



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS CELULARES ESPUMOSOS DE ALTO DESEMPENHO

Eduardo Mesquita Cortelassi (1); Berenice Martins Toralles-Carbonari (2)

(1) Departamento de Construção Civil – Universidade Estadual de Londrina, Brasil – e-mail: cortelassi@sercomtel.com.br

(2) Departamento de Construção Civil – Universidade Estadual de Londrina, Brasil – e-mail: toralles@uel.br

RESUMO

O presente trabalho trata da avaliação do comportamento dos concretos celulares espumosos de alto desempenho. Esse material busca aliar a resistência mecânica e a durabilidade satisfatórias do concreto de alto desempenho com a propriedade de baixa massa específica dos concretos celulares espumosos. Além disso, pretende-se a melhoria das propriedades do concreto celular espumoso de alto desempenho em relação aos concretos celulares espumosos convencionais. Para atingir os objetivos foram realizados ensaios de caracterização dos materiais constituintes, conforme as normas de referência. Com base nos resultados obtidos realizou-se o estudo e a fixação da dosagem da matriz de alto desempenho. Partiu-se da hipótese que, ao se adicionar espuma em uma matriz de alto desempenho se obteria um concreto celular espumoso de alto desempenho. Desta forma, foram determinadas as diferentes dosagens de espuma a serem incorporadas à matriz para a obtenção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho com massas unitárias entre 1700 e 2000 kg/m³. A matriz de alto desempenho e os concretos celulares espumosos de alto desempenho foram ensaiados para caracterização do seu comportamento nas propriedades relativas à durabilidade. Com os resultados obtidos verificou-se que as propriedades analisadas foram influenciadas pelo teor de espuma incorporado. Os concretos celulares espumosos de alto desempenho apresentaram um comportamento superior ao do concreto celular espumoso convencional, demonstrando que este material apresenta um grande potencial para ser utilizado na Construção Civil. Acredita-se que essa superioridade tenha ocorrido em virtude do refinamento da microestrutura da matriz de alto desempenho e das características dos poros incorporados aos concretos. Sendo assim, conclui-se que a obtenção do concreto celular de alto desempenho só será possível a partir de matrizes que apresentem alto desempenho, considerando a perda de desempenho que ocorre em função da incorporação da espuma.

Palavras-chave: avaliação, desempenho, durabilidade, concretos celulares espumosos de alto desempenho.

ABSTRACT

The present work accosts with the evaluation of the behavior of concrete cellular the frothy ones of high performance. This material seeks to unite the resistance satisfactory mechanics and the durability of the concrete of high performance with the cellular concrete property of low specific mass of the frothy ones. Moreover, it intends improvement of the properties of the frothy cellular concrete of high performance in relation to concrete cellular the frothy conventionals. To reach the objectives assays of characterization of the constituent materials had been carried through, as the reference norms. On the basis of the gotten results became fullfilled the study and the setting of the dosage of the matrix of high performance, breaking themselves of the hypothesis that, to if adding foam in a matrix of high performance if would get a frothy cellular concrete of high performance. Of this form, the different dosages of foam had been determined to be incorporated to the matrix for the attainment of concrete cellular the frothy ones of high performance with unitárias masses between 1700 and 2000 kg/m³. The

matrix of high performance and concrete cellular the frothy ones of high performance had been assayed for characterization of its behavior in the relative properties to the durability. With the gotten results it was verified that the analyzed properties had been influenced by the incorporated foam text. Concrete cellular the frothy ones of high performance had presented a superior behavior to the one of the cellular concrete frothy conventional, having demonstrated that this material presents a great potential to be used in the Civil Construction. One gives credit that this superiority has occurred in virtue of the refinement of the microstructure of the matrix of high performance and the characteristics of the incorporated pores to the concrete ones. Being thus, one concludes that the attainment of the cellular concrete of high performance alone will be possible from matrices that present high performance, considering the loss of performance that occurs in function of the incorporation of the foam.

Keywords: evaluation, performance, durability, concrete cellular frothy of high performance.

1 INTRODUÇÃO

Os concretos convencionais de cimento Portland e agregados de massa específica normal são excelentes materiais de construção, pois são duráveis, apresentam adequada resistência à compressão e rigidez, e têm um custo relativamente baixo. Entretanto, devem ser reconhecidas algumas limitações apresentadas pelos concretos convencionais, tais como: peso próprio elevado, baixa resistência à tração e resistência a agentes químicos insuficiente (TEZUKO, 1989).

