



Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2009
Outubro / 2009
ISBN
© 2009 - IBRACON



ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS LEVES PRODUZIDOS COM ARGILA EXPANDIDA NACIONAL

Study of compressive strength of lightweight concrete produced with national expanded clay

Maycá, Jeferson (1), Recena, F.A.P (2), Cremonini, R.A. (3).

(1) Especialista em Engenharia Civil/Alquímica

(2) Professor, Fundação de Ciência e Tecnologia/PUCRS.

(3) Professor, Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, rac@ufrgs.br
Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º andar, Porto Alegre, RS, 90.035-190

Resumo

Os concretos leves podem ser utilizados na construção civil para fins estruturais, de vedação ou enchimento, sendo que o seu uso adequado permite ganhos na redução do peso das estruturas e, quando utilizados em coberturas ou fechamentos, no condicionamento térmico natural dos ambientes. Este estudo analisa a potencialidade do uso da argila expandida produzida no Brasil na obtenção de concretos leves, analisando a variação da resistência à compressão em função de massa específica dos concretos obtidos. O estudo foi realizado sempre com substituição total do agregado graúdo por argila expandida, sendo executados 09 traços com variações no teor de argila expandida (20%, 30% e 40%) e na matriz cimento-areia (1:3; 1:4 e 1:5, em massa). Foram realizados ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade e verificada a massa específica de cada traço. Os resultados de resistência à compressão variaram entre 10 e 33 MPa e massa específica entre 1470 kg/m³ e 1829 kg/m³.

Palavra-Chave: argila expandida, concreto leve, resistência à compressão

Abstract

The lightweight concrete can be used in the civil engineering for structural aims or filling. The use of this material allows benefits by the reduction of the weight of the structures and, when used in coverings or closures, in the thermal natural conditioning of the environments. This study analyses the potentiality of the use of the expanded clay produced in Brazil to produce lightweight concrete, analyzing the variation of compressive strength versus the specific gravity mass of concrete. The study was always carried out with total replacement of the coarse aggregate by expanded clay. Nine mixtures were produced varying the percentage of expanded clay (20 %, 30 % and 40 %) and the cement-sand ratio (1:3; 1:4 and 1:5, in mass). Compressive strength tests at 7 and 28 days were performed and the specific gravity mass of each mixture was checked. The results of the tests shows values of compressive strength varying between 10 and 33 MPa and specific gravity varying between 1470 kg/m³ and 1829 kg/m³.

Keywords: expanded clay, lightweight concrete, compressive strength



1 Introdução

O concreto leve é um material com estrutura porosa que apresenta propriedades refratárias e de isolamento térmico, massas específicas entre 300 kg/m^3 a 2000 kg/m^3 e que pode ser obtido através da substituição de parte dos materiais sólidos do concreto convencional por ar.

Segundo Neville (1997), existem três localizações possíveis do ar em concretos: nas partículas de agregado, na pasta de cimento e entre as partículas do agregado graúdo quando não se usa o agregado miúdo. Com base nestes conceitos podem ser citados os seguintes tipos de concretos leves:

- concreto celular: também conhecido como concreto aerado é resultante da ação de produtos que, acrescentados à pasta, produzem gases que formam bolhas. Embora aceita e bastante usual, esta denominação pode ser questionada, uma vez que o material resultante trata-se de uma argamassa e não, propriamente, de um concreto. Este material tem uso, principalmente como enchimento e componentes de alvenaria;
- concreto sem finos: produzido apenas com aglomerante e agregado graúdo e pode ser usado para confecção de painéis divisórios, na construção de estruturas de drenagem e também como sub-base de quadras de esportes;
- concreto com agregados leves: produzido através da substituição total ou parcial dos agregados normais por agregados leves e segundo Neville (1997) são os únicos concretos leves que podem, dependendo do tipo de agregado, traço e dosagem, atingir resistências aceitáveis para fins estruturais.

