

ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE DOS COMPONENTES DO CONCRETO LEVE DE ALTO DESEMPENHO MODIFICADO COM POLÍMERO

João Adriano Rossignolo

Departamento de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Maringá (DEC-UEM)
Grupo de Desenvolvimento e Análise do Concreto Estrutural – GDACE (jarossignolo@uem.br)

Marcos Vinício Costa Agnesini

Dep. de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos SP
(agnesini@sc.usp.br)

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a interação do cimento de alta resistência inicial (CPV ARI) com o superplastificante acelerador, a sílica ativa e o látex estireno butadieno (SB), utilizados na produção dos concretos leves de alto desempenho modificados com polímero, destinados à confecção de elementos construtivos pré-fabricados de pequena espessura. Para tanto, foi utilizado o método do “mini-slump” proposto por KANTRO (1980). Com os resultados desse estudo foi possível realizar uma análise preliminar, no estado fresco, da viabilidade técnica do uso conjunto de superplastificante acelerador, sílica ativa e látex estireno butadieno em concretos leves estruturais.

1. INTRODUÇÃO

O concreto leve de alto desempenho (CLAD) modificado com polímero apresenta grande potencial de utilização em elementos construtivos pré-fabricados, pela redução da massa específica, em torno de 40% quando comparado aos concretos tradicionais, e pelo excelente desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade.

Com a intenção de contribuir ao desenvolvimento da tecnologia dos concretos leves, esse trabalho apresenta um estudo de caso sobre a interação do uso conjunto de cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI), sílica ativa, superplastificante acelerador e látex estireno butadieno (SB), utilizados na obtenção do concreto leve de alto desempenho modificado com polímero.

Os objetivos desse trabalho são avaliar o poder redutor de água do superplastificante e do SB e analisar a compatibilidade físico-química desses materiais com o cimento e a sílica ativa. Esses estudos foram realizados utilizando o método do “mini-slump” proposto por KANTRO (1980). Segundo RAY et al. (1994 e 1995), o estudo preliminar de compatibilidade dos diversos materiais componentes dos concretos de alto desempenho é muito importante para evitar possíveis prejuízos nas propriedades desse material.

O termo concreto de alto desempenho foi usado pela primeira vez por MEHTA e AITCIN (1990) para concretos com três características básicas: alta trabalhabilidade, alta resistência mecânica e alta durabilidade. Assim, a durabilidade foi a primeira distinção entre concreto de alta resistência e de alto desempenho. Nos últimos dez anos, diversos autores apresentaram outras definições para concretos de alto desempenho, entretanto, é unânime a importância do desempenho das propriedades relacionadas à durabilidade desse material.

Essencialmente, a alta durabilidade dos concretos pode ser alcançada se o material apresentar baixa permeabilidade e permanecer livre de fissuras durante sua vida útil. Assim, os concretos devem ser dosados para apresentar grande estabilidade dimensional e baixa permeabilidade.

Essas propriedades podem ser obtidas reduzindo a porosidade do material, que segundo ALMEIDA (1996), pode ser realizada de quatro maneiras: diminuindo a relação água/cimento, preenchendo os poros do material, aumentando o grau de hidratação do cimento ou utilizando altas pressões na compactação. As duas últimas formas, que geralmente envolvem elevadas temperaturas e pressões, são pouco indicadas para obras correntes. As duas primeiras podem ser alcançadas, respectivamente, com a introdução de aditivos químicos redutores de água, como os superplastificantes, e de adições minerais, como a sílica ativa.

A sílica ativa atua basicamente de duas formas no concreto. A primeira forma, física, é denominada de efeito filler, ou de preenchimento de vazios, e colabora para aumentar a coesão e a compacidade do material. A segunda forma, química, é a reação pozolânica que transforma o hidróxido de cálcio, relativamente frágil, no resistente silicato de cálcio hidratado. Estas duas formas de atuação da sílica ativa promovem a diminuição do volume de vazios, o fortalecimento da microestrutura e o aumento da aderência entre pasta de cimento e agregado, contribuindo assim, para a melhoria de desempenho das propriedades do concreto.

No entanto, a sílica ativa apresenta área específica elevada, fato que aumenta a quantidade de água para manutenção da trabalhabilidade. Sendo a relação água/cimento inversamente proporcional à resistência mecânica e à durabilidade, os benefícios adquiridos com a utilização da sílica ativa podem ser prejudicados.

