

Metodologia de previsão da auto-compactabilidade de betões na fase argamassa



**Miguel
Nepomuceno¹**



**Luiz A. Pereira de
Oliveira²**

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo experimental conduzido como base metodológica para a previsão da composição de um betão auto-compactável a partir da manipulação racional de alguns parâmetros definidos na fase argamassa. Com esse objectivo uma série de argamassas foram produzidas em laboratório com propriedades reológicas semelhantes, e adequadas para a obtenção de betões auto-compactáveis, mensuradas através dos ensaios de espalhamento (slump flow) e de fluidez (v funnel). Os teores de água e de superplastificante foram determinados experimentalmente para cada argamassa. Diferentes percentagens de materiais finos foram incorporadas como substituto parcial do cimento, constituindo misturas binárias. Cada mistura resulta da combinação de um dos dois tipos de cimento utilizados (CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R) com uma das três adições minerais seleccionadas: filer calcário, filer granítico e cinza volante. Cada mistura binária de materiais finos foi combinada em cinco diferentes proporções em volume com o agregado fino (V_p/V_s). As argamassas foram ensaiadas à compressão na idade de 28 dias e os resultados obtidos foram relacionados com a razão água/cimento, a percentagem de materiais de substituição e o parâmetro V_p/V_s . As análises revelaram a pertinência dos parâmetros propostos para a previsão e obtenção simultânea, na fase argamassa, da auto-compactabilidade e da resistência à compressão requeridas ao betão auto-compactável.

PALAVRAS-CHAVE

Betão auto-compactável, argamassa, reologia, resistência à compressão.

¹ Universidade da Beira Interior, Centre of Materials and Building Technologies, 6201-101 Covilhã, Portugal.
mcsn@ubi.pt

² Universidade da Beira Interior, Centre of Materials and Building Technologies, 6201-101 Covilhã, Portugal.
luiz.oliveira@ubi.pt

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do betão auto-compactável e o surgimento do primeiro modelo de cálculo, nomeadamente o método geral proposto por Okamura, Maekawa e Ozawa, beneficiado posteriormente com a contribuição de Ouchi et al. [1, 2, 3, 4], representou um passo importante para a tecnologia do betão. Um outro método utilizado no Japão foi proposto pela JSCE [1, 2], com diferenças face ao método proposto por Okamura e seus colaboradores, no que diz respeito à metodologia adoptada.

O método proposto por Okamura foi concebido para aplicação geral e assenta numa grande simplicidade de procedimentos, admitindo alguma pequena variação nas proporções dos materiais durante a produção do betão sem que isso ponha em risco a resistência à segregação. Em consequência, este método é tido como conservador e, em geral, conduz à obtenção de betões com elevados volumes de pasta em comparação com uma mistura optimizada [5]. A tendência geral concentrou-se então na optimização das misturas, objectivando a redução da dosagem de pasta. Salientam-se os trabalhos desenvolvidos por Petersson et al. [6, 7], Van Bui e Tangtermsirikul [8], Van Bui e Denis Montgomery [9], Sedran e Larrard [5].

Pela sua simplicidade e uso generalizado, o método proposto por Okamura et al. [1, 2, 3, 4] foi considerado como ponto de partida para a realização do presente trabalho. Após uma primeira análise verificou-se que este método permite, de forma expedita, dosear os componentes do betão auto-compactável do tipo finos de modo a obter a necessária trabalhabilidade. Não obstante, este método não permite controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão do betão na fase de estudo da composição da mistura.

A proposta desenvolvida no âmbito do presente trabalho assenta em procedimentos de cálculo expeditos, cuja primeira e fundamental abordagem é suportada por ensaios em argamassas. Para além disso, foi definido um intervalo para as propriedades reológicas das argamassas, adequado à obtenção de betões auto-compactáveis do tipo finos, que contemplou várias propostas analisadas na bibliografia consultada. Foi estabelecida uma metodologia experimental para obtenção das propriedades reológicas pretendidas, foram introduzidos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) nas argamassas e de agregados grossos (V_m/V_g) nos betões e, finalmente, foram analisados os mecanismos de controlo da resistência à compressão das argamassas e dos betões com elas produzidos.

