



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

ESTUDO MECÂNICO DE CONCRETOS ATACADO POR CLORETOS E SULFATOS

Helton Gomes ALVES¹, Kátya Dias NERI¹, Eudésio Oliveira VILAR¹

¹ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus I, Campina Grande-PB. E-mail: helton.02@hotmail.com, katyadiasn@hotmail.com, oliveiravilar@gmail.com
Telefone: (83) 9653 5100/ 8761 3758.

RESUMO

No presente trabalho, estudamos o comportamento de estruturas de concreto com relações água/cimento (0,4; 0,5; 0,6) submetidos ao ataque químico de uma solução constituída apenas de cloretos (NaCl) 1M e outras duas acrescidas de 0,4% e 2% de H₂SO₄ respectivamente. Com objetivo de avaliar a qualidade do concreto através dos ensaios de resistência à compressão, absorção e índice de vazios. Certificamos que a relação (a/c) e o tipo de solução agressiva foram fatores determinantes na durabilidade.

PALAVRAS CHAVE: Durabilidade, Resistência, Concreto.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de que o concreto armado é um material de grande durabilidade e resistência é bastante questionado devido ao surgimento de um número cada vez maior de deteriorações prematuras. Logo, a durabilidade passou a ser uma propriedade tão ou mais desejada do que a resistência. Segundo Helene (1993) os problemas mais comuns nas estruturas de concreto com relação à durabilidade são devido à corrosão de armadura, responsável por aproximadamente 52% das manifestações patológicas registradas em estruturas.

A corrosão da armadura é um dos problemas mais críticos, podendo comprometer severamente a segurança e a capacidade de serviço das estruturas. Um dos principais fatores que provocam a corrosão é o meio ambiente o qual a estrutura está inserida. Dentre os principais agentes iniciadores do processo corrosivo estão o CO₂ e os íons cloretos. Embora sejam esses íons os principais agentes agressivos, são diversos os casos registrados de ataque ao concreto com ácidos.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

A escolha adequada do tipo de cimento e a relação água/cimento são fatores importantes na durabilidade da construção. Segundo Gentil (1996) para estruturas sujeita a ação de sulfatos, ou do ácido sulfúrico, deve-se usar cimento com teor de aluminato tricálcio inferior a 8%, preferencialmente o tipo Portland V e recomenda a adição de pozolanas para diminuir a porosidade e aumentar resistência a ataques químicos. Mehta e Monteiro (1994) afirmam que a porosidade é um agente físico do controle da taxa de deterioração representada pela relação água/cimento. Quanto maior a relação a/c maior a facilidade da entrada de agentes agressivos.

A penetração dos cloretos na camada de revestimento se dá através dos mecanismos de penetração da água e transporte de íons. Os quatro mecanismos de penetração tradicionalmente referidos na literatura são os seguintes:

A absorção capilar em geral é o primeiro passo de penetração de íons cloreto na superfície do concreto. Neste caso, quanto menor forem os poros do concreto maior será a ação capilar, devido à ação da tensão superficial das substâncias líquidas contaminadas. Este processo é intensificado pela afinidade dos poros do concreto com a água (hidrofílico), ou seja, “a molhabilidade” do poro. Concretos com poros mais delgados, apesar de apresentarem forças de sucção mais intensas, segundo Cascudo (1997), apresentam absorção total de massa menor.

Difusão iônica é quando ocorre à busca de equilíbrio através da diferença de concentração de cloretos (entre o exterior e interior do concreto), promovendo a movimentação dos íons. Segundo Zhang e Gjorv (1994), a sucção capilar pode dominar a penetração da camada superficial do concreto que é muito porosa e somente parcialmente saturada. Entretanto, se a porosidade for muito pequena ou o concreto for muito úmido, o mecanismo de difusão pode dominar a penetração de íons cloreto.

A permeabilidade ocorre sob pressão externa. Segundo Cascudo (1997), isso ocorre apenas em situações especiais, como na contenção de solos, no contato direto com a ação de águas correntes e estruturas semi-enterradas.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

A migração iônica é outro mecanismo existente, que ocorre por afinidade dos íons (carga negativa) a campos elétricos, como o processo de corrosão eletroquímico da armadura (CASCUDO, 1997). Através da corrente elétrica gerada na corrosão ou através de campos elétricos externos, os cloretos podem também ser induzidos a movimentar-se pela rede de poros do concreto.