Esse problema pode ser controlado com a utilização de superplastificantes, que atuam na mistura reduzindo significativamente a quantidade de água de amassamento, sem prejuízo da trabalhabilidade. Esses aditivos atuam na mistura de várias formas, sempre reduzindo o atrito entre as partículas, aumentando a fluidez do concreto. Assim, os superplastificantes eliminam o inconveniente aumento de água da mistura ocasionado pela sílica ativa, reduzindo a relação água/cimento, com conseqüente melhora de desempenho de resistência mecânica e durabilidade do concreto.

Os aditivos superplastificantes usualmente utilizados são compostos por sulfonatos do tipo $R-SO_3M$, onde R é um radical orgânico, responsável pela classificação do aditivo, e M pode ser, por exemplo, um cátion metálico de sódio ou cálcio (ALVES e HELENE, 1996).

Segundo alguns autores, AITCIN (1989), MHETA e MONTEIRO (1994) e ALVES e HELENE (1996), esses aditivos atuam no sentido de carregar as partículas de cimento equidirecionalmente causando a sua repulsão. A adsorção pela partícula de cimento de uma molécula de superplastificante gera cargas negativas, criando forças repulsivas que se sobrepõe às forças de atração. Esse fenômeno deflocula e dispersa as partículas de cimento no meio aquoso, evitando sua reaglomeração.

O uso desses aditivos beneficia muito as propriedades dos concretos, no entanto, em determinadas situações, ocorrem comportamentos reológicos inesperados entre algumas combinações de cimento e aditivos superplastificantes, com conseqüente prejuízo da trabalhabilidade do material, denominado de incompatibilidade cimento/aditivo.

Segundo CASSA (1999), um dos principais fatores que acarretam esta incompatibilidade é o fato das moléculas de superplastificante se fixarem em outros produtos, como o aluminato de cálcio, por ausência de sulfatos disponíveis na mistura, prejudicando assim o processo de dispersão.

Os polímeros também são utilizados para melhorar o desempenho das propriedades relacionadas à durabilidade dos concretos, dentre os quais, o látex estireno butadieno (SB) é um dos mais utilizados. A utilização de SB reduz a porosidade do concreto, resultado da coalescência das moléculas do polímero nos poros após a hidratação do cimento, criando uma fase polimérica que interpenetra os vazios do material (OHAMA, 1998). No estado fresco, a utilização de SB reduz a quantidade de água de amassamento. Segundo alguns autores, STORTE (1991), SAIJA (1995) e ALLAN (1997), isto ocorre porque as moléculas do polímero, com diâmetro médio de 0,15 μm , dispersas em água atuam como lubrificantes, aumentando a fluidez da mistura.

Dessa forma, o SB atua preenchendo os vazios do material e reduzindo a relação água/cimento, melhorando assim o desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos.

Assim, a associação de superplastificante, sílica ativa e SB, tem como princípio básico melhorar o desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos. Entretanto esta associação deve ser previamente estudada para detectar uma possível incompatibilidade entre esses materiais.

Com isso, esse trabalho apresenta um estudo de caso, utilizando o método do “mini-slump” proposto por KANTRO (1980), com a finalidade de avaliar o poder redutor de água do superplastificante e do SB e de detectar uma possível incompatibilidade físico-química do uso conjunto desses materiais com CPV ARI e a sílica ativa, para obtenção dos concretos leves de alto desempenho modificados com polímero, destinados à produção de elementos construtivos pré-fabricados.

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

2.1.1. Cimento Portland

Na produção das pastas foi empregado o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI), com massa específica (NBR 6474) igual à 3,12 kg/dm^3 e superfície específica Blaine (NBR 7224) igual à 4287 m^2/kg .

2.1.2. Aditivo Superplastificante (SPA)

Foi utilizado um superplastificante acelerador do tipo SPA, segundo classificação da NBR 11768, fabricado pela MBT Brasil I. C. Ltda., com massa específica e teor de sólidos iguais à 1,11 g/cm^3 e 16,49 %, respectivamente.

2.1.3. Látex estireno butadieno (SB)

Foi utilizada uma dispersão aquosa formulada a partir de copolímero de estireno butadieno, fabricada pela Rhodia do Brasil Ltda., com teor de sólidos de 50% e massa específica de 1,02 kg/dm^3 .

