

PROPRIEDADES
DO CONCRETO

METODOLOGIAS
DE CONSTRUÇÃO

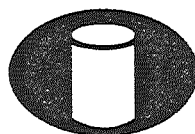


40^º
CONGRESSO
BRASILEIRO DO
CONCRETO
• REIBRAC •

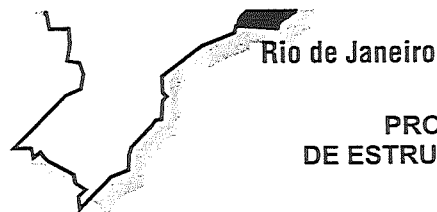
DURABILIDADE
DAS ESTRUTURAS

O ESTADO DA ARTE DO CONCRETO

Tecnologia e Qualidade na Construção Civil



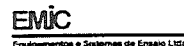
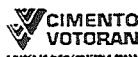
IBRACON



Rio de Janeiro

PROJETOS
DE ESTRUTURAS

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO



MICROCONCRETOS LEVES COM ARGILA EXPANDIDA: INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA NO FATOR DE EFICIÊNCIA EM DOSAGENS PARA PRÉ-FABRICADOS DE PEQUENA ESPESSURA – ESTUDO DE CASO

Autores:

Prof. Dr. Marcos V.C. Agnesini

Engº. David de Paiva Gomes Neto

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

São Carlos – São Paulo – Brasil

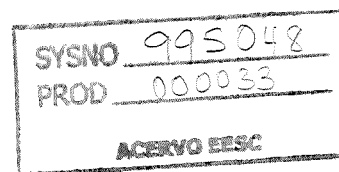
RESUMO

O concreto leve de alto desempenho (CLAD) tem sido aplicado em grande escala na construção civil, principalmente na execução de plataformas marítimas, pontes e edificações. No Brasil é crescente o interesse do emprego deste material. Entre as principais aplicações do CLAD na construção civil brasileira pode-se destacar a execução de pré-fabricados.

O objetivo do presente trabalho é relatar os estudos realizados em dosagens de microconcretos leves de alto desempenho com e sem adição de sílica ativa, empregando-se cimento Portland CPV-ARI, argila expandida de $\phi_{\text{máx.}} = 6,3$ mm, areia natural e aditivo SPA.

Os resultados verificados nesta pesquisa indicam que a presença de sílica ativa melhora substancialmente o fator de eficiência dos microconcretos (aumenta, em média, de 30 para 40 MPa.dm³/kg). As principais propriedades (consistência, resistência mecânica e durabilidade) foram altamente favorecidas pela adição de sílica ativa, constatando-se, também, redução da massa específica (da ordem de 15% para f_{ck} em torno de 60 MPa) e redução no consumo de cimento (cerca de 30% para o mesmo exemplo).

Portanto, pretende-se demonstrar neste trabalho o grande potencial de aplicação do CLAD na produção de pré-fabricados de pequena espessura para execução de coberturas industriais, galerias, pontilhões rodoviários, painéis portantes, lajes e vigas de edifícios.



1 - INTRODUÇÃO

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 à concretos velhos e ao aço, baixa segregação, entre outras.

Nos últimos anos algumas pesquisas foram realizadas com o intuito de unir as características otimizadas do CAD com a baixa massa específica dos concretos leves (CL), obtendo-se assim, o que pode-se chamar de concreto leve de alto desempenho (CLAD).

O CLAD não é definido apenas em função de sua resistência mecânica, como normalmente é conceituado o concreto de alto desempenho, nem somente em função de sua massa específica, como o concreto leve, e sim a partir de um parâmetro que relaciona essas duas propriedades. Esse parâmetro é denominado por SPITZNER (1991) de **Fator de Eficiência** e por HOLM & BREMNER (1994) de **Eficiência Estrutural** e é representado pela seguinte relação:

$$\text{Fator de eficiência} = f_c / \gamma \text{ (MPa.dm}^3\text{/kg)}$$

Onde: f_c = resistência à compressão (MPa)

γ = massa específica seca do material (kg/dm³)

De acordo com SPITZNER (1991) é considerado como concreto leve de alto desempenho, um concreto que apresente fator de eficiência no mínimo igual a 25 MPa.dm³/kg, ou seja, um concreto com resistência à compressão de 50 MPa e massa específica de 2000 kg/m³ é considerado leve de alto desempenho por resultar num fator de eficiência de 25 MPa.dm³/kg.

