

# ESTUDOS DE DURABILIDADE EM CONCRETOS E ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA

**VIEIRA, Fernanda P. (1); KULAKOWSKI, Marlova P.(2)  
DAL MOLIN, Denise (3); VILELA, Antônio C. F. (4)**

(1) Eng. Civil, Doutoranda em Engenharia, pesquisadora do NORIE/CPGEC/UFRGS  
E-mail FVIEIRA@vortex.ufrgs.br

(2) Eng. Civil, Doutoranda em Engenharia, pesquisadora do NORIE/CPGEC/UFRGS  
E-mail MARLOVA@vortex.ufrgs.br

(3) Eng. Civil, Dr. em Engenharia, Professora Adjunta do NORIE/CPGEC/UFRGS  
E-mail: DMOLIN@vortex.ufrgs.br

(4) Eng. Metalúrgico, Dr. Ing., Professor Adjunto do LASID/PPGEM/UFRGS  
E-mail VILELA@dali.ppgemm.ufrgs.br

Cx. Postal 303 - CEP 90001-970 - Porto Alegre - RS

## RESUMO

A microssílica é um subproduto gerado a partir da produção de ferro-ligas e silício metálico, através da redução do quartzo pelo carbono. O alto teor de sílica amorfa das partículas e o tamanho extremamente reduzido torna este material bastante apropriado como adição em concretos e argamassas. O efeito pozolânico da microssílica, associado ao efeito microfíler, propicia uma melhora na microestrutura dos materiais a base de cimento, diminuindo a porosidade e a permeabilidade, densificando a pasta de cimento e melhorando as características da zona de transição pasta-agregado, o que aumenta o desempenho dos concretos e argamassas, tanto sob o ponto de vista de durabilidade, como das propriedades mecânicas. Este trabalho tem por objetivo apresentar resultados de estudos sobre a durabilidade de concretos e argamassas com adição de microssílica, que vêm sendo realizados na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 1. INTRODUÇÃO

A conjugação do aço com o concreto de cimento Portland possibilita a construção de estruturas com formas variadas e nos mais diversos locais, sujeitas às condições ambientais distintas. Em função das solicitações mecânicas e do ambiente ao qual estão expostas, as estruturas de concreto devem ser projetadas e executadas para manter condições mínimas de segurança, estabilidade e funcionalidade durante um tempo de vida útil, sem custos não previstos de manutenção e de reparos.

De acordo com MEHTA (1994) uma longa vida útil é considerada sinônimo de durabilidade. O comitê 201 do ACI (1991) define durabilidade do concreto de cimento Portland como sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; ou seja, o concreto durável deve conservar sua forma original, qualidade e capacidade de uso quando exposto ao seu meio ambiente.

No entanto, apesar de o concreto ser o material de construção mais utilizado no mundo e apresentar muitas vantagens como material estrutural, inúmeros problemas têm sido detectados com relação à sua durabilidade. Nos últimos anos, diversos

estudos vêm sendo realizados sobre patologias de concretos e deterioração prematura das edificações, citando-se como exemplos mais recentes os levantamentos realizados no Brasil por ANDRADE (1997), NICE (1996) e ARANHA (1994).

A utilização de pozolanas como microssílica nos concretos de cimento Portland têm apresentado inúmeros benefícios às propriedades do concreto, tanto em relação à sua reologia no estado fresco e, principalmente ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido. A incorporação de microssílica promove uma diminuição da porosidade e torna a microestrutura do concreto mais densa e compacta, resultando em um material com desempenho superior ao concreto convencional; capaz de proteger o concreto contra os agentes agressivos.

A microssílica é uma pozolana oriunda da produção de ligas de ferro-silício e de silício metálico em fornos elétricos de redução, onde ocorre a formação de pequenas partículas de sílica amorfa, contendo, na maioria das vezes, um teor de  $\text{SiO}_2$  maior do que 80%. No Brasil, no ano de 1995, a captação potencial estimada deste resíduo foi aproximadamente 140.000 t/ano (KULAKOWSKI et al,1996).

A realização de estudos para desenvolver e aprimorar os materiais empregados em estruturas de concreto armado é de grande importância, melhorando a qualidade dos materiais constituintes, principalmente sob o ponto de vista da durabilidade, prolongando a vida útil das estruturas.

