



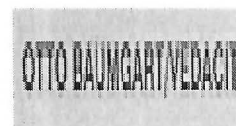
**IBRACON** Instituto Brasileiro  
do Concreto

## 46° Congresso Brasileiro do Concreto Florianópolis – SC

### 46° Congresso Brasileiro do Concreto reivindica maior investimento na infraestrutura do país

O 46° Congresso Brasileiro do Concreto, evento que ocorreu de 14 a 18 de agosto de 2004, na cidade de Florianópolis, contou com a participação de 900 congressistas, entre engenheiros, arquitetos, empresários, professores e estudantes. O evento foi marcado, desde sua solenidade de abertura, pela expectativa positiva dos congressistas em relação à retomada do crescimento do setor de construção civil. Esta expectativa foi acentuada pela iminência de aprovação das Parcerias Público-Privadas pelo Congresso Nacional. “As PPPs são instrumento indispensável para o investimento na infra-estrutura do país, tendo em vista que, por exemplo, atualmente o crescimento por demanda de energia no Brasil supera o crescimento do nosso PIB”, declarou o Prof. Paulo Helene, diretor-presidente do IBRACON.

### Patrocinadores



SAP  
25  
02  
05

## Influência da sílica ativa e do látex SB na porosidade da matriz de cimento Portland

João A. Rossignolo (1); Marcos V. C. Agnesini (2)

(1) Professor Doutor, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
email: [jarossig@sc.usp.br](mailto:jarossig@sc.usp.br)

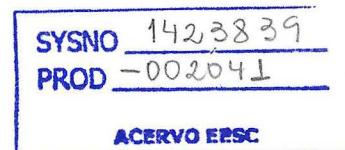
(2) Professor Doutor, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
email: [agnesini@sc.usp.br](mailto:agnesini@sc.usp.br)

Av. Trabalhador São-carlense, 400. CEP 13566-590. São Carlos S.P. BRASIL

Palavras Chaves: Porosimetria por Intrusão de Mercúrio, Sílica Ativa, Látex SB.

### Resumo

A maioria das propriedades dos concretos estão diretamente relacionadas com a porosidade da matriz de cimento. Atualmente, as formas mais eficientes de redução da porosidade da matriz de cimento estão relacionadas à utilização de materiais que reduzem a quantidade de água livre, como os superplastificantes, e que preenchem os poros capilares, como as adições minerais e os polímeros. Para compreender melhor a atuação de alguns desses materiais na matriz de cimento, este trabalho apresenta uma análise do efeito do látex de estireno butadieno (SB) e da sílica ativa na porosidade total e no tamanho dos poros na matriz de cimento Portland, utilizando a técnica de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (PIM). Foram avaliados os poros com diâmetro variando entre 0,005 e 10  $\mu\text{m}$ , aproximadamente. Nos resultados obtidos observou-se que além da redução da porosidade total, a utilização de sílica ativa e látex SB provocou a redução do tamanho dos poros capilares na matriz de cimento.



## 1 Introdução

Desde a invenção do concreto moderno, em meados do século XIX, até o início da década de 80, o concreto continuou sendo uma mistura de agregados, cimento e água, sem grandes inovações que alterassem significativamente o desempenho de suas propriedades. Mas nas duas últimas décadas, principalmente nos últimos dez anos, a tecnologia do concreto sofreu um grande desenvolvimento, que segundo diversos autores, como Zhang e Gjørv (1991), OHAMA (1998), HELENE (1999), assim como AITCIN (2000), ocorreu devido à evolução das técnicas e equipamentos para estudo dos concretos e ao uso de novos materiais. Esses novos materiais, dos quais destacam-se os aditivos redutores de água, as adições minerais e os polímeros modificadores, possibilitaram obter melhorias significativas no desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos.

Estudos realizados a partir de 1998 no Laboratório de Construção Civil (LCC) da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, indicam que há um grande potencial da utilização conjunta de látex SB, sílica ativa e superplastificante na produção dos concretos leves de alto desempenho (CLAD) (AGNESINI e GOMES NETO, 1998; ROSSIGNOLO et al., 2001; ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2002). A utilização conjunta desses materiais tem como objetivo principal otimizar o desempenho das propriedades do concreto leves, como durabilidade e resistência mecânica.

