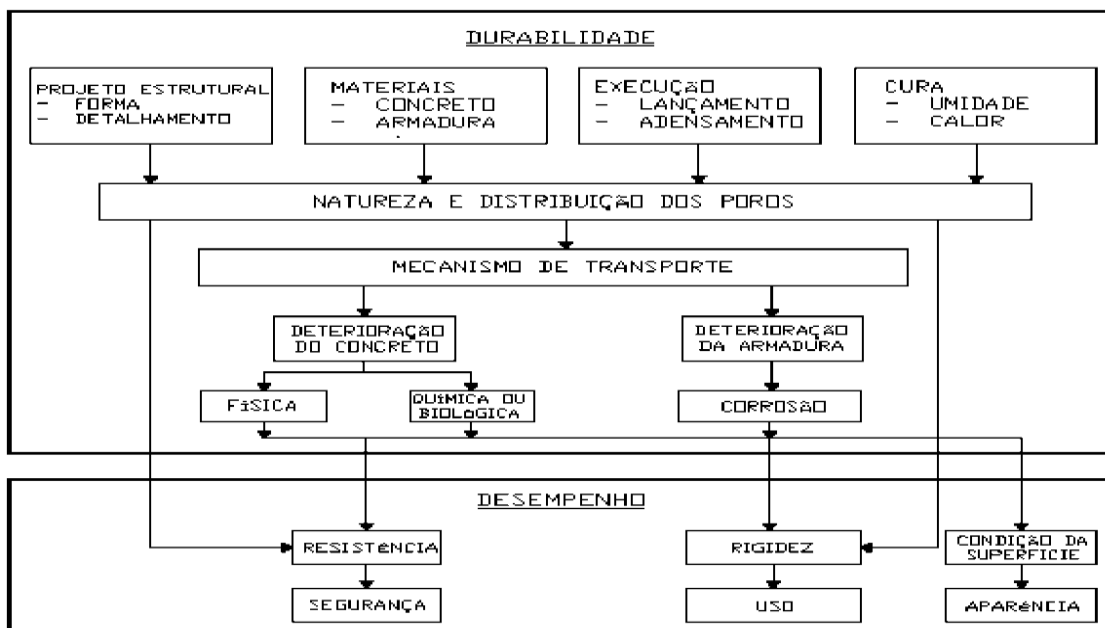
A resistência está na competência do concreto contrastar a intempéries, intervenções químicas, ou melhor, a algum tipo de método que origine degradação.

Segundo HELENE (1986), a resistência das armações de concreto armado é o efeito da dobrada natureza que o concreto desempenha sobre o aço, por um caminho o desempenho do cobrimento quanto um impedimento físico, e por diverso caminho à alçada alcalinidade que o concreto amplia sobre o aço, cunhando uma camada inerte que o conserva imperturbado por um apurado período.

Com a combinação do cimento com a água, os elementos hidratam-se desenvolvendo englobados concretos, compostos pela hidratação do cimento e pela etapa áquea, no qual o abuso de água é forçoso para combinação de todos os seus elementos. A resultante disto é um concreto consistente espesso e pesado, contudo poroso, aonde nesses poros é que se proporciona certa permeabilidade aos fluidos e aos vapores.

Repetidamente as dificuldades com a resistência são originadas pela informação escasso em analogia ao meio ambiente ou através do desconcerto das normas técnicas, particularizações de maneira errada, entre distintos.

QUADRO 03: Durabilidade e desempenho



Fonte: Silva (1995, p. 61).

5.2 PERMEABILIDADE

SILVA (1995) articula que a resistência do concreto é inteiramente comprometida pela sua permeabilidade. A permeabilidade é a característica que administra a rapidez do andamento de um fluido através da peça interna de um material consistente.

A permeabilidade do concreto pende de dimensão, repartição e prosseguimento dos poros da pasta, da permeabilidade dos adicionados, da banda de passagem pasta/adido, do arremesso, espessamento e cura.

5.2.1 Permeabilidade a água

Conforme HELENE (1986), a permeabilidade da pasta de concreto é inteiramente influenciada pelas permutas dispostas com adicionados pesados, perfeitamente alastrados e adensados, as quais necessitam permanecer isentas de ar encarcerado.

A permeabilidade da pasta de concreto é inteiramente influenciada pela afinidade água/cimento e pelo nível de hidratação. Tratando-se de conferições, a permeabilidade da pasta com um dia de data é dez mil vezes elevado à da pasta com sete dias, e um milhão de vezes mais elevada a de 28 dias.

5.2.2 Permeabilidade aos gases

Carecido as suas qualidades moleculares, o oxigênio adentra pelo meio do concreto mais ligeiramente que o CO₂, emanação de H₂O ou água. O CO₂ só impetra adentrar no concreto em campos que se deparam carbonatadas.

Em atmosferas úmidas a permeabilidade aos vapores abranda no concreto, porquanto a umidade e a água dentro dos poros inibem o movimento dos vapores, e mesmo a instauração de microfissuras de compressão.

É respeitável observar que a permeabilidade pautada à água e aos vapores, não só pende da porosidade e volume de vãos, entretanto sim da difusão dos poros capilares. É dessa forma que concretos com adicionais incorporadores de ar consistem em mais impenetráveis às rebaixas compressões de água e ar.

5.3 POROSIDADE

O cimento assim como permanecer hidratado debela diferentes tipos de vãos que influenciam em suas características, o volume desses vãos é manifesto como porosidade.

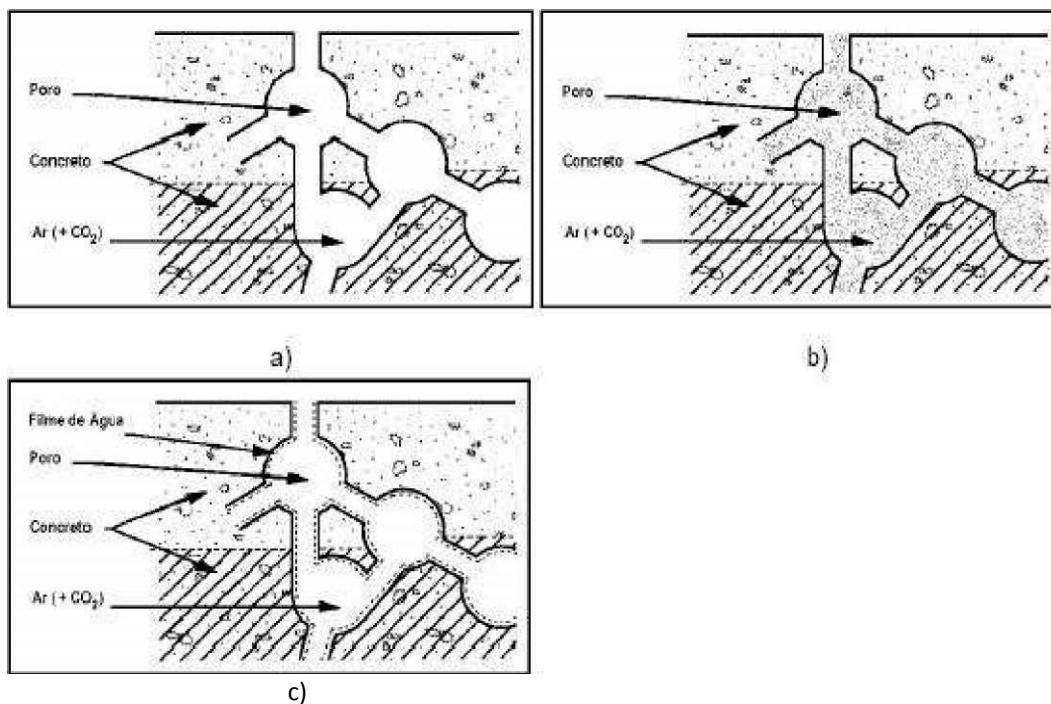
SILVA (1995) alega que os tipos viventes de poros consistem em deliberados quantos poros na pasta e os poros de atmosfera. Os poros nas pastas podem ser de gel e capilar. Poros de atmosfera em sua multiplicidade são amplos e são constituídos pelas deformidades de implemento de concreto. De tal maneira os poros capilares assim como os poros de ar são respeitáveis para a resistência.

As importâncias químicas são alteradas ao interno do concreto pelo meio dos poros do concreto. Os poros são respeitáveis por constituírem um meio de carregar tanto conteúdos líquidos como nocivos e igualmente faz classificação da dimensão dos próprios.

CASCUDO (1997) pronuncia que é pelo meio dos poros que o CO_2 impetra entrar no concreto, contudo permanece uma contenda em poros secos e poros enchidos com água. Em poros secos o CO_2 se invadirá em seu interno, mas a carbonatação não acontecerá necessitado à ausência da água, segundo figura 1 a.

Em poros abarrotados com água, não possuirá enchimento do CO_2 , carecido a sua rebaixa percentual de propagação na água, segundo aceito na figura 1b. E no episódio dos poros parcialmente enchidos com água, que é o episódio do plano do concreto, a carbonatação chegará os poros do concreto em sua fundura, segundo preconizado na figura 1.

FIGURA 01: Aspecto esquemático de carbonatação, induzindo em conta poros secos, carregados com água e parcialmente enchido com água



Fonte: Cascudo (1997, p. 52).

5.4 COBRIMENTO

O cobrimento tem por finalidade proporcionar uma proteção física para a armadura e um meio alcalino elevado para que seja evitada a corrosão por passivação do aço, também podendo assegurar uma ação estrutural entre o aço e o concreto. A proteção depende das características do próprio concreto e de sua propriedade, sendo que a diferentes concretos necessitam de diferentes cobrimentos, para assim manter o mesmo nível de proteção HELENE (1984).