2.1.4. Sílica Ativa (SA)

Foi utilizada a sílica ativa fornecida pela empresa Microsílica Tecnologia Indústria e Comércio Ltda., com valores de massa específica (NBR 6474) e massa unitária (NBR 12127-Adaptação) iguais à $2,21 \text{ kg/dm}^3$ e $0,20 \text{ kg/dm}^3$, respectivamente. A sílica ativa utilizada apresentou superfície específica e teor de SiO_2 iguais à $18000 \text{ m}^2/\text{kg}$ e 94,3%, respectivamente.

2.2. Método do “mini-slump” (KANTRO, 1980)

Dentre as formas de quantificar o efeito redutor de água de um aditivo, o processo proposto por KANTRO (1980) é simples, fácil e apresenta a vantagem de avaliar o efeito do aditivo sobre o cimento, sem a interferência dos agregados. Esse método consiste na comparação da fluidez de pastas de cimento em ensaios de “mini-slump”, muito similar ao slump-test, com as dimensões do cone reduzidas.

O equipamento utilizado para o ensaio é um molde de tronco de cone, apresentado na Figura 1, com corpo cilíndrico externo para facilitar o manuseio, de material translúcido cujas dimensões internas são: altura 57 mm ($2\frac{1}{4}$ "); diâmetro inferior 38 mm ($1\frac{1}{2}$ "); e diâmetro superior 19 mm ($\frac{3}{4}$).

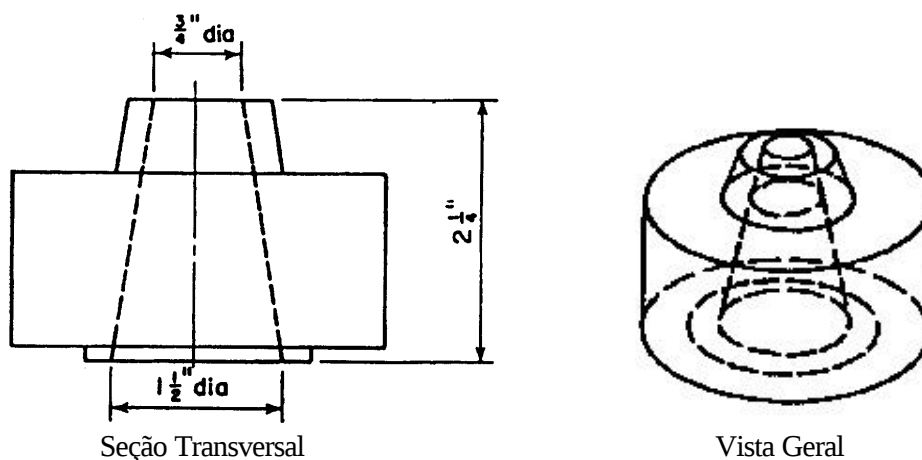


Figura 1. Tronco de cone para ensaio de “mini-slump” (KANTRO, 1980)

O procedimento desse ensaio consiste em colocar o tronco de cone sobre uma placa de vidro plano liso (coberta com película de polietileno ou papel liso impermeável, auto-adesivo de espessura entre 0,1 e 0,3 mm), nivelado horizontalmente. Após seu preenchimento com a pasta de cimento e posterior arrasamento, o tronco-cônico é levantado, permitindo que a pasta se deforme desimpedida até seu equilíbrio em estado de repouso. A área que a projeção vertical do corpo-de-prova nesta condição abrange sobre a película plástica é medida com planímetro ou outro procedimento equivalente. As áreas dos corpos-de-prova experimentais de pastas de cimento, medidas pela projeção após a retirada do molde, se estendem de $12,6 \text{ cm}^2$ (área da base do molde) até, aproximadamente, 200 cm^2 (BUCHER, 1988 e KANTRO, 1980).

Esse método utiliza a área do espalhamento correspondente à relação água/cimento de 0,36 como referência ou comparação do efeito reológico instantâneo ou deferido de uma pasta de cimento Portland. Para um determinado cimento, as áreas de espalhamento das pastas com

relação água/cimento entre 0,36 e 0,60 são proporcionais de maneira direta e linear e as divergências com essa tendência provêm, apenas, da uniformidade física e geométrica do substrato ou de resíduos de pasta que, eventualmente, aderem à parede interna do molde.

Os ensaios são de fácil repetibilidade, pois, cada determinação utiliza uma quantidade relativamente pequena de cimento (165 g). A variação dos resultados intra-laboratoriais é de aproximadamente 4,4%, ou seja, em 95% dos casos a diferença entre dois ensaios executados pelo mesmo operador, nas mesmas condições, será inferior à 12,5% da média de ambos resultados (BUCHER, 1988).

