

## **Estudo comparativo de adições para betões auto-compactáveis**



**Miguel  
Nepomuceno<sup>1</sup>**



**Luiz Oliveira<sup>2</sup>**



**Sérgio Lopes<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

O artigo descreve a análise comparativa dos resultados obtidos em argamassas adequadas à produção de betões auto-compactáveis quando se utilizaram associações binárias e ternárias de materiais finos, que combinaram, em diferentes percentagens de substituição, dois cimentos e quatro adições: filer calcário, cinzas volantes, sílica de fumo e filer granítico. As misturas binárias de materiais finos combinaram os cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L32,5N) com as adições de cinzas volantes, filer calcário e filer granítico. As misturas ternárias de materiais finos combinaram a microsílica com cada uma das restantes adições e com o cimento (CEM I 42,5R). Para cada mistura de materiais finos foram produzidas argamassas com diferentes razões entre os volumes absolutos de materiais finos e de agregados finos ( $V_p/V_s$ ). As dosagens de água ( $V_w/V_p$ ) e de superplastificante ( $Sp/p\%$ ) foram ajustadas experimentalmente até que todas as argamassas apresentassem aproximadamente o mesmo comportamento reológico, avaliado em termos de área de espalhamento relativa ( $G_m$ ) e velocidade relativa de escoamento ( $R_m$ ). O estudo permitiu avaliar a influência das adições nas dosagens de água e superplastificante necessárias à obtenção das propriedades reológicas adequadas. Adicionalmente, foi possível correlacionar, para diferentes razões  $V_p/V_s$ , a resistência à compressão das argamassas com a razão água/cimento e a percentagem de substituição do cimento pela adição.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Betão auto-compactável, argamassas, estudo da composição, reologia, resistência à compressão.

<sup>1</sup> Universidade da Beira Interior, Centre of Materials and Building Technologies, 6200-001 Covilhã, Portugal. [mcsn@ubi.pt](mailto:mcsn@ubi.pt)

<sup>2</sup> Universidade da Beira Interior, Centre of Materials and Building Technologies, 6200-001 Covilhã, Portugal. [luiz.oliveira@ubi.pt](mailto:luiz.oliveira@ubi.pt)

<sup>3</sup> Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, 3030-290 Coimbra, Portugal. [sergio@dec.uc.pt](mailto:sergio@dec.uc.pt)

## **1. INTRODUÇÃO**

A adição do tipo I (quase inerte) mais utilizada em betões auto-compactáveis é o fíler calcário. Esta adição tem sido utilizada em substituição parcial do cimento, com benefícios nas propriedades reológicas do betão [1]. Em grandes massas de betão auto-compactável, onde podem ocorrer fissuras por gradientes térmicos, a utilização de fíler calcário em percentagens elevadas de substituição pode ser útil para inibição do aumento da temperatura do betão [1]. As adições do tipo II (pozolânicas ou hidráulicas latentes), incluem, entre outras, as escórias granuladas de alto forno de elevada finura, as cinzas volantes e a sílica de fumo. De entre estas, as cinzas volantes são as mais frequentemente usadas, oferecendo melhorias na trabalhabilidade do betão pelo efeito de rolamento proporcionado pela forma esférica das suas partículas. Estudos em argamassas adequadas à produção de betões auto-compactáveis com propriedades semelhantes de escoamento (espalhamento e fluidez) revelaram que as cinzas volantes, à semelhança do fíler calcário, quando usadas em substituição parcial do cimento, permitiram uma redução das dosagens de superplastificante (à base de carboxilatos modificados) comparativamente às misturas em que o único material fino foi o mesmo cimento [2]. Contrariamente, o uso de sílica de fumo tem mostrado consumos de superplastificante muito mais elevados [2, 3].

O presente estudo traduz a primeira fase de um projecto mais alargado relativo à metodologia da composição de betões auto-compactáveis [4]. Neste estudo avaliou-se a relação entre os parâmetros da mistura, a reologia e a resistência à compressão quando se utilizaram associações binárias e ternárias de materiais finos, que combinaram dois cimentos e quatro adições. As argamassas apresentaram resistências entre os 25 MPa e os 95 MPa, possuindo em comum o mesmo comportamento reológico, adequado à obtenção de betões auto-compactáveis. As propriedades reológicas foram definidas de forma a incluir várias propostas para além daquela apresentada por Okamura et al. [1,5,6,7]. Foi estabelecida uma metodologia experimental para obtenção das propriedades adequadas do escoamento e foi introduzido um parâmetro para contabilizar a relação em volume absoluto entre as dosagens de materiais finos e de agregados finos ( $V_p/V_s$ ). Foram utilizadas associações binárias e ternárias de materiais finos, que combinaram dois tipos de cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N) e quatro adições: fíler calcário, cinzas volantes, sílica de fumo e fíler granítico, este último proveniente de desperdícios industriais e utilizado a título experimental. A análise foi direccionada para os betões do tipo finos (onde a viscosidade é conseguida com recurso a uma grande quantidade de materiais finos) e apenas foram avaliados os aspectos físicos e mecânicos do seu comportamento. A metodologia adoptada, que permitiu comparar as várias adições, traduziu-se nas seguintes etapas: selecção e caracterização dos materiais utilizados; definição de curvas granulométricas de referência para os agregados finos; selecção das associações de materiais finos e estudos em argamassas.