Ann e Song (2007) comentam que o ingresso de íons cloretos é regido basicamente pelas leis de difusão (Leis de Fick), mas o início do mecanismo aparece por absorção ou sucção capilar (Lei de Jurin), na camada superficial do concreto. A água contendo cloretos é rapidamente absorvida para o interior do concreto, e há então alguns movimentos de capilaridade através dos poros, seguidos pela difusão. Somente nos casos em que há um gradiente de pressão de água, a permeabilidade (Lei de Darcy).

O ataque com ácido acontece de fora para dentro de modo a constituir uma frente de redução de pH no entorno e reações de troca de cátions entre os constituintes da pasta de concreto e a solução ácida gerando sais solúveis de cálcio (BEDDOE & DORNER, 2005)

Com relação aos íons cloretos (Cl^-), os mesmos atuam como agente despassivador da armadura. Neste caso, se a relação Cl^-/OH^- for maior que 0,6, o aço não está mais protegido (MEHTA & MONTEIRO, 2008) e há uma boa possibilidade que o processo de corrosão se inicie. Ambientes que apresentem simultaneamente íons cloretos e substâncias ácidas apresentam uma sobreposição desses efeitos.

2 METODOLOGIA

As moldagens dos corpos de prova foram realizadas no Instituto Federal da Paraíba - IFPB. As dosagens estão na Tabela 01. Os corpos de prova foram moldados de forma cilíndrica de 10 x 20 cm. Utilizamos o cimento CP V – (cimento Portland de alta resistência inicial). O agregado miúdo utilizado foi a areia média



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

lavada. O agregado graúdo foi pedra britada. As Tabelas 02 e 03 mostram as características físico-químicas dos agregados.

Tabela 01 – Dosagens dos concretos para ensaios.

a/c	Cimento (Kg/m ³)	Areia (Kg/m ³)	Brita (Kg/m ³)	Água (Kg/m ³)	Slump (mm)
0,4	1	1,57	1,94	0,4	75
0,5	1	1,96	2,24	0,5	110
0,6	1	2,59	2,71	0,6	120

Fonte: própria (2010).

Tabela 02 – Característica físico-química dos agregados miudos.

Ensaio	Resultados
Massa específica (g/cm ³)	2,58
Massa unitária (g/cm ³)	1,71
Modulo de finura (%)	3,03
Dimensão máxima (mm)	4,80

Fonte: própria (2010).

Tabela 03 – Característica físico-química dos agregados graúdos.

Ensaio	Resultados
Massa específica (g/cm ³)	2,63
Massa unitária (g/cm ³)	1,20
Modulo de finura (%)	6,95
Dimensão máxima (mm)	19

Fonte: própria (2010).

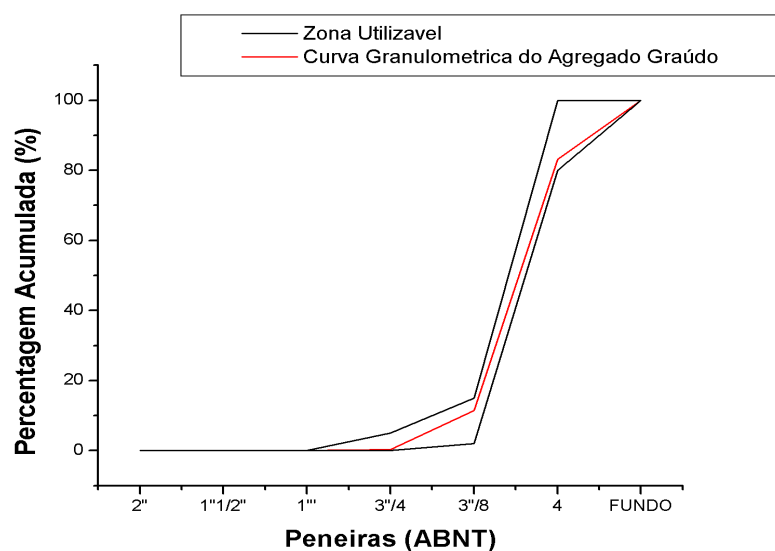
Os agregados foram caracterizados de acordo com os procedimentos tradicionais normalizados pela NBR 9776 (ABNT, 1987). Os resultados do ensaio de granulometria da areia e da brita mostraram que as propriedades físicas das mesmas encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela NBR NM 248. As



