

INSPEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DA ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO

Pedro Igor Bezerra Batista¹; João Alberto Fernandes da Silva²; José Vitor da Silva Macedo³;
Eliana Cristina Barreto Monteiro⁴
P.I.B.B; J.AF.S.; J.V.S.M.; E.C.B.M.

¹Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, pibb_pec@poli.br

²Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, joao-alberto_@hotmail.com

³Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, jvsm_pec@poli.br

⁴Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, eliana@poli.br

RESUMO

Com o objetivo de mitigar manifestações patológicas encontradas em estruturas de concreto armado, principalmente aquelas relacionadas a corrosão da armadura, o presente trabalho ressalta a importância de propagar a cultura de periodicamente inspecionar e realizar as devidas manutenções nas edificações desse perfil. Para isso retoma conceitos, como o dos principais agentes causadores desses problemas, alertando para o perigo que os mesmos podem oferecer, e demonstra o processo de reparo e recuperação da estrutura já danificadas. Além de apresentar um estudo avaliativo em dois componentes estruturais de uma edificação situada na Escola Politécnica de Pernambuco, Recife-PE. Tal análise foi composta por ensaios de profundidade de carbonatação, ensaio de presença de cloretos por aspersão de nitrato de prata e ensaio de dureza superficial com esclerômetro de reflexão. Tomando como base os resultados obtidos, é apresentada a devida recuperação utilizada nos pilares, e recomenda-se que, devido ao estágio alcançado pelas estruturas estudadas, os demais componentes estruturais sejam submetidos a procedimentos avaliativos, bem como a manutenções periódicas.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto armado, corrosão de armaduras, patologia das estruturas, recuperação estrutural.

1. Introdução

Um dos pontos mais abordados e preocupantes debatidos sobre estruturas de concreto armado, é o seu período de vida útil, visto que esse quesito é determinante para garantia da funcionalidade das edificações sem proporcionar riscos. Visando esse tema, as principais recomendações estão atreladas às avaliações das estruturas, bem como manutenções periódicas, com o intuito de minimizar as ameaças e até mesmo custos com reparos e recuperações das possíveis anomalias identificadas.

Marques (2015) comenta que considerações de alta relevância, relacionadas a manutenção e durabilidade de obras em concreto armado, são deixadas de lado por maior parte das normas que regulamentam tal serviço, atribuindo foco em larga escala a aspectos como projetos e execução, o que acarreta em surgimento de manifestações patológicas que poderiam ter sido previstas e tratadas com antecedência.

De acordo com Polito (2006), observando-se as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, pode-se considerar

como a mais corriqueira e até mesmo mais prejudicial à segurança: a corrosão da armadura. Esse fenômeno está fundamentado na redução de bitola do aço, devido a deterioração do aço existente na estrutura, e o conseqüente surgimento de materiais expansivos que resultam no fissuramento do concreto podendo deslocar o cobrimento e chegando até o colapso da estrutura.

Portanto, ao analisar os problemas patológicos em estruturas desse tipo, percebe-se a necessidade da identificação das verdadeiras propulsoras responsáveis por iniciar o processo de corrosão na armadura, e em seguida decidir pelo melhor método de recuperação. Neste sentido, este artigo mostra um estudo de caso de inspeção e recuperação de estruturas de concreto armado da Escola Politécnica de Pernambuco e visa mostrar a importância da manutenção deste tipo de estrutura.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Corrosão das Barras de Aço

Segundo Lapa (2008), pode-se definir corrosão como a danificação de algum material, seja por ação química ou eletroquímica, podendo estar relacionada a esforços mecânicos ou não. O processo corrosivo que age nas armaduras, conforme Figueiredo e Meira (2013), tem como etapa inicial a mudança das características e condições do concreto no entorno da barra por conta da ação de agentes agressivos, despassivando a armadura, e que posteriormente forma uma célula de corrosão, propagando assim a corrosão no aço.