## **2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **2.1 Materiais utilizados**

Os ligantes utilizados incluíram um cimento portland (CEM I 42,5R) com massa volúmica de 3140 kg/m<sup>3</sup> e um cimento portland de calcário (CEM II/B-L32,5N), com massa volúmica de 3040 kg/m<sup>3</sup>. As adições incluíram o fíler calcário com massa volúmica de 2720 kg/m<sup>3</sup>, o fíler granítico com massa volúmica de 2650 kg/m<sup>3</sup>, as cinzas volantes com massa volúmica de 2380 kg/m<sup>3</sup> e a microssílica com massa volúmica de 2170 kg/m<sup>3</sup>. Foi utilizado um superplastificante à base de carboxilatos modificados com massa volúmica de 1050 kg/m<sup>3</sup>.

Os agregados finos resultaram da mistura de duas areias, na proporção em volume absoluto de 40% de Areia 01 e 60% de Areia 05. A Areia 01 é uma areia muito fina, com massa volúmica de 2590 kg/m<sup>3</sup>, baridade seca compactada de 1490 kg/m<sup>3</sup> e módulo de finura de 1,49. A Areia 05 é uma areia de grão intermédio rolado do rio, com massa volúmica de 2610 kg/m<sup>3</sup>, baridade seca compactada de 1570 kg/m<sup>3</sup> e módulo de finura de 2,705. As proporções entre a Areia 01 e a Areia 05 mantiveram-se fixas em todo o estudo. A baridade da mistura foi de 1598 kg/m<sup>3</sup> e o módulo de finura de 2,220.

## 2.2 Proporções das misturas de materiais finos

Foram estabelecidas associações binárias e ternárias de materiais finos combinando os dois cimentos e as quatro adições. As associações binárias são ilustradas no Quadro 1, enquanto que as ternárias são ilustradas no Quadro 2. Cada mistura é identificada por uma sigla que traduz a dosagem dos materiais finos constituintes. Assim, por exemplo, no Quadro 1, a sigla (80C2+20FC) representa uma mistura de materiais finos cujo volume absoluto total é constituído em 80% por cimento do tipo CEM II/B-L32,5N e em 20% por filer calcário. As outras siglas possuem o seguinte significado: C1 - cimento portland CEM I 42,5R, FG - filer granítico; CV - cinzas volantes; MS - microssilica.

Quadro 1 - Misturas binárias de cimentos e adições para a composição dos finos

Misturas ▼		Materiais ▶	Cimento		Adições		
			CEM I 42,5R (C1)	CEM II/B L32,5N (C2)	Cinza volante (CV)	Filer calcário (FC)	Filer granítico (FG)
Ref.	1	100C2	---	fc2= 1,00	---	---	---
Misturas Binárias	2	80C2+20FC	---	fc2= 0,80	---	ffc= 0,20	---
	3	80C2+20FG	---	fc2= 0,80	---	---	ffg= 0,20
	4	80C2+20CV	---	fc2= 0,80	fcv= 0,20	---	---
	14	60C2+40FC	---	fc2= 0,60	---	ffc= 0,40	---
	15	50C2+50FC	---	fc2= 0,50	---	ffc= 0,50	---
Ref.	5	100C1	fc1= 1,00	---	---	---	---
Misturas Binárias	6	70C1+30FC	fc1= 0,70	---	---	ffc= 0,30	---
	7	70C1+30FG	fc1= 0,70	---	---	---	ffg= 0,30
	8	70C1+30CV	fc1= 0,70	---	fcv= 0,30	---	---
	9	60C1+40FC	fc1= 0,60	---	---	ffc= 0,40	---
	10	60C1+40FG	fc1= 0,60	---	---	---	ffg= 0,40
	11	60C1+40CV	fc1= 0,60	---	fcv= 0,40	---	---
	12	50C1+50FC	fc1= 0,50	---	---	ffc= 0,50	---
13	40C1+60FC	fc1= 0,40	---	---	ffc= 0,60	---	

Quadro 2 - Misturas ternárias de cimentos e adições para a composição dos finos

Misturas ▼		Materiais ▶	Cimento	Adições			
			CEM I 42,5R (C1)	Cinza volante (CV)	Microssilica (MS)	Filer calcário (FC)	Filer granítico (FG)
Ref.	I	93C1+7MS	fc1= 0,93	---	fms= 0,07	---	---
Misturas ternárias	II	65C1+5MS+30FC	fc1= 0,65	---	fms= 0,05	ffc= 0,30	---
	III	65C1+5MS+30FG	fc1= 0,65	---	fms= 0,05	---	ffg= 0,30
	IV	65C1+5MS+30CV	fc1= 0,65	fcv= 0,30	fms= 0,05	---	---
	V	56C1+4MS+40FC	fc1= 0,56	---	fms= 0,04	ffc= 0,40	---
	VI	56C1+4MS+40FG	fc1= 0,56	---	fms= 0,04	---	ffg= 0,40
	VII	56C1+4MS+40CV	fc1= 0,56	fcv= 0,40	fms= 0,04	---	---

## 2.3 Estudos em argamassas

Os parâmetros para o estudo das argamassas incluíram a definição da mistura de materiais finos, Vp/Vs (relação em volume absoluto entre os materiais finos e os agregados finos), Vw/Vp (relação em volume absoluto entre a água e os materiais finos) e Sp/p% (relação em percentagem entre as dosagens em massa de superplastificante e de materiais finos). Desprezou-se o volume de vazios no cálculo da argamassa e a contribuição para o volume de materiais finos proveniente dos agregados.