Inicialmente, traça-se a curva do comportamento reológico, ou de sensibilidade à água, do cimento estudado. Os eixos do gráfico são: área de espalhamento e relação água/cimento. A curva é traçada para as relações água/cimento 0,36 (referência), 0,40, 0,45, 0,514 e 0,60, caracterizando, respectivamente, as áreas correspondentes a uma redução de 0, 10, 20, 30 e 40% de água. Assim, a inclinação de cada reta representa a intensidade com que um cimento reage reologicamente à água de amassamento. Caso os valores das relações água/cimento utilizados não sejam iguais aos valores anteriormente mencionados, pode-se calcular a redução de água correspondente com a equação 1.

$$A_i = 100 \times ((a/c)_i - 0,36) / (a/c)_i \quad (1)$$

Onde: A_i = redução do teor de água de amassamento (%);
 $(a/c)_i$ = relação água/cimento.

As curvas de comportamento reológico do cimento podem ser ajustadas para uma reta da forma:

$$y = b + m.x \quad (2)$$

Onde: y = área de espalhamento (cm²)
 x = relação água/cimento, em massa
 b, m = constantes

Em seguida são preparadas as pastas com relação água/cimento constante de 0,36 e a adição de teores crescentes do aditivo analisado. Com a área de espalhamento obtida para cada concentração de superplastificante, pode-se calcular o teor de redução da água equivalente que este provoca, utilizando a equação 3.

$$A_c = 100 \times (S_c - b - (a/c)_o \cdot m) / (S_c - b) \quad (3) \quad (\text{BUCHER, 1988})$$

Onde: A_c = redução de água (% em massa) para a concentração de aditivo
 S_c = área de espalhamento da pasta com aditivo, em cm²
 $(a/c)_o = 0,36$
 b, m = constantes da equação (2) para cada tipo de cimento

Com isso, pode-se avaliar o poder redutor de água de um aditivo na pasta de cimento e ainda detectar um possível incompatibilidade entre cimento/aditivo, caso não haja um aumento da área de espalhamento da pasta com o aumento do teor de aditivo.

2.3. Dosagem e Mistura

Foi utilizado o teor de 10% de sílica ativa, em relação a massa de cimento, tendo como referência estudos realizados por AGNESINI e SILVA (1997) e AGNESINI e GOMES NETO (1998).

Os teores de superplastificante estudados variaram entre 0,5 e 2,0%, em relação à massa de cimento, segundo as recomendações do fabricante. Os teores de SB estudados variaram de 1,25 a 10% (teor de sólidos), em relação à massa de cimento.

As relações água/cimento apresentadas se referem à quantidade total de água na mistura, inclusive a presente no látex e no aditivo superplastificante.

As pastas de cimento foram misturadas em argamassadeira de 0,3 Hp, com capacidade para 5 dm³, em velocidade média durante 5 minutos. A ordem de mistura dos materiais foi a seguinte: 1º) cimento com 50% da água total; 2º) lama (SA + SPA + SB + 50% da água).

O preenchimento e posterior levantamento do tronco de cone, para a execução do ensaio, foram realizados segundo as recomendações de KANTRO (1980).

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO RESULTADOS

Inicialmente foram traçadas as curvas de comportamento reológico, ou de sensibilidade à água, para o cimento e para o cimento com 10% de sílica ativa, apresentadas na Figura 2. Verificou-se que o CPV ARI apresentou alta sensibilidade à água relativo à fluidez, ou seja, houve um aumento significativo da área de espalhamento da pasta com o aumento da relação água/cimento. Entretanto, este efeito foi reduzido com a adição de sílica ativa, devido, provavelmente, ao aumento da coesão da pasta, resultado da elevada superfície específica da sílica ativa, diminuindo, assim, a fluidez da pasta, com conseqüente prejuízo de trabalhabilidade do material.

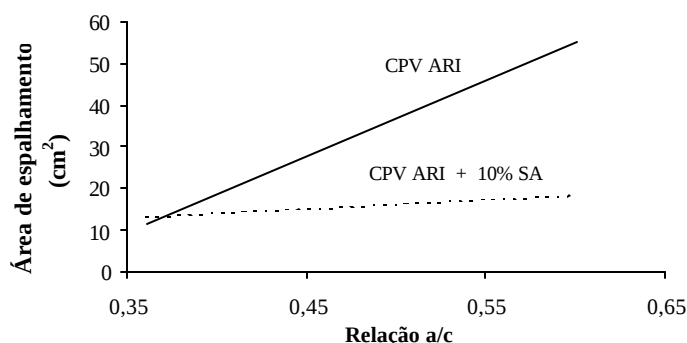


Figura 2. Comportamento reológico do cimento CPV ARI.