As armaduras utilizadas no concreto armado são comumente bem protegidas dos fenômenos corrosivos. Porém, segundo Polito (2006), quando agentes agressivos presentes no meio ambiente entram em ação direta ao concreto, aquela condição de proteção sofre um decréscimo. Os íons cloretos e o dióxido de carbono (CO_2) são considerados as substâncias mais nocivas ao atacar o concreto, pois elevam a condutividade do concreto e, originam a carbonatação reduzindo o pH do material, respectivamente.

Segundo Figueiredo e Meira (2013), as partículas de água e oxigênio, juntamente com os íons cloreto (Cl^-) percorrem as porosidades do concreto até entrar em contato com a película passivadora das armaduras, provocando desestabilizações nesses pontos.

Essas desestabilizações consistem em um processo dinâmico de depassivação e repassivação da película até resultar na sua ruptura, ou seja, depassivação definitiva da armadura. Logo, explica-se o fato da corrosão originada por cloretos não ser generalizada.

De acordo com Possan (2004), a carbonatação consiste em um processo físico-químico que surge a partir de reações entre compostos alcalinos presentes no concreto e gases ácidos do meio ambiente. Portanto, ao penetrar-se dióxido de carbono (CO_2) na estrutura, a alcalinidade do concreto pode ser reduzida gradativamente, visto que esse composto reage diretamente com os hidróxidos – principalmente com o Ca(OH)_2 por estar em maior concentração.

2.3 Recuperação Estrutural

A recuperação de uma estrutura afetada por alguma manifestação patológica não é realizada de maneira rígida, ou seja, normalmente existem vários métodos ou sistemas de reparo para se utilizar, dependendo da gravidade e do tipo de manifestação. A escolha do método ideal dependerá de alguns fatores como a possibilidade de acesso ao local de reparo, fatores econômicos e condicionantes técnicas, que variam de caso a caso. No caso de estruturas deterioradas por corrosão de armaduras, a situação se torna um pouco mais complicada, à medida que o reparo deverá atuar em um ambiente que é, comprovadamente, agressivo (ANDRADE, 1992, p. 95).

Saliba (2008) resume o procedimento de recuperação para estruturas de concreto armado, com incidência de corrosão de armadura, em 5 (cinco) etapas, e recomenda que estas etapas sejam realizadas por mão-de-obra especializada, sendo elas:

- 1) Avaliar e eliminar a causa do dano precedendo o início de execução reparo;
- 2) Fazer a escolha de um material de qualidade, levando em consideração a compatibilidade das características físico-químicas do projeto de origem;
- 3) Em busca do melhor desempenho para o material supracitado, deve-se observar e definir o método de aplicação mais adequado;
- 4) Executar a preparação da região que irá receber o reparo, livrando-o de todos os resíduos que possam dificultar a coesão com o novo material (óleos, graxas, concreto solto). Saturar o substrato com água, caso seja os materiais sejam de base mineral;
- 5) Execução da recuperação – aplicação do material - de forma cuidadosa, permitindo uma cura eficiente, resultando em um reparo com excelente vida útil, podendo se tornar até mais eficaz do que a original.

Portanto, percebe-se que antes de qualquer coisa ao deparar-se com uma manifestação patológica existe a necessidade de fazer uma profunda avaliação das suas causas, pois com isso a solução de reparo será mais precisa e eficaz. Visando isso esse trabalho descreve os procedimentos de inspeção e reparo realizados em estrutura de concreto armado com afloramento de corrosão nas armaduras.