Para melhor compreender o atuação do látex SB, da sílica ativa e do superplastificante na matriz de cimento, este trabalho apresenta uma análise do efeito desses materiais na porosidade total e no tamanho dos poros das pastas de cimento Portland, utilizando a técnica de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (PIM). Foram avaliados os poros com diâmetro variando entre 0,005 e 10  $\mu\text{m}$ , aproximadamente.

## 2 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados na produção das pastas foram cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI), sílica ativa (SA), superplastificante acelerador do tipo SPA e látex de estireno butadieno (SB) com teor de sólidos (polímero) de 50%. Mais informações sobre os materiais utilizados podem ser obtidos em AGNESINI et al. (2000).

Foram preparadas 13 tipos de pastas de cimento Portland com relação água/aglomerante fixa de 0,40, conforme descrito na Tabela 1. Os valores dos teores de sílica ativa, látex SB e superplastificante apresentados na Tabela 1 estão em porcentagem (%) em relação à massa de cimento. A quantidade de água da relação a/agl refere-se a água total presente na pasta, inclusive a presente no superplastificante e no látex. A pasta número 1 foi preparada apenas com cimento e água para ser utilizada como referência em relação às demais pastas.

Para a determinação do volume e da variação dimensional dos poros nas pastas de cimento foi utilizada a técnica de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (PIM). A análise de PIM foi realizada para as 13 pastas descritas na Tabela 1 com 100 dias de idade. As análises foram realizadas pelo Grupo de Estudos de Rochas Ornamentais (GERO), no Departamento de Geotecnia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa – Portugal. O procedimento de análise foi realizado segundo adotadas as recomendações da ASTM D4404-84 (1992) e utilizando os equipamentos FILLING APPARATUS e AUTOSCAN50 da marca QUANTACHROME. Nas análises realizadas a pressão aplicada

variou entre 0,2 e 350 MPa, o que possibilitou a análise dos poros com diâmetro entre 0,005 e 10 µm, aproximadamente.

TABELA 1 - Pastas utilizadas nos estudos de porosimetria.

Pasta	Sílica Ativa (SA) <sup>1</sup>	Polímero (SB) <sup>1,2</sup>	Superplastificante (SPA) <sup>1</sup>
1	-	-	-
2	5,0	-	1,5
3	10,0	-	1,5
4	15,0	-	1,5
5	-	2,5	-
6	-	5,0	-
7	-	7,5	-
8	-	10,0	-
9	-	15,0	-
10	10,0	2,5	1,5
11	10,0	5,0	1,5
12	10,0	7,5	1,5
13	10,0	10,0	1,5

<sup>1</sup> % em relação à massa de cimento; <sup>2</sup> Teor de polímero SB;

\* Relação água / aglomerante = 0,40 (fixa).

### 3 Resultados e discussão

Os valores da porosidade total e do volume de mercúrio introduzido nas amostras são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Valores de porosidade e volume introduzido por PIM.

Pasta	Vol. Introduzido (ml/g)	Porosidade total (%)
1	0,1363	24,2
2	0,1220	22,5
3	0,1038	18,6
4	0,1157	20,8
5	0,0958	16,8
6	0,1168	20,9
7	0,0937	16,3
8	0,1064	17,8
9	0,1049	17,8
10	0,0769	13,3
11	0,1061	18,7
12	0,0911	15,7
13	0,0985	16,0

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que a pasta de referência (1) foi a que apresentou maior valor de porosidade. Nas demais pastas foi observado uma redução significativa da porosidade total, que não foi decrescente com o aumento dos teores de sílica ativa e de látex SB. Para as pastas com látex SB, este efeito de não linearidade de redução da porosidade com o aumento do teor de polímero pode ser explicado pelo aumento do teor de ar incorporado nessas pastas (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2000). Já no caso das pastas com sílica ativa, isto pode ser explicado pela eficiência da dispersão da adição durante a mistura, o aumento do teor de sílica ativa e o tipo de superplastificante utilizado podem ter prejudicado a eficiência de dispersão dessa adição na pasta.

As Figuras 1, 2 e 3 ilustram a relação entre o volume acumulado de mercúrio introduzido e o diâmetro do poro. Além da análise desses resultados, a influência da sílica ativa e do látex SB na quantidade e no tamanho dos poros das pastas pode ser melhor entendida, analisando-se as relações entre a distribuição do tamanho dos poros e o volume por eles ocupados, apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.