O concreto armado pode por natureza proteger a armadura contra corrosão impedindo a formação de células eletroquímicas, das seguintes formas:

- a) Proteção física: Um concreto de alta capacidade, bom cobrimento, argamassa adequada e sem ninhos, pode garantir, por meio da impermeabilidade, a proteção do aço contra ataques de agentes agressivos externos. Esses agentes estão contidos na atmosfera por meios de águas residuais, águas do mar, águas industriais, dejetos orgânicos, etc.

- b) Proteção química: Em um ambiente muito alcalino forma-se na superfície do aço uma camada protetora passiva. O concreto tem caráter alcalino por que as reações da hidratação dos silicatos de cálcio liberam hidróxido de cálcio, em teores que podem atingir aproximadamente 120kg/m^3 . Essa base forte de hidróxido de cálcio dissolve-se na água e preenche os poros capilares do concreto, dando a este um caráter alcalino. O hidróxido de cálcio proporciona uma passivação para o aço.

HELENE (1986), diz que quando o concreto não for adequado ou não recobre (ou recobre deficientemente) a armadura, há a formação de óxi-hidróxidos de ferro, que ocupam volumes de 3 a 10 vezes o volume original do aço da armadura, podendo provocar pressões superiores a 15MPa. Essas tensões provocam a fissuração do concreto, em direção à corrosão da armadura, favorecendo assim a carbonatação e a penetração de agentes agressivos podendo causar o lascamento do concreto.

5.5 FISSURAS E LASCAMENTOS DO CONCRETO CAUSADOS POR CORROSÃO

Conforme HELENE (1986), as estruturas de concreto devem ser dimensionadas para não gerar abertura de fissuras em sua superfície, pois a presença delas contribui para a queda da proteção oferecida a armadura pelo seu cobrimento. Fissuras superiores a:

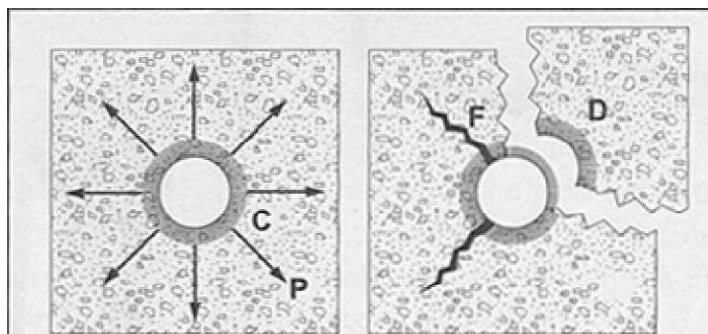
- a) 0,1mm para peças não protegidas em meio agressivo;
- b) 0,2mm para peças não protegidas em meio não agressivo;
- c) 0,3mm para peças protegidas.

A medição dessas fissuras é muito difícil, porque além da vista humana não conseguir distinguir uma fissura $< 0,1\text{mm}$, elas também são muitos irregulares e de aberturas variáveis.

Considerando as fissuras de retração e de origem térmica, elas possuem aberturas bem reduzidas, porém podem atingir profundidades 2500 vezes maior que sua abertura, atuando também como fator de concentração de

tensões. Devido a isto se torna mais importante conhecer a profundidade da fissura, se ela alcança ou não a armadura, do que sua abertura superficialmente.

FIGURA 02: Fissuras e destacamentos do concreto, devido à corrosão de armaduras



C- Corrosão de Produtos P- Esforços Radiais F- Fissura D- Destacamento do Concreto

Fonte: Cascudo (1997, p.63)

O que se observa na maioria das vezes é o aparecimento de manchas de coloração marrom-avermelhada na superfície do concreto.

Em estribos o problema da corrosão é mais grave, que por vezes se apoiam diretamente sobre as formas, sem cobertura suficiente. No entanto a corrosão se inicia nos locais em que se concentra bastante umidade, onde sofre condensação e em ambientes mais quentes. Esse processo é visível, pois os produtos de corrosão têm coloração vermelho-marrom-acastanhada e por serem solúveis, eles escorrem pela superfície do concreto, manchando-o.

5.5.1 Fissuras causadas por carbonatação

O processo de carbonatação se dá ao longo das paredes das fissuras, sendo que essas fissuras vão contribuir para o aparecimento de células de corrosão (pilhas), devido aos diferentes valores de pH e aeração decorrentes da carbonatação.

FIGUEIREIDO (1993), diz que é através das fissuras que o CO_2 consegue penetrar no concreto mais rapidamente. Isto depende da dimensão

de abertura da fissura, da quantidade de íons OH^- e da água no seu interior. O fenômeno da autocicatrização da fissura se dá pelo processo de carbonatação.

5.5.2 Fissuras causadas por ataque de sulfatos

THOMAZ (1989), afirma que os sulfatos provêm de diversas fontes, como o solo, águas contaminadas, ou mesmo componentes cerâmicos constituídos por argilas com altos teores de sais solúveis. Um dos constituintes normais encontrados no cimento, como o aluminato tri cálcico, reagindo com os sulfatos, formam um composto de denominação etringita, no qual essa reação é acompanhada de grande expansão.

Em se tratando de expansão de argamassas de assentamento, primeiramente ocorre uma expansão geral da alvenaria, seguido de casos onde poderá ocorrer a desintegração progressiva das juntas de argamassa.

Devido ao efeito expansivo na massa do concreto, ocorrerá fissuras e fendilhamentos generalizados que têm por tendência aumentar a abertura e a profundidade, provocando grandes destacamentos de concreto. Quando a expansão não encontra vínculos resistentes, as trincas se dão ao acaso, e quando as trincas encontram vínculos resistentes ao longo de seu caminho, ocorrerá fissura paralela ao eixo vinculado, com a expansão lateral do concreto.

5.5.3 Fissuras causadas por ataque de cloretos

De acordo com FIGUEIREIDO (1993), a corrosão de uma estrutura de concreto se dá em regiões expostas à água, vapor ou em solos que contém íons cloreto, sendo que em regiões que apresentam fissuras o ataque será feito com mais intensidade. Com estas situações formariam pequenas regiões anódicas no interior das fissuras e formariam regiões catódicas fora delas.

É através da abertura das fissuras, da qualidade do concreto e da relação área catódica - área anódica, que a velocidade da corrosão se desenvolve.

FIGURA 08: Fissura causada pelo ataque de cloreto incorporado ao concreto através de aditivos



Fonte: Cascudo (1997, p.64) - Helene (2003)



Fonte: Helene (2006, p.)

6 CORROSÃO NO CONCRETO

Segundo RATTMANN (2005) a corrosão pode se dar por fatores mecânicos, físicos, biológicos e químicos.

Nos fatores mecânicos tem-se como exemplo as vibrações, que podem causar fissuras no concreto podendo proporcionar o contato da armadura com o meio corrosivo.

Nos fatores físicos, como variações na temperatura, podem ocorrer choque térmico na integridade da estrutura. Se os componentes do concreto apresentarem variações de temperatura em seus componentes pode acontecer microfissuras na massa do concreto fazendo com que os meios agressivos consigam penetrar no mesmo.

Os fatores biológicos, como microorganismos, podem criar meios altamente corrosivos como bactérias oxidantes, enxofre e sulfat, as quais aceleram a oxidação.

Os fatores químicos se dão pelos diferentes ambientes que podem ter a presença de diversas substâncias químicas, sendo que essas substâncias podem ser agressivas, como o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico. Ocorre a deteriorização química no concreto com a ação das substâncias químicas sobre as partes não metálicas do concreto.

Conforme CASCUDO (1997), o modelo de corrosão do concreto se dá por iniciação e propagação. A iniciação ocorre no período de tempo da construção até a ação dos agentes agressivos, atravessando o revestimento do concreto e alcançando a armadura. A película passiva do concreto é a grande defesa das armaduras impedindo que ocorra a corrosão.

6.1 PROCESSO CORROSIVO DO CONCRETO RELACIONADO A INFLUÊNCIA DO MEIO

CÁNOVAS (1988), afirma que as estruturas do concreto devem ser vistoriadas periodicamente para que eventuais anomalias possam ser identificadas e corrigidas em tempo, mediante tratamento adequado. Nas obras

em que os meios possam atuar de maneira desfavorável, é mais comum o aparecimento de corrosão no concreto ou em suas armaduras necessitando uma inspeção especial.

HELENE (1996), diz que os tipos de meios destacados com relação à corrosão são os meios de atmosfera rural, urbano, marinha, industrial e viciada.

a) Atmosfera Rural: são regiões abertas, distantes de fontes poluidoras do ar, com fraca agressão às armaduras no concreto, pelo lento processo da redução da proteção química proporcionada pela película passiva pela alcalinidade. Por falta de ácidos, gases suficientes para depositarem nas superfícies expostas, o aceleração do processo de carbonatação fica impedido, sendo mais lento. Os teores de gases sólidos são desprezíveis a menos que haja uma fonte natural como esterco que libera NH_3 e SO_2 na sua fermentação ou rios e lagos poluídos que possam liberar H_2S .

b) Atmosfera Urbana: regiões abertas com centros populacionais maiores contendo impurezas em forma de óxidos de enxofre e outros agentes agressivos. O ar atmosférico é a combinação de ar seco e vapor da água. A umidade do ar é um fator importante porque afeta a velocidade da corrosão atmosférica. Na atmosfera urbana não há a formação de barreiras protetoras, com isso o processo de corrosão pode acelerar, a ferrugem aumenta, a superfície fica exposta e com isso a condensação de umidade e deposição de fugilem também aumenta.

c) Atmosfera Marinha: regiões abertas sobre o mar e perto da costa, contendo em sua atmosfera cloretos de sódio e de magnésio podendo ter sulfatos, esses elementos são agressivos e podem acelerar o processo de corrosão das armaduras. A possibilidade de corrosão na atmosfera marinha pode variar de 30 a 40 vezes maior do que na atmosfera Rural.