As argamassas produzidas combinaram cada mistura de materiais finos definida nos Quadros 1 e 2, com diferentes valores de Vp/Vs. O parâmetro Vp/Vs variou entre 0,60 e 0,80, em intervalos de 0,05. Para cada combinação entre a mistura de materiais finos e Vp/Vs, foram produzidas argamassas fazendo variar os parâmetros Vw/Vp e Sp/p% até que fossem obtidas as propriedades reológicas pretendidas. Para as misturas que cumpriram estes requisitos foram moldados 4 provetes cúbicos de 50 mm de aresta para serem ensaiados à compressão aos 28 dias de idade.

O procedimento de amassadura foi similar àquele proposto por Domone et al. [2], excepto uma pequena paragem introduzida para limpeza das pás da misturadora. Todos os componentes secos e a totalidade da água são introduzidos na misturadora e procede-se à amassadura a velocidade normal durante seis minutos, seguida de uma paragem de dois minutos e, novamente, uma amassadura de um minuto a velocidade normal. O superplastificante entra na mistura um minuto após o seu início e sem paragem da misturadora. A paragem para limpeza das pás ocorre a meio da primeira fase de mistura.

As propriedades reológicas foram avaliadas pelo ensaio de espalhamento e de fluidez, expressos, respectivamente, pela área de espalhamento relativa (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm). O cone de espalhamento e o funil-v possuem as dimensões interiores que se ilustram na Fig. 1. O valor de (Gm) é obtido pela Eq. (1), enquanto que (Rm) é obtido pela Eq. (2). A sigla (Dm) significa o diâmetro médio de espalhamento, em mm; a sigla (D<sub>0</sub>) o diâmetro inicial na base do cone, em mm, enquanto que (t) representa o tempo de escoamento, em segundos. O intervalo de variação admissível para Gm e Rm foi definido pelos valores de Gm entre 5,3 e 5,9 e de Rm entre 1,14 e 1,30 s<sup>-1</sup>, a que correspondem, respectivamente, valores de Dm entre 251 e 263 mm e de t entre 7,69 e 8,77 s.

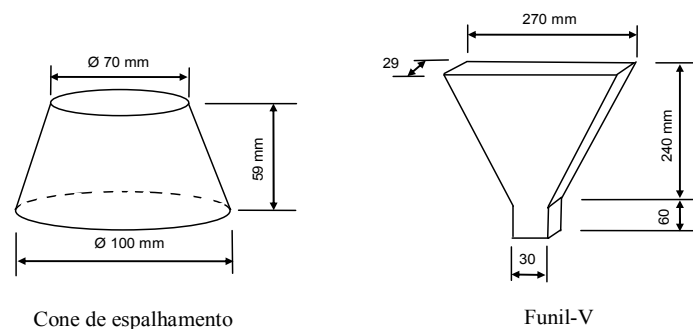


Figura 1 – Dimensões interiores do cone de espalhamento e do funil-v para argamassas

$$Gm = \left( \frac{Dm}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (1)$$

$$Rm = \frac{10}{t} \quad (2)$$

### 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1 Correlação entre os parâmetros da composição das argamassas

##### 3.1.1 Misturas binárias de materiais finos

A Figura 2 mostra a relação entre V<sub>w</sub>/V<sub>p</sub> e V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> para todas as misturas binárias produzidas. Em geral observou-se em cada família de argamassas, que o aumento de V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> conduz a menores razões V<sub>w</sub>/V<sub>p</sub>. Observa-se ainda que, nas misturas com igual valor de V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>, o mesmo tipo de cimento e adição, a razão V<sub>w</sub>/V<sub>p</sub> diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento por essa adição, quando essa adição é constituída por fíler calcário ou cinzas volantes. Outros resultados obtidos neste trabalho, que não foi possível mostrar graficamente neste artigo, indicam que as famílias de argamassas cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento e aquelas em que este cimento foi substituído, em parte, por fíler granítico, registaram os maiores consumos de água (em valor absoluto), destacando-se claramente das argamassas em que o mesmo cimento foi parcialmente substituído por fíler calcário ou cinzas volantes. Por outro lado, parece evidenciar-se o facto de que os consumos de água das misturas com fíler granítico igualam sempre o consumo de água das misturas só com cimento, independentemente da percentagem de substituição do cimento por fíler granítico.