Na Figura 3 são apresentados os valores de redução de água promovidos pelo SPA nas pastas de cimento. Observou-se que para os dois tipos de pastas os valores de redução de água foram crescentes com o aumento dos teores de SPA, sendo maior a eficiência desse aditivo na pasta de cimento com sílica ativa.

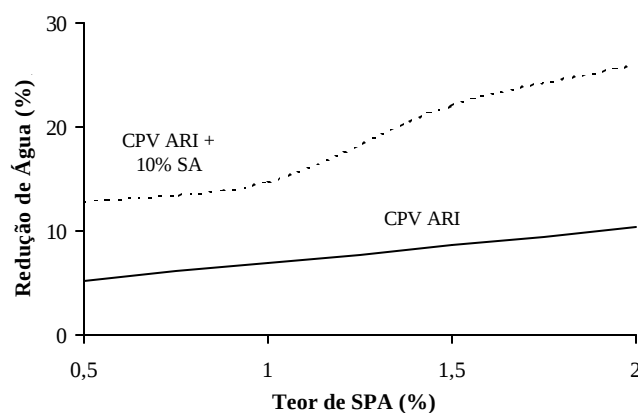


Figura 3. Valores de redução de água para pastas com SPA.

Analisando os resultados apresentados na Figura 4, observou-se que o látex estireno butadieno (SB) apresenta bom desempenho de redução de água para as dosagens estudadas, sendo semelhantes aos valores obtidos para as duas pastas até o teor de 8% desse polímero. Para teores próximos a 10%, o SB apresenta maior redução de água na pasta de cimento sem sílica ativa.

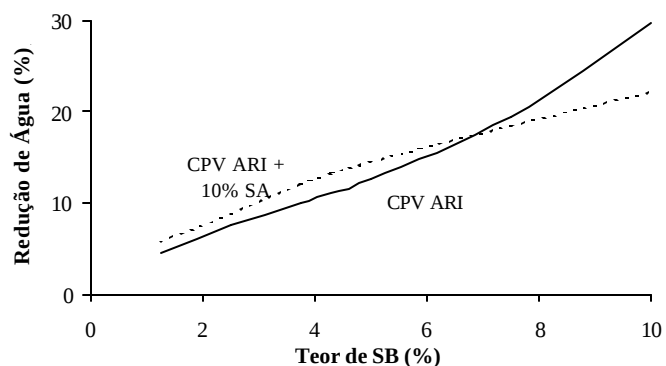


Figura 4. Valores de redução de água para pastas com SB.

A Figura 5 apresenta os valores da redução de água para pastas que utilizaram conjuntamente CPV ARI, SA, SPA e SB. Os resultados de redução de água foram satisfatórios e crescentes de acordo com o aumento dos teores de SPA e SB, eliminando assim a possibilidade de uma eventual incompatibilidade físico-química no estado fresco para as dosagens e materiais estudados.

Observa-se ainda um sinergismo entre o superplastificante e o látex estireno butadieno, contribuindo, assim, para a redução da relação água/cimento das pastas, indicando ser vantajoso o uso conjunto desses materiais.

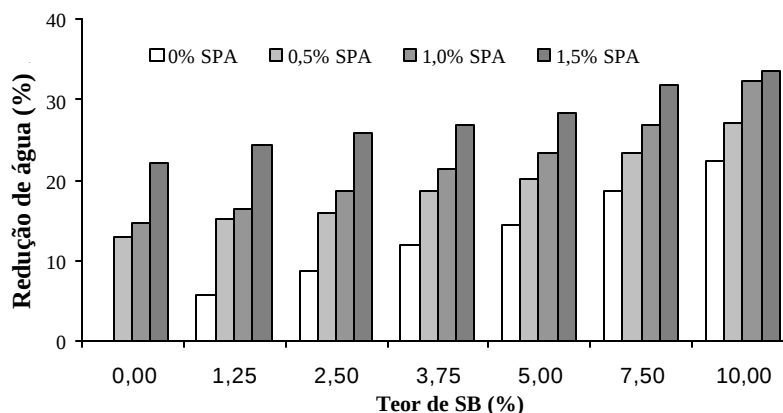


Figura 5. Redução de água de pastas com SA, SPA e SB.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo de caso não foi verificado nenhum tipo de incompatibilidade do uso, isolado ou em conjunto, do superplastificante e do látex estireno butadieno (SB) com o cimento CPV ARI, com ou sem a adição de sílica ativa.