d) Atmosfera Industrial: regiões abertas, industriais, com gases e cinzas agressivos. Contendo gases ácidos que podem reduzir a alcalinidade do concreto aumentando a velocidade de carbonatação, destruindo o revestimento do aço. Essas regiões podem acelerar entre 60 a 80 vezes o processo de corrosão quando comparadas com as rurais. A ação danosa deve ser considerada em conjunto com a umidade da região, podendo assim ocorrer a corrosão.

e) Atmosfera Viciada: locais fechados cuja taxa de renovação do ar é baixa, nesses locais é intensa a concentração e geração de gases agressivos ao concreto. Nos esgotos pode-se encontrar o ácido sulfúrico, à medida que o esgoto flui pela rede coletora a concentração de ar diminui pela demanda ser maior que o fornecimento, assim o ar é exaurido e os sulfetos aparecem. Os sulfatos também podem ser encontrados na água potável e conforme o seu uso o sulfato pode aumentar. Quando em ambiente fechado, sem oxigênio, as bactérias, por falta de oxigênio, acabam por consumir o íon sulfato, deixando assim o íon sulfeto livre, resultando no íon HS^- e gás Sulfúrico. Esse gás quando liberado pode ser absorvido pelo coletor, sendo oxidado mais uma vez através de bactérias aeróbicas, assim transformando-se em ácido sulfúrico

6.2. INICIAÇÃO DA CORROSÃO POR CARBONATAÇÃO

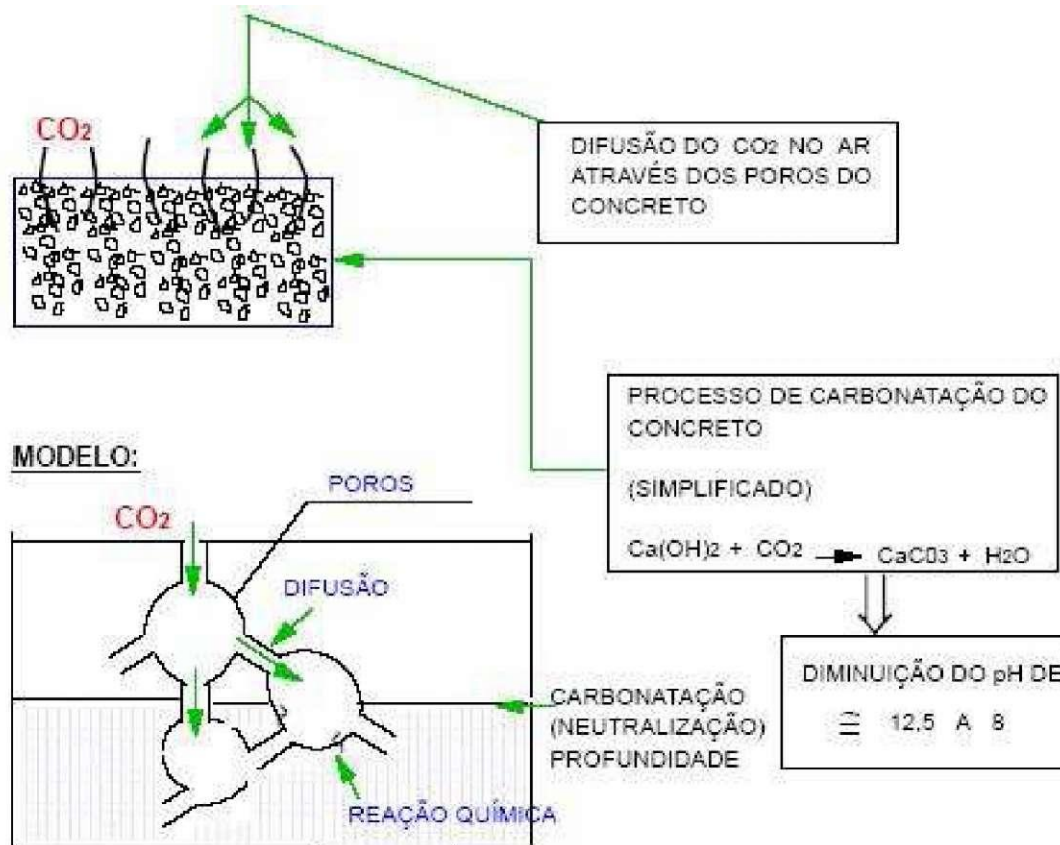
Conforme CASCUDO (1997), nas superfícies expostas das estruturas de concreto, a alta alcalinidade, obtida através do hidróxido de cálcio, pode ser reduzida com o tempo, essa redução ocorre pela ação provocada pelo CO_2 do ar entre outros gases ácidos como SO_2 e H_2S . Este processo é chamado de carbonatação, o qual se inicia através de processo lento, atenuando-se com o tempo. A hidratação crescente no cimento e os próprios produtos da reação de carbonatação, que dificultam o acesso de CO_2 do ar para a parte interior do concreto. Segundo a reação:

O processo pode ocorrer com diversas reações, mas sempre um dos produtos finais será o carbonato de cálcio (CaCO_3).

ANDRADE (1992), afirma que no processo de carbonatação ocorre a existência de uma frente de avanço no processo, separando duas zonas de pH diferentes, uma tem pH menor que 9, no qual se encontra carbonatada e a outra com pH maior que 12, não carbonatada. O contato entre essas zonas é transacional, fazendo com que a carbonatação progrida ao longo dos planos de descontinuidade dados pela pasta matriz. Esse contato pode acontecer pelo fato de que nesta região há uma grande concentração de hidróxido de cálcio,

podendo existir conectividade por redes de poros da região com o meio ambiente, com isso pode ocorrer a carbonatação ao longo do tempo.

FIGURA 10: Avanço do processo de carbonatação



Fonte: Cascudo (1997, p51).

6.2.1 Carbonatação x Umidade relativa

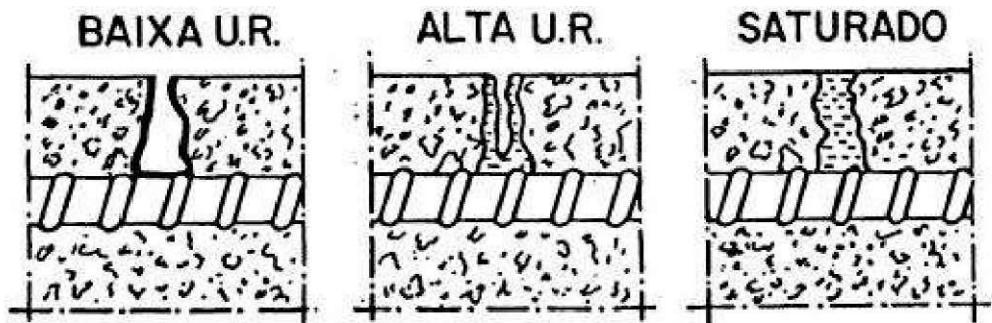
O teor de umidade está diretamente ligado a carbonatação. É através da água que o CO₂ se difunde através dos poros do concreto.

Em função da umidade relativa do ar, os poros do concreto podem conter diferentes quantidades de água. Em ambientes totalmente secos, ambientes molhados ou ambientes úmidos, a difusão do CO₂ é totalmente diferente.

Em poros secos, a difusão do CO₂ em regiões de encontro com o aço é fácil de acontecer, porém não ocorre a carbonatação devido à falta de água, e em poros preenchidos com água a carbonatação não acontece porque o CO₂

possui baixa velocidade de difusão. Porém quando os poros se encontram úmidos, parcialmente molhados, a carbonatação avança devido o encontro da água com o CO_2 . FIGUEIREDO (1993).

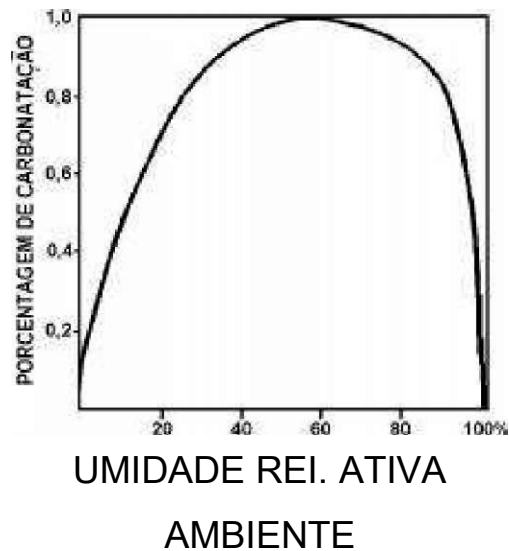
FIGURA 11: Teor de umidade no interior dos poros em função da umidade ambiental



Fonte: Andrade (1992, p34).

Segundo ANDRADE (1992), a umidade relativa fica entre 50% e 65% nos casos que possuem o maior grau de carbonatação, e com umidades menores que 20% ou maiores de 95%, a carbonatação ocorrerá lentamente, e em alguns casos nem ocorrerão.

FIGURA 12: Grau de carbonatação em função do teor de umidade relativa no ambiente



6.2.2 Carbonatação x Lixiviação

A lixiviação do hidróxido de cálcio, juntamente com a formação do carbonato de cálcio insolúvel, é responsável pelo aparecimento de eflorescência, as quais são caracterizadas por depósitos salinos de hidróxido de cálcio dissolvido em água, com coloração branca, que emergem até a superfície do concreto em forma de carbonato de cálcio proveniente do interior do concreto, criando cristais salinos em sua superfície conforme a sua permeabilidade a água da chuva, alterando a pressão no interior dos poros do concreto e aumentando as espessuras de carbonato de cálcio.

