

## CONCRETO COM ADIÇÃO DE MICROESFERAS OCAS DE VIDRO

Nomes dos autores: C. Y. U. Peres (1); A. H. Munhoz Jr. (2); F. R. V. Diaz (3).

Nome do local de trabalho: (1) UPMackenzie; (2) UPMackenzie; (3) EPUSP.

R. da consolação, 896 – São Paulo – SP - Brasil

### RESUMO

*A adição de esferas ocas de vidro é interessante por reduzir a condutividade térmica das peças de concreto. Este trabalho tem como objetivo avaliar o concreto com adição de microesferas de vidro com diferentes combinações de dosagem no concreto, em relação à resistência e à trabalhabilidade. Foram realizados ensaios de trabalhabilidade em cada dosagem de concreto. Em cada idade de cura do concreto, os corpos-de-prova foram submetidos ao ultrassom, para estimar a homogeneidade do concreto com microesferas de vidro, e ao ensaio de resistência à compressão axial. A análise dos resultados obtidos mostra que para algumas formulações, a adição das microesferas ocas de vidro confere alta resistência mecânica de compressão do concreto, acima de 30MPa, em todos os períodos de cura analisados. Importante destacar que a trabalhabilidade do concreto apresentou-se substancialmente reduzida, não apresentando qualquer melhora de trabalhabilidade devido à adição da microesfera oca de vidro.*

Palavras-chaves: Cimento. Microesferas ocas de vidro.

### INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente demanda por obras de edificações e infraestrutura, o consumo de cimento e concreto aumenta. Porém, as obras devem se apresentar duradouras e economicamente viáveis, o que exige o desenvolvimento e a melhoria da qualidade dos materiais de construção, principalmente do concreto por ser o mais consumido na construção civil.

Os requisitos de desempenho são expressos de maneira qualitativa. Os critérios de desempenho são estabelecidos a partir dos requisitos de desempenho, em função das condições de exposição, e são expressos de maneira quantitativa.

Assim, “constitui-se a base metodológica para a avaliação técnica de aptidão ao uso de novos materiais destinados à construção civil”<sup>(1)</sup>.

Os objetivos específicos deste trabalho é avaliar a influencia da adição de microesferas ocas de vidro com diferentes combinações de dosagem no concreto, em relação à resistência mecânica e à trabalhabilidade.

As microesferas de vidro podem influenciar na trabalhabilidade do concreto, pois, devido a sua geometria, as esferas podem rolar umas sobre as outras e sobre os demais componentes sólidos do concreto.

Em virtude do exposto, torna-se importante estudar a influência da variação da dosagem dessas microesferas de vidro nas propriedades do concreto, como fluidez, resistência e porosidade.

Este trabalho será desenvolvido por meio de estudo e análise de literatura disponível, assim como da análise dos resultados de ensaios a serem realizados com diversas dosagens de microesferas de vidro no concreto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo são: Cimento Portland CP II E32; Brita de granito; agregado miúdo de quartzo; aditivos Polifuncional MIRA 111 e Adiment Premium; e microesferas ocas de vidro S38 da 3M <sup>(2)</sup>.

Os experimentos listados nos itens seguintes deste trabalho foram realizados no Laboratório de Ensaios da Universidade Presbiteriana Mackenzie, obedecendo às condições e procedimentos definidos nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas aplicáveis aos ensaios executados.

Para a formulação das composições, adotou-se o planejamento fatorial 2<sup>n</sup> <sup>(3)</sup> formulando-se ao todo oito diferentes cujas variações de parâmetros apresentam-se na Tabela 1.

Tabela 1: Definição de Parâmetros do Planejamento Fatorial 2<sup>3</sup>

Fatores	Variável	Unidade	(-)	(+)
1	Microesfera de Vidro	%	1%	3%
2	Água	Kg/Kg de cimento	0,35	0,41
3	Aditivo	Tipo	Mira 111	Adiment Premium

Definida Tabela 1, os dados são dispostos na Tabela de ordem padrão <sup>(3)</sup>, apresentada na Tabela 2:

Tabela 2: Tabela de Ordem Padrão

Composição	1	2	3
1 - 1A	-	-	-
2 - 1B	+	-	-
3 - 2A	-	+	-
4 - 2B	+	+	-
5 - 3A	-	-	+
6 - 3B	+	-	+
7 - 4A	-	+	+
8 - 4B	+	+	+

Além das formulações do planejamento fatorial  $2^n$ , foram realizadas formulações sem as microesferas, chamadas de traços pilotos.