Nesse âmbito, o crescente avanço tecnológico em todos os setores e, particularmente, nos processos construtivos, forçou o desenvolvimento de materiais novos que atendessem às necessidades impostas nas construções.

Assim, tendo em vista que uma das deficiências do concreto, em face dos seus materiais concorrentes, era seu peso próprio (carga morta) elevado, e que a velocidade de execução e a própria economia da construção que variam na razão inversa deste peso, tornou-se necessário a sua redução (PETRUCCI, 1978).

Para atender a esta necessidade foram desenvolvidos os concretos leves, cuja principal característica é a sua menor massa específica aparente, comparativamente com o concreto dito “normal” ou convencional. Enquanto o concreto convencional tem sua massa específica aparente na faixa de 2300 kg/m³ a 2500 kg/m³, um concreto dito leve tem a sua massa específica máxima de 2080 kg/m³ (LEGATISKI, 1994, apud FREITAS, 2004).

Essa redução na massa específica do concreto foi alcançada através da substituição de parte dos materiais sólidos por poros. Existem três localizações possíveis para os poros nos concretos leves: nas partículas de agregado, conhecidos como agregados leves, na pasta de cimento; e entre as partículas de agregado graúdo, deixando-se de utilizar o agregado miúdo (NEVILLE, 1997).

A tentativa de diminuir a massa específica com o desenvolvimento dos concretos leves foi bem sucedida no que diz respeito à leveza e aos ótimos desempenhos nas propriedades de resistência ao congelamento/descongelamento, isolamento térmico, isolamento acústico e de resistência ao fogo. Entretanto, deve-se ressaltar que apesar da melhoraria nessas propriedades, a substituição de parte dos materiais sólidos por poros também ocasionou uma redução significativa nas propriedades mecânicas e relativas à durabilidade dos concretos leves.

Com o aumento das exigências do mercado quanto ao desempenho estrutural, surgiu a necessidade da produção de concretos com resistência mecânica e durabilidade maiores que a do concreto comumente empregado. Surge, então, o chamado concreto de alto desempenho (CAD), que vem ao encontro dessas necessidades, pois pode ser submetido a tensões mais elevadas, trazendo uma série de vantagens estruturais.

O concreto de alto desempenho (CAD) tem sido pesquisado e utilizado nos últimos anos em diversos países. O CAD apresenta, além da resistência mecânica, superioridade em outras características, tais como, baixa permeabilidade, excelente durabilidade, ótima aderência a concretos velhos e aço, baixa segregação, entre outras.

Diversas pesquisas foram realizadas no mundo todo com o intuito de otimizar ainda mais as propriedades do concreto de alto desempenho. Dentre elas, destaca-se a linha de pesquisa relativa aos concretos leves de alto desempenho com agregados leves com o intuito de unir as características otimizadas do CAD com a baixa massa específica dos concretos leves.

Alduj et al. (1999) e Haque & Al-Khaiat (1999), afirmam que existe uma tendência mundial crescente, baseada em critérios econômicos e técnicos, do uso deste material com finalidade estrutural e de vedação (apud AGNESINI, ROSSIGNOLO, MORAIS, 2004).

Diante do exposto e do grande potencial de aplicação dos concretos leves de alto desempenho na Construção Civil, o presente trabalho buscou avaliar as propriedades relativas a durabilidade dos concretos celulares espumosos de alto desempenho desenvolvidos a partir da união entre as tecnologias de produção de concretos de alto desempenho e de concretos celulares espumosos.

Os concretos celulares espumosos de alto desempenho podem ser definidos como um concreto leve produzido através da adição de poros em uma matriz de alto desempenho. A matriz de alto desempenho é uma mistura constituída de: aglomerante, adição mineral, aditivo químico, agregados classificados na categoria finos e água. Esta mistura sofre um tratamento com objetivo de criar em sua massa uma alta porcentagem de poros esféricos de dimensões regulares e milimétricas, uniformemente distribuídos, que permanecem estáveis, incomunicáveis e indeformáveis durante todo o processo.

Os tratamentos destinados a criar poros na massa da matriz de alto desempenho e formar o concreto celular espumoso de alto desempenho podem ser de dois tipos:

- Adição de agente espumígeno as matérias primas durante a produção da matriz de alto desempenho no misturador.
- Adição de espuma pré-formada, gerada em equipamento específico e posterior adição a matriz de alto desempenho.