O superplastificante e o látex estireno butadieno estudados apresentaram valores de redução de água satisfatórios nas pastas de cimento, com ou sem sílica ativa, apresentando, assim, grande potencial de utilização em concretos de alto desempenho.

Verificou-se que os valores máximos de redução de água nas pastas de CPV ARI com sílica ativa foram obtidos para o uso conjunto de SPA e SB, demonstrando assim que há um sinergismo entre esses materiais.

É importante salientar que os valores de redução de água obtidos nesta pesquisa, utilizando o método do mini-slump, não podem ser atribuídos diretamente à concretos e argamassas, pois, nesse método não é analisado o efeito dos agregados na mistura.

5. REFERÊNCIAS

- AGNESINI, M.V.C.; GOMES NETO, D. P. (1998). "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". In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40. *Anais*. Rio de Janeiro.
- AGNESINI, M.V.C.; SILVA, L.S. (1997). "Concretos de alto desempenho: estudo de dosagem de microconcretos para pré-fabricados de pequena espessura". In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28. São Carlos. *Anais*, EESC/USP, v. 5, p. 1985-1993.
- AITCIN, P.C. (1989). "Les Fluidifiants, des Réducteurs d'Eau pas comme les Autres". *Annales de L'institute Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, v. 263 (Béton), n° 473, p. 151-5, Mars Avr.
- ALLAN, M. L. (1997). "Rheology of latex-modified grouts". *Cement and Concrete Research*, v. 27, n. 12, p. 1875-1884.
- ALMEIDA, I.R. (1996). "Superplastificantes, microsílica e durabilidade dos concretos". *Revista Técnica*, v. 5, p.30-33, set./out.
- ALVES, R.R.; HELENE, P. (1996). "Aditivos Superplastificantes". *Revista IBRACON*, n. 13, Junho/Julho, p. 31-37.
- BUCHER, H.R.E. (1988). "Desempenho de aditivos redutores de água de alta eficiência em pastas, argamassas e concretos". In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 30. Rio de Janeiro.

- CASSA, J.C. et al. (1999). "Avaliação da Compatibilidade Físico-química entre Cimento e Aditivo Superplastificante". In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41. Salvador.
- KANTRO, D.L. (1980). "Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste – A Miniature Slump Test". *Cement, Concrete and Aggregate*, v. 2, n. 2, 1980, p. 95-102.
- MEHTA, K. (1998). "Reflexões sobre os recentes avanços na tecnologia do concreto". *Revista IBRACON*, n. 22, Agosto/Novembro, p. 24-35.
- MEHTA, K.; AITCIN, P.C. (1990). "Principles underlying the production of high-performance concrete". *Cement, Concrete and Aggregates*, v.12, n. 2, p. 70-78.
- MEHTA, K.; MONTEIRO, J.M. (1994). "Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais". 1º ed. São Paulo, Pini, 1994.
- OHAMA, Y. (1998). "Polymer-based Admixtures". *Cement and Concrete Composites*, n. 20, p. 189-212.
- RAY, I.; GUPTA, A.P.; BISWAS, M. (1994). "Effect of latex and superplasticiser on Portland cement mortar in the fresh state". *Cement and Concrete Composites*, v. 16, p. 309-316.
- RAY, I.; GUPTA, A.P.; BISWAS, M. (1995). "Effect of latex and superplasticiser on Portland cement mortar in the hardened state". *Cement and Concrete Composites*, v. 17, p. 9-21.
- ROSSIGNOLO, J.A. (1999). "Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex estireno-butadieno para revestimento de fachadas". São Carlos, 106 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SAIJA, LEO M. (1995). "Waterproofing of Portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex". *Cement and Concrete Research*, v. 25, n. 3, p. 503-509.
- STORTE, MARCOS (1991). "Látex estireno butadieno: aplicações em concretos de cimento e polímero". Palanca Editora Técnica Ltda. São Paulo.
- TEZUKA, Y. (1973). "Concreto leve à base de argila expandida". Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.