FIGURA 13: Lixiviação no concreto



Fonte: <http://www.recuperar.com.br/meuproblema/meuproblema62.pdf>

6.2.3 Métodos usados para medir a espessura carbonatada

HELENE (1986), diz que uma determinação precisa só é possível através de estudos de seções microscópicas, com auxílio de prismas de Nicol. A dupla refração sofrida pelo carbonato de cálcio que produz uma cor clara pode contrastar com a pasta de cimento endurecida, aparecendo escura como material óptico isotrópico. O problema é a queda do pH, indicadores a base de fenolftaleína ou similares, que indiquem a mudança de pH entre 8 e 11, podendo ser empregados com sucesso. Uma determinação deste tipo deve ter cautela e jamais sobre concretos serrados, molhados ou alterados por deficiência de técnicas de amostragem. É comum encontrar regiões mais alcalinas alternadas com regiões menos alcalinas nas argamassas e concretos que recobrem uma mesma barra de aço. Em geral aplica-se 1% de fenolftaleína dissolvida em 70% de álcool etílico, a redução do pH poderá ser visualizada através do quadro 04.

QUADRO 04: Diferença de coloração conforme o valor do pH do concreto, com adição da fenolftaleína

VALORES DO pH:	COLORAÇÃO
Inferior a 8,3	incolor
Superior a 9,5	Vermelho-carmim
Entre 8 e 9,5	Variável entre rosa e vermelho-carmim

Fonte: Cascudo (1992, p76).

6.2.4 Cálculo da velocidade de carbonatação

É importante saber se a carbonatação chegou ou não até a armadura. É necessário saber se esta provocou ou contribuiu para a deterioração da estrutura. Cada concreto tem velocidade diferente durante o processo de carbonatação, pois isso depende de variáveis como o consumo do cimento no concreto, a porosidade do concreto, tipo de cimento, umidade ambiente entre

outras. A equação que se usa para calcular a velocidade do processo de carbonatação é:

$$X = K\sqrt{t}$$

Onde **X** será a capa carbonatada em mm, **t** será o tempo em anos e meses e **K** será a constante. Sendo que o valor de **K** pode ser determinado pela espessura da capa carbonatada ou idade da estrutura. Conhecendo **K** pode-se dizer qual a velocidade de avanço da frente de carbonatação e o tempo em que demorará chegar até a armadura, desde que não tenha já alcançado.

6.3 INICIAÇÃO DA CORROSÃO POR ATAQUE DE CLORETOS

Grande parte das corrosões de armadura se dá devido à ação dos íons cloretos que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado, estes presentes em quantidades importantes podem causar a despassivação do aço inclusive em um meio de alto pH, como é o concreto sem carbonatação.

Os íons cloretos podem penetrar no concreto por meio de aceleradores de pega, água de amassamento e de agregados. Outra forma de penetração ocorre freqüentemente nos ambientes marinhos através de rede de poros (maresia). Outro mecanismo marinho encontrado em climas quentes seria o de transporte por forças capilares, muito próprio de ambientes de "névoa satina".

Segundo ANDRADE (1992), os cloretos podem ser encontrados no concreto através de cloretos livres (dissolvidos na fase aquosa do concreto) ou como cloretos combinados, formando parte das fases hidratadas do cimento. Os cloretos livres são os mais perigosos e agressivos a armadura já no segundo caso se encontram combinados na forma de cloroaluminatos. A soma de ambos é denominada de cloretos totais. Embora os cloretos solúveis sejam os únicos capazes de corroer o concreto, é importante determinar os cloretos totais, também levando em conta que parte dos combinados podem vir a ficar disponível para reações deletérias devido a fenômenos como a carbonatação ou aumento de temperatura.

6.3.1 Mecanismo de rompimento da camada passiva no concreto por ação dos cloretos

De acordo com RATTMANN (2005), existe três teorias que resumem os efeitos dos íons cloretos na corrosão do aço:

Teoria da Adsorção ^ se dá quando os íons são adsorvidos na superfície metálica em confronto com o oxigênio dissolvido ou com os íons hidroxilas, a dissolução é facilitada através da hidratação dos íons metálicos promovidos pelo cloreto.

Teoria do Filme óxido ^ ocorre quando os íons de cloreto penetram no filme de óxido passivamente sobre o aço por meio de poros ou defeitos ou dispersão coloidal. Os íons cloreto diminuem a tensão superficial interfacial ocorrendo a formação de rupturas e falhas deixando o filme passivo debilitado.

Teoria do Complexo transitório ^ os íons cloreto competem com os íons hidroxilas para produzirem os íons ferrosos, através disto forma-se um complexo solúvel de cloreto de ferro, este cloreto tem a possibilidade de se difundir através de áreas anódicas, assim ocorre a destruição da camada protetora de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e com isso se permite a continuação do processo corrosivo. A corrosão deverá ser estancada, caso contrário mais íons de ferro continuarão a migrar dentro do concreto a partir da corrosão, e assim reagem com o oxigênio a fim de formar óxidos com o volume quatro vezes maior, causando tensões internas e fissuras no concreto.

6.3.2 Limite crítico de cloretos

Existem diversas normas de diferentes países que limitam o conteúdo de cloreto, sendo que há grandes variações de um país a outro. Isto se dá devido a uma certa dificuldade em estabelecer um limite seguro de cloretos sem que exista algum comprometimento de despassivação do aço, já que este limite depende de certas variáveis, como o tipo de cimento (finura, conteúdo de

gesso, conteúdo de aluminato tricálcico, etc.), proporção de cimento, relação água/cimento, conteúdo de umidade e outros. Além dessas poderia surgir o aumento da quantidade de água (NBR 6118) ou pelo aumento do consumo de cimento (Normas Estrangeiras), no qual estaria apta a aumentar o teor de cloretos na massa de concreto sem danos a armadura.

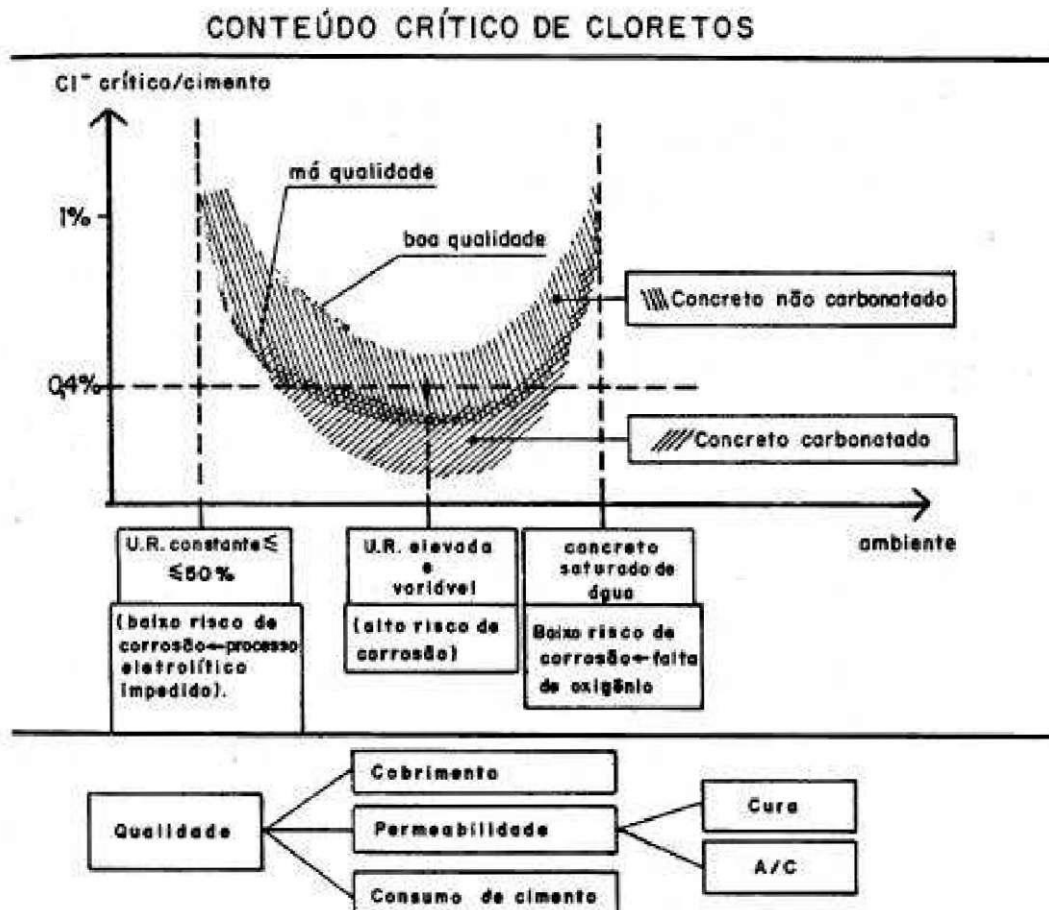
QUADRO 05: Teor limite de cloretos proposto por diversas normas

NORMAS	TEOR DE CL⁻ PARA CONCRETO ARMADO (%)
EH - 88 (Espanhola)	0,40
Pr EN-206 (Espanhola)	0,40
BS - 8110/85 (Inglesa)	0,20 - 0,40
ACI-318/83 (Norte Americana)	0,15 - 0,30 - 1,00

Fonte: Andrade (1992, p26).

Dos valores apresentado no quadro 05, podemos destacar 0,4% como sendo um valor de consenso na maioria das normas, posto como índice máximo admitido, porém a Federal Highway Administration, nos EUA, estabelece que uma concentração de íon cloro maior que 0,3% já é considerada perigosa. A norma Brasileira NBR 6118 estabelece um teor máximo de cloretos de 500mg/l, relacionado ao peso da água de amassamento, considerando os traços normalmente utilizados no Brasil, esse limite passa a ser da ordem de 0,02% do peso do cimento. Portanto a figura 14 expressa de maneira mais clara o teor crítico de cloretos em função do concreto e da umidade.

FIGURA 14: Esquema de variação do teor crítico de cloretos em função da qualidade do concreto e a umidade do ambiente



Fonte: Cascudo (1997, p49).

6.3.3 Medida da profundidade de alcance dos íons cloretos no interior do concreto

FIGUEIREDO (1993), diz que essa medida é utilizada para expressar a profundidade em que o conteúdo crítico de cloreto atinge em relação à superfície do concreto.