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

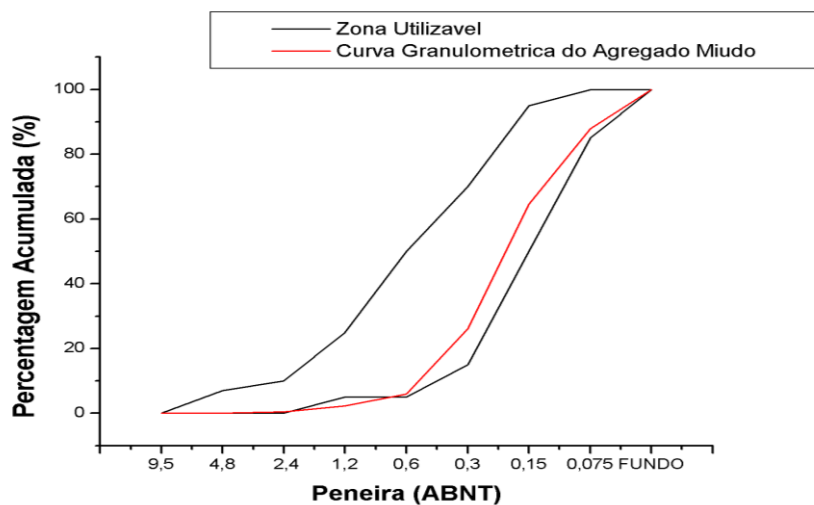
curvas granulométricas dos agregados miúdos e graúdos são apresentadas nas Figuras 01 e 02.

Figura 01 - Análise Granulométrica do Agregado Miúdo.



Fonte: própria (2010).

Figura 02: Análise Granulométrica do Agregado Graúdo



Fonte: própria (2010).



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

Três tipos de concreto foram estudados em relação (a/c) 0,3; 0,4 e 0,6. Utilizados três tipos de soluções agressoras: 1M NaCl, 1M NaCl + 0,4% H₂SO₄ e 1M NaCl+ 2% H₂SO₄.

Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e curados por sete dias em câmara úmida e por mais 46 dias em ambiente natural. Os ataques ocorreram através de ciclos de imersão por três dias e secagem por 4 quatro dias. Após o ataque e cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, absorção e índice de vazios.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo a NBR 5739 (ABNT,2007), empregando-se três corpos de prova para cada relação água cimento (a/c). Com idades de 56, 140 e 280 dias. E os ensaios de absorção de água por imersão (%) e índice de vazios dos concretos, foram realizados segundo procedimentos de ensaio normalizados pela NBR 9778 (ABNT, 2005).

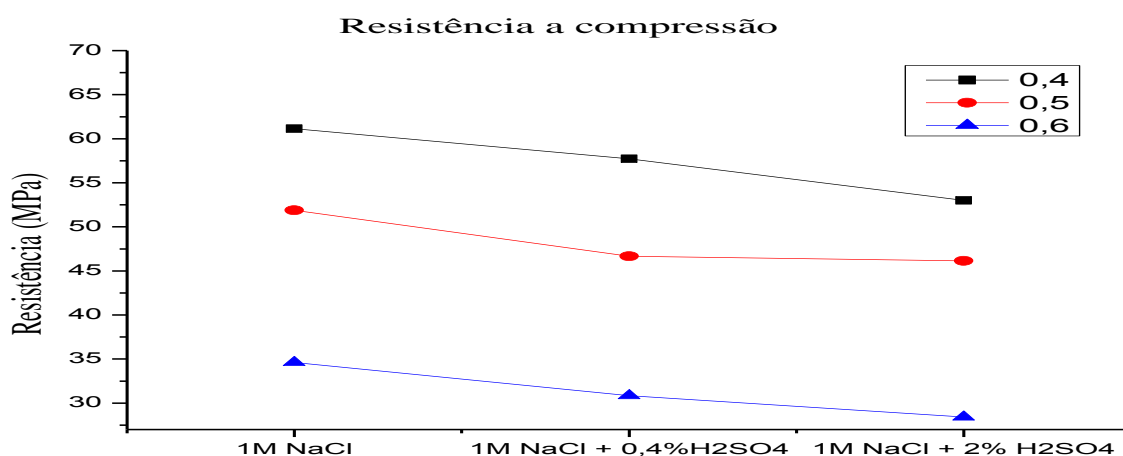
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão (médio) segundo a NBR 5739 (ABNT,2007) dos concretos (0,4), (0,5) e (0,6) submetidos ao ataque químico. Os resultados mostram que a resistência à compressão dos concretos diminui conforme aumenta a relação água/cimento e agressividade da solução. Ao submeter-se os corpos de prova as soluções agressoras observamos uma diminuição dos valores de resistência, tendo como referencia a solução de 1M NaCl. Observamos que a solução de 1M NaCl + 0,4% H₂SO₄ obtiveram uma redução média de 10% e os concretos atacados com 1M NaCl + 2% H₂SO₄ obtiveram uma redução média de 16%. O que se explica pelo aumento da porosidade dos materiais.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