2.4. Ensaio de profundidade de carbonatação

Segundo Lapa (2008), existem algumas maneiras de encontrar e/ou comprovar quais as áreas carbonatadas, dentre elas tem-se análise térmica diferencial, difração de Raio - X, termografia e observação microscópica. Porém, o uso

de fenolftaleína ou timolftaleína como indicadores de pH, é considerado o método mais coerente para fins de consultoria. As áreas de ensaio são habitualmente as mais expostas ao meio ambiente e cujo grau de exposição é mais elevado. Estas zonas são por sua vez submetidas a um determinado número de ensaios que nos permitirá conhecer a real extensão da frente de carbonatação. O ensaio tem carácter semi-destrutivo, devido à execução de um furo ou “abertura” que deverá ter uma extensão superior ao recobrimento das armaduras. Inclusive, segundo Amorim (2010), deve-se haver uma atenção especial ao coletar a amostra para análise, pois não deve ser serrada ou molhada, a amostra ideal é obtida por quebra. A limpeza da zona de ensaio é outro ponto fundamental, visto que tem o objetivo de tentar remover as poeiras e o concreto solto.

Após a preparação da área de ensaio, utilizar-se-á um borrifador com a solução de fenolftaleína para molhar as superfícies. Após este procedimento, verificar-se-á a coloração local, que indica a profundidade de carbonatação. De acordo com Silva (1995), as regiões mais alcalinas apresentam cor violeta ou cor azul, quando é usado fenolftaleína ou timolftaleína, respectivamente. Ambas soluções permanecem incolores quando aplicadas em áreas menos alcalinas conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de pH indicados pelos reagentes

	Valores de pH													
Timolftaleína														
Fenolftaleína														
	≤14	≤13	≤12	≤11	≤10	≤9	≤8	≤7	≤6	≤5	≤4	≤3	≤2	≤1

Fonte: (GRANATO, 2002).

2.5. Ensaio de presença de cloretos por aspensão de nitrato de prata

O cloreto pode estar presente no concreto de duas formas diferentes, podendo estar livres ou combinados com o Aluminato Tricálcio (C_3A) e com o Ferro Aluminato Tetracálcio (C_4AFe) hidratados. A despassivação e corrosão das armaduras acontece devido à presença de cloretos livres, que por sua vez formam pites de corrosão que reduzem a seção transversal da barra de aço de forma pontual (FRANÇA, 2011).

O objetivo do ensaio de cloretos por aspensão de nitrato de prata é identificar a existência dos íons cloreto no concreto, que entraram no concreto através de absorção e difusão. Quando a solução de nitrato de prata entra em contato com a superfície exposta, acontece uma reação fotoquímica, caso haja presença de cloretos livres, a reação ocorre de acordo com a Equação 1, de modo a formar um precipitado branco de cloreto de prata. Caso

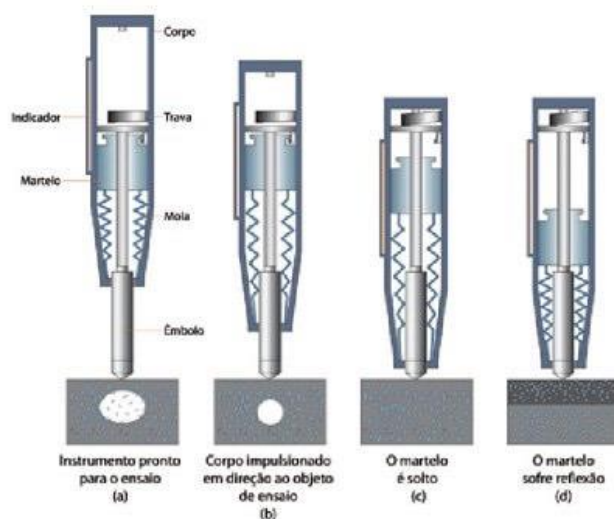
não haja cloretos ou eles não estejam combinados, há formação de um precipitado marrom, o óxido de prata.



