

INFLUÊNCIA DA FINURA E DE ALTOS TEORES DE POZOLANAS NA ABSORÇÃO CAPILAR DE ÁGUA EM CONCRETO ESTRUTURAL: ESTUDO PRELIMINAR

**Benildo Tocchetto Frizzo (1); Geraldo Cechella Isaia (2); Antonio Luiz Guerra
Gastaldini (2)**

(1) Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria
Rua Araújo Viana, 140, Santa Maria (RS)
email: befrizzo@terra.com.br

(2) Professor Doutor, Departamento de Estruturas e Construção Civil
Universidade Federal de Santa Maria
email: gisaia@via-rs.net

(2) Professor Doutor, Departamento de Estruturas e Construção Civil
Universidade Federal de Santa Maria
email: gastaldn@ct.ufsm.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar a influência da finura e de altos teores de substituição de cimento por pozolanas na absorção capilar de água pelo concreto. Utilizou-se um concreto de referência apenas com cimento e outros com substituição do cimento, em duas proporções (25 e 50 %) e com duas finuras, utilizando cinza volante, cinza de casca de arroz e sílica ativa. Os ensaios foram realizados de acordo com a Norma RILEM TC 116-PCD. A análise preliminar dos resultados mostra que, em todas as misturas com pozolanas, a absorção capilar de água pelo concreto foi reduzida em mais de 50% em relação ao concreto de referência. Altos teores de substituição de cinza volante por cimento provocam menor absorção capilar de água pelo concreto, sendo pequena a influência de sua finura. Para a cinza de casca de arroz, o aumento da substituição de cimento pela cinza provocou pequeno aumento da quantidade de água absorvida pelo concreto, enquanto que a maior finura da casca de arroz, por moagem, pouco alterou os resultados, e em substituições baixas provocou o aumento da absorção capilar de água, em relação à cinza de menor finura. Quanto à sílica ativa observou-se sensíveis reduções na absorção capilar de água somente em concretos com baixas relações água/agregados. As conclusões deste trabalho contribuem para possibilitar o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado, pois a absorção capilar de água pelo concreto é um dos fatores que favorecem as condições de penetração de outros fluidos no concreto, proporcionando condições favoráveis à corrosão do aço e comprometendo a vida útil das estruturas.

PALAVRAS-CHAVE: absorção capilar, pozolanas, finura, durabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A absorção capilar de água pelo concreto tem relação direta com a sua porosidade; esta por sua vez é originada principalmente pela água em excesso utilizada na sua mistura, que após evaporar gera poros capilares de grande tamanho, e pelo ar aprisionado durante o lançamento do concreto, que gera os macroporos. São esses poros os principais responsáveis pelos mecanismos que regem a durabilidade das estruturas de concreto (ISAIA, 1999). A temperatura e umidade do meio ambiente, o cimento e agregados utilizados, a dosagem e o processo de cura também influenciam na absorção de água por capilaridade pelo concreto.

A absorção capilar é uma propriedade de materiais não saturados, que é a situação que se encontra o concreto nas estruturas comuns, portanto as estruturas de concreto estão de forma permanente sujeitas à penetração de água por capilaridade, principalmente às áreas expostas às intempéries. (Camarini, apud McCarter, 1999). Se a absorção de água atingir a saturação dos poros do concreto, substâncias agressivas dissolvidas na água poderão ser transportadas para dentro do concreto, por migração de íons; com a eventual secagem parcial do concreto o processo de difusão de gases se processará de forma intensa, ambos com efeitos deletérios para o concreto (CEB, 1992).

Empregando-se adições minerais no concreto pode-se melhorar suas propriedades e ao mesmo tempo obter uma vantagem ecológica por dar destino útil a rejeitos como cinza volante e cinza de casca de arroz, que são fonte permanente de poluição após a queima do carvão mineral e da casca de arroz em termelétricas, fornalhas e olarias. As adições minerais no concreto podem ser feitas por simples adição ou por substituição de parte do cimento Portland (ALVES, 2000).

O uso de adições minerais no concreto reduz significativamente sua porosidade e, por conseguinte, a sua absorção capilar de água; pesquisas realizadas com concretos com adição de sílica ativa concluíram que a absorção capilar de água num concreto com 8% de sílica ativa é cerca de metade do que num concreto sem adição (LOPES et al., 1999). A cura do concreto também influi na sua porosidade e consequentemente na absorção de água; concretos curados a 40 °C tem o dobro da absorção capilar de água do que curados a 20°. A resistência à compressão no entanto é maior em concretos curados a 40° C do que em concretos curados a 20°C; conclui-se, no entanto, que aquele será menos durável que este, embora tenha maior resistência mecânica (CAMARINI, 1999).