Todas as composições foram ensaiadas obedecendo-se os mesmos parâmetros de cura do concreto, sendo os ensaios de resistência mecânica a compressão realizados em 3 (três) dias (2 amostras), 7 (sete) dias (2 amostras), 14 (quatorze) dias (2 amostras) e 28 (vinte e oito) dias (10 amostras) após a moldagem.

Os ensaios foram realizados nas seguintes etapas:

- Determinação das dosagens.
- Mistura, Ensaio de trabalhabilidade ou Slump e moldagem dos corpos-de-prova.
- Ultrassom dos corpos-de-prova e ensaio de resistência à compressão axial aos 3,7,14 e 28 dias
- Microscopia de varredura eletrônica de uma amostra fraturada de um corpo-de-prova.

### DOSAGENS

Para a realização do estudo da influência das microesferas ocas de vidro no concreto, decidiu-se testar esse material variando sua porcentagem, assim como a relação água/cimento e o tipo de aditivo.

Assim, foram definidas as características das formulações apresentadas no Quadro 1:

	T01A	T01B	T02A	T02B	T03A	T03B	T04A	T04B
Microesferas ocas de	1%	3%	1%	3%	1%	3%	1%	3%
Água	0,350	0,350	0,410	0,410	0,350	0,350	0,410	0,410
Aditivo	MIRA	MIRA	MIRA	MIRA	Adiment	Adiment	Adiment	Adiment

## Quadro 1: Características dos traços

Além das formulações com as variações apresentadas no quadro acima, foram realizados também, duas formulações chamadas de traços pilotos:

- TP1: sem a presença das microesferas de vidro, com relação água/cimento de 0,41 e aditivo MIRA111;
- TP2: sem a presença das microesferas de vidro, com relação água/cimento de 0,41 e aditivo Adiment Premium.

### MISTURA, ENSAIO DE TRABALHABILIDADE OU SLUMP E MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Nesta etapa, foram realizadas as misturas com as dosagens definidas.

A preparação do concreto foi realizada conforme a NBR 12821:2009<sup>(5)</sup>.

Concluída a etapa de mistura e homogeneização, realizou-se o Slump Test conforme a NBR NM 67: 1998<sup>(6)</sup>, para determinação da trabalhabilidade do concreto.

A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada conforme a NBR 5738:2009<sup>(7)</sup>.

Para a moldagem dos corpos de prova utilizaram-se moldes metálicos, em formato cilíndrico, consistindo de duas partes: base e corpo cilíndrico. Para melhor adensamento do concreto e completo preenchimento do molde, foi utilizado um vibrador mecânico (modelo AF-11 da Vibro Dynapac). A opção pelo uso do vibrador e não do choque mecânico (igualmente usual), justifica-se pela característica de micropartícula da microesfera de vidro. O choque mecânico poderia provocar uma sedimentação das partículas pequenas na parte inferior do corpo de prova formando uma camada monodispersa. A utilização da vibração, contudo, permite o empacotamento aleatório das partículas, representando menores espaços ocupados e melhor empacotamento de partículas<sup>(8)</sup>.

Finalizada a moldagem, os corpos de prova são transferidos para uma Câmara Úmida, sendo desmoldados 24 (vinte e quatro) horas após a moldagem. Após a desmoldagem, os corpos-de-prova permanecem em ambiente com controle de umidade, em condições definidas na norma NBR 9479<sup>(9)</sup> pelo período definido para a cura do concreto e realização dos demais ensaios (3, 7, 14 e 28 dias).