Neste sentido, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, vem, ao longo dos anos, estudando o comportamento de concretos e argamassas com adição de microssílica com o objetivo de melhorar a qualidade dos materiais empregados nas estruturas de concreto. O presente trabalho apresenta os resultados obtidos de estudos relativos à durabilidade de concretos e argamassas com adição de microssílica.

## **2. CONCRETOS COM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA**

A microssílica ao ser adicionada ao concreto atua de duas formas em função das suas propriedades químicas e físicas. Devido ao alto teor de sílica com estrutura amorfa e a elevada superfície específica das partículas ( $\sim 20.000 \text{ m}^2/\text{kg}$ ), a microssílica possui efeito químico como material pozolânico de alta reatividade, reagindo rapidamente com o hidróxido de cálcio formado na hidratação do cimento. O composto resistente de silicato de cálcio hidratado, gerado na reação pozolânica, é semelhante ao formado pela reação do cimento, que é o maior responsável pela resistência da pasta.

Segundo DAL MOLIN (1995), as reações pozolânicas da microssílica com o  $\text{Ca(OH)}_2$  são rápidas e pouco variáveis, o que possibilita períodos de cura mais curtos para atingir as resistências e estrutura de poros desejada. Este mesmo comportamento não ocorre com as pozolanas naturais, escórias e cinzas volantes.

O efeito físico (efeito microfíler) acontece pelo reduzido tamanho das partículas ( $\sim 0,1 \mu\text{m}$ ), que se introduzem entre os grãos de cimento e se alojam nos interstícios da pasta, reduzindo o espaço disponível para a água e atuando como ponto de nucleação dos produtos de hidratação, o que proporciona um refinamento da estrutura de poros.

A utilização da microssílica no concreto modifica suas propriedades tanto no estado fresco (trabalhabilidade, coesão, estabilidade, segregação, exsudação, etc.) como no estado endurecido (resistência mecânica e durabilidade). O seu efeito microfíler e

pozolânico resulta em mudanças consideráveis na microestrutura e nas propriedades macroscópicas do concreto.

Os problemas mais comuns de durabilidade de concretos estão diretamente ligados à porosidade e aos mecanismos de penetração de agentes agressivos. Em geral, quanto maiores forem os fatores que facilitem o ingresso de agentes agressivos na massa de concreto, maior será a deterioração do material. Assim, a porosidade (tamanho e distribuição dos poros) é um fator que muito influi na capacidade do concreto em suportar o efeito destrutivo de agentes agressivos (água, oxigênio, dióxido de carbono, cloretos e soluções gasosas) na massa de concreto.

Concretos com adição de microssílica apresentam maior resistência e melhor desempenho frente aos ataques agressivos em função de uma menor permeabilidade. De acordo com WOLF (1991), o refinamento da estrutura porosa do concreto com microssílica e a conseqüente redução da taxa de transferência de íons agressivos ao concreto, a redução do teor de hidróxido de cálcio e a menor relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  dos produtos da reação pozolânica (o que elevaria a incorporação de íons agressivos ao concreto) são fatores determinantes do melhor desempenho quanto à durabilidade dos concretos com microssílica.

MALHOTRA (1993) relata que a adição de microssílica no concreto não reduz a porosidade total, mas proporciona um refinamento da estrutura porosa, com diminuição e descontinuidade dos poros capilares. No entanto, o uso da microssílica como adição sobre a massa e cimento ao concreto pode diminuir a relação vazios/volume, o que diminui a porosidade e, conseqüentemente, a penetração e deslocamento de agentes agressivos no concreto.

CAO e DETWILER (1995), após estudarem pasta de cimento com 5% de microssílica, em substituição, por meio de microscopia eletrônica e análise de imagem, observaram uma matriz com estrutura menos porosa do que a pasta de cimento Portland comum, ambos com mesma relação água/aglomerante, bem como a ausência de formação de cristais de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  grandes e homogeneização dos produtos de hidratação.

As alterações da microestrutura do concreto com adição de microssílica faz com que o acesso dos agentes agressivos ao interior do concreto seja dificultado, aumentando o desempenho e durabilidade do material.