Este trabalho teve como objetivo investigar a influência do tipo, quantidade e finura de pozolanas na absorção de água por capilaridade e na resistência à compressão axial do concreto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Investigou-se onze misturas aglomerantes, com relações a/ag 0,35, 0,50 e 0,65, compostas com cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa e uma de referência. As misturas binárias foram obtidas pela substituição de pozolanas, com duas finuras distintas, em massa de cimento de 8% para sílica ativa, 25% e 50% para cinza volante e cinza de casca de arroz. A tabela 1 representa a finura e a porcentagem de adições minerais utilizadas nas onze misturas investigadas.

Tabela 1 – Denominação da finura e do teor de adição mineral por mistura.

Mistura	Superfície Específica BET (m ² /g)	% Substituída		
		Cinza De Casca De Arroz	Cinza Volante	Sílica Ativa
REF	0	0	0	0
A (1CV25)	3,5	0	25	0
B (1CV50)	3,5	0	50	0
C (2CV25)	4,6	0	25	0
D (2CV50)	4,6	0	50	0
E (1CA25)	23,0	25	0	0
F (1CA50)	23,0	50	0	0
G (2CA25)	36,3	25	0	0
H (2CA50)	36,3	50	0	0
I (1SA8)	17,2	0	0	8
K (2SA8)	8,0	0	0	8

2.1. Aglomerantes

Utilizou-se um cimento Portland de alta resistência inicial, CPV-ARI, de conformidade com EB-NBR 5733. Este tipo de cimento possibilita a introdução de maiores teores de adição mineral nas misturas, devido ao teor mais elevado de C_3S e, conseqüentemente, uma maior disponibilidade de CH necessário às reações pozolânicas.

Das três pozolanas utilizadas na pesquisa, apenas as sílica ativas foram industrializadas. Esse material foi adquirido de fabricante nacional, do tipo não densificada, prontas para uso. As outras pozolanas foram adquiridas em empresas da região e passaram por processos de moagem, peneiramento e secagem em laboratório.

A cinza de casca de arroz foi obtida da queima não-controlada da casca de arroz em uma olaria da região de Santa Maria/RS. A cinza volante foi fornecida por uma termoeletrica de Candiota/RS. Para obter finuras diferentes utilizou-se o processo de moagem em moinho de bolas.

A cinza volante natural foi considerada como de finura 1 e a moída por 4 horas como de finura 2; à cinza de casca de arroz moída por 1 hora atribuiu-se finura 1 e à moída 4 horas, finura 2. O tempo de moagem foi baseado em trabalhos realizados anteriormente com o objetivo de obter níveis distintos de finura.

Os ensaios de caracterização das adições minerais foram realizados de acordo com as seguintes normas: Superfície específica BET – ASTM D – 3663; Análise Granulométrica à laser – ABCP.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios de análise granulométrica à laser realizados com os materiais constituintes das misturas aglomerantes, possibilitando a visualização da distribuição das partículas.

Tabela 2 – Dados granulométricos dos aglomerantes.

Material	Partículas			
	Diâmetro Médio μm	Porcentagem $\leq 3 \mu m$	Porcentagem entre 3 e $30 \mu m$	Porcentagem $\geq 50 \mu m$
CPV-ARI	11,38	25,89	70,38	0,00
1CV	27,74	12,02	51,46	18,52
2CV	9,22	31,64	65,37	0,00
1CA	11,25	21,38	72,41	0,14
2CA	9,45	24,88	72,26	0,00
1SA	11,72	5,86	94,14	----
2SA	17,06	12,29	7,17	0,47

A tabela 3 apresenta as composições químicas dos diferentes materiais que compuseram os aglomerantes dos concretos desta pesquisa. Os resultados mostram os altos percentuais de dióxido de sílica, SiO_2 , com 64% e 86% para cinza de casca de arroz e cinza volante, respectivamente. Verificou-se também que a cinza de casca de arroz apresentou 9% de perda ao fogo, valor considerado alto, pois este fato é gerador de maior demanda de água.

2.2. Agregados

Como agregado miúdo utilizou-se areia natural, quartzosa, proveniente do Arenal em Santa Maria/RS. Esta foi devidamente lavada para a retirada de impurezas, seca ao ar e peneirada na # 6,3mm. A distribuição de tamanho de grãos enquadrou-se dentro dos limites compostos pela NBR 7211 para a zona 3.

Foi empregado, como agregado graúdo, pedra britada de rocha basáltica, oriunda de jazida da região, com partículas na maioria de forma equidimensional e diâmetro máximo de 19 mm. A brita foi previamente lavada, e seca ao ar ambiente e armazenadas em caixas para posterior uso.

Tabela 3 – Composição química dos aglomerantes.

Composição Química	Teor em Massa %			
	CPV-ARI	CV	CA	SA
Perda ao Fogo	2,09	1,16	9,14	3,32
SiO ₂	19,59	64,57	86,50	94,46
Al ₂ O ₃	4,79	27,27	0,28	0,15
Fe ₂ O ₃	3,07	2,21	0,14	0,14
CaO	64,35	1,51	0,45	0,62
MgO	1,69	0,76	0,28	0,76
SO ₃	2,75	0,06	0,02	
Na ₂ O	0,07	0,15	0,08	0,29
K ₂ O	0,98	1,50	1,55	0,92

2.3. Superplastificante

Para este experimento foi utilizado um superplastificante de pega normal, à base de naftaleno, isento de cloretos, não cáustico, com teor de sólidos de 32,5%, densidade de 1,18 g/cm³ e pH de 7,68, de acordo com as prescrições da EB-1763 para o Tipo S.