Deve-se ressaltar que, só é possível obter um concreto celular espumoso de alto desempenho quando este for produzido a partir de uma matriz de alto desempenho, pois a incorporação de poros leva a perda de desempenho nas propriedades de um modo geral (CORTELASSI, 2005).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o comportamento das propriedades relativas à durabilidade do material denominado concreto celular espumoso de alto desempenho, de modo que o mesmo apresente melhores características em relação ao desempenho dos concretos celulares espumosos convencionais.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Materiais

Os materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram: adição mineral – sílica ativa, cimento Portland de alta resistência inicial - CP V ARI, aditivo redutor de água de alta efetividade – superplastificante, aditivo gerador de espuma, água, areia grossa e pó-de-brita.

O cimento, a sílica ativa e os aditivos químicos selecionados para a produção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho são produtos industrializados de comercialização nacional. Os agregados utilizados foram: a areia quatzozoa e o pó-de-brita de basalto encontrados na região.

Cabe destacar que para seleção dos materiais constituintes foram considerados dois fatores: a disponibilidade destes na região e a possibilidade de incorporar resíduos de processos industriais como materiais constituintes, tais como a sílica ativa e o pó-de-brita. Esses resíduos por não terem aplicação são depositados no meio ambiente causando poluição. Segundo Isaia (2002), a incorporação de resíduos ao concreto, além das vantagens técnicas obtidas, é um modo seguro e barato de remover esses produtos do meio ambiente, contribuindo para a conservação de energia e de recursos minerais.

3.2 Método

O presente trabalho partiu da hipótese que ao se incorporar poros em uma matriz de alto desempenho, constituída de: cimento Portland de alta resistência inicial, adição mineral-sílica ativa, aditivo redutor de água de alta efetividade-superplastificante, água, areia grossa e pó-de-brita, essa mistura resultaria em um concreto celular espumoso de alto desempenho.

O desenvolvimento experimental do trabalho foi dividido em três etapas, a primeira relativa à dosagem da matriz de alto desempenho, a segunda relativa à dosagem de espuma e a última referente avaliação das propriedades relativas à durabilidade dos materiais analisados.

Inicialmente, foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais constituintes segundo as normas de referência. Com os resultados da caracterização procedeu-se a dosagem da matriz de alto desempenho utilizando o método de dosagem para concretos de alto desempenho proposto por TORALLES-CARBONARI (1996). Esse método se fundamenta nas hipóteses apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Hipóteses adotadas em cada etapa do processo de dosagem

Etapas do processo	Hipóteses adotadas
Pasta	A fluidez da pasta é quem governa as propriedades reológicas do concreto. Existe uma % ótima de aditivo superplastificante que é função do ponto de saturação determinado no ensaio do cone de Marsh e/ou viscosímetro.
Esqueleto Granular	Menor índice de vazios.
Consumo pasta-esqueleto	Consumo ótimo em função do desempenho desejado.

O consumo de materiais encontrado através da aplicação deste método para a produção de 1m³ da matriz de alto desempenho é apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Traço da matriz de alto desempenho para 1m³

Cimento	Sílica ativa	Superplastificante	Areia Grossa	Pó-de-brita	Água
(kg)	(kg)	(litros)	(kg)	(kg)	(litros)
489,9	48,9	9,7	925,7	925,7	201,8

A dosagem das quantidades de espuma a serem adicionadas a matriz de alto desempenho para a obtenção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho com massas unitárias desejadas foram baseadas na curva para dosagem de espuma desenvolvida experimentalmente por CORTELISSI (2005), apresentada no gráfico 1.