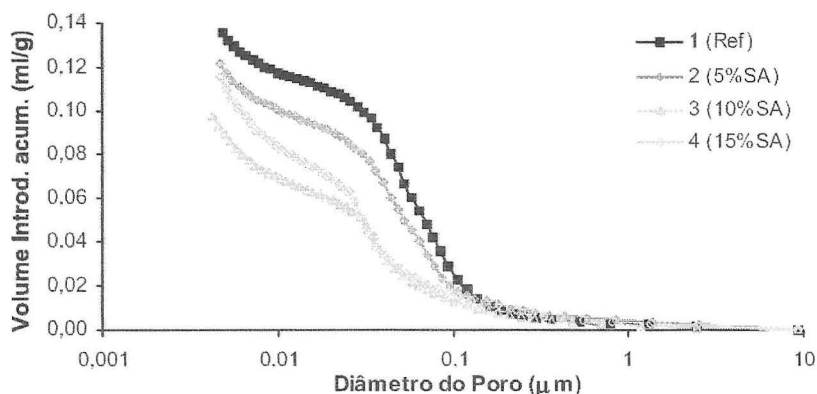


FIGURA 1 - Volume introduzido acumulado versus diâmetro do poro para as pastas 1, 2, 3 e 4.

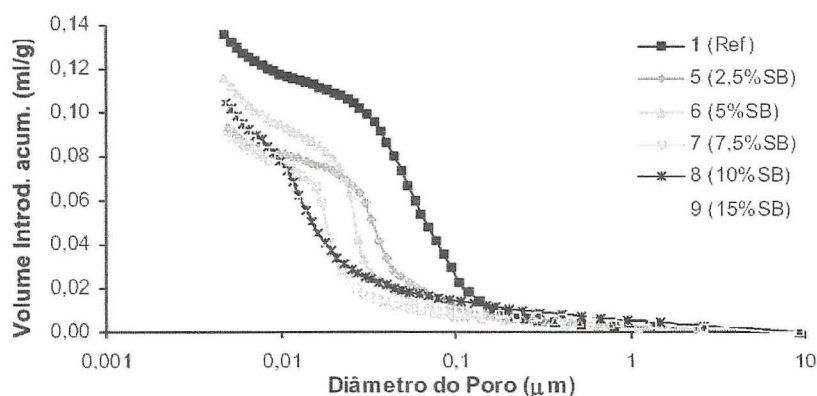


FIGURA 2 - Volume introduzido acumulado versus diâmetro do poro para as pastas 1, 5, 6, 7, 8 e 9.

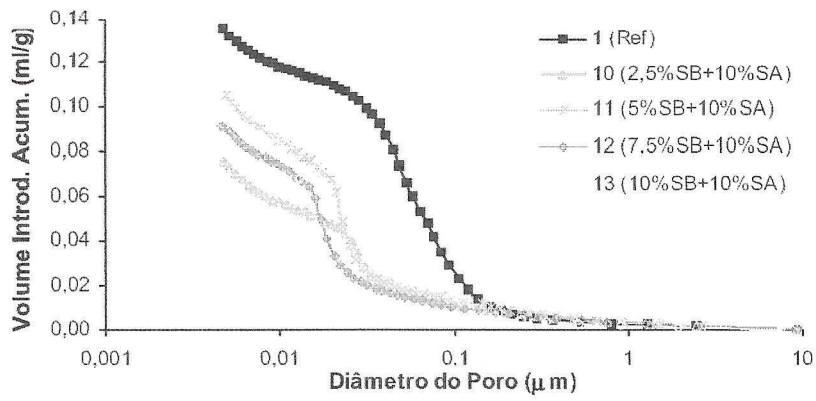


FIGURA 3 - Volume introduzido acumulado versus diâmetro do poro para as pastas 1, 10, 11, 12 e 13.