Particularmente, o Laboratório de Construção Civil da EESC-USP tem desenvolvido pesquisas nesta área, com ênfase em tecnologia de pré-fabricados de pequena espessura produzidos com microconcretos leves de elevado desempenho.

Os pré-fabricados produzidos com esse tipo de material são caracterizados pela elevada resistência à compressão ($f_{ck} \geq 50$ MPa), altas resistências mecânicas à baixa idade ($f_{cj} \geq 30$ MPa para um dia) permitindo desformas rápidas, baixa permeabilidade, alta resistência à corrosão das armaduras devido à carbonatação ou ao ataque de cloretos, e alta resistência do concreto frente ao risco de deterioração por lixiviação ou formação de compostos expansivos.

Os pré-fabricados são caracterizados, também, pela esbeltez (espessura entre 40 e 60 mm), leveza, e pequenas espessuras do cobrimento de concreto à armadura (média de 10 a 15 mm, no máximo 30 mm).

A leveza dos pré-fabricados é garantida, não só pela pequena espessura, mas também através da utilização, além dos agregados normais, dos agregados leves. Com esta técnica, obtêm-se microconcretos com baixas massas específicas sem prejuízo da resistência mecânica e durabilidade dos pré-fabricados.

2 – OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo analisar, através de experimentos em laboratório, o comportamento de microconcretos produzidos com agregados leves de argila expandida ($\phi_{\text{máx}} = 6,3 \text{ mm}$), com adição ou não de sílica ativa, dando-se um enfoque especial à relação entre suas resistências mecânicas e massas específicas e criando condições para que esses microconcretos leves de alto desempenho possam ser aplicados em pré-fabricados de pequena espessura.

O cimento utilizado na produção dos microconcretos foi o CPV-ARI. Em alguns casos empregou-se areia natural quartzosa de origem fluvial substituindo parcialmente a argila expandida (em 40% da massa total do agregado), com objetivo de otimizar a composição granulométrica do agregado. Com isso, procurou-se melhorar as características e propriedades dos microconcretos, tais como, trabalhabilidade, consumo de cimento e resistência mecânica, sem prejudicar demasiadamente as propriedades de leveza do material. Nas dosagens utilizou-se sempre um aditivo superplastificante acelerador, tipo SPA de acordo com a NBR-11768.

Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 75 mm x 150 mm com base em pesquisas anteriormente desenvolvidas por AGNESINI & SILVA (1994 e 1996).

3 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EMPREGADOS

3.1. Cimento Portland

Na produção dos microconcretos foi empregado cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI). As características físicas e mecânicas deste cimento, prescritas pela NBR-5733, estão representadas na tabela 1.

Tabela 1: Características do cimento CPV-ARI

Características e Propriedades		Un.	CPV-ARI	
			S/aditivo	C/SPA
Finura	Resíduo # 200 (NBR-11579)	%	0,3	
	Sup. Esp. Blaine (NBR-7224)	m ² /kg	451	
Tempo de pega	Início (NBR-11581)	min	128	110
	Fim (NBR-11581)	min	190	170
Expansibilidade à quente (NBR-11582)		mm	-	
f _{cj} (NBR-7215)	1dia	MPa	28,4	
	3 dias	MPa	42,3	
	7dias	MPa	46,7	
	28 dias	MPa	55,1	

Fonte: CIMINAS S.A.(1995)

3.2. Agregado miúdo

3.2.1. Argila expandida

O agregado leve utilizado foi a argila expandida “Cinasita 500” produzida pela Cinasita S.A – Indústria e Comércio, apresentando as seguintes características:

- Composição granulométrica: o resultado obtido no ensaio de granulometria (NBR-7217) está representado na tabela 2.
- Substâncias nocivas: a argila expandida utilizada neste pesquisa não apresentou, segundo a EB-230, teores excessivos de impurezas orgânicas, torrões de argila, perda ao fogo e manchamento.
- Índices físicos : massa específica (NBR-9776) = 1,26 kg/dm³, massa unitária no estado solto (NBR-7251) = 0,71 kg/dm³.
- Absorção (NBR-9777): índice de absorção após 1 hora igual a 2,8 %, e após 24 horas igual a 7,2%.