2.6. Ensaio de dureza superficial com esclerômetro de reflexão

Os métodos de ensaio desenvolvidos para medir a dureza superficial do concreto são baseados no princípio do ricochete. O método da medição consiste na leitura do deslocamento do conjunto martelo/mola presente no equipamento que se desloca devido a energia cinética liberada após sofrer o impacto com a superfície do concreto. (MALHOTRA e CARINO, 2004). O esclerômetro de reflexão de Schmidt é o instrumento utilizado para a avaliação da dureza superficial do concreto com base neste princípio. O procedimento para utilização do esclerômetro e, conseqüentemente, realização do ensaio é apresentado na Figura 1.

Figura 1: Funcionamento do esclerômetro de reflexão



Fonte: (PEREIRA e MEDEIROS, 2012).

O esclerômetro é um equipamento leve, simples de operar e barato. Com esse instrumento é possível avaliar a uniformidade da resistência mecânica do concreto *in loco*, através de correlações feitas com o ábaco disponibilizado pelo fabricante para o equipamento, resultando em danos praticamente nulos à superfície do material (EVANGELISTA, 2002). Os valores obtidos nem sempre serão precisos já que sofrerá interferência de condições de contorno, como a uniformidade da superfície, a umidade, a carbonatação superficial e a rigidez do elemento -estrutural (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

3. Descrição do Local

O edifício está situado na Rua Benfica, 455, no bairro da Madalena, em Recife-PE, edificação onde está instalada a biblioteca da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, representada como Bloco H.

O prédio, que possui dois andares e tem formato retangular, foi executado no sistema estrutural reticulado apoiado em pilares, vigas e lajes de concreto armado, com fechamento em alvenaria de bloco cerâmico e revestimento de cimento e saibro, além de não haver registros oficiais nem relatos de manutenção.

4. Metodologia

Após uma intervenção realizada no Bloco, identificou-se que o concreto armado da estrutura apresentava problemas. Com o intuito de investigar o estado de conservação do concreto e das armaduras presentes nos pilares estruturais foram realizadas vistorias e ensaios no prédio, estes serviram para o estudo das alternativas mais adequadas para a intervenção.

A princípio encontrou-se armaduras em estado avançado de deterioração, com presença de estribos rompidos (Figura 2). Para verificar a causa da corrosão das armaduras, realizou-se a retirada do revestimento e do cobrimento de concreto dos pilares para a realização dos ensaios.

Figura 2: Pilar com detalhe de corrosão acentuada e estribos rompidos



Fonte: Autores.

4.1 Caracterização da área ensaiada

Na Tabela 2 encontra-se a localização e comentários a respeito dos principais problemas encontrados inicialmente nos pilares do bloco onde foram realizadas as análises.

Tabela 2: Problemas e comentários acerca dos elementos inspecionados.

NÚMERO	AMBIENTE	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO	PROBLEMA ENCONTRADO OU COMENTÁRIO
1	Externo	Pilar	Fachada frontal, oeste	Presença de armadura exposta e estribos rompidos
2	Externo	Pilar	Fachada lateral esquerda, leste	Presença de manchas de corrosão e estribos rompidos

4.2 Descrição dos ensaios realizados

A identificação da causa dos problemas encontrados e avaliação do estado de conservação do concreto e das armaduras neles presentes, foram realizados a partir dos ensaios qualitativos. Os dois pilares, escolhidos de forma aleatória foram submetidos aos ensaios de profundidade de carbonatação, presença de cloretos e dureza superficial com esclerômetro de reflexão.

4.2.1. Metodologia do Ensaio de Profundidade de Carbonatação

As superfícies foram ensaiadas pelo método colorimétrico (RILEM, 1984). O ensaio consistiu em tratar uma superfície recém-rompida com solução de fenolftaleína diluída em álcool sob a proporção de 1 g de fenolftaleína para 100 ml de álcool.

Realizou-se uma fratura recente e em seguida aplicou-se a solução de fenolftaleína na superfície do concreto, esperou-se alguns minutos para que o indicador se altera a sua cor na sequencia realizou-se a leitura da espessura carbonatada com a precisão de milímetro. No esquema da Figura 3 é demonstrado como foi realizado o experimento “*in loco*”.