2.4. Dosagem dos concretos

Para cada uma das misturas aglomerantes e relações a/ag investigadas, foram realizados preliminarmente os ensaios de trabalhabilidade com o concreto fresco, que objetiva alcançar a consistência desejada para os traços, através da variação na quantidade de água ou aditivo superplastificante.

O volume de argamassa no concreto de referência foi determinado através da variação de areia das misturas-testes, até obter-se a consistência desejada pelo abatimento do cone de Abrams, que foi especificado em 60±15 mm.

A metodologia de dosagem das misturas foi a de substituição de cimento em massa, segundo o método de HELENE & TERZIAN (1992), e para a obtenção da curva de Abrams de cada mistura individualmente, foi necessário um mínimo de três relações a/ag.

Como a substituição em massa de cimento Portland por adições minerais de menores massas específicas resulta em um aumento no volume de argamassa seca, foram corrigidos os traços originais retirando-se o volume correspondente do agregado miúdo à medida que se aumentava o teor das adições.

As moldagens foram efetuadas após os abatimentos atingirem valores dentro dos limites pré-fixados. O adensamento foi realizado em mesa vibratória, com os concretos lançados nos moldes de ϕ 10X20cm e ϕ 15X30cm em duas camadas sucessivas.

2.5. Cura dos concretos e preparação de corpos de prova

Nos ensaios de resistência à compressão axial, os corpos de prova permaneceram na câmara úmida com 23±2°C e 95% de umidade relativa até as datas dos ensaios. Nos ensaios de permeabilidade, os corpos de prova permaneceram na câmara úmida somente até a idade de 7 dias.

As amostras, inicialmente com ϕ 15cm por 30cm, foram serradas, e divididas em quatro partes com ϕ 15cm por 5cm. As sobras de concreto foram utilizadas posteriormente na etapa de pré-condicionamento.

A tabela 4 apresenta as idades de ensaio e as dimensões dos corpos de prova.

Tabela 4 – Idades de ensaios e tamanho dos corpos de prova.

Ensaio	Idades Cronológicas	Corpos de Prova (cm)
Absorção Capilar de Água	91 dias	φ15x 5
Resistência À Compressão	28 e 91 dias	φ10x20

2.6. Pré-condicionamento dos corpos de prova

O pré-condicionamento dos corpos de prova foi realizado de acordo com o esboço de Norma RILEM TC 116-PCD (RILEM, 1999). O objetivo do pré-condicionamento é, através de uma pré-secagem, dotar os corpos de prova de uma concentração de umidade em equilíbrio com (75 ± 2) % de umidade relativa de um ambiente aéreo com temperatura de (20 ± 1)° C e com uma distribuição uniforme da água evaporável no corpo de prova.

Após a desmoldagem realizada no dia seguinte à moldagem, os corpos de prova originais (15 x 30 cm) foram estocados em câmara úmida até a idade de 49 dias, quando foram retirados e serrados com disco diamantado, descartando-se as extremidades. Foram gerados quatro corpos de prova de 5 x 15 cm, de cada corpo de prova original. Dos quatro corpos de prova gerados, um era utilizado apenas para gerar os parâmetros do pré-condicionamento e os outros três utilizados nos ensaios. Esses três eram então pesados, e pintados na face lateral com três demãos de verniz poliuretânico, tornando-os impermeáveis nesta superfície.

Após esse procedimento, eles eram estocados na sala com umidade e temperatura controladas, até aguardar a pré-secagem controlada. O corpo de prova destinado a gerar os parâmetros do pré condicionamento ia então para a estufa a 105 °C, até atingir peso constante ± 0,5 g, no intervalo de 24 horas, o que ocorria entre 3 a 10 dias. As extremidades eram trituradas em almofariz, e tomava-se cerca de 650 g de grãos menores que 5 mm, descartando-se partículas menores que 2 mm, sendo após colocada a amostra moída numa bandeja e levada à sala com umidade e temperatura controladas, até que em pesagens sucessivas diárias estabilizasse seu peso com diferença máxima de 0,1 g, o que demandava de 2 a 5 dias. Após levava-se a bandeja a uma estufa a 105 °C e a cada 24 horas fazia-se a pesagem, até obter-se peso constante, com uma diferença de no máximo 0,1 g. A seguir, calculava-se as concentrações de água evaporável total e a concentração da umidade equilíbrio a 75% de umidade relativa do ar e determinava-se a perda de peso dos corpos de prova para a pré-secagem, feita em uma estufa ventilada, a 50 °C, monitorando-os até atingirem o peso pré-estabelecido, com tolerância máxima de 5% da diferença determinada, o que demorava até 3 dias. Em seqüência, fazia-se a selagem dos corpos de prova com saco de filme de polietileno e alumínio, para impedir a perda de massa do corpos de prova, por evaporação, durante a fase de redistribuição da umidade, que consiste em manter os corpos de prova por um período mínimo de 14 dias, à temperatura de 50 °C, sem trocas com o meio ambiente. Nesta situação os corpos de prova aguardavam até um dia antes do ensaio; depois iam para a sala climatizada, mantendo-os selados até o momento do ensaio.

3. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A resistência mecânica é uma das mais importantes propriedades dos concretos. Nesta pesquisa, realizou-se os ensaios de compressão axial segundo as NBR 5738 e NBR 5739.

Foram moldados três corpos de prova para as diferentes idades, os quais foram rompidos aos 28 e 91 dias. A resistência final adotada, para cada uma das misturas e idades, foi a média aritmética dos resultados.

As figura 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial aos 28 e 91 dias das onze misturas investigadas.

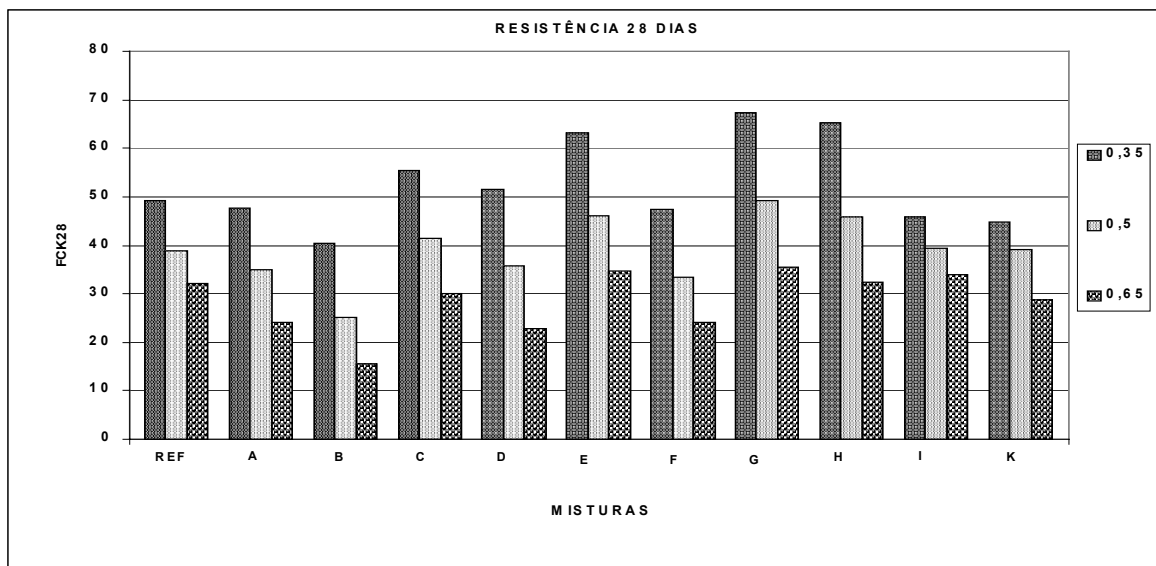


Figura 1 - Resistência à compressão axial das misturas investigadas aos 28 dias.