Tabela 2: Ensaio de granulometria da argila expandida

Peneira (#) (mm)	Porcentagem Retida acumulada (%)
9,5	0
6,3	1
4,8	18
2,4	70
1,2	87
0,6	96
0,3	98
0,15	99
Resíduo	100
Dimensão máxima característica: $\phi_{\text{máx}} = 6,3 \text{ mm}$ (NBR-7211)	
Módulo de finura: MF = 5,68 (NBR-7211)	

3.2.2. Areia Natural

Na dosagem de alguns traços de microconcretos foi utilizada areia natural quartzosa, proveniente do Rio Mogi-Guaçu – Município de São Carlos – SP, apresentando as seguintes características:

- Composição granulométrica: o resultado do ensaio de granulometria da areia (NBR-7217) está indicado na tabela 3.
- Substâncias nocivas: o agregado miúdo preencheu todos os requisitos da norma NBR-7211, quanto à presença de substâncias nocivas aos microconcretos.
- Índices físicos: massa específica (NBR-9776) = 2,63 kg/dm³, massa unitária no estado solto – areia seca(NBR-7251) = 1,52 kg/dm³.
- Forma dos grãos: numero de angulosidade médio (British Standard – BS 812) = 6,5 e índice de esfericidade médio = 0,60

3.2.3 Agregado composto por 60% de argila expandida e 40% de areia (em massa)

- Composição granulométrica: o resultado do ensaio de granulometria (NBR-7217) está representado na tabela 4.
- Massa unitária em estado compactado seco (NBR-7810) = 1000 kg/m³

Tabela 3: Ensaio de granulometria da areia natural quartzosa

Peneiras (#) (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
9,5	1
6,3	1
4,8	3
2,4	5
1,2	13
0,6	38
0,3	82
0,15	99
Resíduo	100
Dimensão máxima característica: $\phi_{\text{máx}} = 2,4 \text{ mm}$ (NBR-7211) Módulo de finura: MF = 2,40 (NBR-7211) Classificação NBR-7211: areia fina (zona 2)	

Tabela 4: Ensaio de granulometria do agregado composto em massa por argila expandida (60%) e areia (40%)

Peneira (#) (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
9,5	0
6,3	1
4,8	10
2,4	40
1,2	65
0,6	78
0,3	93
0,15	99
Resíduo	100
Dimensão máxima característica: $\phi_{\text{máx}} = 6,3 \text{ mm}$ (NBR-7211) Módulo de finura: MF = 3,85 (NBR-7211) Classificação NBR-7211: zona 4	

3.3. Aditivo

O aditivo utilizado nesta pesquisa foi o superplastificante acelerador com elevado efeito redutor de água, tipo SPA segundo a classificação da ABNT (NBR-11768), fabricado pelas Empresas do Grupo HolderBank, Címinas S.A e H^c Holderchem.

3.4. Adição

A adição utilizada foi a sílica ativa procedente da fábrica de Sorocaba-SP, da empresa Ciminias S.A – Grupo Holderbank, apresentando as seguintes características: Teor de sílica = 85%, Superfície específica = $15,2 \text{ m}^2/\text{g}$, Massa específica = $2,22 \text{ kg/dm}^3$.

4 – DOSAGEM DOS MICROCONCRETOS

Os traços dos microconcretos leves foram determinados através de uma metodologia inteiramente experimental. Através desses traços e suas respectivas relações a/c foram traçadas as funções $f_{cj} = F(a/c)$ para microconcretos de várias idades.

Inicialmente tentou-se dosar os microconcretos adotando-se consistências fixadas pelo espalhamento de $160 \pm 10 \text{ mm}$ (NBR-7215) e teores de água/materiais secos (A%) em torno de 20%. Durante a execução desses microconcretos apareceram problemas de adensamento devido a baixa trabalhabilidade das misturas e após a desforma dos corpos-de-prova foram notadas muitas falhas em suas superfícies. Assim, novos experimentos foram realizados, desta vez utilizando-se consistências em torno de $200 \pm 10 \text{ mm}$ e teores água/materiais secos mais elevados (em média 24%). Os microconcretos com areia substituindo parcialmente a argila expandida necessitaram teores de água/materiais secos menores que os sem areia. Nestes microconcretos obteve-se uma melhor composição granulométrica e utilizou-se menor quantidade de argila na mistura, diminuindo-se, portanto, a absorção de água. Com o aumento dos teores água/materiais secos foram obtidas misturas com ótima trabalhabilidade. Os corpos-de-prova moldados com estas misturas não apresentaram defeitos no acabamento e dificuldades de adensamento, obtendo-se nos ensaios excelentes resultados para as resistências à compressão.