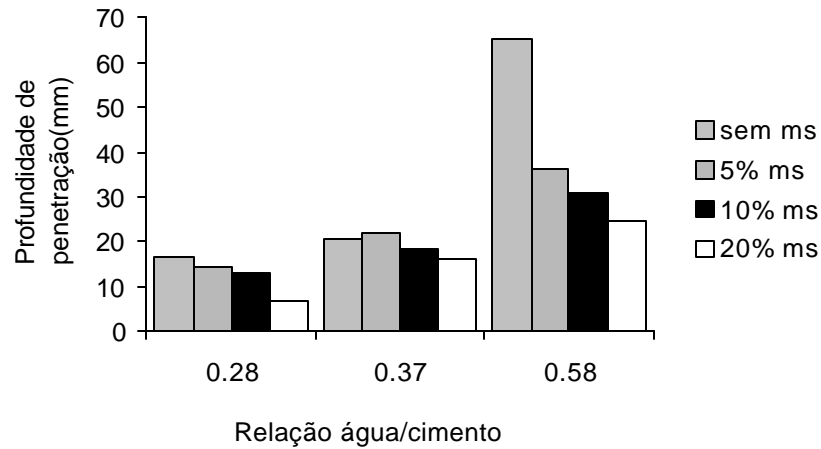
### **3. ESTUDOS DE DURABILIDADE EM CONCRETOS COM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA**

Os estudos envolvendo a durabilidade de concretos com adição de microssílica começaram a ser desenvolvidos na UFRGS com a pesquisa realizada por WOLF (1991). Na continuidade, vários parâmetros de durabilidade vêm sendo estudados para contribuir na avaliação do desempenho das adições de microssílica em concretos. Alguns resultados destes estudos serão apresentados na seqüência, bem como as pesquisas em desenvolvimento.

#### **3.1 Pesquisas desenvolvidas no NORIE/CPGEC/UFRGS**

WOLF (1991), em sua dissertação de mestrado, com o objetivo de avaliar o desempenho de concretos com adição de microssílica realizou ensaios de permeabilidade, absorção total e carbonatação. A figura 1 apresenta os resultados

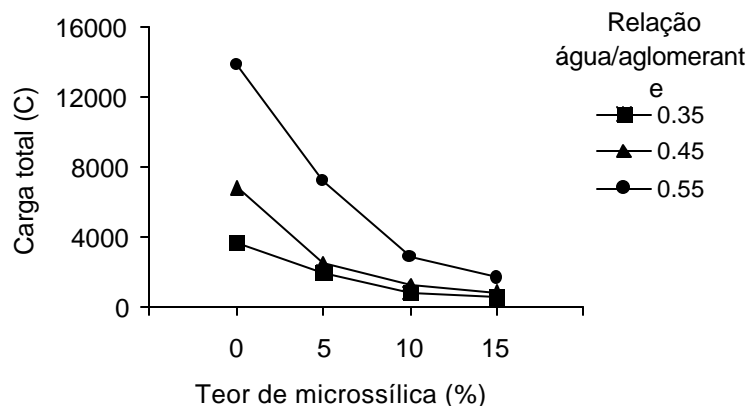
obtidos para permeabilidade à água, conforme o método normalizado pela RILEM CPC 13.1.



**Figura 1** - Profundidade de penetração de água sob pressão (WOLF, 1991).

Os dados apresentados na figura 1 indicam que tanto a diminuição da relação água/cimento como a adição de microssílica atuam na redução da profundidade de penetração de água. Para os teores de adição estudados, pode-se perceber que quanto maior é a relação água/cimento, maior é a eficiência da microssílica na diminuição da permeabilidade.

A durabilidade de argamassas com adição de microssílica, para reparos estruturais, foi avaliada por KULAKOWSKI (1994), que empregou o método de penetração acelerada de íons cloretos segundo a ASTM C 1202-91. Os resultados obtidos para a resistência à penetração de íons cloretos estão apresentados na figura 2.