## ULTRASSOM DOS CORPOS-DE-PROVA E ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Após o período definido para a cura da amostra, os corpos-de-prova são submetidos ao ultrassom conforme NBR 8802<sup>(10)</sup> e em seguida, ensaiados por compressão, ensaio este no qual é aplicada uma carga axial no corpo-de-prova, em condições descritas na norma NBR 5739<sup>(11)</sup>. Aplica-se a carga até o momento em que ocorre a ruptura do corpo-de-prova. Neste momento identifica-se a Tensão de Resistência à Compressão do material. O ensaio de Resistência à Compressão é realizado em uma Máquina Universal de Ensaio, modelo Amsler.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização dos ensaios de Slump Test, determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica, e resistência à compressão, apresentaram-se os resultados apresentados a seguir.

O Quadro 2 apresenta as resistências à compressão obtidas nas diferentes idades do concreto (3, 7, 14 e 28 dias). Neste quadro, comparando os traços pilotos com os demais traços, percebe-se que a adição de microesferas aumenta a resistência à compressão axial do concreto aos 28 (vinte e oito) dias.

Resistência à compressão Axial (MPa)											
TIPO	3 dias			7 dias			14 dias			28 dias	
	CP1	CP2	Média	CP3	CP4	Média	CP5	CP6	Média	Aritmetica	weibull
TP1	27,2	28,1	27,65	42,6	42	42,3	38,2	40,8	39,5	49,854545	50,80
TP2	27,3	28,1	27,7	49,5	49,3	49,4	33,1	29,9	31,5	38,17	38,85
T01A	17,2	21,5	19,35	39,1	40	39,55	48,1	49,9	49	51,65	53,75
T01B	17	22,5	19,75	41	42,7	41,85	44,4	46,9	45,65	48,46	50,14
T02A	19,3	15,5	17,4	38,6	38,3	38,45	41,2	37,6	39,4	42,42	46,51
T02B	16,7	18	17,35	38,4	42,1	40,25	44,5	45,5	45	44,82	45,73
T03A	43,9	45,9	44,9	55,1	47,4	51,25	45,6	51,4	48,5	56,21	58,96
T03B	45,6	45,1	45,35	51	45,1	48,05	46,2	51,4	48,8	54,12	55,69
T04A	37,4	40,2	38,8	47	41,1	44,05	43,6	45,7	44,65	51,61	52,75
T04B	38,5	38,9	38,7	43	43,5	43,25	43,4	40,7	42,05	49,23	51,17

Quadro 2: Resultados de Resistência à Compressão

Com os resultados apresentados no Quadro 2, foram calculados os efeitos das formulações do planejamento fatorial 2<sup>n</sup> apresentados no Quadro 3.

	3 dias		7 dias		14 dias		28 dias	
	efeito	erro padrão	efeito	erro padrão	efeito	erro padrão	efeito	erro padrão
média	30,20	1,10	43,34	1,50	45,38	1,20	51,84	2,10
1	0,18	0,55	0,03	0,75	-0,01	0,60	-2,31	1,05
2	-4,28	0,55	-3,68	0,75	-5,21	0,60	-5,60	1,05
3	23,48	0,55	6,62	0,75	1,24	0,60	5,61	1,05
12	-0,25	0,55	0,48	0,75	1,51	0,60	1,13	1,05
13	0,00	0,55	-2,03	0,75	-1,14	0,60	-0,12	1,05
23	-2,10	0,55	-2,33	0,75	-0,09	0,60	0,23	1,05
123	-0,03	0,55	0,73	0,75	-2,96	0,60	-0,29	1,05

Quadro 3: Efeitos na Resistência à Compressão do Concreto

Nos dados apresentados no Quadro 3, percebe-se que aumentando a quantidade de microesfera oca de vidro na dosagem, a resistência à compressão axial do concreto não apresenta variação significativa, diminuindo 2,31 MPa aos 28 (vinte e oito) dias. O aumento da relação água/cimento, diminui 5,60 MPa aos 28 (vinte e oito) dias. Já a troca do aditivo Adiment Premium pelo MIRA111, resultou num aumento de 23MPa aos 3 (três) dias e 5,60 MPa aos 28 (vinte e oito) dias.

O Quadro 4 apresenta as velocidades de propagação de onda obtidas nas diferentes idades do concreto (3, 7, 14 e 28 dias).