Por outro lado, notou-se que a sílica ativa melhorou significativamente as características de trabalhabilidade das misturas (coesão e plasticidade). Devido a retenção de água pela sílica ativa, verificou-se uma substancial redução da absorção pela argila expandida.

Para todos os traços foram utilizados 10% de sílica ativa e 1,5% de aditivo superplastificante, em relação à massa de cimento. Estas proporções otimizadas foram anteriormente empregadas por AGNESINI & SILVA (1997) em dosagens de microconcretos.

Quando da utilização da areia natural substituindo parcialmente a argila expandida, foram realizados ensaios iniciais variando-se as proporções desses agregados. A mistura de 60% de argila expandida e 40% de areia natural foi a que trouxe melhores resultados considerando-se o fator de eficiência, como também o consumo de cimento.

Na produção dos microconcretos leves foram utilizados três tipos de dosagens, especificadas nas tabelas 5, 6 e 7, com seus respectivos traços.

O consumo de cimento dos microconcretos, para todas as dosagens, foram determinados experimentalmente através dos valores obtidos para as massas específicas das misturas frescas (NBR-9833).

5 – PRODUÇÃO DOS MICROCONCRETOS

Empregando-se os traços e dosagens indicados nas tabelas 5, 6 e 7, foram moldados,, segundo a NBR-5738, 5 corpos-de-prova cilíndricos de dimensão 75mm x 150 mm para microconcretos ensaiados com 1, 3 e 28 dias de idade. As misturas foram realizadas utilizando-se um misturador do tipo planetário.

Primeiramente foram colocados o cimento e a areia (quando utilizada) com parte da água; depois adicionou-se a lama formada pela sílica ativa, o restante da água e o superplastificante; e por último juntou-se a argila expandida.

A argila expandida foi adicionada por último, adotando-se o método sugerido por ARMELIN et al. (1994) com o objetivo de reduzir-se a absorção de água. Segundo os mesmos, este método mantém a trabalhabilidade da mistura por aproximadamente duas horas sem a necessidade da redosagem do superplastificante.

Logo após a mistura a massa foi colocada nas fôrmas e adensada em mesa vibratória com aplicação de duas camadas. Após a desforma (24 horas após a moldagem) os corpos-de-prova foram colocados em câmara úmida até as datas de seus respectivos ensaios.

Tabela 5: DOSAGEM I - Traços em massa dos microconcretos com CPV-ARI, argila expandida e aditivo SPA (1,5%)

Cimento : Argila (kg/kg)	a/c (kg/kg)	a/(c+sa) (kg/kg)	Consumo de Cimento (kg/m³)
1:0,15	0,30	-	1324
1:0,40	0,35	-	966
1:0,67	0,40	-	781
1:0,96	0,45	-	635
1:1,22	0,50	-	548
1:1,50	0,55		483

Tabela 6: DOSAGEM II - Traços em massa dos microconcretos com CPV-ARI, argila expandida, sílica ativa (10%) e aditivo SPA (1,5%)

Cimento : Argila (kg/kg)	a/c (kg/kg)	a/(c+sa) (kg/kg)	Consumo de Cimento (kg/m ³)
1:0,15	0,33	0,30	1207
1:0,40	0,37	0,34	944
1:0,67	0,42	0,38	741
1:0,96	0,48	0,44	613
1:1,22	0,54	0,50	534
1:1,50	0,62	0,56	454

Tabela 7: DOSAGEM III -Traços em massa dos microconcretos com CPV-ARI, agregado composto por argila expandida (60%) e areia (40%), sílica ativa (10%) e aditivo SPA (1,5%).