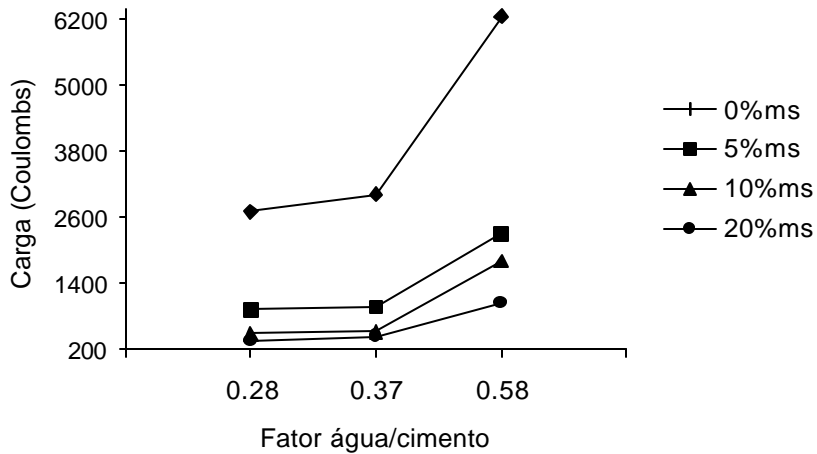


**Figura 2** - Carga passante do ensaio de penetração de cloretos em argamassas (KULAKOWSKI, 1994).

A carga total passante através dos corpos de prova indica a maior ou menor resistência dos materiais frente a penetração de íons cloretos. Os resultados presentes

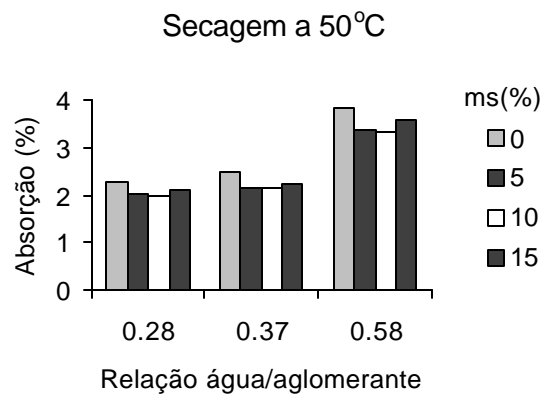
na figura 2 mostram que tanto a redução da relação água/aglomerante quanto o aumento no teor de adição de microssílica são significantes na redução da carga total passante, obtendo aumentos de até 6 vezes na resistência à penetração de íons cloretos.

O mesmo ensaio de penetração acelerada foi conduzido por FORNASIER (1995) para avaliar a durabilidade de concretos com microssílica (figura 3). Além deste, o autor também utilizou ensaio de penetração de água sob pressão e de absorção por imersão, com secagem a 50 e 105°C, cujos resultados estão apresentados nas figuras 4 e 5, respectivamente.

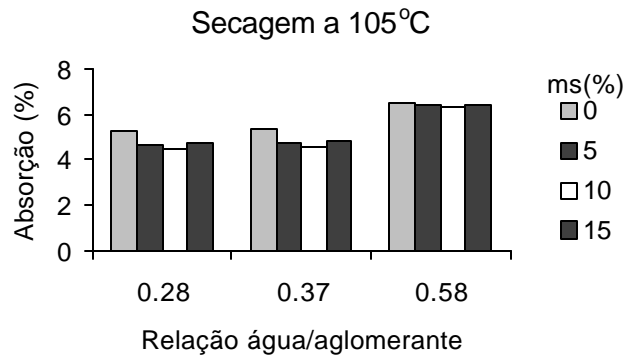


**Figura 3** - Carga passante do ensaio de penetração de cloretos em concretos (FORNASIER, 1995).

De acordo com a figura 3, verifica-se que a resistência de penetração acelerada de íons cloretos em concretos aumenta em média 6 vezes quando o teor de adição varia de 0 a 20%, coincidindo com os resultados obtidos por KULAKOWSKI (1994) para argamassas.