Velocidade (m/s)											
	3 dias			7 dias			14 dias			28 dias	
	CP1	CP2	Média	CP3	CP4	Média	CP5	CP6	Média	Média	Weibull
TP1	4547	4694	4621	4796	4750	4773	4640	4640	4640	4734	4769
TP2	4504	4563	4534	4773	4555	4664	4651	4640	4646	4660	4691
T01A	4618	4672	4645	4901	4962	4932	4750	4796	4773	4749	4783
T01B	4555	4608	4582	4784	4750	4767	4576	4618	4597	4699	4729
T02A	4545	4545	4545	4694	4750	4722	4640	4545	4593	4658	4699
T02B	4524	4535	4530	4694	4694	4694	4662	4683	4673	4592	4613
T03A	4683	4464	4574	4629	4694	4662	4587	4716	4652	4761	4783
T03B	4376	4514	4445	4705	4629	4667	4640	4739	4690	4730	4756
T04A	4524	4576	4550	4545	4474	4510	4739	4597	4668	4652	4668
T04B	4454	4454	4454	4484	4464	4474	4535	4444	4490	4511	4531

Quadro 4: Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica

	3 dias		7 dias		14 dias		28 dias	
	efeito	erro padrão	efeito	erro padrão	efeito	erro padrão	efeito	erro padrão
média	4540,44	34,40	4678,31	32,50	4641,69	25,00	4695,28	26,00
1	-75,88	17,20	-55,63	16,25	-59,13	12,50	-75,62	13,45
2	-41,63	17,20	-156,88	16,25	-72,13	12,50	-134,61	13,45
3	-69,63	17,20	-200,63	16,25	-34,13	12,50	-21,42	13,45
12	20,13	17,20	23,88	16,25	9,88	12,50	-35,64	13,45
13	-36,38	17,20	40,63	16,25	-11,13	12,50	-5,89	13,45
23	34,38	17,20	-15,63	16,25	-19,63	12,50	-35,25	13,45
123	-3,88	17,20	-44,38	16,25	-118,13	12,50	-19,71	13,45

Quadro 5: Efeitos na Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica

Tendo em vista que “quanto maior a velocidade de onda, maior será a compacidade do concreto” <sup>(12)</sup>. Nos dados apresentados no Quadro 5, percebe-se que aumentando a quantidade de microesfera oca de vidro na dosagem, a velocidade de propagação de onda ultrassônica diminui. O aumento da relação água/cimento diminuiu 134,61 m/s aos 28 (vinte e oito) dias. A troca do aditivo Adiment Premium pelo MIRA111, resultou numa diminuição de 200,63 m/s aos 7 (sete) dias e 21,42 m/s aos 28 dias.

A Tabela 3 apresenta as medidas de abatimento “slump test”, para a avaliação da trabalhabilidade do concreto fresco de todas as formulações realizadas. Comparando os “slumps” da tabela abaixo, percebe se que a adição de microesferas melhorou a trabalhabilidade em alguns casos e diminui em outros, comparadas com os traços pilotos.

Tabela 3: Resultados de Trabalhabilidades do Concreto Fresco

Tipo	Abatimento "slump test"
T01A	0
T01B	0
T02A	250
T02B	0
T03A	130
T03B	25
T04A	240
T04B	190
TP1	200
TP2	180

Com os resultados apresentados na Tabela 3, foram calculados os efeitos das formulações do planejamento fatorial  $2^n$  apresentados no Quadro 6.

	média	1	2	3	12	13	23	123
efeitos (mm)	104,38	-101,25	131,25	83,75	-48,75	23,75	6,25	76,25

Quadro 6: Efeitos na Trabalhabilidade do concreto fresco

Nos dados apresentados no Quadro 6, percebe-se que aumentando a quantidade de microesfera oca de vidro na dosagem, o Slump diminui. O aumento da relação água/cimento aumenta 131,25mm. A troca do aditivo Adiment Premium pelo MIRA111 resultou num aumento de 83,75mm.

Após a os ensaios de resistência à compressão axial, foi realizada uma microscopia de varredura eletrônica para verificar a integridade das microesferas ocas de vidro no concreto, conforme Figuras 1 e 2.