Figura 3 – Gráfico com os resultados da resistência a compressão (médio) dos concretos (a/c) atacados por soluções agressivas ensaiados com 28 dias.



Fonte: própria (2010).

A Tabela 4 apresenta, resumidamente, os resultados médios dos ensaios de absorção de água por imersão (%) e índice de vazios dos concretos, segundo procedimentos de ensaio normalizados pela NBR 9778 (ABNT, 2005).

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de absorção (médio) e índice de vazios (médio) dos concretos.

Solução Agressiva	a/c = 0,4		a/c = 0,5		a/c = 0,6	
	Índice de Vazios (%)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Absorção (%)
1M NaCl	10,54	4,63	10,66	4,67	12,34	5,81
1M NaCl + 0,4% H ₂ SO ₄	10,79	4,75	10,89	4,72	13,17	6,30
1M NaCl + 2% H ₂ SO ₄	11,09	4,98	11,21	5,04	14,11	6,90

Fonte: própria (2010).



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que os menores valores de índice de vazios e absorção de água foram de acordo com a menor relação água/cimento, isto é o concreto (0,4) possui estrutura mais compacta (menor índice de vazios) conseqüentemente absorve menos água que o concreto (0,6) de estrutura mais porosa.

Observamos também que esses valores de índice de vazios e absorção foram aumentando para cada tipo de concreto (a/c) de acordo com a agressividade das soluções, ou seja, todos os concretos atacados com 1M NaCl + 2% H₂SO₄ obtiveram resultados maiores em relação a solução 1M NaCl (referencia), isto devido ação do ácido sulfúrico que ataca a matriz do concreto tornando-a mais porosa.

4 CONCLUSÃO

Através dos ensaios de resistência à compressão, absorção e índice de vazios, concluímos que quanto maior a relação água/cimento mais poroso é o concreto, isto é mais permeável, facilitando a entrada de agentes agressivos. Em que o ensaio de resistência à compressão mostra que o concreto 0,6 é menos resistente, devido sua alta relação água cimento e conseqüentemente possui mais espaços vazios, facilitando a absorção da solução agressora. Também observamos que o tipo de solução foi fator decisivo a durabilidade. Todos os concreto atacados com a solução 1M NaCl + 2% H₂SO₄ obtiveram resistência menor em relação a solução de referencia 1M NaCl.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concretos: procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2002

_____. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

_____. **NBR 9776:** Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7251:** Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 9937:** Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão (Índice de vazios e massa específica). Rio de Janeiro, 2005.

ANN K. Y., SONG H. W., **Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete.** Corrosion Science 49 p. 4113-4133, 2007.

BEDDOE, R. E.; DORNER, H. W. **Modelling acid attack on concrete: Part I The essential mechanisms.** Cement and Concrete Research, v.26, p.1717-1725, 1996.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto.** 1. ed. Goiânia: PINI e UFG, 1997

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** Rio de Janeiro: LTC, 4.^a ed. 2006.

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

HELENE, P.R.L. **Corrosão das armaduras em concreto armado.** São Paulo, PINI, 1986.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** Tradutora Cristina Borba. São Paulo: Ibracon, 2008, p. 121-123, p. 156, p. 161-170.

TAVARES, M, L. **Estudo do processo de corrosão por íons de cloreto no concreto armado utilizando armaduras comuns e galvanizadas.** Porto Alegre, 2006. 132p. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

ZHANG, T. & GJØRV. O.E. **In electrochemical method for accelerated testing of chloride diffusivity en concrete.** Cement and Concrete Research, Vol. 24, n 8, p. 1534 – 1548, 1994.