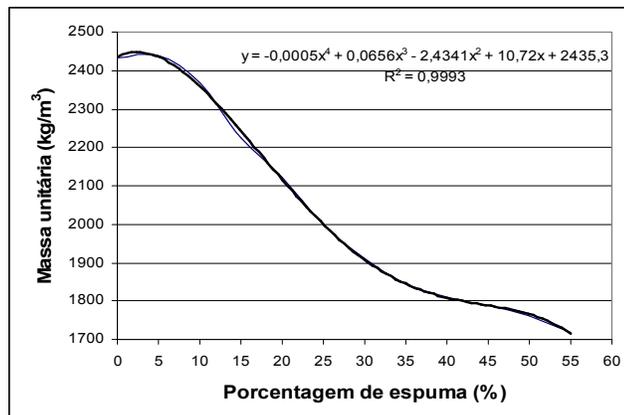


Gráfico 1 – Curva para determinação da dosagem de espuma

Através de um planejamento dos experimentos chegou-se ao número de amostras necessário para caracterizar o comportamento dos concretos celulares espumosos de alto desempenho. Foram selecionados como amostras quatro concretos celulares espumosos de alto desempenho com massas unitárias entre 1700 e 2000 kg/m³ e a matriz de alto desempenho com massa unitária de 2432 kg/m³ a partir da qual os concretos foram produzidos. Na tabela 3 são apresentadas às massas unitárias das amostras e os teores de espuma adicionados a matriz de alto desempenho para sua obtenção.

Tabela 3 – Massa unitária e teores de espumas adicionados a matriz para a obtenção das amostras

Concretos	Porcentagem de espuma (%)	Massa unitária (kg/m ³)
Amostra 1	32	1874
Amostra 2	54	1720
Amostra 3	0	2432
Amostra 4	33	1859
Amostra 5	21	2009

A nomenclatura as amostras foi fixada segundo a ordem de produção dos concretos. O processo de produção de cada amostra sempre partiu da mistura dos materiais constituintes da matriz de alto desempenho na betoneira, seguido da produção da espuma pré-formada em equipamento específico e incorporação desta a matriz de alto desempenho para a obtenção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho. Na figura 1, observa-se o diagrama esquemático do processo utilizado na produção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho.

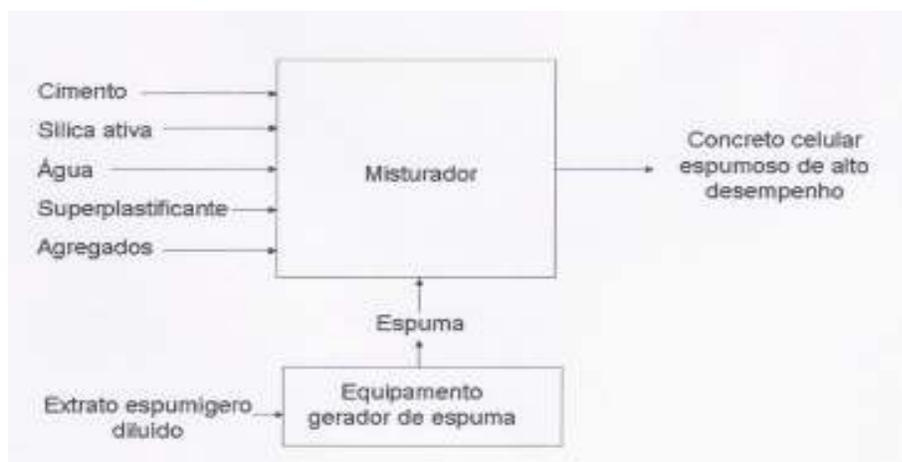


Figura 1 – Diagrama esquemático da produção do concreto celular espumoso de alto desempenho

Após a produção realizava-se a moldagem e o adensamento dos corpos-de-prova em mesa vibratória. A moldagem foi feita em três camadas, onde cada camada foi vibrada por meio minuto. Deve-se ressaltar que esse procedimento de adensamento foi adotado com o objetivo de evitar problemas relacionados com a heterogeneidade entre os corpos-de-prova.

Depois de adensados os corpos-de-prova foram cobertos com placas de vidro e após vinte e quatro horas desmoldados e levados para câmara úmida para o processo de cura, onde permaneceram até a idade de ensaio.

Para a avaliação do comportamento da matriz de alto desempenho e dos concretos celulares espumosos de alto desempenho, as propriedades relativas à durabilidade ensaiadas e as normas técnicas em que os ensaios se basearam foram:

- Absorção por imersão: NBR – 9778;
- Absorção por capilaridade: NBR – 9779;
- Permeabilidade: NBR – 10787.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Absorção por imersão

De acordo com Ferreira (1987), a absorção de água manifesta-se pela necessidade de equilíbrio higroscópico entre o material e o fluido circundante. Os resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão são apresentados nas tabelas 4 e no gráfico 2.