Cimento : Argila (kg/kg)	a/c (kg/kg)	a/(c+sa) (kg/kg)	Consumo de Cimento (kg/m ³)
1:0,15	0,34	0,31	1225
1:0,67	0,40	0,36	841
1:0,96	0,44	0,40	708
1:1,22	0,47	0,43	619
1:1,75	0,51	0,46	508
1:2,00	0,57	0,52	455

6 – RESULTADOS OBTIDOS

Nas tabelas de 8, 9 e 10 e nas figuras de 1, 2, 3, 4 e 5 são indicados os valores médios verificados para a resistência à compressão (NBR-5739), massa específica (NBR-9778) e fator de eficiência dos vários microconcretos ensaiados. Os fatores de eficiência foram determinados através da relação entre resistência à compressão e massa específica, obtidos para microconcretos com 28 dias de idade.

Tabela 8: Propriedades dos microconcretos com CPV-ARI, argila expandida e aditivo SPA (1,5%) – DOSAGEM I

Traço (massa)	f _{c1} (MPa)	f _{c3} (MPa)	f _{c28} (MPa)	Massa específica (kg/m ³)	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg)
1:0,15: x=0,30	40,9	53,2	58,0	1754	33,1
1:0,40: x=0,35	39,0	45,2	49,3	1540	32,0
1:0,67: x=0,40	33,7	44,5	45,2	1450	31,2
1:0,96: x=0,45	24,7	36,4	40,0	1360	29,4
1:1,22: x=0,50	15,2	31,6	38,0	1320	28,8
1:1,50: x=0,55	12,8	26,0	34,1	1280	26,6

Tabela 9: Propriedades dos microconcretos com CPV-ARI, argila expandida, sílica ativa (10%) e aditivo SPA (1,5%) – DOSAGEM II

Traço (massa)	f _{c1} (MPa)	f _{c3} (MPa)	f _{c28} (MPa)	Massa Específica (kg/m ³)	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg)
1:0,15: x=0,33	61,4	60,2	72,0	1700	42,4
1:0,40: x=0,37	53,3	55,4	66,5	1560	42,6
1:0,67: x=0,42	47,6	49,2	62,0	1530	40,5
1:0,96: x=0,48	39,3	44,0	56,3	1410	39,9
1:1,22: x=0,54	32,8	39,2	52,0	1370	38,0
1:1,50: x=0,62	22,8	34,0	46,5	1300	35,8

Tabela 10: Propriedades dos microconcretos com CPV-ARI, agregado composto por argila expandida (60%) e areia (40%), sílica ativa (10%) e aditivo SPA (1,5%) – DOSAGEM III

Traço (massa)	f _{c1} (MPa)	f _{c3} (MPa)	f _{c28} (MPa)	Massa Específica (kg/m ³)	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg)
1:0,15: x=0,34	51,2	62,0	73,4	1720	42,7
1:0,67: x=0,40	46,1	56,6	68,3	1660	41,1
1:0,96: x=0,44	41,9	54,3	66,2	1640	40,4
1:1,22: x=0,47	37,4	52,2	62,8	1610	39,0
1:1,75: x=0,51	32,8	48,3	59,2	1590	37,2
1:2,00: x=0,57	25,0	42,8	54,6	1547	35,3