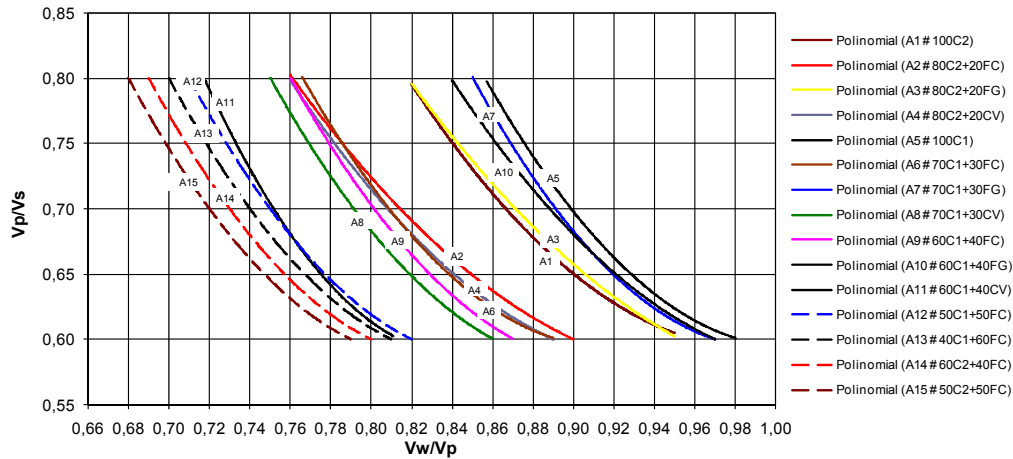


Figura 2 – Relação  $V_p/V_s$  versus  $V_w/V_p$  para todas as famílias de argamassas

A Figura 3 mostra as relações entre  $V_w/V_p$  e  $S_p/p\%$ . Nesta figura observa-se que, em cada família de argamassas, a dosagem de superplastificante em percentagem, expressa em termos de  $S_p/p\%$ , sofre alterações pouco significativas com a variação de  $V_w/V_p$  ou, indirectamente, com a variação de  $V_p/V_s$ , considerando o intervalo de valores avaliado. Em misturas com o mesmo tipo de cimento e de adição, verificou-se que a dosagem de superplastificante, expressa por  $S_p/p\%$  (percentagem), tende a diminuir quando a percentagem de substituição do cimento pela adição aumenta.

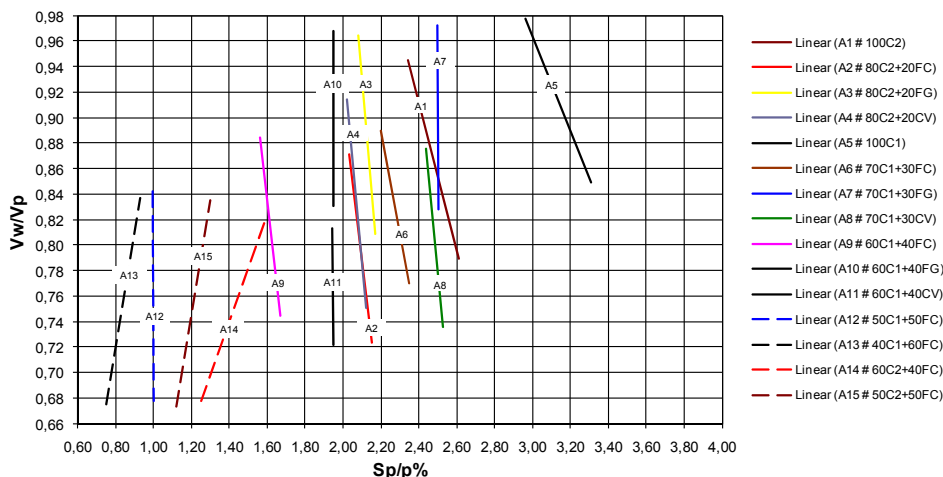


Figura 3 – Relação  $V_w/V_p$  versus  $S_p/p\%$  para todas as famílias de argamassas

Outros resultados obtidos neste trabalho, que não foi possível ilustrar graficamente neste artigo, indicam que para o mesmo cimento e igual razão ( $V_p/V_s$ ), as famílias de argamassas com a mesma percentagem de substituição do cimento pela adição revelaram consumos de superplastificante similares em valor absoluto, independentemente do tipo de adição: cinzas volantes, filer calcário ou filer granítico, sendo essa similitude mais evidente para as adições de cinzas volantes e filer granítico. O maior consumo de superplastificante ocorreu nas famílias de argamassas de referência em que os materiais finos continham apenas cimento. Estes resultados diferem ligeiramente dos obtidos por Ho et al. [8] que apontavam para um maior consumo de superplastificante (policarboxilatos) em misturas com filer granítico, comparativamente às misturas com filer calcário, em igualdade de comportamento reológico. As diferenças no processo de obtenção do filer granítico podem justificar este facto.

### 3.1.2 Misturas ternárias de materiais finos

Considerando a especificidade dos betões auto-compactáveis, nomeadamente a necessidade de grande quantidade de materiais finos, entendeu-se que seria inviável utilizar a microsilica como única adição

em misturas binárias, uma vez que este material é, em geral, muito dispendioso comparativamente às outras adições. Nesse sentido, optou-se por testar misturas ternárias, onde uma percentagem de 5% do cimento (em massa), a que equivale 7% (em volume), seria substituída por microssilica, enquanto 30% a 40% do cimento (em volume), seria substituído por uma das outras três adições seleccionadas.