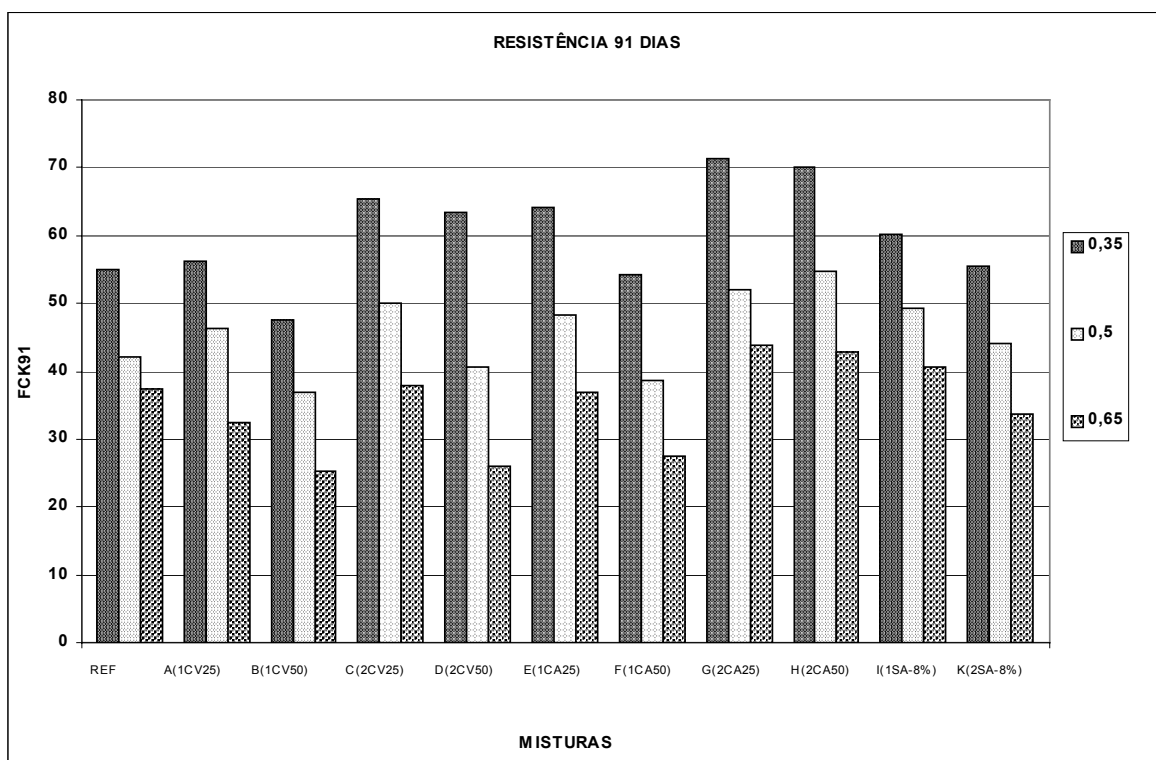


Figura 2 - Resistência à compressão axial das misturas investigadas aos 91 dias

4. ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

O ensaio de absorção capilar de água também foi feito de acordo com a Norma RILEM TC 116-PCD, incluindo o pré-condicionamento. A água e o ambiente foram mantidos a $(20^{\circ} \pm 1)^{\circ}\text{C}$; a face curva dos corpos de prova foi selada com verniz poliuretânico. Os corpos de prova foram imersos em água até a profundidade de 3 mm; a ascensão de água por absorção capilar foi medida pela massa dos corpos de

prova em intervalos de tempo de dez minutos, uma hora, quatro horas e vinte e quatro horas (Q). Antes de cada pesagem a superfície de contato com a água enxugada levemente com um pano, permanecendo brilhante. Durante o ensaio a superfície do topo dos corpos de prova foi coberta com uma touca plástica, conforme estabelece a Norma.

A figura 3 apresenta os resultados de absorção capilar de água para as 11 misturas estudadas, e as figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, mostram como se comportam a finura e a quantidade de substituição de cimento para cada pozolana, com relação à absorção de água por capilaridade.

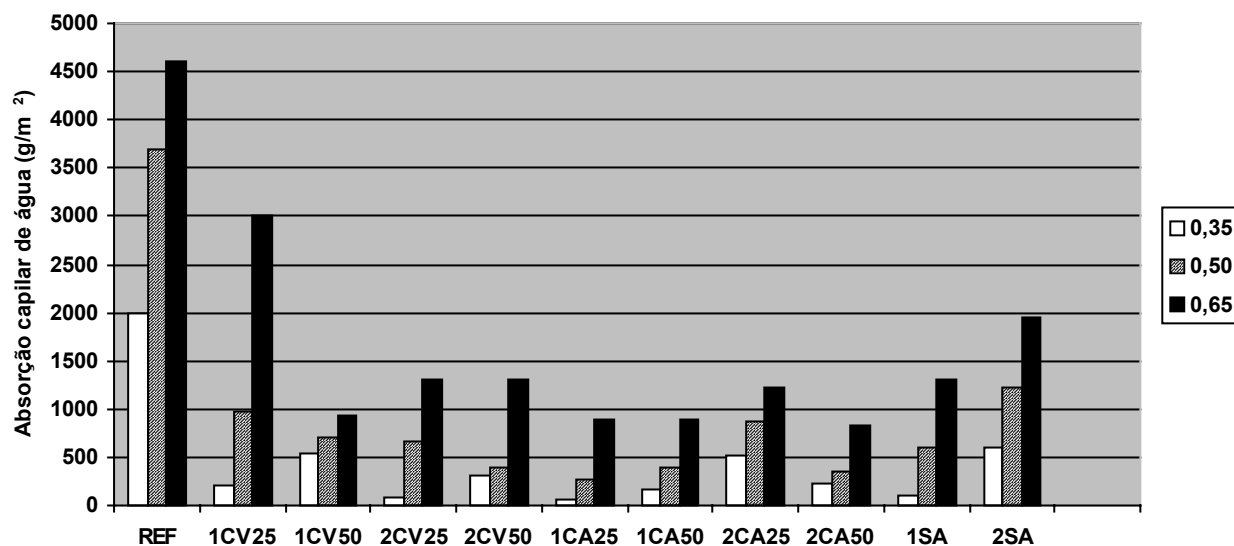


Figura 3 - Absorção capilar de água aos 91 dias.