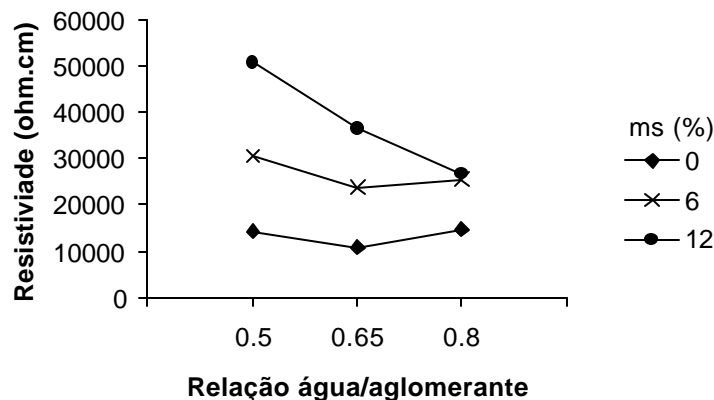


**Figura 4** - Absorção de água em concretos com microssílica - secagem à 50°C.



**Figura 5** - Absorção de água em concretos com microssílica - secagem à 105°C.

Descrição do método de ensaio utilizado pela Águida, detalhes de desenvolvimento da dissertação



**Figura** - Resistividade de concretos com adição de microssílica (ABREU, 1997).

[Num primeiro momento, quando o concreto está em processo de cura, a resistividade do concreto reproduz a evolução das reações de hidratação. Nestas circunstâncias, mesmo levando-se em conta que concretos com diferentes tipos de adições tenham velocidades de reação de seus compostos diferenciadas, a quantidade de eletrólito disponível (proporcionado pelo ambiente de cural) é muito grande. Conseqüentemente, o efeito do tipo de cimento é bem menos significativo. Além disto, a umidade relativa ambiente, geralmente > 95%, possibilita um alto grau de saturação dos poros (entre 89 a 97% aos 28 dias), conforme pode ser constatado nas Fig. 5.5 e 5.6 e Tab. 5.7. Assim, o concreto dispõe de eletrólito suficiente para possibilitar baixa resistividade.]

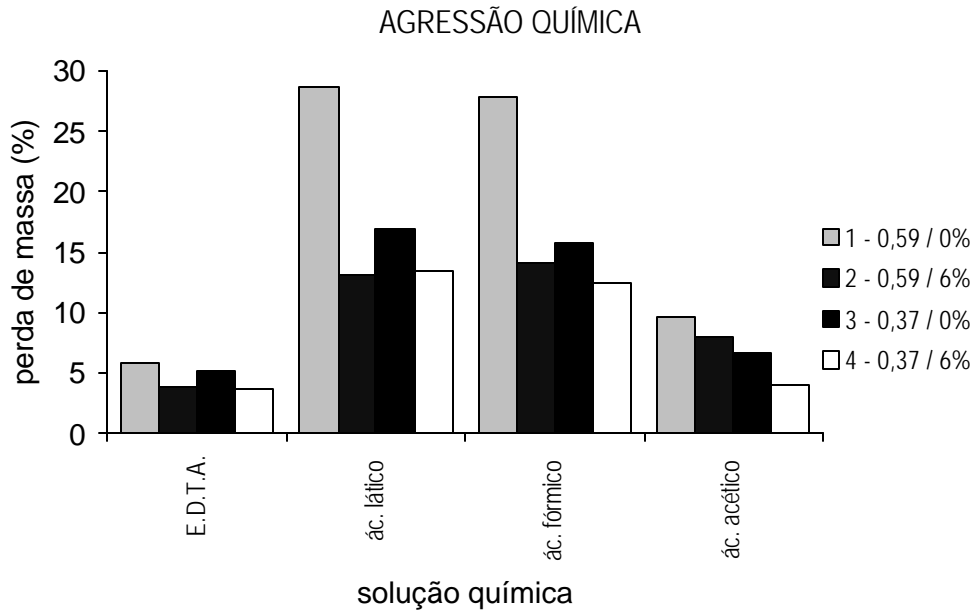


Figura - Resultados dos ciclos de agressão química, em perda de massa (%).

A análise dos resultados indica que tanto a diminuição do fator água/aglomerante quanto a adição de microssílica melhoram consideravelmente a resistência do concreto frente à ação de agentes agressivos. A adição de 6% de microssílica diminui, em média, 20% a perda de massa para os corpos de prova com fator a/agl 0,37 e 50% para os corpos de prova com fator a/agl 0,59.