Concordando com esta classificação, Rossingnolo (2006) cita que os concretos leves estruturais (CLE) são obtidos com a substituição total ou parcial dos agregados normais por agregados leves.

No caso de concretos leves estruturais o ACI 213R-87 (ACI, 1999) define como concreto leve estrutural o material que tem resistência à compressão superior a 17 MPa aos 28 dias e massa específica não superior a 1850 kg/m^3 . Este valor de resistência é semelhante ao citado por Sobral (1996) que define uma resistência à compressão mínima de 17,5 MPa para esses concretos.

A norma NBR NM 35 (ABNT, 1995) estabelece uma relação entre resistência à compressão e massa específica pra concretos leves estruturais, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Valores de resistência à compressão e massa específica de concretos leves estruturais (NBR NM 35)

Resistência à compressão (MPa aos 28 dias)	Massa específica aparente (kg/m^3)
≥ 28	≤ 1840
≥ 21	≤ 1760
≥ 17	≤ 1680

Este estudo tem por objetivo verificar a potencialidade do uso da argila expandida produzida no Brasil na obtenção de concretos leves estruturais. Para isto foram



produzidos traços de concreto leve com agregados leves nacionais e realizadas análises em relação à variação da resistência à compressão e a massa específica do concreto.

2 Agregados para concretos leves estruturais (CLE)

Em comum, todos os agregados leves têm como característica principal a estrutura porosa que resulta em uma baixa massa específica. No entanto, conforme a sua origem, apresentam características inerentes que podem afetar em maior ou menor escala as propriedades do concreto.

Segundo Rossignolo (2003), as principais propriedades do concreto influenciadas pelo agregado leve são a massa específica, a trabalhabilidade, a resistência mecânica, o módulo de elasticidade, as propriedades térmicas, a retração, a fluência e espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz.

Os agregados leves podem ser classificados segundo a origem em naturais e artificiais. Estes últimos podem ser produzidos a partir do tratamento térmico de matérias primas naturais como argila, folhelo, vermiculita e ardósia ou de subprodutos industriais como a cinza volante e a escória de alto forno, entretanto, segundo Neville (1997) somente os agregados obtidos por expansão de argila, xisto ou ardósia podem ser usados em concretos estruturais.

A expansão das matérias-primas naturais pode ser obtida, basicamente, através de dois processos industriais: sinterização ou forno rotativo. A sinterização consiste num processo onde a matéria-prima é misturada com uma quantidade adequada de combustível e quando submetida a altas temperaturas, sofre expansão em função do acúmulo de gases (Gomes Neto, 1998). Já o processo de forno rotativo aproveita as características que determinados materiais têm de se expandirem quando submetidos a temperaturas entre 1000 e 1350°C, em decorrência da formação de gases aprisionados pela “capa” vítrea da película (SANTOS *et al.*, 1986).

Entre os agregados leves com potencialidade para a produção de concretos estruturais está a argila expandida. No Brasil a produção deste material restringe-se a um único fabricante, sendo sua produção voltada, principalmente, para atender a indústria têxtil, a jardinagem e o paisagismo. Com o avanço da tecnologia de concretos e dos estudos e pesquisas em diversas universidades, no entanto, a demanda do material no mercado da construção civil vem aumentando consideravelmente nos últimos anos.

A argila expandida nacional é produzida pelo processo de fornos rotativos, sendo disponíveis dois tipos de argila expandida que podem ser utilizadas como agregados graúdos em concretos estruturais (Figuras 1 e 2). A argila expandida 2215 apresenta dimensões dos grãos entre 15 e 22 mm, enquanto a argila expandida 1506, tem grãos com dimensões entre 6 e 15 mm.

Um terceiro tipo, a argila expandida 0500, com grãos com dimensões entre 0 e 5 mm, que não foi objeto de estudo deste trabalho, pode ser utilizada como agregado miúdo em substituição à areia grossa.