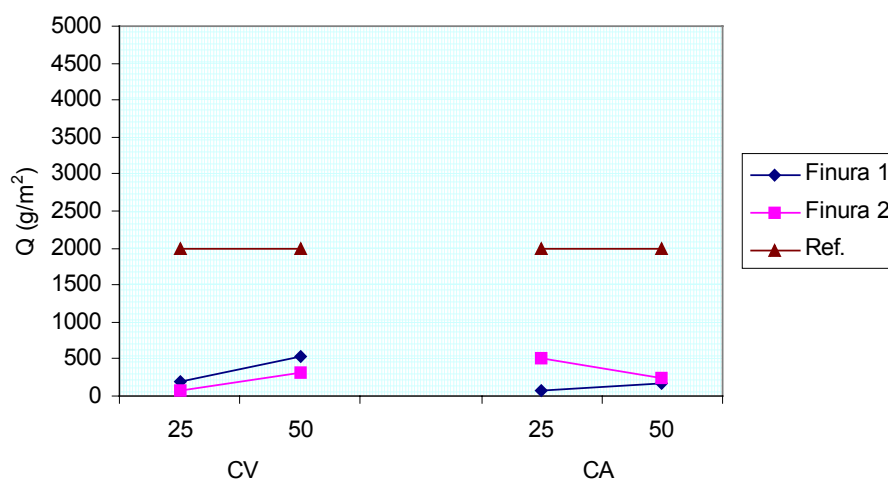


Figura 4 - Relação entre a finura e a adição com a absorção capilar para a/a_g = 0,35.

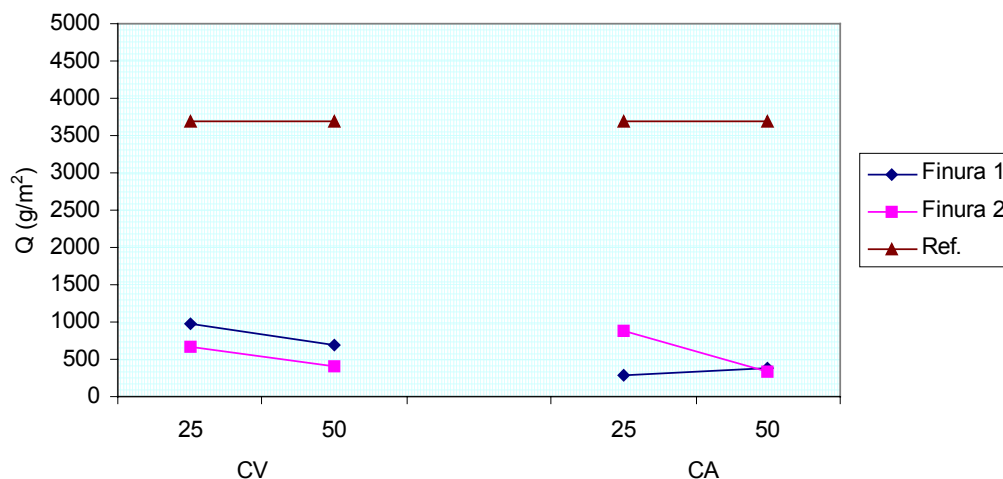


Figura 5 - Relação entre a finura e a adição com a absorção capilar para $a/ag = 0,50$.

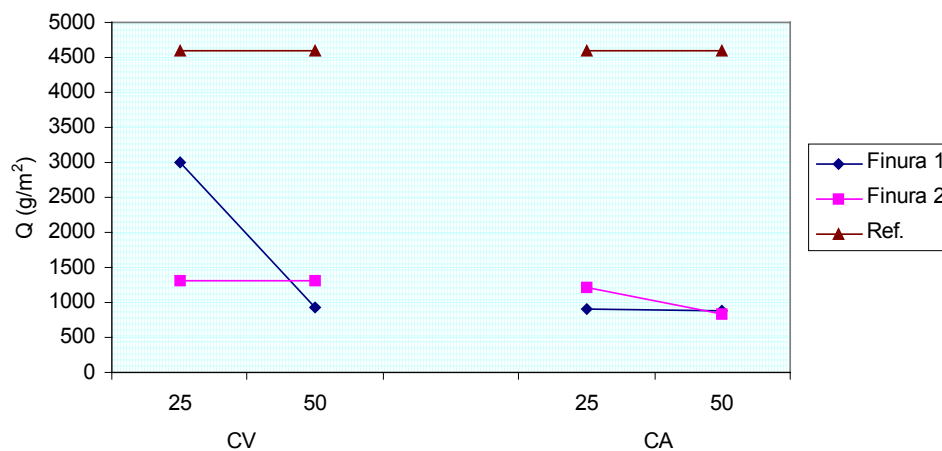


Figura 6 - Relação entre a finura e a adição com a absorção capilar para $a/ag = 0,65$.