Para se fazer essa medida deve-se retirar amostras de concreto em diferentes locais da estrutura, em forma de pó com perfuradoras. A análise quantitativa de íon cloreto nas amostras pode ser feita por via química ou por análise de fluorescência de raios-X, entre outros. Outro método a ser empregado é a vaporização de uma solução de AgNO_3 sobre a superfície fraturada do concreto. Após a aplicação, forma-se precipitados brancos de cloreto de prata nas áreas atingidas pelos íons. O AgNO_3 reage com as

hidroxilas, formando óxido de prata, logo aparece na superfície do concreto um precipitado marrom.

6.4 INICIAÇÃO DA CORROSÃO POR ATAQUE DE SULFATOS

Grande parte da destruição do concreto devido a sua expansão é devido à ação agressiva dos sulfatos. O concreto agindo sob ação dos sulfatos fica completamente deteriorável, sem resistência.

THOMAZ (1989), diz que um constituinte normal do cimento, como o aluminato tricálcico, reagindo com sulfatos em solução, gera um composto denominado sulfoaluminato tricálcico ou etringita, sendo que essa reação é acompanhada de grande expansão. Para que ocorra essa reação, é necessária a presença de cimento, água e de sulfatos solúveis.

A ação do íon sulfato sobre a pasta de cimento é esquematizada da seguinte maneira:

$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Na(OH)} + 8\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{C}_3\text{A} \cdot 12\text{H}_2\text{O} + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 14\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$$

Essas reações representam a ação do sulfato de sódio sobre a pasta endurecida. A primeira reação representa a formação de gipsita no interior da massa, e na segunda reação existe a formação da etringita. Estas reações são responsáveis pela expansão e trinca das argamassas e concretos atacados por solução de sulfato.

Os sulfatos provêm de diversas fontes, como o solo contaminado, cimentos, aditivos, águas contaminadas ou mesmo componentes cerâmicos como argilas. A água poderá ter acesso, aos componentes através de diferentes formas: por penetração da água da chuva ou pela absorção da umidade resultante da ocupação da edificação.

6.4.1 Protegendo o concreto dos sulfatos

Para se ter um concreto protegido, sugere-se usar concretos com baixo fator água/cimento, aditivos apropriados, boa vibração e principalmente uma película resistente de proteção. O uso de sílica, cinzas e cimento de alto forno melhoram sua resistência devido a redução da quantidade de elementos reativos (cálcio), necessários às reações sulfatos-expansivos.

Como não existe nenhum aditivo específico para dar resistência aos íons sulfatos, devem-se proteger preventivamente as armaduras com proteção catódica.

O processo de cura deve ser rigoroso, de modo que a permeabilidade seja a menor possível. Nos casos em que se encontrem sais sulfatos, deverá limitar a quantidade do aluminato tricálcico (C_3A), em no máximo 5%, e o fator água/cimento em torno de 0,45.

No entanto deve-se ressaltar que teores baixos de C_3A reduzem de forma significativa a resistência da matriz a penetração de íons cloretos, como na água do mar se encontra sais sulfatos, a utilização de cimentos com baixos teores de C_3O acaba acarretando outro problema.

6.5 PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO DO CONCRETO, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Sendo a falta de cobrimento o fenômeno que mais atinge as estruturas em relação a corrosão da armadura, há técnicas usadas na construção que determinam a proteção do concreto. Citam-se abaixo alguns aspectos importantes a serem cuidados, na execução de uma estrutura, para evitar a corrosão das armaduras.

6.5.1 Concreto compacto

São aqueles que possuem superfícies fechadas, impossibilitando o choque dos agentes agressivos, enquanto que no concreto poroso de superfícies irregular, a água entra pelos seus poros e capilares agindo com uma ação destruidora, avançando pelo seu interior. CÁNOVAS (1988).

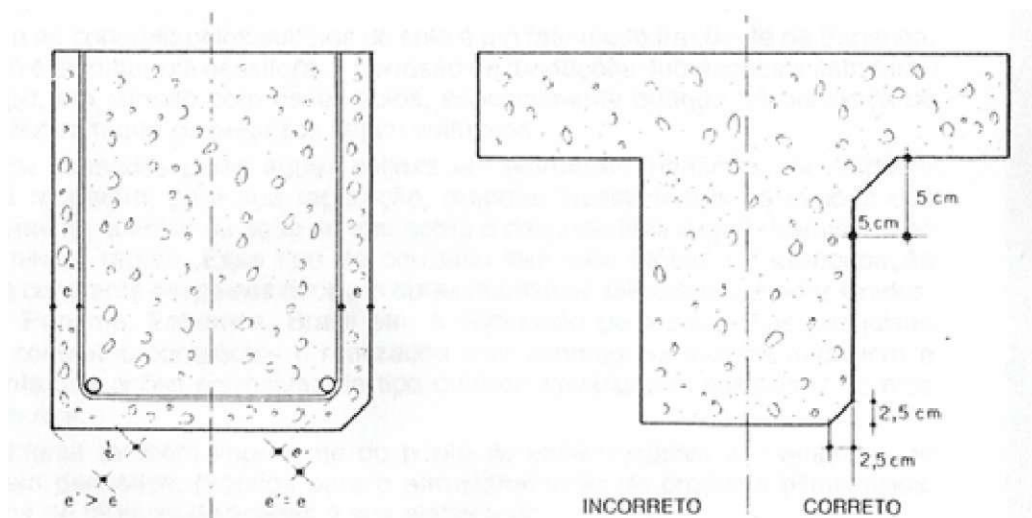
6.5.2 Dosagem mínima de cimento

O contato do concreto com meio agressivo pode acontecer em diferentes idades, através dessa variação é que se encontra a dosagem mínima de concreto..

6.5.3 Arestas

As arestas das estruturas situadas em ambientes agressivos estão constantemente vulneráveis a corrosão, devendo ser substituídas por cantos chanfrados com um mínimo de 2,5cm de lado e 5cm de lado nos cantos côncavos, de acordo com a figura 15.

FIGURA 15: Detalhe do chanfro



Fonte: Cánovas (1988).

6.5.4 Efeito parede

Conforme HELENE (1986), o efeito parede se dá pela movimentação da argamassa para sua superfície. Essa movimentação se dá pelo empobrecimento da massa no interior do concreto.

Peças com grande volume de armaduras apresentam trechos vazios ou com pouca argamassa, isso se dá durante o seu lançamento inicial, no qual a argamassa fica retida na caixaria e nas armaduras, restando pouca argamassa ao concreto em sua base, criando altos índices de vazio entre os agregados e

deixando a superfície do concreto bem poroso. Uma solução simples seria preparar um concreto mais argamassado, ou melhor, lançar inicialmente uma camada só de argamassa, e posteriormente o concreto normal

6.5.5 Pastilhamento

Para se garantir um concreto armado protegido da corrosão da armadura deve-se cumprir o seu cobrimento exigido pela norma através de pastilhas uniformemente distribuídas ao longo do componente estrutural. Estas pastilhas devem garantir a uniformidade do cobrimento, no caso de não cumprimento, esta poderá variar a alcalinidade do concreto entre os trechos, gerando pilhas de corrosão eletroquímica por concentração.

Existem vários tipos de pastilhas, dentre elas a pastilha de argamassa, cordões de argamassa e plásticas, sendo que a mais usual e a mais indicada são as pastilhas de argamassa, devido a sua maior aderência ao concreto.

7 CORROSÃO NAS ARMADURAS

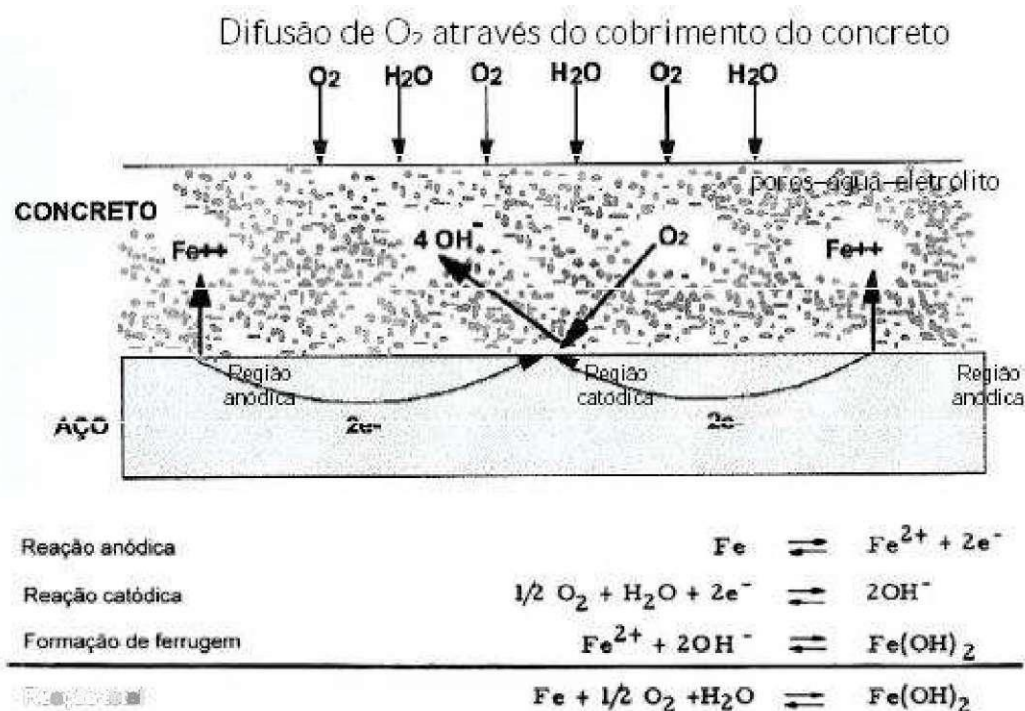
RATTMANN (2005), afirma que o aço para concreto armado não possui requerimentos particulares com respeito à corrosão.