Figura 3: Esquema de realização do ensaio de Profundidade de Carbonatação



Fonte: Autores.

4.2.2. Metodologia do Ensaio de presença de cloretos por aspersão de nitrato de prata

O ensaio foi realizado conforme estabelece a norma (UNI 7928, 1978), de Cloretos por aspersão de nitrato de prata. Com auxílio de martelo e talhadeira retira-se o revestimento do pilar e em seguida aplica-se a solução de nitrato de prata (2,5g/100ml água) na região, espera-se a reação fotoquímica e verifica-se a cor do precipitado que se formará em seguida (Figura 4).

Figura 4 - Esquema de execução do ensaio de cloretos.



Fonte: Autores.

4.2.3. Metodologia do Ensaio de dureza superficial com esclerômetro de reflexão

A execução do ensaio foi feita seguindo instruções da NBR 7584 (ABNT, 2012), onde inicialmente as superfícies do concreto devem ser secas ao ar, limpas e de preferência, planas, já que superfícies irregulares irão afetar resultados. A área de ensaio foi preparada por meio de polimento enérgico com disco ou prisma de carborundum, por movimentos circulares a fim de remover toda poeira à seco (Figura 5).

Para cada área de ensaio, foram feitos 02 impactos, atentando para que não fosse realizado mais de um impacto sobre o mesmo ponto, para a estrutura em questão foram realizados apenas dois impactos. Após o impacto, o ponteiro indicativo, localizado na escala do esclerômetro, forneceu diretamente o índice esclerométrico (IE). Em posse do Ábaco de correlação foi possível estabelecer o a resistência do concreto ensaiado em Mpa.

Figura 5: Esquema de execução do ensaio de esclerometria.



Fonte: Autores.

5. Resultados

5.1. Profundidade de carbonatação

Pode-se perceber que toda a superfície do concreto apresentou aspecto incolor, o que indica o pH abaixo de 12, característico da falta de alcalinidade. Isso significa que o dióxido de carbono (CO_2) esteve em contato com estrutura atingido o interior do concreto, e assim, expondo a armadura a corrosão por carbonatação (Figura 6).

Figura 6: Coloração vermelho carmim, característico de concreto com pH alcalino.



Fonte: Autores.

5.2. Presença de cloretos

Como é possível perceber na Figura 7, não se identificou a presença de contaminação por cloretos na estrutura, após os procedimentos, foi identificado apenas um precipitado marrom característico da presença de cloreto combinados.

Figura 7: Coloração marrom, característico de cloretos combinados.



Fonte: Autor.

5.3. Índice Esclerométrico (IE)

Antes de apresentar a análise realizada com uso do índice esclerométrico vale lembrar

que a estrutura se trata de uma construção antiga, de uma época onde as específicas da NBR 6118 (ABNT, 2014) ainda não existiam. Após o ensaio foram obtidos os seguintes valores de IE, 21 e 26. Segundo Chefdeville (1955) o IE indicou que o concreto em questão apresenta fissuras e partes soltas junto à superfície. Ainda, com o ábaco do aparelho foi possível estimar a resistência do concreto em 11 e 14 MPa, respectivamente.

6. Terapia

Tomando como base as informações coletadas através dos ensaios realizados, foi decidido o formato de recuperação estrutural dos pilares a ser executado. No primeiro momento definiu-se Graute como o material cimentício a ser utilizado, devido ao seu bom desempenho e fluidez, podendo ser comparado ao concreto auto adensável pois, apesar de possuírem agregados com tamanhos diferentes, ambos possuem consistência capaz de dispensar vibrações, conforme Revista Técnica (2006).