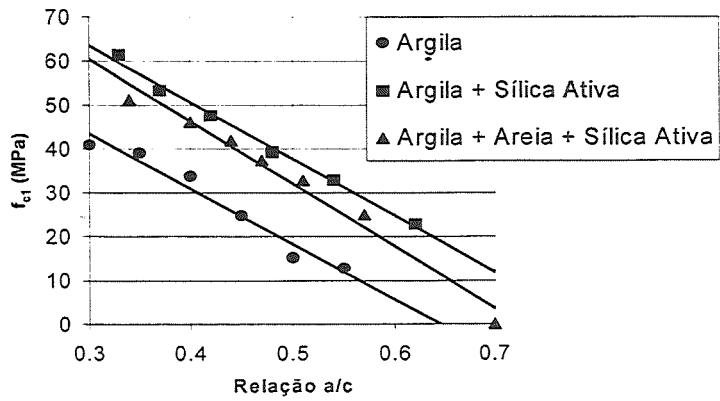


Figura 1: Resistência à compressão – Microconcretos com 1 dia de idade

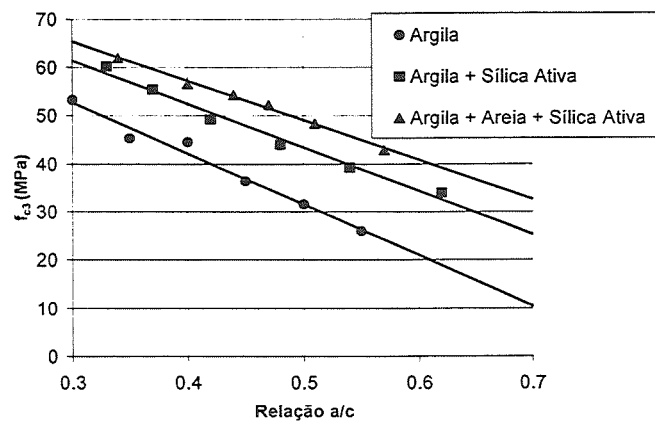


Figura 2: Resistência à compressão – Microconcretos com 3 dias de idade

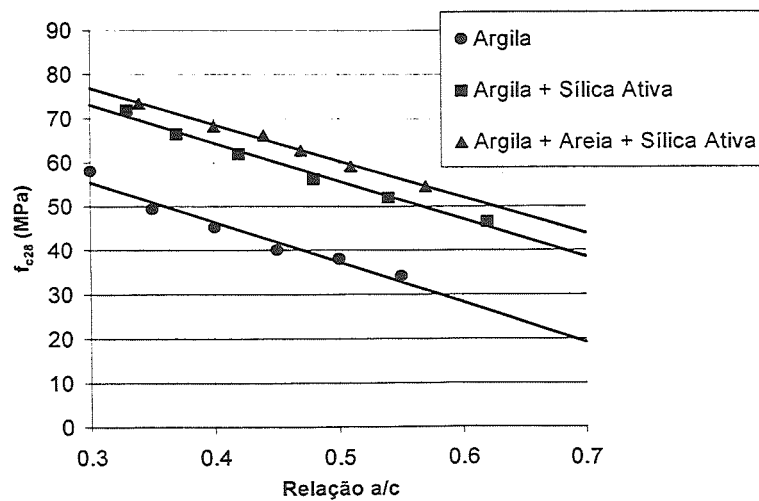


Figura 3: Resistência à compressão – Microconcretos com 28 dias de idade

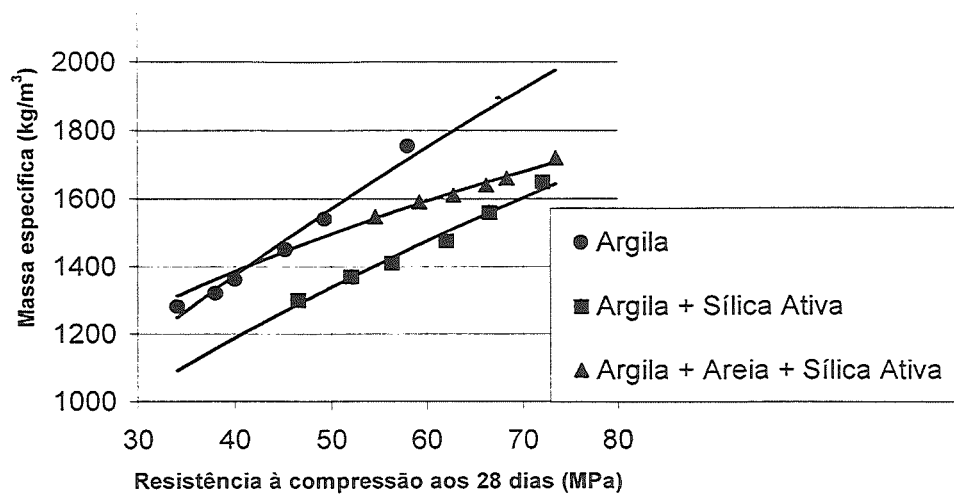


Figura 4: Relação entre massa específica e resistência à compressão dos microconcretos aos 28 dias