A Figura 4 apresenta a razão Sp/p% (em percentagem) para cada uma das famílias de argamassas com misturas ternárias produzidas neste estudo. Observam-se percentagens de superplastificante muito elevadas, em especial para a mistura de referência. A menor razão Sp/p% foi obtida mistura A.V.0,80 (3,4%), que apresentou uma resistência à compressão de aproximadamente 70 MPa. Esta resistência pode ser considerada manifestamente baixa para justificar a utilização de duas adições na mistura, já que com recurso às misturas binárias estudadas facilmente se obteve esta gama de resistência. Por outro lado, as dosagens de superplastificante indicadas na Fig. 4 são muito superiores às especificadas pelo fornecedor e podem ser impraticáveis devido ao retardo de presa. Pelo exposto, o uso destas misturas ternárias parece não justificar-se à luz dos objectivos estabelecidos.

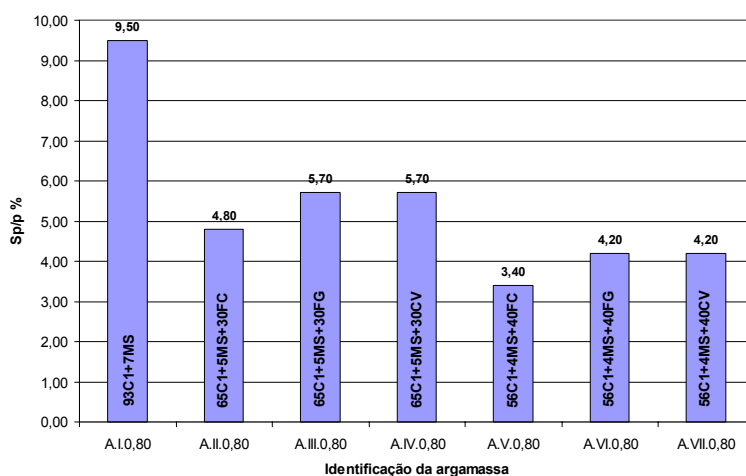


Figura 4 – Percentagens de superplastificante para as misturas ternárias

Em estudos efectuados por Domone et al. [2], para avaliar a reologia inicial e as propriedades de retenção da trabalhabilidade, foi possível identificar a utilização de um superplastificante à base de policarboxilatos modificados semelhante ao utilizado neste trabalho, na produção de associações binárias e ternárias de diferentes materiais finos, incluindo cimento Portland, escórias granuladas de alto-forno, cinzas volantes, microssilica e filer calcário. Neste estudo observa-se que, na mistura binária em que o cimento Portland foi substituído em 15% (volume) por microssilica, se registou um consumo de superplastificante 2,33 vezes superior àquele obtido na mistura padrão só com cimento e 3,89 vezes superior àquele obtido na mistura binária em que o cimento foi substituído em 40% (volume) por filer calcário. Em misturas ternárias associando, em volume absoluto, 50% de cimento Portland, 40% de filer calcário e 10% de microssilica, o consumo de superplastificante foi da ordem de 49% daquele obtido na mistura binária, composta por 85% de cimento e 15% de microssilica, e cerca de 1,13 vezes superior àquele obtido na mistura só com cimento.

A dosagem de superplastificante obtida nos trabalhos de Domone et al. [2] não se apresenta em volume absoluto, mas em termos de massa dos sólidos totais. Em consequência, não foi possível estabelecer uma comparação directa com os valores obtidos no presente estudo. Contudo, em termos relativos, os trabalhos realizados por Domone et al. revelaram que a introdução da microssilica conduziu sensivelmente à mesma ordem de grandeza de alteração da dosagem de superplastificante descrita neste artigo. Na campanha experimental do presente estudo não foram efectuadas medições da retenção da trabalhabilidade e nada se poderá concluir a esse respeito. Ainda assim, poderá referir-se que qualitativamente as misturas com microssilica mostraram sempre valores superiores dos tempos de presa e de endurecimento em comparação com as outras misturas. Esse efeito de retardo da presa pode ser atribuído à excessiva dosagem de superplastificante.

### 3.2 Parâmetros correlacionados com a resistência

#### 3.2.1 Misturas binárias de materiais finos

A Figura 5 mostra a variação da resistência à compressão em função de  $V_p/V_s$  para cada uma das famílias de argamassas com misturas binárias. Obtiveram-se resistências à compressão desde os 25 MPa aos 95 MPa. Observa-se que o intervalo de variação da resistência à compressão em cada família de argamassas situou-se em média nos 10 MPa quando  $V_p/V_s$  variou de 0,60 a 0,80. Isto corrobora a hipótese inicial de que, para além da família de finos, o parâmetro  $V_p/V_s$  contribui para o controle da resistência à compressão. Não existe uma correlação de âmbito geral entre a resistência à compressão e o parâmetro  $V_p/V_s$ . Contudo, essa correlação existe para cada uma das famílias de argamassas.