Figura 1 – Argila expandida 2215



Figura 2 – Argila expandida 1506

3 Desenvolvimento experimental

Para avaliar as potencialidades da argila expandida nacional na produção de concretos leves que possam ser utilizados para fins estruturais, elaborou-se um programa experimental composto de quatro etapas: a) caracterização dos materiais; b) estudo da dosagem; c) produção dos concretos; d) caracterização da resistência mecânica e massa específica dos concretos.

Todas as etapas do programa experimental foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), entidade pública de direito privado, vinculada à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul.

Para a produção do concreto foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento: Portland CPV ARI com massa específica igual a 3,00 kg/dm³ (valor fornecido pelo fabricante);
- Agregados leves: foram utilizados 2 tipos de argila expandida, 2215 e 1506. Os valores da massa específica (método do picnômetro) e massa unitária (NBR 7251/82) estão apresentados na Tabela 2;
- Agregados naturais: foram utilizadas duas areias, denominadas comercialmente de areia fina e areia média, disponíveis no comércio local. A Tabela 2 mostra os valores de massa unitária e massa específica;
- Aditivo: plastificante utilizado foi do tipo plastificante polifuncional, de pega normal, classificado como P ou SP segundo a norma NBR 11768 em um teor de 0,5% sobre a massa do cimento.

Tabela 2 – Características dos agregados

Material	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)
Argila 2215	0,52	0,87
Argila 1506	0,55	0,93
Areia média	1,58	2,62
Areia fina	1,42	2,63

3.1 Estudo da dosagem

A dosagem do concreto leve destinado ao presente estudo foi inteiramente experimental, tendo como referência estudos preliminares executados no Laboratório de Materiais de Construção da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC).

Metha & Monteiro (1994) citam que devido à alta absorção de água dos agregados leves, a relação entre a resistência à compressão e a relação água/cimento não pode ser usada. Estes autores citam que são mais representativas correlações entre consumo de cimento e resistência para uma determinada trabalhabilidade. Os mesmos autores citam que a redução da dimensão do agregado graúdo ou a substituição de parte do agregado miúdo leve por agregado miúdo natural são procedimentos que contribuem para o aumento da resistência. Baseado nestes aspectos optou-se por produzir concretos leves com agregados graúdos leves e areia natural como agregado miúdo.

Inicialmente, realizou-se um estudo teórico de ajuste granulométrico dos agregados miúdos, obtendo-se uma proporção ideal, em massa de 20 e 80%, respectivamente areia fina e areia média. O mesmo procedimento foi efetuado com os agregados graúdos leves, obtendo-se uma composição ideal correspondente a 30 e 70% das argilas 2215 e 1506, respectivamente.

Com objetivo de obtenção de composições com diferentes consumos de cimento estabeleceu-se três relações, em massa, entre areia e cimento, denominadas “matrizes”, resultando em matrizes 1:3, 1:4 e 1:5.

Posteriormente, com o objetivo de estabelecer a quantidade máxima de agregados graúdos leves que o concreto admitiria sem apresentar, visualmente, características de segregação, foram realizadas algumas misturas experimentais, adicionando-se os agregados leves. Partiu-se de um teor inicial de 20% em massa da argila expandida em relação à cada matriz e foram realizados acréscimos sucessivos de 10% de argila expandida até o momento em que o concreto não apresentou mais condições de trabalho, resultando em 3 teores de agregados leves: 20%, 30% e 40%.

Estas combinações resultaram em 9 traços em massa, conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Traços dos concretos leves estudados

Matriz	Materiais	% agregados leves		
		20%	30%	40%
1:3	Cimento	1,00	1,00	1,00
	Areia fina	0,60	0,60	0,60
	Areia grossa	2,40	2,40	2,40
	Argila 1506	0,56	0,84	1,12
	Argila 2215	0,24	0,36	0,48
1:4	Cimento	1,00	1,00	1,00
	Areia fina	0,80	0,80	0,80
	Areia grossa	3,20	3,20	3,20
	Argila 1506	0,70	1,05	1,4
	Argila 2215	0,30	0,45	0,6
1:5	Cimento	1,00	1,00	1,00
	Areia fina	1,00	1,00	1,00
	Areia grossa	4,00	4,00	4,00
	Argila 1506	0,84	1,26	1,68
	Argila 2215	0,36	0,54	0,72