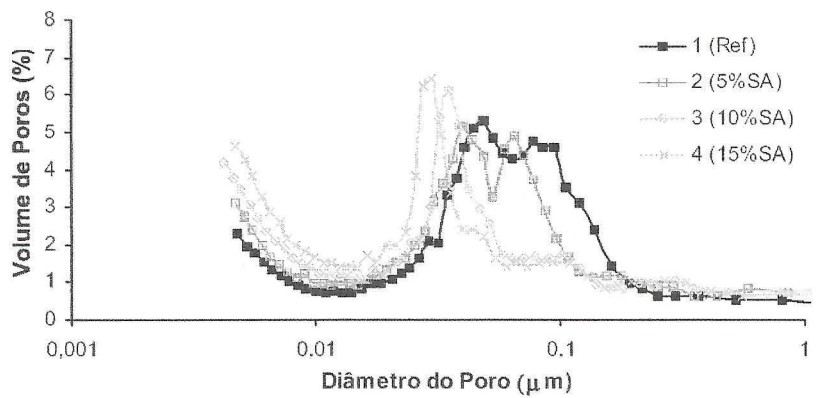


FIGURA 4 - Distribuição do diâmetro dos poros para as pastas 1, 2, 3 e 4.

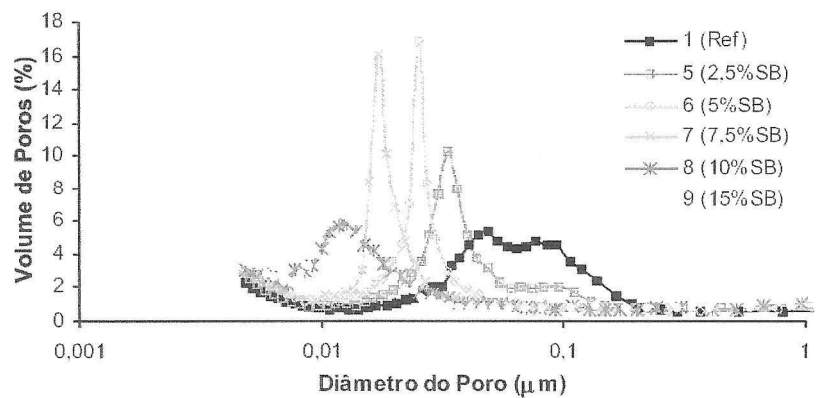


FIGURA 5 - Distribuição do diâmetro dos poros para as pastas 1, 5, 6, 7, 8 e 9.

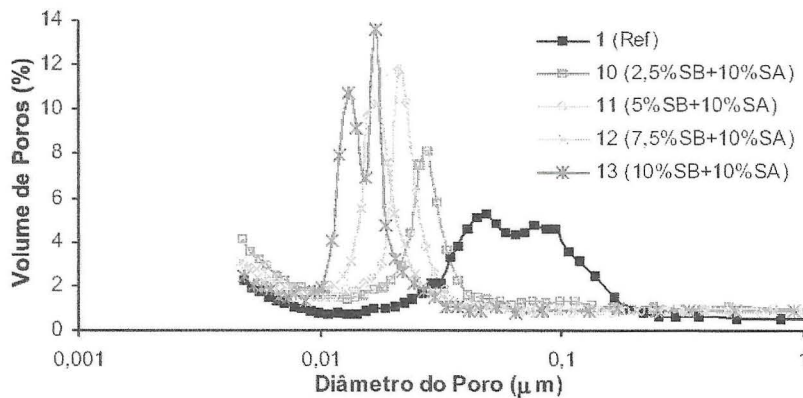


FIGURA 6 - Distribuição do diâmetro dos poros para as pastas 1, 10, 11, 12 e 13.

Nas Figuras 1 e 4 observa-se que a sílica ativa utilizada isoladamente na pasta, em comparação à pasta de referência, provoca a redução da quantidade de poros com diâmetro entre 0,25 e 0,05  $\mu\text{m}$  e o aumento dos poros com diâmetro entre 0,025 e 0,005  $\mu\text{m}$ . Este efeito foi crescente com o aumento do teor de sílica ativa nas pastas. A redução da porosidade e do diâmetro dos poros nas pastas com sílica ativa pode ser atribuída, essencialmente, aos efeitos de preenchimento (efeito filler) e pozzolânico desta adição na matriz de cimento (MONTEIRO, 1993).

Nos resultados obtidos para as pastas com látex SB, apresentados nas Figuras 2 e 5, observa-se que o efeito de redução do tamanho dos poros foi ainda mais acentuado do que o observado nas pastas com sílica ativa e que essa redução foi crescente com o aumento do teor de polímero, com exceção da pasta 9 (15% SB), que apresentou resultado semelhante à pasta 8 (10% SB).