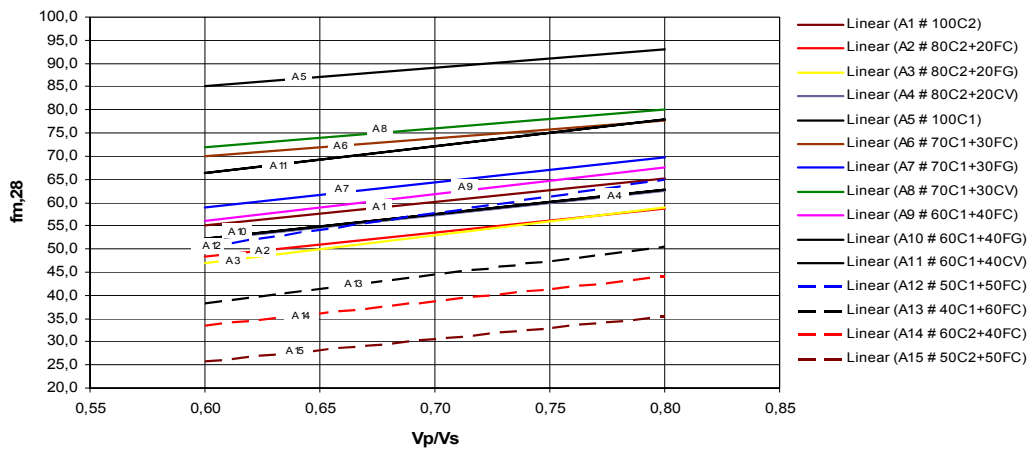


Figura 5 – Relação  $f_{m,28}$  versus  $V_p/V_s$  para todas as famílias de argamassas

As correlações entre a resistência à compressão e a razão  $W/C$ , em massa, são ilustradas na Figura 6, observando-se uma correlação geral para cada cimento, independente do tipo e dosagem das adições.

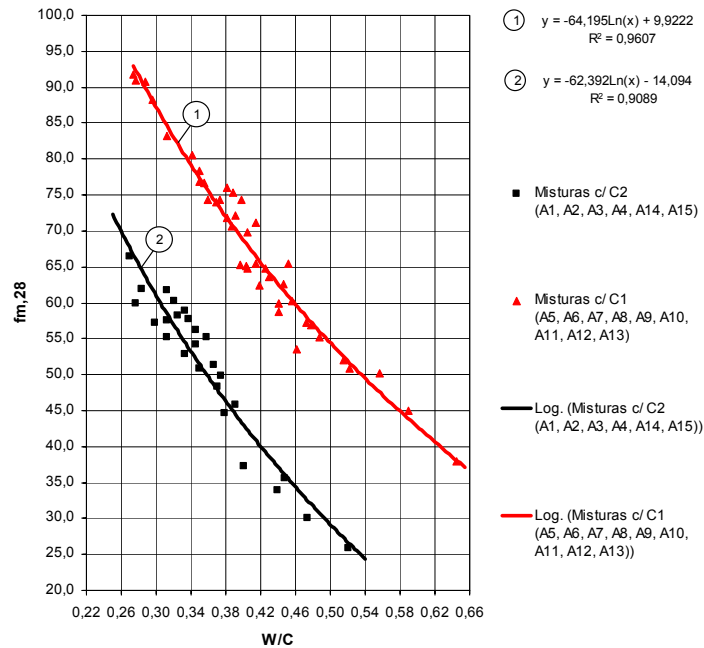


Figura 6 – Relação  $f_{m,28}$  versus  $W/C$  para todas as famílias de argamassas

Um dos parâmetros assumidos inicialmente para o controle da resistência à compressão foi a mistura de finos. O presente estudo mostrou ser possível, para um determinado tipo de cimento e adição

previamente definidos, estabelecer uma relação entre a razão W/C e a percentagem de substituição do cimento pela adição. No entanto, o presente estudo também evidenciou que essa relação depende fortemente do parâmetro  $V_p/V_s$  definido para a argamassa, como se ilustra da Figura 7 à Figura 12.

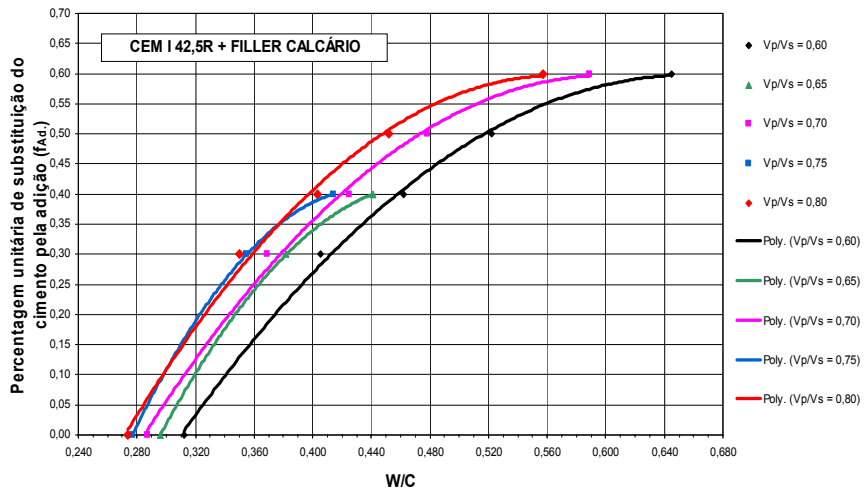


Figura 7 – Percentagem de substituição do cimento pela adição  $f_{Ad}$ . versus razão W/C em massa