3.2 Produção dos concretos

Os materiais foram misturados em uma betoneira de eixo vertical até a obtenção de uma mistura homogênea. Os agregados leves foram adicionados à mistura sem saturação prévia, pois conforme Rossignolo e Agnesini (2005), para concretos produzidos com agregados com absorção de água (após 24 horas) abaixo de 10% em massa, pode-se adotar o método de mistura dos concretos tradicionais, utilizando os agregados nas condições ambientais de umidade. No mesmo estudo os autores determinaram os valores de absorção em 24 horas da argila expandida nacional em 7 e 10%, respectivamente para a argila 1506 e 2215.

Em relação à trabalhabilidade Metha & Monteiro (1994) citam que devido à baixa massa específica do agregado, em misturas fluidas, o agregado tende a flutuar, causando segregação do concreto, sendo esta ocorrência um indicativo de limitação do abatimento de tronco de cone. Baseado nestas afirmações e nas observações do concreto limitou-se o abatimento de tronco de cone a 70 ± 20 mm.

Os materiais foram adicionados à betoneira segundo a seguinte ordem: 1º) cimento, areia, aditivo diluído em 50% da água de amassamento; 2º) agregados leves; 3º) 50% restante da água (ROSSIGNOLO, 2003). Após uma mistura prévia, aguardou-se 3 minutos para que parte da água fosse absorvida pelo agregado e realizou-se a medição do abatimento do tronco do cone, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). Nos casos em que o abatimento mostrou resultados inferiores a 70 ± 20 mm procedeu-se o ajuste adicionando água à mistura. A moldagem, o adensamento e a cura dos corpos-de-prova obedeceram às recomendações da NBR NM 35 (ABNT, 1995).

4 Apresentação e análise dos resultados

As propriedades dos concretos leves analisadas neste estudo foram a resistência à compressão aos 28 dias e a massa específica do concreto no estado fresco. A resistência à compressão foi determinada segundo as recomendações da NBR 5739/07 e a massa específica foi determinada pela divisão da massa de concreto dos corpos-de-prova pelo volume dos moldes.

A tabela 4 apresenta os resultados da resistência à compressão e massa específica dos concretos aos 28 dias de idade, bem como a relação água/cimento e a relação água/materiais secos. O valor da resistência apresentado corresponde ao maior valor dos 3 corpos-de-prova moldados para cada traço.

Tabela 4 – Resultados obtidos na produção dos traços

Matriz	Materiais	% agregados		
		20	30	40
1:3	Relação água/cimento	0,59	0,65	0,71
	Relação água/materiais secos (%)	12,3	12,5	12,7
	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	33,6	32,0	26,5
	Massa específica (kg/dm ³)	1,70	1,56	1,50
	Consumo de cimento (kg/m ³)	339	290	253
1:4	Relação água/cimento	0,78	0,87	0,96
	Relação água/materiais secos (%)	13,0	13,4	13,7
	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	23,7	20,2	17,7
	Massa específica (kg/dm ³)	1,68	1,54	1,49
	Consumo de cimento (kg/m ³)	267	228	199
1:5	Relação água/cimento	1,01	1,12	1,17
	Relação água/materiais secos (%)	14,0	14,4	13,9
	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	14,1	14,5	10,8
	Massa específica (kg/dm ³)	1,57	1,54	1,50
	Consumo de cimento (kg/m ³)	218	187	165

Pela análise inicial dos resultados, verifica-se que a relação água/materiais secos pode ser considerada praticamente constante para cada matriz. Os valores resultantes são mais elevados que os que ocorrem em concretos convencionais que, conforme Recena (2007), variam entre 9,2% e 9,8%.