Tabela 4 – Absorção por imersão

Concretos	Absorção média (%)		
	24 h	48 h	72 h
Amostra 1	1,84	1,99	2,09
Amostra 2	2,08	2,27	2,50
Amostra 3	1,73	1,81	1,88
Amostra 4	1,84	2,04	2,10
Amostra 5	1,81	1,84	1,93

Os menores valores de absorção foram apresentados pela Amostra 3 (matriz de alto desempenho), que não tem espuma em sua composição e os maiores pela Amostra 2, que apresenta o maior quantidade de poros entre os concretos estudados. Ao comparar a absorção por imersão entre as amostras, constatou-se que a diferença da variação de absorção entre as mesmas foi praticamente constante ao longo do tempo.

Comparando os resultados de absorção por imersão para 72 horas, da Amostra 3 (matriz de alto desempenho) com as demais amostras, verificou-se que Amostra 3 apresentou os seguintes valores: 12% menor que a Amostra 1, 33% menor que o Amostra 2, 12% menor que o Amostra 4 e 3% menor que o Amostra 5.

Iranima et al (2004) obtiveram para concretos de alto desempenho índices de absorção por imersão entre 1,081 e 3,831 %. Como as absorções encontradas para todas as amostras estão contidas neste intervalo pode-se afirmar que estes valores estão muito próximos aos de absorção por imersão para os concretos de alto desempenho.

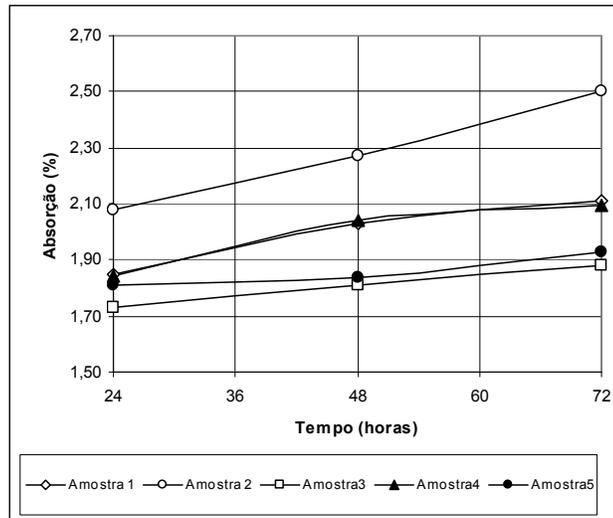


Gráfico 2 – Absorção por imersão

O sistema capilar comumente observado nos concretos celulares, encontra-se intercoartado por pequenas, numerosas e regulares bolhas de ar que não se comunicam entre si. Desse modo a absorção de água por capilaridade ocorre somente em pequenas quantidades na superfície do material. Constatou-se que isso não ocorreu devido aos poros incorporados na massa estarem distribuídos de forma uniforme e incomunicáveis, não ocorrendo a formação de poros capilares, o que pode ser comprovado pela similaridade com os valores de absorção por imersão dos concretos de alto desempenho. Além disso, os baixos índices de absorção por imersão também podem ser explicados pelo refinamento da microestrutura da matriz de alto desempenho.

A absorção por imersão das amostras variou conforme a massa unitária das mesmas e com o teor de espuma incorporado. Verificou-se através dos resultados que com o aumento da proporção de espuma nas amostras e conseqüente redução de massa unitária ocorreu o aumento da absorção por imersão. Sendo assim, a absorção varia de forma direta ao teor de espuma.

4.2 Absorção por capilaridade

Os valores de absorção por capilaridade (Tabela 5 e Gráfico 3) variaram em função do teor de espuma incorporado na matriz de alto desempenho.

Tabela 5 – Absorção por imersão

Concretos	Absorção média (g/cm ³)					
	1 h	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
Amostra 1	0,08	0,12	0,15	0,24	0,29	0,31
Amostra 2	0,13	0,16	0,18	0,26	0,28	0,31
Amostra 3	0,06	0,09	0,10	0,15	0,17	0,19
Amostra 4	0,08	0,13	0,16	0,25	0,28	0,31
Amostra 5	0,07	0,09	0,12	0,19	0,22	0,28

Durante o levantamento bibliográfico sobre a absorção por capilaridade também não foram encontrados valores de absorção para concretos celulares que permitissem a análise dos resultados obtidos, por isso a análise será realizada com base na absorção capilar de concretos de alto desempenho e de concretos convencionais. Conforme Iranima et al (2004), os concretos de alto

desempenho apresentam índices de absorção por capilaridade entre 0,04 e 0,06 g/cm². Taus (2003), determinou para concretos convencionais, índices de absorção por capilaridade entre 0,05 e 0,27 g/cm². Ao comparar os valores de absorção capilar apresentados na tabela 5 com os índices obtidos por Iranima et al. e por Taus, verificou-se que os concretos celulares espumosos de alto desempenho tiveram absorção capilar superior aos concretos de alto desempenho e bem próximos dos concretos convencionais.