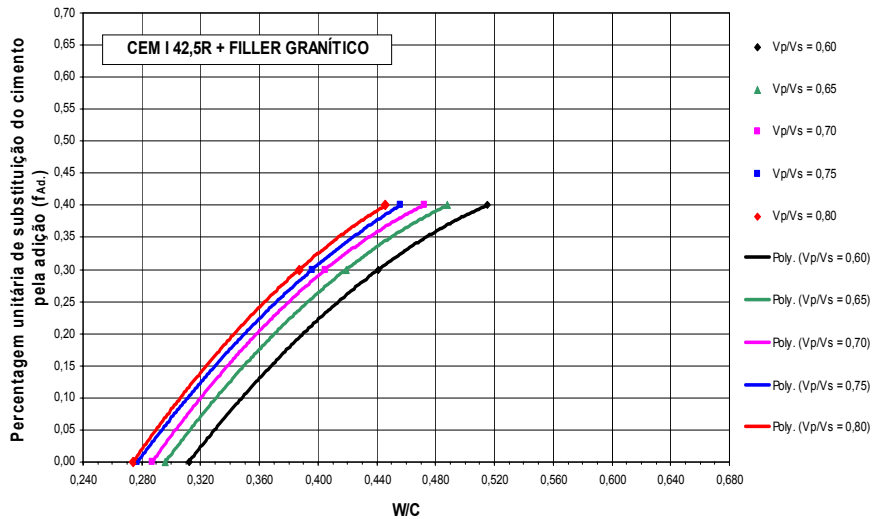


Figura 8 – Percentagem de substituição do cimento pela adição  $f_{Ad}$ . versus razão W/C em massa

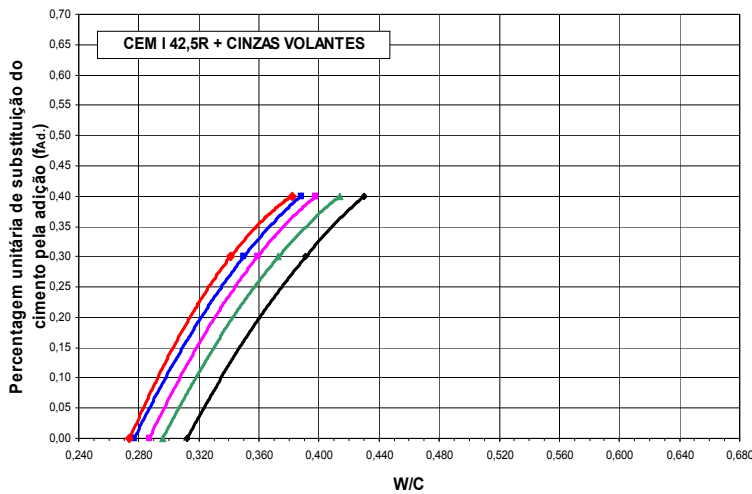


Figura 9 – Percentagem de substituição do cimento pela adição  $f_{Ad}$ . versus razão W/C em massa

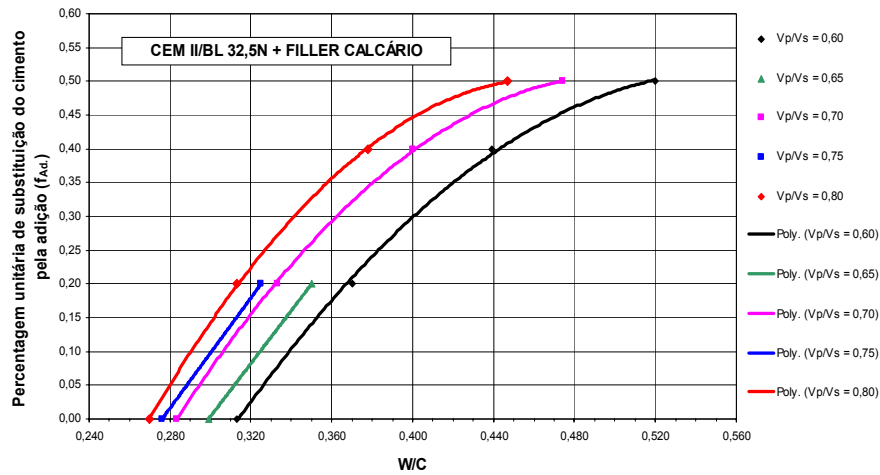


Figura 10 – Percentagem de substituição do cimento pela adição fAd. versus razão W/C em massa

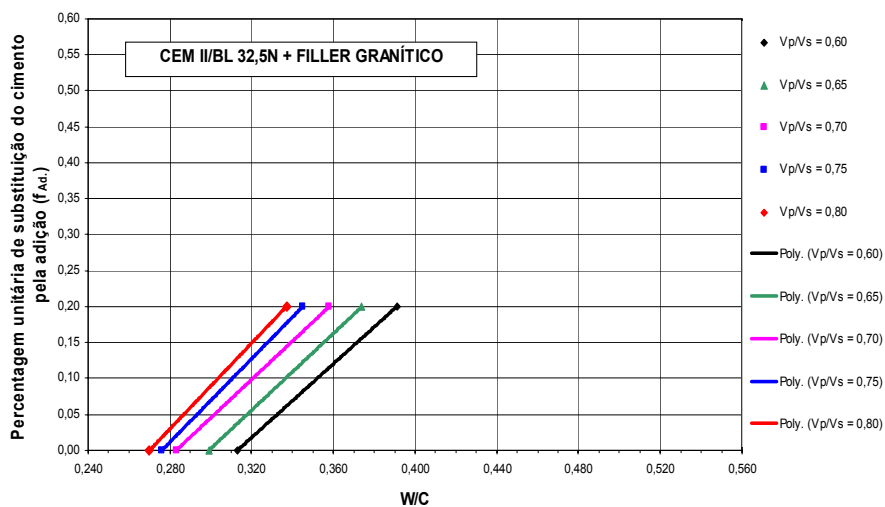


Figura 11 – Percentagem de substituição do cimento pela adição fAd. versus razão W/C em massa