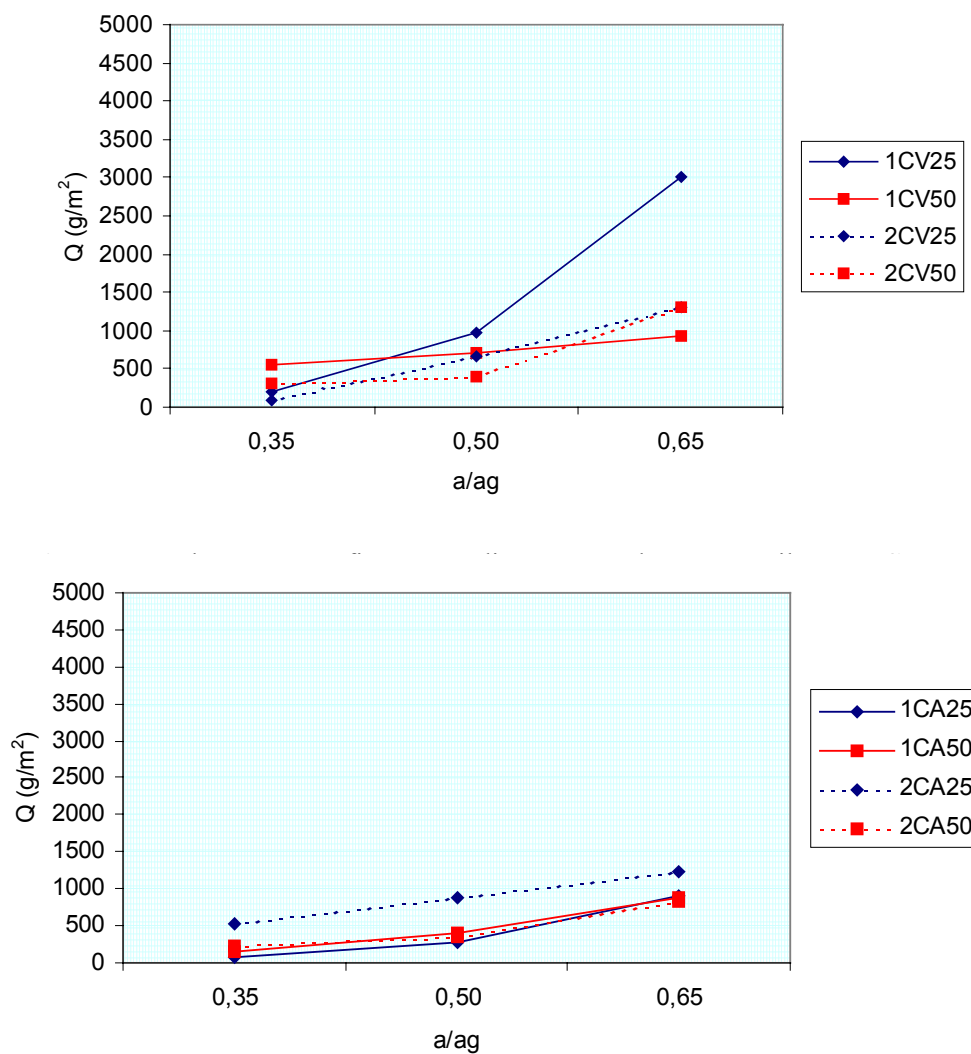


Figura 8 - Relação entre a finura e a adição com a absorção capilar para CA.

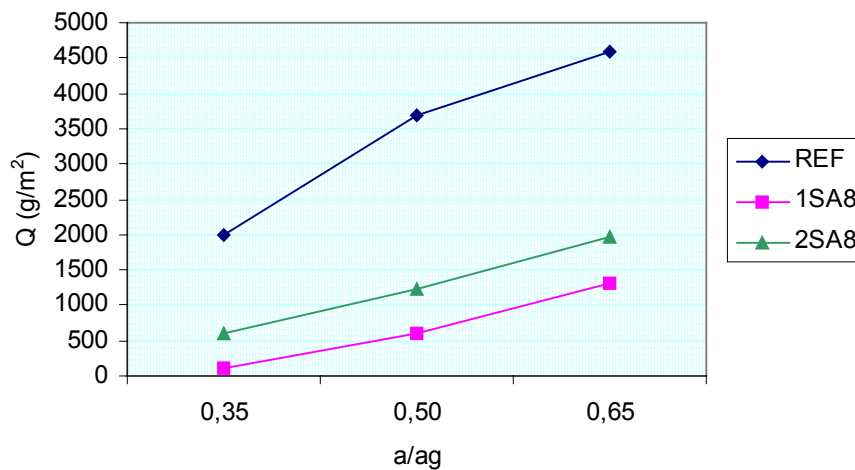


Figura 9 - Relação entre a absorção capilar da Sílica Ativa 1SA e a Sílica Ativa 2SA.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pela análise dos resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias, os traços com cinza de casca de arroz apresentaram os maiores níveis de resistência. O traço de referência apresentou resultados superiores aos traços de cinza volante e sílica ativa. Aos 91 dias, com exceção do traço B(1CV50), todos os traços apresentaram valores de resistência à compressão axial superiores às misturas de referência. Os concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz apresentaram os melhores resultados.