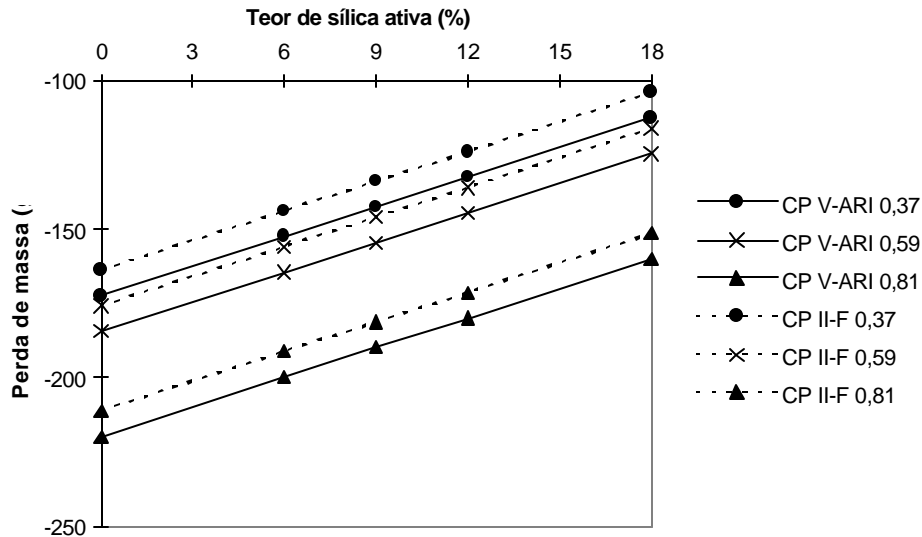


Figura - Perda de massa total em função do teor de sílica ativa após 5 ciclos de agressão pelo ácido fórmico (KULAKOWSKI et al., 1997).

Considerando que o mecanismo de deterioração do concreto pelo ácido fórmico ocorre através da formação de sais solúveis de cálcio, que posteriormente são

removidos por lixiviação, a redução da porosidade capilar e a redução do hidróxido de cálcio resultantes da ação da sílica ativa contribuem para aumentar a resistência final do concreto à ação da solução agressiva, como pode ser observado na figura.

### 3.2 Pesquisas em desenvolvimento

Dentro de um grande projeto de pesquisa cujo objetivo é obter uma avaliação sistêmica dos fatores que intervêm na durabilidade de concretos com adição de microsilica estão em desenvolvimento diversos experimentos. O material, as condições de moldagem e os traços dos experimentos desenvolvidos por mestrandos e doutorandos são os mesmos [para todos para poder correlacionar os dados obtidos deste programa.

Desta forma, o Projeto engloba ensaios de corrosão de armaduras, mecanismos de penetração de agentes externos no concreto, carbonatação, avaliação da porosidade e da microestrutura do concreto, bem como avaliação química do concreto antes e após sofrer degradações.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 226. Silica fume in concrete. **ACI Materials Journal**, Detroit, v.84, n.2, p.158-166, Mar./Apr. 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS (ABM). Estatísticas. **M&M - Metalurgia e Materiais**, v., n., p, 1995.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microsilica**. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado em engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- KHAYAT, K.H.; AITCIN, P.C. Silica fume in concrete - an overview. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 4., 1992, Istanbul, Turkey. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1993. v2, p.835-872 (ACI Special Publication, 132).
- MAAGE, M.; SELLEVOLD, E.J. Effect of microsilica on the durability of concrete structures. **Concrete International**, v.9, n.12, p.39-43, 1987.
- MALHOTRA, V.M.; MEHTA, P.K. **Advances in concrete technology: pozzolanic and cementitious materials**. Canada: Gordon and Breach Publishers, 1996. v1, 191p.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: structure, properties and materials**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1993.
- MONTEIRO, P.J.M. **Microstructure of concrete and its influence on the mechanical properties..** Berkeley, 1985. 153p. Tese (Doutorado) - University of California, Berkeley.
- SILVEIRA, R.C.; ALMEIDA, A.M.M. **Projeto e operação dos fornos elétricos de redução**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1987. 427p.



WOLF, J. **Estudo sobre a durabilidade de concretos de alta resistência com adições de microsilica.** Porto Alegre, 1991. 145p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WOLSIEFER, J.T. Silica fume concrete: a solution to steel reinforcement corrosion in concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF CONCRETE, 2., Montreal. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1991. v.1, p.527-558. (ACI Special Publication, 126).