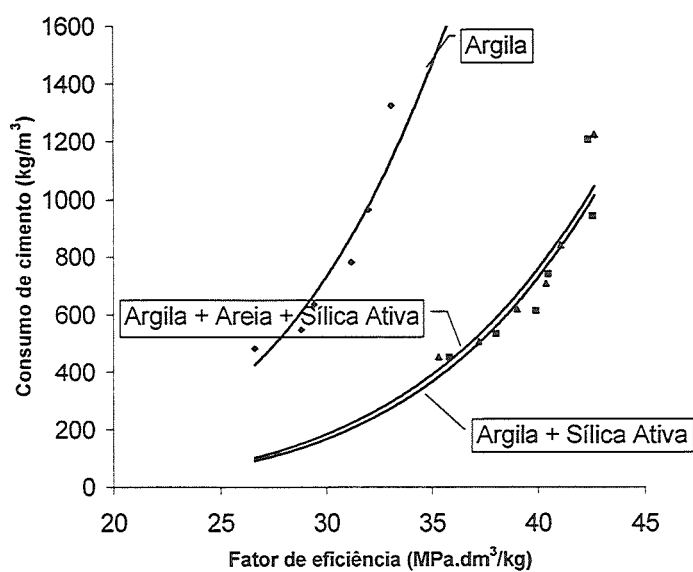


Figura 5: Relação entre consumo de cimento e fator de eficiência aos 28 dias dos microconcretos

7 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos na pesquisa e com o auxílio dos gráficos elaborados, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Os microconcretos leves ensaiados podem ser considerados de alto desempenho, pois como mostram as tabelas 8, 9 e 10, os mesmos apresentam fatores de eficiência significativamente acima do limite considerado ($25 \text{ MPa} \cdot \text{dm}^3/\text{kg}$), ou seja, variando de 36 a $42 \text{ MPa} \cdot \text{dm}^3/\text{kg}$ para os microconcretos com argila e sílica ativa (DOSAGEM II); de 35 a $43 \text{ MPa} \cdot \text{dm}^3/\text{kg}$ para os microconcretos com argila, areia e sílica ativa (DOSAGEM III) e de 27 a $33 \text{ MPa} \cdot \text{dm}^3/\text{kg}$ para os microconcretos só com argila expandida (DOSAGEM I).
- Através das tabelas 8, 9 e 10 pode-se afirmar que a inclusão de sílica ativa traz consideráveis incrementos de resistência mecânicas em todas as idades. Porém, embora vários pesquisadores citem que o maior desenvolvimento das resistências mecânicas de concretos com sílica ativa ocorre em idades mais avançadas (entre 3 e 28 dias), verificou-se que a resistência à compressão no 1º dia de idade tem um grande incremento com a adição do material, conforme mostra a figura 1 e as tabelas 8, 9 e 10. As resistências aumentaram, em média, 46% para 1 dia, 28% para 3 dias e 41% para 28 dias de idade. Nota-se, também, que os microconcretos referentes à DOSAGEM III (argila, areia e sílica ativa) apresentam, para os traços mais pobres, resistências mais elevadas que os demais microconcretos. Verifica-se, ainda, que as resistências à compressão dos microconcretos dosados com argila, areia e sílica ativa, são cerca de 10% superiores às verificadas aos 3 e 28 dias, relativamente aos valores obtidos para os traços sem o agregado normal.
- A partir da figura 4 conclui-se que os microconcretos que utilizam apenas argila expandida e sílica ativa (sem areia) apresentam melhor desempenho, no que se refere ao fator de eficiência, em relação aos microconcretos com sílica ativa e areia e os sem sílica ativa. Assim, para qualquer nível de resistência à compressão, os microconcretos referentes à DOSAGEM II (sem areia e com sílica ativa) sempre resultam em menor massa específica. Por exemplo, para $f_{c28} = 60 \text{ MPa}$, as massas específicas obtidas para as diferentes dosagens foram: 1450 kg/m^3 (argila e sílica ativa); 1600 kg/m^3 (argila, areia e sílica ativa) e 1750 kg/m^3 (só argila).
- Com relação ao consumo de cimento (figura 5) constata-se que os microconcretos referentes à DOSAGEM II (argila e sílica ativa) e à DOSAGEM III (argila, areia e sílica ativa) apresentam consumos de cimento semelhantes para os mesmos valores do fator de eficiência. Porém, os microconcretos referentes à DOSAGEM I (só argila) resultam em consumos de cimento bem mais elevados para os mesmos níveis de fator de eficiência. Por exemplo, considerando-se um fator de eficiência em torno de $35 \text{ MPa} \cdot \text{dm}^3/\text{kg}$ observam-se os seguintes consumos: microconcretos com sílica ativa = 400 kg/m^3 ; microconcretos sem sílica ativa = 1400 kg/m^3 .