Para a massa específica observa-se o comportamento esperado, ou seja, a diminuição do valor com o incremento do teor de agregados leves. Todos os traços resultaram em valores considerados como concretos leves, mesmo tendo sido medida a massa específica do concreto no estado fresco, ou seja, este valor pode ser menor com a perda de água após a secagem.

Em relação à resistência à compressão observa-se uma diminuição dos valores com a diminuição do consumo de cimento, isto é, quanto maior a matriz, menor a resistência. Apenas um ponto apresenta um comportamento não esperado (matriz 1:5, 30%). Observa-se também que os valores mínimos estabelecidos pela NBR NM 35 (ABNT, 1995) são atendidos pelos traços das matrizes 1:3 e 1:4.

Para a relação água/cimento observa-se que somente na matriz 1:3 os valores podem ser considerados como usuais aos concretos normais que, conforme estabelece a NBR 6118 (ABNT, 2004) deve variar entre 0,45 e 0,65 para fins de durabilidade. Cabe salientar que não há na normalização brasileira atual, uma restrição para este parâmetro nos concretos leves.

Com o objetivo de modelar as relações entre algumas variáveis foi realizada análise estatística tentando, sempre que possível, fazer um ajuste linear. Observa-se na Tabela 5 que os valores do coeficiente de determinação (R^2) são, em sua maioria, valores superiores a 0,85. A exceção fica para a matriz 1:5 onde há um comportamento inesperado nos valores da resistência à compressão, não ocorrendo a diminuição de resistência com o aumento do teor de agregados.

Tabela 5 – Análise de regressão linear

Análise		Equação		R ²
Resistência à compressão (Fc) x consumo de cimento (C)				
Teor de agregados (%)	20	$F_c = -20,22 + 0,16.C$	EQ. 1	0,99
	30	$F_c = -18,20 + 0,17.C$	EQ. 2	0,99
	40	$F_c = -18,45 + 0,18.C$	EQ. 3	1,00
Matriz	1:3	$F_c = 7,39 + 0,08.C$	EQ. 4	0,86
	1:4	$F_c = 0,11 + 0,09.C$	EQ. 5	1,00
	1:5	$F_c = 2,36 + 0,06.C$	EQ. 6	0,56
Resistência à compressão (Fc) x matriz (M)				
Teor de agregados (%)	20	$F_c = 62,8 - 9,75.M$	EQ. 7	1,00
	30	$F_c = 57,23 - 8,75.M$	EQ. 8	0,96
	40	$F_c = 49,73 - 7,85.M$	EQ. 9	0,99
Resistência à compressão (Fc) x teor de agregados (TA)				
Matriz	1:3	$F_c = 41,35 - 0,36.TA$	EQ. 10	0,91
	1:4	$F_c = 29,53 - 0,30.TA$	EQ. 11	0,99
	1:5	$F_c = 18,08 - 0,17.TA$	EQ. 12	0,66
Consumo de cimento (C) X Massa específica do concreto (ME)				
Matriz	1:3	$C = 419,78.ME - 371,92$	EQ. 13	0,98
	1:4	$C = 341,55.ME - 304,36$	EQ. 14	0,97
	1:5	$C = 752,70.ME - 996,09$	EQ. 15	0,97
Consumo de cimento (C) x teor de agregados (TA)				
Matriz	1:3	$C = -4,35.TA + 424,48$	EQ. 16	0,99
	1:4	$C = -3,41.TA + 334,17$	EQ. 17	0,99
	1:5	$C = -2,68.TA + 270,82$	EQ. 18	0,99

As figuras 3 e 4 demonstram graficamente a variação da resistência à compressão em função do consumo de cimento dos nove traços estudados e correspondem às equações 1 a 6 da Tabela 5. Como já comentado as correlações apresentaram coeficientes de correlação (R²) elevados, com exceção da matriz 1:5, sendo este fato possível de ser verificado na Figura 4.