Em comparação à pasta de referência, observou-se nas pastas com látex SB a redução significativa da quantidade de poros com diâmetro abaixo de 0,05  $\mu\text{m}$ . Nas pastas 5, 6 e 7 observou-se um aumento expressivo do aumento da quantidade de poros com diâmetro entre 0,012 e 0,05  $\mu\text{m}$ . Já nas pastas 8 e 9, que apresentaram resultados semelhantes, houve um aumento da quantidade de poros com diâmetro entre 0,005 e 0,025  $\mu\text{m}$ .

A redução da porosidade e do tamanho dos poros na matriz de cimento com látex SB, segundo OHAMA (1998), ocorre, principalmente, devido ao preenchimento dos vazios pelo filme polimérico.

As pastas com sílica ativa e látex SB foram as que apresentaram maior eficiência na redução do tamanho dos poros (Figuras 3 e 6). As quatro pastas com sílica ativa e látex SB apresentaram, em relação à pasta de referência, redução significativa da quantidade de poros com diâmetro entre 0,025 e 0,25  $\mu\text{m}$  e aumento da quantidade de poros com diâmetro entre 0,005 e 0,025  $\mu\text{m}$ .

Os resultados apresentados nesse trabalho ajudam a compreender a melhoria de desempenho de algumas propriedades dos concretos leves com a utilização de sílica ativa e látex SB, como a redução da permeabilidade, por exemplo, conforme observado nos estudos realizados por ROSSIGNOLO e AGNESINI (2001) e ROSSIGNOLO (2003).

## 4 Conclusões

Os resultados desse estudo possibilitaram observar que a sílica ativa e o látex SB promovem a redução da porosidade total e do tamanho dos poros capilares da matriz de cimento Portland. Os melhores resultados, relacionados à redução da porosidade total e ao tamanho dos poros, foram obtidos para as pastas que utilizaram conjuntamente sílica ativa e látex SB. Essas observações ajudam a compreender a melhoria de desempenho de algumas propriedades dos concretos, como a redução da permeabilidade, com a utilização de sílica ativa e látex SB.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, o suporte financeiro desta pesquisa, assim como ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Lisboa, Portugal, o apoio na realização das análises experimentais.

## 6 Referências

AGNESINI, M.V.C.; GOMES NETO, D.P. Microconcretos leves com argila expandida: influência da adição de sílica ativa no fator de eficiência em dosagem de pré-fabricados de pequena espessura: estudo de caso. **40º Congresso Brasileiro do Concreto**, Rio de Janeiro, IBRACON, 1998.

AGNESINI, M.V.C.; ROSSIGNOLO, J.A.; MORAIS, J.A. Pré-fabricados de pequena espessura: materiais e dosagem de microconcretos leves de alto desempenho – Estudo de caso. **42º Congresso Brasileiro do Concreto**, Fortaleza, IBRACON, 2000.

AÏTCIN, P.C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo, Ed. PINI, 2000.

HELENE, P.R.L. Concreto de alto desempenho: o melhor está por vir. **Revista Cimento Hoje**, n.20, 1999.

MONTEIRO, P.J.M. **Caracterização da microestrutura do concreto: Fases e interfaces; aspectos de durabilidade e de microfissuração**. Tese (livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

OHAMA, Y. Polymer-based Admixtures. **Cement and Concrete Composites**, n.20, pp.189-212, 1998.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - Dosagem, Produção, Propriedades e Microestrutura**. Tese (doutorado). Interunidades EESC/IFSC/IQSC da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C. Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, v.32, pp.329-334, 2002.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C. **Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete.** In: COMPOSITES IN CONSTRUCTIONS, edited by J. FIGUEIRAS et al., v.1, pp.61-66. Lisse, Holanda, Ed. A. A. Balkema Publishers, 2001.

ROSSIGNOLO, J.A.; PAULON, V.A.; AGNESINI, M.V.C. Concreto leve de elevado desempenho. **Revista Engenharia e Construção**, v.56, pp.24-30, 2001.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C. Propriedades no estado fresco dos microconcretos leves de alto desempenho modificados com polímero - Estudo de caso. **IV Congresso de Engenharia Civil**, Juiz de Fora, v.1, pp. 11-522, 2000.

ZHANG, M.H.; GJØRV, O.E. Mechanical properties of high-strength lightweight concrete. **ACI Materials Journal**, v.88, pp.240-247, 1991.