8 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE DOSAGEM DO CLAD

Com base nos resultados encontrados nesta pesquisa, apresenta-se a seguir um caso prático ilustrativo de dosagem do CLAD.

Para um concreto com $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$, tem-se:

$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d$

Para $S_d = 4$ (considerando a condição A – ABNT)

$f_{c28} = 50 + 1,65 \times 4 = 56,6 \text{ MPa}$

Na figura 3 obtêm-se, para as três dosagens, as respectivas relações a/c indicadas na tabela 11. Através das tabelas 5 a 10 determinam-se as demais propriedades mostradas na mesma tabela.

Tabela 11: Propriedades dos microconcretos para $f_{ck} = 50 \text{ Mpa}$

Dosagem	a/c (figura 3)	Traço (massa)	C. Cimento (kg/m³)	M. Específica (kg/m³)	F. Eficiência (MPa.dm³/kg)
DOSAGEM I	0,30	1:0,15	1324	1754	36,5
DOSAGEM II	0,50	1:1,05	587	1400	39,0
DOSAGEM III	0,55	1:1,92	473	1560	36,0

9 - CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos na pesquisa e a análise apresentada no item 7 do presente trabalho, pode-se afirmar:

- Os microconcretos estudados podem ser classificados como sendo de alto desempenho, quando aplicados em pré-fabricados de pequena espessura, pois resultam em altos fatores de eficiência (acima de 25 MPa.dm³/kg), como também elevadas resistências mecânicas finais e iniciais (de grande importância para este tipo de aplicação).
- A presença de sílica ativa é indispensável, pois traz significativas melhorias na trabalhabilidade, substancial incremento de resistência mecânica em todas as idades, aumento do fator de eficiência, bem como, grande redução no consumo de cimento para produção dos microconcretos leves de alto desempenho.

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNESINI, M.V.C.; SILVA, L.F. e.(1994) Controle da resistência à compressão do concreto: estudo da utilização de corpos-de-prova cilíndricos de dimensões reduzidas. In: REUNIÃO DO IBRACON, 36, Porto Alegre, 1994. *Anais*. Rio Grande do Sul, p. 897-910.
- AGNESINI, M.C.; SILVA, L.F. e. (1996a). Dosagem de microconcretos de elevado desempenho - estudo de caso. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH - PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES. Florianópolis, 1996. *Anais*. Santa Catarina, p.167-177.
- AGNESINI, M.C.; SILVA, L.F. e (1996b). Elementos pré-fabricados de pequena espessura – estudo de dosagem de microconcretos de alto desempenho. In: REUNIÃO DO IBRACON, 38, Ribeirão Preto, 1995. *Anais*. São Paulo, p.739-750
- AGNESINI, M.C; SILVA, L.F. e.(1997). Concretos de alto desempenho – estudo de dosagem de microconcretos para pré-fabricados de pequena espessura. In: JORNADA SUL-AMERICANA DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28, São Carlos, 1997. *Anais*. São Carlos, EESC/USP, 1997, v.5, p.1985-1993.
- ARMELIN, H.; LIMA, M.G.; SELMO, S.M.S. (1994). Alta resistência com argila expandida: propriedades de concretos leves de alta resistência com argila expandida nacional. *Revista Ibracon*. Ano Iv, n.9, p.42-47, ago/set.
- CIMINAS S.A.(1995) Relatório semanal de ensaios de cimento. Emissão 14/09/95
- HOLM, T.A.; BREMNER, T.W.(1995). High strength lightweight aggregate concrete. In: SHAH, S.P.; AHMAD, S.H. ed. *High performance concrete: properties and applications*. New York, McGraw-Hill. Cap. 10, p.341-374.
- SPITZNER, J. (1991). High-Strength LWA Concrete. In: HIGH - STRENGTH CONCRETE – RILEM. Cap. II: Aggregates.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas do Grupo Holderbank, Ciminias S.A. e H^c Holderchem pela doação do cimento, sílica ativa e aditivo, permitindo a realização desta pesquisa de forma plenamente satisfatória.