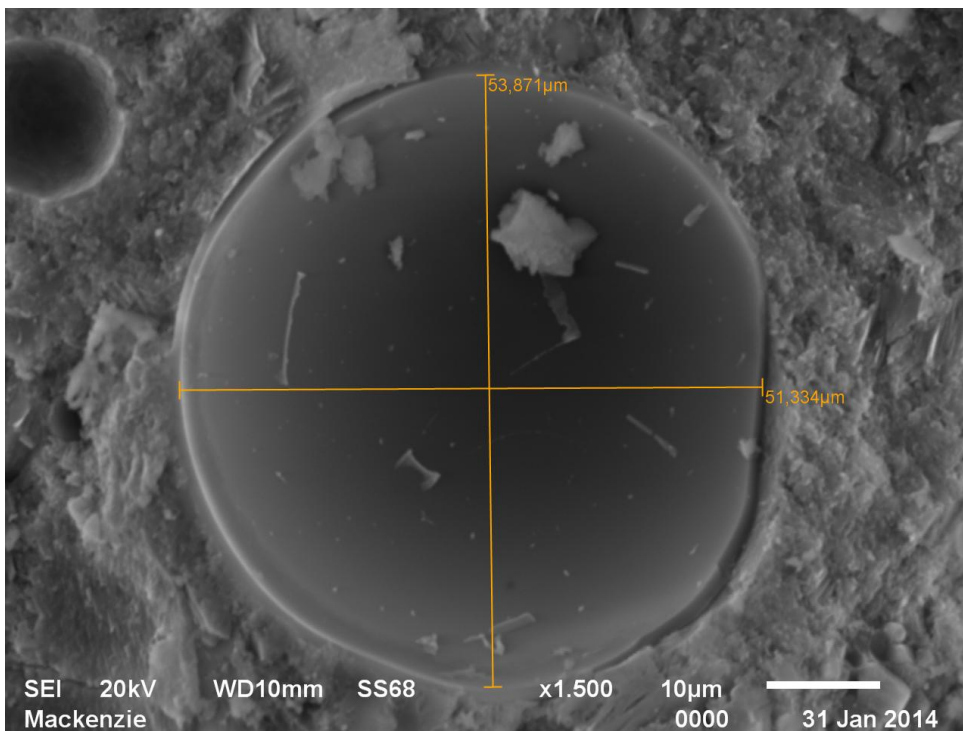


Figura 1: Microesfera oca de vidro intacta presente no concreto

Observa-se nas Figuras 1 e 2, que as microesferas ocas de vidro não se fragmentaram durante a mistura do concreto, se mantendo intactas no concreto endurecido.