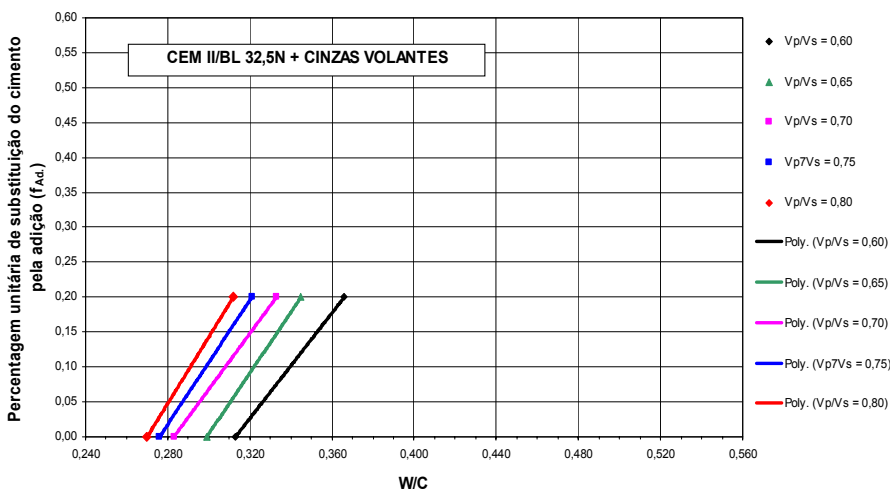


Figura 12 – Percentagem de substituição do cimento pela adição fAd. versus razão W/C em massa

#### 4. CONCLUSÕES

Os parâmetros propostos, “família de finos” e Vp/Vs, revelaram-se adequados para a obtenção da adequada resistência à compressão em argamassas com propriedades de escoamento similares.

O filer granítico utilizado, proveniente de desperdícios industriais, foi testado a título experimental como adição, com resultados promissores. Sob condições idênticas de escoamento, o filer granítico revelou consumos de superplastificante (em valor absoluto) idênticos àqueles obtidos com as cinzas volantes e filer calcário, enquanto que a sílica de fumo revelou consumos muito elevados de superplastificante, quer em termos absolutos, quer comparativamente às restantes adições.

As famílias de argamassas cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento e aquelas em que este cimento foi substituído, em parte, por filer granítico, registaram os maiores consumos de água de amassadura, destacando-se claramente das argamassas em que o mesmo cimento foi parcialmente substituído por filer calcário ou cinzas volantes. Por outro lado, parece evidenciar-se o facto de que os consumos de água das misturas com adições de filer granítico igualam sempre o consumo de água das misturas só com cimento, independentemente da percentagem de substituição por filer granítico.

Em associações binárias entre um determinado cimento e uma determinada adição, é possível estabelecer uma correlação entre a razão W/C e a percentagem de substituição do cimento pela adição quando (Vp/Vs) permanece constante. Poderá também concluir-se que, uma vez seleccionados os materiais finos (cimento e adição) e a gama de resistências pretendida, é possível estimar a razão W/C e, a partir desta e de (Vp/Vs), estimar a percentagem de substituição adequada.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] NAWA, T. ; IZUMI, T. ; EDAMATSU, Y. – State-of-the-art Report on Materials and Design of Self-Compacting Concrete, in «Intern. Workshop on SCC», August, 1998, p. 160-190.
- [2] DOMONE, P.L.J.; JIN, J. – Properties of Mortar for Self-compacting Concrete, in «Proc. of the 1st Intern. RILEM Symposium on SCC», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 109-120.
- [3] TAKADA, K.; PELOVA, G. I.; WALRAVEN, J. C.- Influence of Microfillers on Proportioning of Mortar in Self Compacting Concrete, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 537-548.
- [4] NEPOMUCENO, Miguel – Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis, in «Tese de Doutoramento», Covilhã, UBI, Portugal, Março, 2006.
- [5] DOMONE, P. – Mix Design, in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Techn. Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 49-65.
- [6] OKAMURA, H.; OZAWA, K.; OUCHI, M. – Self-Compacting Concrete, in «Structural Concrete: Journal of the fib», vol.1, No. 1, Thomas Telford Ltd, March 2000, p. 3-17.
- [7] OUCHI, M.; HIBINO, M.; OZAWA, K.; OKAMURA, H. – A Rational Mix-Design Method for Mortar in Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of the Sixth East-Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction», Taipei, Taiwan, 1998, p. 1307-1312
- [8] HO, D.W.S.; SHEINN, A.M.M.; NG, C.C.; TAM, C.T. – The Use of Quarry Dust for SCC Applications, in «Cement and Concrete Research», 32, Pergamon, Elsevier Science, 2002, p. 505-511.