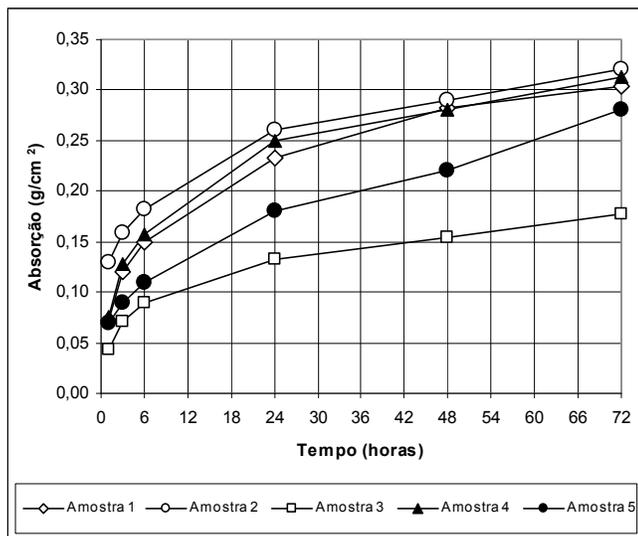


Gráfico 3 – Absorção por capilaridade

A Amostra 5 (matriz de alto desempenho) apresentou o menor valor de absorção, a Amostra 2 o maior e as demais amostras apresentam valores intermediários. Com base nesses resultados constatou-se que o aumento do teor de espuma e o conseqüente aumento da porosidade das amostras ocasionam o aumento da absorção capilar. Sendo assim, é possível afirmar que o teor de espuma e a quantidade de poros incorporados às amostras variam de forma direta com absorção capilar.

Tomando como referência os resultados de absorção por capilaridade para 72 horas da Amostra 3 (matriz de alto desempenho) em relação as demais amostras, verificou-se que a Amostra 3 apresentou os seguintes valores: 67% menor que a Amostra 1, 78% menor que a Amostra 2, 72% menor que a Amostra 4 e 56% menor que a Amostra 5.

Cabe destacar que as amostras 1, 2 e 4 embora tenham massa unitárias diferentes apresentaram comportamentos bastante semelhantes, e a diferença de absorção capilar entre eles que era maior nas primeiras horas de ensaio diminuiu consideravelmente no final do ensaio.

Assim como na absorção por imersão, constatou-se que os baixos valores de absorção capilar ocorreram por causa da elevada compacidade da matriz de alto desempenho, obtida pela otimização do esqueleto granular, baixa relação água/cimento, elevado teor de materiais finos, e pelas características da espuma incorporada à matriz de alto desempenho, que possibilitou a formação de poros bem distribuídos e incomunicáveis.

4.3 Permeabilidade

O ensaio de permeabilidade tem como objetivo a verificação da possibilidade de passagem da água através do concreto. Para a análise do comportamento da amostras em relação à permeabilidade foram calculados os coeficientes de permeabilidade pela Lei de Darcy. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Coeficientes de permeabilidade

Concretos	Coeficiente de Permeabilidade
	(cm/s)
Amostra 1	$3,40 \times 10^{-8}$
Amostra 2	-
Amostra 3	$0,43 \times 10^{-8}$
Amostra 4	$3,13 \times 10^{-8}$
Amostra 5	$1,13 \times 10^{-8}$

O resultado da Amostra 2 não foi apresentado devido a problemas ocorridos durante a execução do ensaio.

Com base nos resultados verificou-se que o teor de espuma incorporado aos concretos e a quantidade de poros influenciou os coeficientes de permeabilidade das amostras. Isso pode ser constatado ao se observar que a Amostra 3 que não apresenta espuma em sua composição apresentou o menor coeficiente de permeabilidade. O aumento do teor de espuma e da quantidade de poros nas amostras teve como consequência a elevação do valor dos seus coeficientes de permeabilidade.

Tomando-se como referência o coeficiente de permeabilidade da Amostra 3 (matriz de alto desempenho) em relação às demais amostras, verificou-se que Amostra 3 apresentou aproximadamente os seguintes valores: 8 vezes menor que a Amostra 1, 7 vezes menor que a Amostra 4 e 3 vezes menor que a Amostra 5.