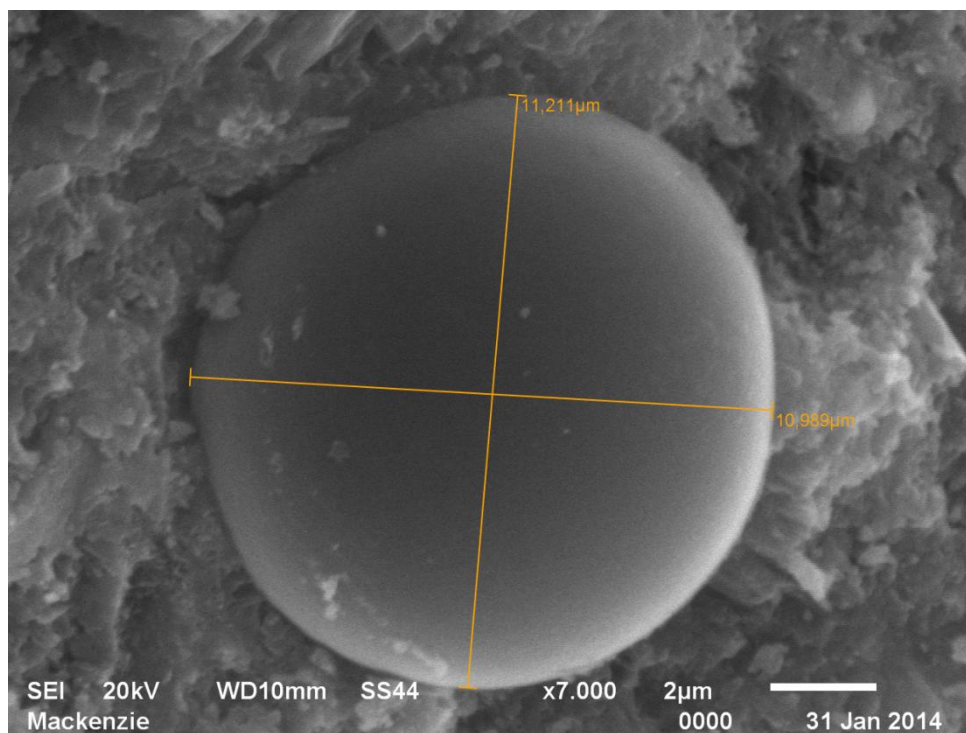


Figura 2: Microesfera oca de vidro intacta presente no concreto

## CONCLUSÕES

A análise comparativa dos resultados obtidos nos ensaios e discutidos permite concluir que a adição das microesferas ocas de vidro possui alta resistência mecânica de compressão do concreto, porém, a variação de sua dosagem no concreto, não apresentou variação significativa, diminuindo 2,31 Mpa aos 28 (vinte e oito) dias.

Importante destacar que enquanto apresentou-se alta resistência mecânica, a trabalhabilidade do concreto, medida através do slump test apresentou-se substancialmente reduzida, não apresentando qualquer melhora de trabalhabilidade devido a adição da microesfera de vidro.

No caso dos resultados do Ultrassom do concreto, foi possível observar que aumentando a quantidade de microesfera oca de vidro na dosagem, a velocidade de propagação de onda ultrassônica diminuiu. Ou seja, ao aumentar a quantidade de microesferas de vidro na dosagem, a compacidade do concreto diminuiu.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Mack Pesquisa e à Universidade Presbiteriana Mackenzie pelo apoio recebido.

## REFERÊNCIAS

- (1) ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. v.1 e v. 2, São Paulo: Ibracon, 2007.
- (2) CATÁLOGO DE MICROESFERAS DE VIDRO OCAS. Disponível em<  
[http://solutions.3m.com.br/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1260943342000&locale=pt\\_BR&assetType=MMM\\_Image&assetId=1258559160567&blobAttribute=ImageFile](http://solutions.3m.com.br/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1260943342000&locale=pt_BR&assetType=MMM_Image&assetId=1258559160567&blobAttribute=ImageFile) >
- (3) BARROS NETO, B.; SCARMINO, I. S.; BRUNS, R. E.; Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. 2 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.
- (4) MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G. C.; Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório - Procedimento. Rio de Janeiro, 2009
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10342: Concreto - Perda de abatimento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2009.
- (8) Oliveira, I. R.; Studart, A. R.; Pileggi, R. G.; Pandolfelli, V. C. Dispersão e empacotamento de partículas: princípios básicos e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte Editorial, 2000.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro, 1994.
- (10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2013.
- (11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- (12) LORENZI, A.; CAETANO, L. F.; DRUNN, M. T.; SILVA FILHO, L. C. P. Utilização de ultra-som para o monitoramento de estruturas de concreto. Rio de

Janeiro RJ. III Pan-American Conference for Nondestructive Testing. PANNDT.  
Junho 2003.

## **CONCRETE WITH ADDITION OF HOLLOW GLASS MICROSPHERES**

### **ABSTRACT**

*The addition of hollow glass microspheres is interesting to reduce the thermal conductivity of the concrete pieces. This work aims to evaluate the concrete with addition of hollow glass microspheres with different combinations of dosage in concrete concerning resistance and workability. Workability tests were performed in each dosage of concrete, and in every concrete's age, the concrete cylinders was submitted to ultrasound to estimate the homogeneity of concrete with hollow glass microspheres, and testing of compressive strength. The analysis of the results shows that for some formulations, the addition of hollow glass microspheres imparts high mechanical strength to compressive strength above 30MPa at all concrete's ages analyzed. Importantly, the concrete's workability resulted substantially reduced, showing no improvement of workability due to the addition of hollow glass microsphere.*

Key-words: Cement. Hollow glass microsphere.