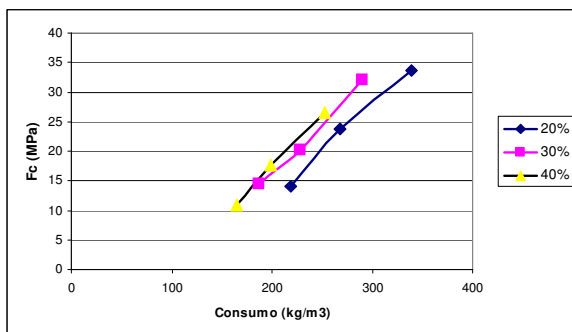


Figura 3 – Variação da resistência em função do consumo de cimento (teor de agregados)

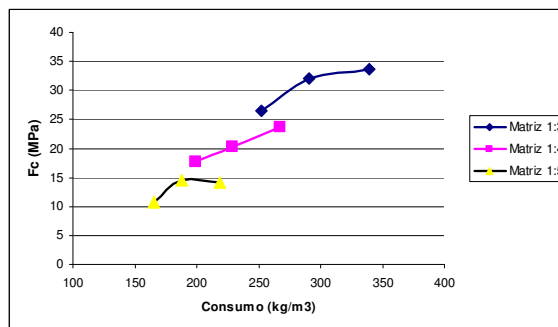


Figura 4 – Variação da resistência em função do consumo de cimento (matriz)

A partir das equações 1 a 3 foram calculados os consumos de cimento por metro cúbico de concreto necessários para a obtenção das resistências mínimas especificadas pela NBR NM 35 (17 MPa, 21 MPa e 28 MPa). Os valores estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Consumo de cimento por metro cúbico de concreto

Resistência à compressão		Consumo de cimento (Kg/m ³)		
		17 MPa	21 MPa	28 MPa
Teor de agregados (%)	20	233	258	301
	30	207	231	272
	40	197	219	258

Para um mesmo teor de agregados, quanto maior a resistência, maior é o consumo de cimento, comprovando a citação de Metha & Monteiro (1994). Verifica-se que a mesma resistência, por exemplo, 28 MPa, pode ser obtida com diferentes consumos de cimento 258 kg/m³, 272 kg/m³ e 301 kg/m³.

Como análise conjunta pode ser proposto o uso de diagramas com algumas das correlações mostradas na Tabela 5. A Figura 5 mostra um diagrama onde estão correlacionadas as seguintes variáveis: “resistência à compressão x teor de agregados” (equações 10, 11 e 12); “teor de agregados x e consumo de cimento” (equações 16, 17 e 18) e “consumo de cimento x massa específica” (equações 13, 14 e 15).