As normas ABNT que tratam dos materiais metálicos para concreto são os seguintes:

- 1 NBR 7480, barras e fios de aço destinados à armadura para concreto armado.
- 2 NBR 7482, fios de aço para concreto protendido.
- 3 NBR 7483, cordoalhas e aço para concreto protendido.

A complicação da corrosão de armaduras em concreto se dá devido aos produtos da corrosão do aço, os quais são diversos: óxidos e hidróxidos de ferro, com seu volume entre três e dez vezes maiores ao volume original do aço não corroído, podendo ocorrer tensões internas com variações entre 15 a 40 MPa. A corrosão do aço se dá pelas reações anódicas e catódicas conforme figura 16.

FIGURA 16: Esquema da corrosão de armadura no concreto



Fonte: Rattmann (2005, p.36)

No ânodo os íons de ferro carregados positivamente infiltram na solução dos poros e os elétrons liberados na reação anódica vão até as regiões catódicas a partir da barra metálica. No cátodo ocorre a redução do oxigênio, o qual é dissolvido em solução aquosa ou do íon de hidrogênio.

CASCUDO (1997), relata que a corrosão de armadura pode ser definida como uma interação destrutiva ou uma inutilização para uso, de um material com determinado ambiente, podendo ser por eletroquímica ou por uma reação química. Quando se trata de um metal este pode se converter em um estado não metálico, com isso ocorrerá a perda das qualidades essenciais do metal, como a elasticidade, resistência mecânica e ductilidade.

Admite-se a corrosão como o inverso do processo metalúrgico, com a finalidade de extrair o metal através de seus minérios ou de outros compostos, tendo em vista que a corrosão tende a oxidar o metal, com isso o produto da corrosão de um metal é bem semelhante ao minério do qual foi originariamente extraído.

Corrosão química ^ também conhecida como corrosão seca ou oxidação, ocorre pela reação gás metal com formação de uma película de óxido, sendo este um processo lento no qual não provoca estragos relevantes nas superfícies metálicas porém quando se trata de gases extremamente agressivos podem ocorrer estragos. Este tipo de corrosão se associa a temperaturas elevadas, podendo ser na temperatura ambiente, em meio gasoso ou líquido. Acarreta uma corrosão homogênea na superfície do metal, não existindo reações de oxidação e redução e geradores de correntes elétricas.

Corrosão eletroquímica ^ este tipo de corrosão trás problemas nas obras civis, sendo esta um ataque de natureza eletroquímica, no qual ocorre em meio aquoso, resultando na formação de uma célula de corrosão.

LIMA (2000) pressupõe que exista uma reação de oxidação e uma de redução e a circulação de íons a partir de eletrólito. Na superfície do metal se gera duas zonas a ânodo e o cátodo, sendo que a perda de elétrons do átomo ocorre em lugar diverso daquele em que a espécie do meio recebe elétrons, sendo irrelevante a distância entre tais locais, podendo até ser próximos ou muito afastado. O ânodo é o local na superfície metálica onde se dá a oxidação

7.1 TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA CORROSÃO

As técnicas eletroquímicas nas quais são utilizadas para o estudo da corrosão de armaduras no concreto permitem uma avaliação cinética da corrosão, a partir da sua intensidade e uma avaliação das reações parciais com suas variáveis influentes no fenômeno global. LIMA (2000)

Das vantagens do emprego destas técnicas serão exemplificados:

- 1 Estas técnicas não são destrutivas, nelas ocorrem à preservação do corpo-de-prova;
- 2 Estas técnicas possuem resultados rápidos;
- 3 Essas técnicas poderão ser introduzidas no local de um modo contínuo.

Para que tal avaliação seja precisa é necessário o emprego de mais de uma técnica, assim aumentando a confiabilidade nas respostas obtidas. Poderão ser utilizados métodos para analisar a superfície, técnicas gravimétricas ou então a combinação de mais de uma técnica eletroquímica.

7.1.1 Resistência de polarização

Tal resistência representa o processo de transferência de carga elétrica no metal, ante uma polarização imposta, sendo que se maior for a resistência, sua intensidade de velocidade de corrosão será maior, portanto esta é uma técnica na qual permite que se calcule uma velocidade de corrosão instantânea de um metal. CASCUDO (1997) diz que esse cálculo se dá através da corrente contínua combinado com a medida de variação do potencial com a corrente quando é aplicada ao sistema em equilíbrio, uma polarização de mais ou menos 10 a 20mV. Ao monitorar uma peça de concreto armado, como exemplo há possibilidade de destruí-la sem inspecionar não apenas a presença da corrosão, mas a dedução da intensidade que é processado o fenômeno.

7.1.2 Curvas de polarização

As curvas de polarização registram, sob condições controladas as relações corrente potencial do sistema de corrosão. Através dessas relações é produzidas informações sobre taxas de corrosão, películas, passividade, tendência à corrosão por pite e outros. Essas curvas são associação sob tensão, densidade da corrente ou logaritmo da densidade da corrente.

Potenciostato (equipamento conhecido para obtenção de curvas de polarização), permite a aplicação de potencial ao sistema, conforme desejo polarização anódica ou catódica. Esta técnica é considerada destrutiva, devido à polarização imposta ao sistema, não sendo possível realizar medida periódicas com o mesmo eletrodo LIMA (2000).

7.1.3 Ruídos eletroquímicos

A definição de Ruídos eletroquímicos se dá através de flutuações espontâneas de potencial e corrente em torno de um estado estacionário (estado de corrosão). Estas flutuações são aleatórias por natureza. Estes ruídos são originário de vários fenômenos, um deles é na interface aço-concreto, onde o ruído gerado está relacionado com a atividade do filme de óxido passivador na superfície das armaduras, este filme em estado de equilíbrio dinâmico, produz correntes e potenciais transitório associados com quebra (formação de pite) e com seu restabelecimento (repassivação). CASCUDO (1997).

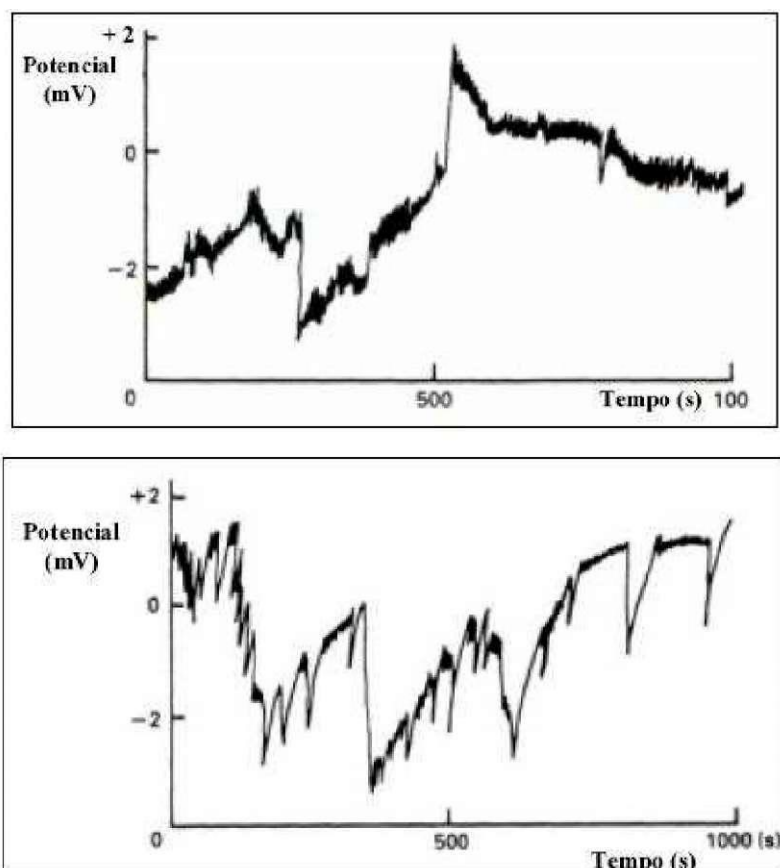
Em relação à corrosão localizada por pite, a técnica de ruídos eletroquímicos é a mais recente novidade dos últimos anos em se tratando de monitoramento da corrosão.

Estes técnicos para estudo de laboratório são extraídos, cubos ou prismas de concreto. Os barras a ser analisada são moldados no interior do concreto de modo a haver uma conexão elétrica com o terminal positivo do voltímetro. No terminal negativo liga-se ao eletrodo de referência, o qual é posto na superfície do concreto que se deseja fazer o registro. Em medidas in-

loco deve-se expor uma parte da armadura para efetivar ligação elétrica com o voltímetro.

LIMA (2000) define o registro típico para o potencial do aço no concreto de cimento portland sem contaminação e contaminado por cloretos.

FIGURA 19: Registro dos ruídos de potencial do aço para um concreto não contaminado e contaminado por cloretos



Fonte: Lima (2000, p.27)

7.1.4 Impedância eletroquímica

É o processo que representa o grau de dificuldade pelo qual um sinal elétrico enviado ao circuito encontra ao percorrê-lo, ou seja, uma combinação de elementos passivos de um circuito elétrico: resistência, capacitância e indutância. É através da lei de Ohm ($V=I.R$) que se determina a corrente resultante caso uma voltagem alternada for aplicada a um circuito.

Através da técnica se torna possível medir a resistência do concreto, $R(w)$, o filme do produto da corrosão (filme dielétrico), que desenvolve no aço, $R(f)$, representa a interface da corrosão, $C(f)$, é a capacitância da dupla camada elétrica, $C(dl)$, é a resistência que a na transferência de carga na dupla camada elétrica, $R(ct)$, e a impedância de difusão Warburg (impedância difusional, Z_d). Através destes parâmetros é que se define o processo de corrosão e são representado por um circuito equivalente. Warburg define a impedância da concentração e dos processos em relação à difusão, portanto ele é o resultado das limitações do transporte de massa. Sua formula é:

$$Z_d = \frac{\sigma}{\sqrt{\omega}} - j \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{\omega}}$$

Onde s é o coeficiente de Warburg e w frequência angular.