O procedimento executivo foi iniciado com a limpeza e demarcação da área, criando uma superfície aderente, bem como a eliminação de componentes estruturais deteriorados e apicoamento da região delimitando-a com arestas retas. Em seguida, as armaduras atingidas pelas manifestações corrosivas foram deixadas livres cerca de 2 (dois) centímetros em todo seu contorno permitindo que a limpeza das ferragens pudesse ser feita, bem como a aplicação do produto inibidor de corrosão. Além disso os estribos que haviam sido rompidos pela ação da corrosão foram devidamente recuperados. A recomposição do pilar foi executada com o auxílio de formas em duas etapas de grauteamento. A primeira preenchendo a parte inferior da área afetada e em seguida completando o reparo. Por fim, após recuperados, os pilares receberam uma pintura e retomaram, estética e estruturalmente, ao formato original (Figura 8).

Figura 8: Pilar 1 e 2 recuperado



Fonte: Autores.

7. Conclusão

No que diz respeito aos objetivos buscados por este trabalho foi possível concluir, através dos ensaios realizados no Bloco H da Escola Politécnica de Pernambuco, que o concreto se apresenta totalmente carbonatado, o que justifica a corrosão generalizada e severa nas armaduras; a estrutura não apresenta presença de cloretos livres, devido a não estar tão próxima do mar e, ao mesmo tempo, estar protegida pelas edificações em seu entorno.

A estrutura possui resistência, estimada através do índice esclerométrico, baixa, indicando possivelmente que na fase de construção o concreto poderia ter excesso de água utilizado na mistura, que pode tê-lo deixado poroso e mais permeável, por fim justificando a alta taxa de carbonatação. Logo, sabendo que é uma edificação antiga e que foram utilizados os mesmos métodos construtivos dos pilares estudados, é recomendável uma análise estrutural em toda a edificação, para verificar se a estrutura suporta as solicitações atuantes e se necessita de reforço. Além disso é proposto que a edificação passe a receber manutenções, reduzindo o risco de novas manifestações patológicas.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7584**: Ensaio não destrutivo. Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1978.

AMORIM, A. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Aramado Aparentes**. Dissertação de Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2010.

ANDRADE, C. **Manual para diagnósticos de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: PINI, 1992, 104, 104p. 104 p.

CHEFDEVILLE, J.: **Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et de Travaux Publics N° 95**, Paris, França, 1955.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio Não Destrutivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (RJ), 2002.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Boletim Técnico 6 – Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto**, Alconpat Brasil, 2013

FRANÇA, C. B. **Avaliação de cloretos livres em concretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata.** Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil. 2011.

GRANATO, J. E. **Patologia das Construções.** 2002

LAPA, José Silva. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto.** 2008. TCC – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2008.

MALHOTRA. V. M. e CARINO. N. J. **Handbook of Nondestructive Testing of Concrete.** 2. ed. Boca Ranton, CRC Press, 2004.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo.** 2015. TCC - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. JM. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Pini, 1994.

PEREIRA; DE MEDEIROS. **Structures and Materials Journal.** RIEM- IBRACON, v. 5, n. 6, p. 770. 2012.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** 2006. 191. Monografia (Especialização em Avaliação e Perícia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

POSSAN, Edna. **Contribuição ao Estudo da Carbonatação do Concreto com Adição de Sílica Ativa em Ambiente Natural e Acelerado.** 2004. TCC - Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2004.

REVISTA TECHNE. **Não é concreto nem argamassa,** 2006. Disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/107/artigo285013-1.aspx> . Acesso em 24 de novembro de 2017

RILEM - Rilem Concrete Permanent Committee. Draft Recommendation: measurement of hardened concrete carbonation depth CPC-18. **Materials and Structures,** v. 17, n. 102, p. 435-440, 1984.

SALIBA, Clémenceau Chiabi S. Junior. **Técnicas de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado sob Efeito da Corrosão das Armaduras.** Pós-graduação na Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2008.

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

UNI (Italian Organization for Standardization). **Determination of Chloride Ion Penetration.** Rome: UNI.1978.