Com relação à finura das cinzas volantes e cinzas de casca de arroz, os traços com as maiores finuras apresentaram maiores valores de resistência à compressão axial, tanto aos 28 quanto aos 91 dias. Os traços I(1SA8), que continham a sílica ativa de maior finura, apresentaram maior resistência do que os traços K(2SA8), de menor finura, nas duas idades de testes.

Com relação à absorção capilar de água, constatou-se que em todas as amostras com qualquer adição houve redução substancial da quantidade de água absorvida pelo concreto em relação ao concreto de referência.

Para a cinza volante observou-se que com 25% de substituição de cimento e cinza de finura 2 a absorção capilar de água é menor do que com a finura 1; com 50% de substituição de cimento a finura 2 só provoca redução na absorção nos concretos com menor fator a/ag (0,35 e 0,50); com a/ag = 0,65 houve aumento de Q. Quanto ao teor de substituição de cimento por cinza volante, com a finura 1, o aumento de 25 para 50% mostrou redução na absorção de água somente em baixos fatores a/ag (0,35). Com fatores a/ag maiores, 0,50 e 0,65 houve aumento da quantidade de água absorvida. Utilizando finura 2 o aumento de 25% para 50% na substituição do cimento por cinza volante mostrou alternância de absorção, sendo maior com a/ag = 0,35, menor com fator a/ag = 0,50 e pouco maior com fator a/ag = 0,65.

Para cinza de casca de arroz observou-se que com 25% de substituição de cimento e cinza de finura 2 a absorção capilar de água é menor do que com finura 1; com 50% de substituição a absorção obtida com a finura 1 e a finura 2 são aproximadamente iguais. Quanto ao teor de substituição de cimento por cinza de casca de arroz, com a finura 1, o aumento de 25 para 50% provocou um pequeno aumento na quantidade de água absorvida em fatores a/ag baixos (0,25 e 0,50) e uma pequena redução nos concretos com fator a/ag = 0,65. Utilizando finura 2, o aumento de 25 para 50% na substituição de cimento por cinza de casca de arroz mostrou ser eficiente na redução da quantidade de água absorvida, baixando mais de 35% os valores obtidos com 50% do que os com 25% de substituição.

Para as sílicas ativas, como a quantidade de substituição utilizada foi a mesma (8%), a diferença nos valores de absorção deve-se principalmente à diferença de finura das duas sílicas ativas. Os traços 1SA8, com sílica ativa de maior finura, absorveram menos água do que os traços 2SA8 que contêm sílica ativa de menor finura. Verificou-se ainda que as sílicas ativas provocam redução mais acentuada na absorção capilar de água nos concretos com fator a/ag = 0,35.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se que para as misturas investigadas, os maiores valores de resistência a compressão, tanto aos 28 quanto aos 91 dias, foram observados para os traços com menores relações a/ag , e maiores finuras ; para a cinza volante e cinza de casca de arroz a percentagem de 25% de substituição de cimento foi a que proporcionou a maior resistência.

Com relação à absorção capilar de água conclui-se que para todos os teores de adição pozolânica houve redução da quantidade de água absorvida pelo concreto em relação ao concreto de referência, sendo maior a redução nos traços com menor relação a/ag . A pozolana que se mostrou mais eficiente nessa redução foi a cinza de casca de arroz, porém com baixos teores de substituição de cimento (25%) e menor finura. O tempo maior de moagem para aumentar a finura das pozolanas só foi compensador para a cinza volante, pois os concretos com cinza volante de maior finura mostraram menor absorção de água. Altos teores de substituição de cimento por cinza volante reduzem a absorção capilar de água pelo concreto, porém reduzem também sua resistência à compressão, o que não ocorre com a cinza de casca de arroz.

Quanto à sílica ativa, os resultados obtidos permitem concluir que quanto maior for a sua finura, maior será a resistência à compressão do concreto obtido e menor será a absorção de água por esse concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. S. **Efeitos físicos e químicos de misturas pozolânicas na carbonatação e penetrabilidade à água em concreto de alto desempenho**. Santa Maria, 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

CAMARINI, G. **Caracterização da durabilidade do concreto pela absorção de água**. São Paulo: IBRACON, 1999.

CEB-FIP – **Durable Concrete Structures : Design Guide** . Comité Euro-International du Béton. Thomas Telford. London, 1992.

HELENE, P. R. L. & TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

ISAIA, G. C. **Carbonatação do concreto: uma revisão**. Santa Maria, março 1999. Polígrafo.

LOPES, NA N. M.; SILVA, E. F.; NEPOMUCENO, A. A. **Avaliação da durabilidade de concretos com e sem adição de sílica ativa para resistências entre 50 e 60 MPa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41. São Paulo, 1999. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999.

RILEM TC 116-PCD. **Revista Materials and Structures**. v. 32, abril 1999.