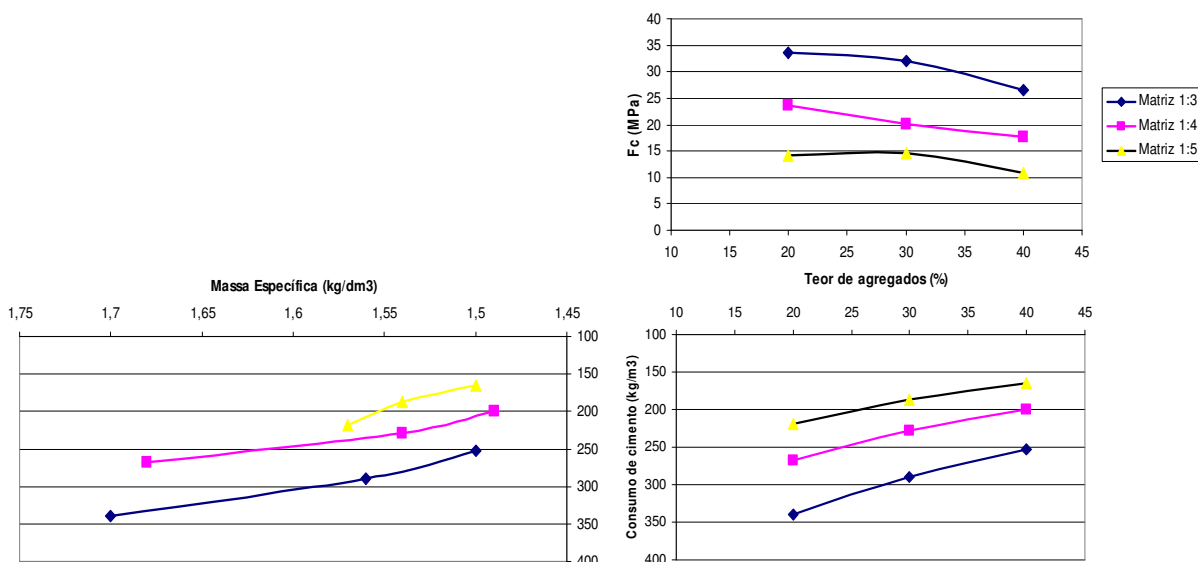


Figura 5 – Diagrama de correlação entre variáveis



**Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2009**
Outubro / 2009
ISBN
© 2009 - IBRACON



Com a utilização de diagramas deste tipo é possível calcular traços que atendam determinada característica como a resistência à compressão, teor de agregados ou massa específica. Outras combinações podem ser feitas, por exemplo, variando a matriz.

5 Considerações finais

O presente estudo teve por objetivo avaliar a potencialidade da produção de concretos leves estruturais com a utilização da argila expandida nacional em substituição total aos agregados graúdos normais. Os resultados demonstraram ser tecnicamente viável a produção de concretos leves com características estruturais.

No caso específico dos concretos leves estruturais, é imprescindível a realização de ensaios do módulo de deformação, uma vez que os teores elevados de argamassa em alguns traços podem remeter a resultados extremamente baixos nesta propriedade específica.

Independente disso, os resultados obtidos com as diversas combinações de teores de agregados e matrizes de argamassa indicam que o material pode ser utilizado na produção de concretos leves para os mais diversos usos, sendo possível a produção de concretos com baixas massas específicas e resistências variadas. Dessa forma, existe um largo espectro de possibilidades e opções para atender as mais variadas necessidades técnicas, operacionais e econômicas dos processos construtivos. Além disso, com a possibilidade de obter-se a mesma resistência e/ou massa específica com diferentes teores dos materiais, o componente custo, não analisado neste estudo, pode tornar-se um fator decisivo na escolha do traço.

Constatou-se que com o aumento do teor de cimento nos traços, através das matrizes (1:5, 1:4 e 1:3), influenciou diretamente a resistência à compressão do concreto.

Os resultados obtidos, aliados a estudos de outras propriedades não analisadas neste estudo, como o módulo de deformação, a resistência à tração e a durabilidade dos concretos podem contribuir significativamente para a difusão do uso do concreto leve estrutural em obras da construção civil brasileira.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto: procedimento**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados leves para concreto estrutural: especificação**. NBR NM 35. Rio de Janeiro, 1995.

ACI. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for structural lightweight aggregate concrete**. ACI 213R-87. USA, 1999.

GOMES NETO, D.P. **Dosagem de microconcretos leves de alto desempenho para produção de pré-fabricados esbeltos de pequena espessura**: Estudo de Caso. 1998. 56 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.



**Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2009**

Outubro / 2009

ISBN

@ 2009 - IBRACON



METHA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994. 573p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

RECENA, F.A.P. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland.** 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura.** 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A. **Avaliação do efeito do tamanho do agregado e da adição de Metacaulim no desempenho das propriedades do concreto estrutural leve.** USP, São Carlos 2006. 63 p. (Relatório Final)

ROSSIGNOLO, J. A; AGNESINI, M.V.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto Estrutural Leve.** São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, p. 1333-1362.

SANTOS, M. E. *et al.* **Argila expandida como agregado para concreto leve.** Tema livre – apresentado à reunião anual do IBRACON de 1986. São Paulo, 1986.

SOBRAL, H.S. **Concretos leves: tipos e comportamento estrutural.** 3. ed. São Paulo: ABCP, 1996. 60p.