Os coeficientes de permeabilidade encontrados foram bem menores que os estabelecidos por Teixeira Filho (1990), de $1,28 \times 10^{-7}$ cm/s para concretos celulares espumosos com massa unitária de 1500 kg/m^3 . A diferença entre o valor estabelecido por Teixeira Filho e os obtidos nesse trabalho pode ser explicada pelas características apresentadas pela matriz de alto desempenho a partir da qual os concretos foram produzidos.

A princípio poder-se-ia se pensar que um concreto será mais permeável quanto maior for a sua porosidade. Entretanto a permeabilidade não está relacionada com a porosidade total, mas com a porosidade capilar. Isso permite concluir que os poros no interior dos concretos celulares espumosos de alto desempenho não são poros do tipo capilar, confirmando os resultados obtidos nos ensaios de absorção. Além disso, deve-se ressaltar que os baixos coeficientes de permeabilidade obtidos ocorreram por causa da elevada compactação da matriz de alto desempenho obtida pela otimização de seu esqueleto granular e a baixa relação água/cimento, aliados aos poros fechados da espuma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os concretos celulares espumosos de alto desempenho apresentaram um bom desempenho com relação às propriedades relacionadas à durabilidade ensaiadas, pelo fato dos resultados encontrados estarem próximos aos obtidos em ensaios realizados com o concreto convencional e com o concreto de alto desempenho.

Os resultados satisfatórios obtidos podem ser explicados pelo refinamento da microestrutura da matriz de alto desempenho a partir da qual os concretos foram produzidos e pelos poros incorporados estarem distribuídos de forma uniforme e incomunicáveis, não ocorrendo a formação de poros capilares.

Pode-se afirmar que os concretos celulares espumosos de alto desempenho apresentam um caráter sustentável sob o ponto de vista do emprego dos resíduos: sílica ativa e o pó-de-brita, como materiais constituintes. Sendo que a utilização desses materiais como constituintes da matriz de alto desempenho colaboraram para melhorar o seu comportamento nas propriedades estudadas.

6 REFERÊNCIAS

- AGNESINI, M. V. C.; ROSSIGNOLO, J. A.; MOARIS, J. A. Pré-fabricados de pequena espessura: materiais e dosagem de microconcretos leves de alto desempenho – estudo de caso. 2004. Disponível em: <<http://www.ibracon.org.br>>. Acesso em: 2 mar. 2004.
- CORTELASSI, E. M. **Avaliação do Desempenho de Concretos Celulares Espumosos de Alto Desempenho**. Londrina. 2005. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.
- FERREIRA, O. A. R. **Concretos Celulares Espumosos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1987, 20p. (Boletim Técnico).
- FREITAS, I. M. **Otimização da Produção e de Propriedades Físicas e Mecânicas de Concreto Celular Espumoso**. 2004. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.
- IRANIMA, R.; CAVALARO, S. H. P.; TORALLLES-CARBONARI, B. M.; MOREIRA, E. M. S.; CARBONARI, G. Utilização do pó-de-pedra em concretos de alto desempenho. In: Workshop “Concreto : Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”. 2004. Ilha Solteira. **Anais... Ilha Solteira: IBRACON Noroeste**, 2004. p.56-70.
- ISAIA, G. C. Durabilidade do concreto de alto desempenho e o meio ambiente: um estudo sócio-econômico, 1999. Disponível em: <<http://www.ibracon.org.br>>. Acesso em: 28 nov.2002.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concretos de Cimento Portland**. 5 ed. São Paulo: GLOBO, 1978. 307p.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997. 828p.
- TAUS, V. Determinación de la absorción capilar em hormigones elaborados com agregados naturales y reciclados. **Ciência e Tecnologia del Hormigón**, São Paulo, n. 10, 2003. p. 7-16.
- TEIXEIRA FILHO, F. J. **Habitações executadas com concreto leve moldado “in loco”**. São Paulo: SATEC. 1990, 21p. (Boletim Técnico).
- TEZUKO, Y. Concretos especiais. Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, 2. 1989, Florianópolis. **Anais...Florianópolis:1989**. p182-194.
- TORALLES-CARBONARI, B. M. **Estudio Parametrico de Variables y Componentes Relativos a la Dosificación y Producción de Hormigón de Altas Prestaciones**. 1996. Tesis (Doctorado). Universita Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1996.