7.1.5 Potenciais de corrosão

O potencial eletroquímico de corrosão é uma grandeza que indica aproximadamente a situação de corrosão ou passividade das armaduras. Fornece também informações qualitativas que devem ser utilizadas como complementação de outros ensaios e nunca de forma isolada ou absoluta. OLIVEIRA (2005).

A medida determina a diferença de potencial elétrico entre as armaduras e um eletrodo de referência, onde se coloca em contato com a superfície do concreto. Essa medida tem como vantagem de ser um técnica não destrutiva e fácil aplicação, sendo que o equipamento é de baixo custo.

LIMA (2000) prescreve a norma A ASTM C - 876 (1991), o método de ensaio para obter potenciais de corrosão em concreto, podendo ser ensaiado no laboratório ou "in loco".

FIGURA 20: Representação do método de ensaio para medir o potencial de corrosão



Fonte: Norma A ASTM C - 876 (1991).

O critério de avaliação destes valores obtido na medida de potencial de corrosão está descrito conforma norma A ASTM C - 876 (1991), e indica a probabilidade de ocorrência da corrosão.

QUADRO 06: Critério de avaliação através da medida de potencial de corrosão

Potencial de Corrosão Relativo ao Eletrodo de Referência de Cobre-Sulfato de Cobre	Probabilidade de Corrosão
< -350	>95%
Entre -200 e -350	50%
> -200	<5%

Fonte: Norma A ASTM C - 876 (1991).

7.2 PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO DAS ARMADURAS (AÇO), LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO ASPECTOS CONSTRUTIVOS

É sempre bom comentar que um concreto de cimento portland é a melhor proteção contra a corrosão das armaduras, devido a sua alcalinidade e a proteção será maior quanto mais rico em cal for o cimento e maior a espessura de cobrimento do concreto.

Independentemente ao meio em que vai exercer sua atividade, sua estrutura pode ter sua durabilidade afetada, principalmente a corrosão do aço. Existem vários métodos de evitar isso como a proteção catódica, galvanização e revestimento com resinas sintéticas, porém depois de afetado, se torna praticamente inviável a sua recuperação, devido à diminuição de sua seção. Essas "regras de bem construir" devem sempre ser obedecidas, citam-se abaixo alguns aspectos importantes a serem observados na execução de uma estrutura.

7.2.1 Armazenagem das barras e fios de aço

Conforme HELENE (1986), é através da textura superficial da armadura que se acelera o processo de corrosão, daí se pode entender porque as barras nervuradas têm maior incidência do caso.

Armaduras recortadas e dobradas devem ter uma atenção redobrada em relação às barras inteiras, devido a sua área de contato ser maior, sendo de preferência armazenadas em locais protegidos e sem contato com o solo. Este dobramento pode ocasionar a ruptura por tração da película de carepa (protetora da superfície da armadura), ocasionando a formação de pilhas ou células de corrosão.

Devem-se proteger as armaduras de agente corrosivos como a deposição superficial de fuligem, poeira, pó ou qualquer outro tipo de sujeira,

porque isso retém em sua superfície água das chuvas, fornecendo o eletrólito necessário para o aparecimento das pilhas de corrosão.

7.2.2 Barras e fios corroídos

Conforme experiências realizadas pela CALAVERA (1978), a aderência das barras de aço corroídas ao concreto, é sempre maior que as barras não corroídas, porém outros autores consideram essa aderência prejudicial, pelo fato de que as barras possuem em sua superfície produtos de corrosão (crostas destacáveis). Neste caso se procede antes da concretagem à limpeza superficial das barras com escovas de aço, jateamento de areia ou outros processos.

Um dos grandes problemas da corrosão é a redução da área de seção da armadura, que pode variar entre trechos da barra, por ser um processo eletroquímico. Nestes casos deve se considerar um bitola inferior, procedendo se necessário à adição de novas barras.

7.2.3 Espaçadores

Existem vários tipos de espaçadores no mercado a fim de garantir um cobertura adequado à armadura diminuindo o contato entre a forma e o aço. Podem ser feitos de argamassas, aço e plásticos. Dentre eles vale destacar

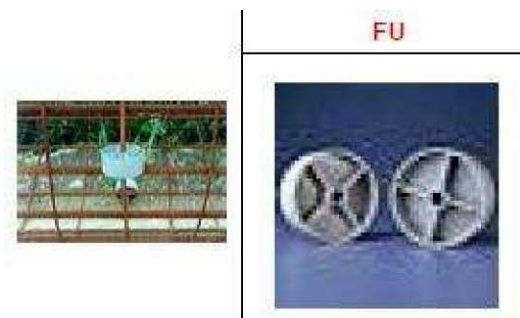
FIGURA 21: Espaçador Pilares e laterais de vigas



FIGURA 22: Espaçador Sapata/Bloco de Fundação/Estacas

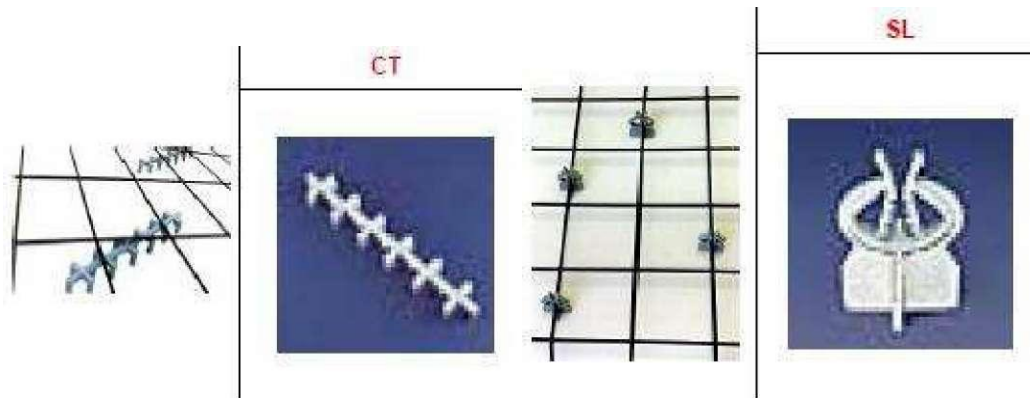


FIGURA 23: Espaçador Laje/Fundo de Vigas/Pisos



7.2.4 Proteção temporária dos arranques

Toda obra com mais de um pavimento terá armadura exposta (fora do concreto) devido à ancoragem do trecho seguinte. Esta armadura deve ser rigorosamente protegida, principalmente nas obras paradas ou em locais onde haverá demora na retomada da concretagem. HELENE (1986)



Pode-se fazer proteção nas armaduras com pinturas à base de nata de cimento ou com pinturas epóxicas. Na hora da retomada da concretagem bastará remover essa película protetora.

Vale sempre lembrar que existem pinturas próprias para esses casos, como o zarcão que duram entre cinco a oito meses. No caso da nata de cimento está deve ser renovada a cada 15 dias em atmosferas marinhas.

8 INIBIDORES DE CORROSÃO

RATTMANN (2005), define o inibidor de corrosão cujo componente químico adicionado em certas quantidades, pode prevenir a corrosão do aço sem ter efeitos contrários às propriedades do concreto. Tem sua área de atuação na superfície da armadura, podendo retardar, reduzir e impedir a corrosão do aço, sem afetar as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

ANDRADE (1992), afirma que inibidores do corrosão são substâncias que tem a capacidade de neutralizar a reação anódica da reação catódica, ou ambas, enquanto que o concreto preservar sua boa qualidade, sendo que estas substâncias devem ser ativas em um meio alcalino (pH entre 12,6 e 13,5) sem alterar suas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

LIMA (2000), diz que para resolver o problema da corrosão de armadura, as técnicas aplicadas devem atuar diretamente sobre o aço, como a proteção catódica, tratamento superficial e os aditivos inibidores de corrosão, sendo que a única técnica que efetivamente interrompe o processo de corrosão é a proteção catódica que utiliza a própria eletroquímica da corrosão para neutralizá-la.

Esses inibidores podem ser utilizados em concretos (dissolvidos na água de amassamentos), aplicado na superfície do concreto ou do aço, em argamassas de reparos ou em "grout",

Os inibidores agem de acordo com os seguintes mecanismos: por formação de barreiras, por passivação através da oxidação da superfície do aço e influenciando o meio que está em contato com o metal. ANDRADE (1992).

8.1 CLASSIFICAÇÃO DE INIBIDORES

Dentre as classificações existentes, os inibidores podem ser classificados:

8.1.1 Inibidores seguros e perigosos

Inibidores Seguros: Referem-se àquele que provoca uma corrosão uniforme, sem causar danos localizados, devido a sua concentração insuficiente para proteger a superfície do aço, provocando, com isso, um sistema "não inibido".

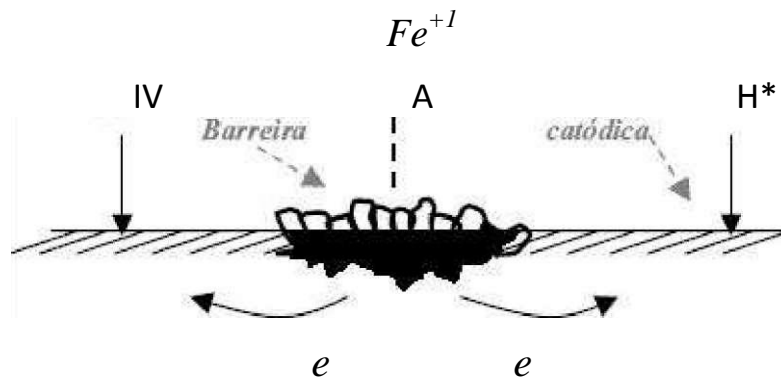
Inibidores Perigosos: Ao contrário dos seguros, em concentração insuficientes podem provocar corrosão localizada, isto é corrosão por picadas, e na maioria dos casos faz com que essa situação apresente corrosão mais acentuada do que um sistema sem a presença do inibidor. MEDEIROS (2002).

8.1.2 Inibidores anódicos e catódicos

Inibidores Anódicos: São aqueles que atuam nas reações anódica, ou seja, aqueles que migram para a superfície anódica, causando passivação em presença de oxigênio dissolvido. MEDEIROS (2002). Este tipo de inibidor reage com o produto de corrosão inicialmente instalado, dando origem a um filme aderente e extremamente insolúvel em sua superfície (aço), resultando numa proteção a armadura.

HELENE (1986) define os produtos químicos de propriedades inibidoras anódicas em meio alcalino: nitritos de sódio, cromatos de potássio, benzoatos de sódio e fosfatos.

FIGURA 24: Processo de inibição na superfície anódica



Fonte: Lima (2000, p.57)

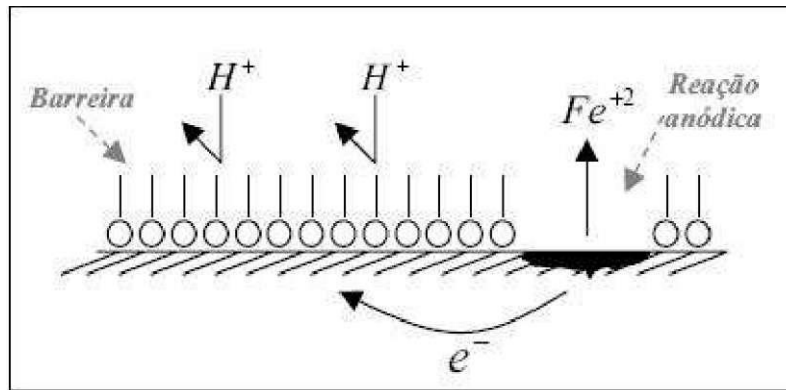
Inibidores Catódicos: São substâncias que possuem íons metálicos capazes de reagir com a alcalinidade catódica, produzindo assim compostos insolúveis. Esses compostos envolvem toda a área catódica, impedindo a difusão do oxigênio e os elétrons, inibindo o processo catódico. RATTMANN (2005)

Os inibidores catódicos neutralizam a corrosão através do deslocamento do potencial de corrosão para valores negativos, aumentando o pH do meio e diminuindo a solubilidade do íon ferroso.

A eficiência dos inibidores catódicos no concreto comprando-os com os anódicos é razoavelmente baixa. Estudos comprovam que inibidores catódicos não aderem à superfície do metal como os anódicos, sendo-o menos efetivo.

HELENE (1986) define os produtos químicos de propriedades inibidoras catódicas em meio alcalino os sulfitos.

FIGURA 25: Processo de inibição na superfície catódica



Fonte: Lima (2000, p.56)

8.1.3 Inibidores oxidantes e não-oxidantes

Classificados de acordo com a necessidade da presença do oxigênio dissolvido para existir tal reação de proteção. LIMA (2000).

Inibidores Oxidantes: São aqueles que não precisam de oxigênio dissolvido numa fase líquida para manter a passivação do metal.

Inibidores não-oxidantes: Aqueles que necessitam do oxigênio dissolvido na fase líquida para manutenção do filme passivo.

8.2 REVESTIMENTOS PROTETORES

Os revestimentos protetores como películas aplicadas sobre a superfície metálica que tem por função dificultar o contato da superfície com o meio corrosivo.

Existe proteção por barreira (são os revestimentos), a inibição anódica e por proteção catódica, porém se a proteção é dada somente por barreira, qualquer danificação por mecanismo mecânico, o eletrólito conseguirá chegar à superfície do aço e se iniciará novamente o processo corrosivo, isso se denomina retardamento do movimento iônico, em virtude da porosidade da película. Se desejar aumentar a vida útil do revestimento deve-se adicionar mais de um mecanismo de proteção como a proteção catódica.

8.2.1 Revestimentos metálicos

Consiste na interposição de uma camada metálica entre o meio corrosivo e o metal que se quer proteger. Os revestimentos metálicos mais comuns são eles: (ABRACO)

a) Cladização: Os clads constituem de chapas de metal ou ligas, resistentes a corrosão revestindo o metal, os clads mais usados são dos de monel, aço inoxidável e titânio.

b) Deposição por imersão a quente: São as superfícies zincadas (Galvanização) e estanhadas.

c) Metalização: É aquele que deposita em sua superfície uma camada de materiais metálicos. Por metalização faz revestimentos como zinco, alumínio, chumbo, estanho e cobre.

8.2.2 Revestimentos não metálicos

Consiste na interposição de uma camada não-metálica entre o meio corrosivo e o metal que se quer proteger. Os revestimentos não-metálicos mais comuns são eles: (ABRACO)

1 Anodização: Tem por finalidade tornar a camada protetora mais espessa em certos metais, em especial o alumínio.

2 Cromatização: Consiste em uma reação da superfície metálica com soluções ácidas que contêm cromatos.

3 Fosfatização: Adiciona uma camada de fosfato a superfície metálica, deixando uma base excelente para pintura devido a sua rugosidade.

4 Argamassa Cimento: É a aplicação de uma camada de nata de cimento sobre a superfície do aço.

5 Revestimento com Vidro: Camada de vidro sob a forma de esmalte e fundida de fornos, consegue-se película de alta resistência.

8.2.3 Revestimentos Orgânicos

Segundo (ABRACO) A interposição consiste numa camada de natureza orgânica entre o meio corrosivo e o metal que se quer proteger. Os revestimentos orgânicos mais comuns são eles: (ABRACO)

1 Pintura Industrial = é um revestimento largamente empregado na construção civil em superfícies enterradas ou submersas para se proteger o aço.

2 Revestimento com asfaltos: Revestimento com asfalto aplicado a quente e reforçado com fibras de vidro.

3 Revestimento com polietileno: é um moderno revestimento no qual utiliza o polietileno de baixa densidade.

4 Revestimento com tinta epóxi em pó: é também um moderno sistema de proteção anticorrosiva. Suas principais propriedades são a excelente adesão e proteção da corrosão.

8.3 INIBIDORES DE CORROSÃO - VEGETAIS TROPICAIS

GOMES (1999), fez seu doutorado de modo a extrair e calcular a eficiência dos inibidores de corrosão a partir de vegetais tropicais foi escolhido como vegetais a casca de manga e a casca de abacate, pois estes apresentam um alto teor de óleo. Escolheu também folhas de repolho branco devido a sua utilização como antioxidantes de alimentos. O aço 1020 foi escolhido para ser atacado por ser muito utilizado na construção civil. Os meios agressores foram o ácido sulfúrico, ácido clorídrico e o cloreto de sódio.

Através de estudo GOMES (1999) chegou à conclusão que os extratos das cascas de manga e cascas de abacate e das folhas de repolho apresentaram um bom desempenho inibidor, em meio contendo ácido sulfúrico. A casca de manga em meio de cloreto de sódio se apresentou bastante eficaz, podendo ser comercializado devido o seu baixo custo. A substância extraída da casca de manga também poderia ser utilizada como inibidor da corrosão do aço no concreto.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos que o assunto tratado aqui é de profunda importância, extremamente complexo. Falar de fissuras requer um vasto conhecimento de engenharia, e na prática de difícil reparo. Nem sempre conseguimos na fase dos projetos prever os vários tipos de fissuras que possam ocorrer.

Em minha opinião e pela minha experiência é um dos fatores mais prejudiciais para as empresas construtoras, pois os leigos no assunto ficam sempre apavorados depondo contra a imagem da construtora.

Existem diversas formas e diversos tipos de fissuras, e também muitas formas de reparo, o mais importante é descobrir de onde ela é originada para que se possa empregar a técnica correta para execução dos reparos.

Muitas vezes são executados reparos, e posteriormente elas reaparecem, causando inúmeros transtornos a todos.

Existem hoje em dia vários tipos de produtos indicados para restauração de fissuras e trincas, o segredo é descobrir qual deve ser empregado em cada caso. Por tanto fica aqui registrado que tratamos de um assunto onde se deve sempre estar com toda atenção para verificação do que é uma simples fissura ou uma trinca que possa vir a comprometer a integridade das estruturas.

Por vezes o maior problema está na execução dos serviços de estrutura. Uma forma mal fechada, ou com o recobrimento indevido podem causar diversos danos as estruturas, na hora da concretagem ficando o concreto com brocas, pois devido ao meio em que a estrutura foi executada, devemos ter um maior recobrimento conforme manda a norma.

A conclusão que chegamos é que os projetos devem ser mais bem preparados, e a execução melhor planejada, pois dependendo do erro nesse momento o final pode ser trágico.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Carmen. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas pó corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ANDREOLLO, Francisco R. **Notas técnica para controle e inspeção do concreto**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 1976.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO, ABRACO. Inibidores de corrosão. Disponível em <http://www.abraco.org.br/corros20.htm>. Acessado 15.05.11

CÁNOVAS, Fernández M. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini, 1997.

FIGUEIREDO, Enio J. P. **Fatores determinantes da iniciação e propagação da corrosão da armadura do concreto**. São Paulo: Escola Politécnica Universidade São Paulo, 1993.

GIAMMUSSO, Salvador E. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

GOMES, Antônio W. M. **Inibidores naturais de corrosão extraídos em vegetais tropicais**. 1999. Monografia (Tese Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: PINI, 1986.

LIMA, Rosele C. **Avaliação da eficiência de inibidores de corrosão em reparo de estruturas de concreto**. Monografia (Mestrado, trabalho de conclusão de curso). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - estrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1994.

RATTMANN, Karla R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão de armaduras do concreto**. 2005. Monografia (Mestrado, trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

SILVA, Paulo F. A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo: Pini, 1995.