O parâmetro V_p/V_s permite controlar a proporção entre os materiais finos e agregados finos da argamassa. Por outro lado, ao representar o traço volumétrico da argamassa, acreditou-se que facilitaria o controlo da resistência à compressão juntamente com a definição da “família de finos”. De forma similar, o parâmetro V_m/V_g permite controlar a proporção entre a matriz argamassa e os agregados grossos imersos nessa matriz, independentemente do volume de vazios do betão.

Uma premissa estabelecida impunha que os betões auto-compactáveis fossem produzidos com recurso à tecnologia já existente e utilizando de preferência materiais disponíveis localmente. As misturas a produzir incluíam diferentes associações binárias de materiais finos, seleccionadas de entre dois tipos de cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N), duas adições correntes (fíler calcário e cinzas volantes) e uma adição resultante de desperdícios industriais, constituída por fíler granítico.

A metodologia adoptada traduziu-se nas seguintes etapas: selecção e caracterização dos materiais utilizados; definição de curvas granulométricas de referência para os agregados; selecção das associações de materiais finos; estudos em argamassas e estudos em betões. O projecto descrito foi concluído [10] e permitiu confirmar que as propriedades definidas para as argamassas são adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis. Não obstante, os dados que se apresentam neste artigo representam apenas a primeira fase desse projecto referente ao estudo das argamassas.

2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais utilizados

Os ligantes utilizados foram um cimento portland normal (CEM I 42,5R) com massa volúmica média de 3140 kg/m^3 e um cimento portland de calcário (CEM II/B-L32,5N), com massa volúmica média de 3040 kg/m^3 . As adições incluíram o filer calcário com massa volúmica de 2720 kg/m^3 , o filer granítico com massa volúmica de 2650 kg/m^3 e as cinzas volantes com massa volúmica de 2380 kg/m^3 . Foi utilizado um superplastificante cuja base química é constituída por carboxilatos modificados, e com uma massa volúmica de 1050 kg/m^3 . 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 de granito britado, com massa volúmica de 2590 kg/m^3 , baridade seca compactada de 1490 kg/m^3 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^3 , baridade seca compactada de 1570 kg/m^3 e módulo de finura de 2,705.

As proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05 mantiveram-se fixas em todo o estudo e foram determinadas experimentalmente pelo método da baridade, com vista à máxima compacidade.

2.2 Proporções das misturas de materiais finos

Foram estabelecidas várias associações de materiais finos contendo os dois cimentos e as três adições minerais seleccionadas, conforme se ilustra no Quadro 1. Cada uma das misturas de finos é identificada por uma sigla que traduz a dosagem de cada um dos elementos constituintes dessa mistura, expressa em percentagem do volume absoluto total de materiais finos. Assim, por exemplo, 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 é o cimento portland CEM I 42,5R, FG significa filer granítico; CV significa cinzas volantes.

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

Materiais►			Cimento		Adições			
			CEM I 42,5R (C1) $\delta_{C1} = 3140$ kg/m ³	CEM II/B L32,5N (C2) $\delta_{C1} = 3040$ kg/m ³	Cinza volante (CV) $\delta_{CV} = 2380$ kg/m ³	Filer calcário (FC) $\delta_{FC} = 2720$ kg/m ³	Filer granítico (FG) $\delta_{FG} = 2650$ kg/m ³	
Misturas ▼								
Misturas Binárias	Ref.	1	100C2	---	fc2= 1,00	---	---	---
		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	---
Misturas Binárias	Ref.	5	100C1	fc1= 1,00	---	---	---	---
		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	---

2.3 Estudos em argamassas

Os parâmetros para o estudo das argamassas incluem a definição da mistura de materiais finos, V_p/V_s (relação em volume absoluto entre as dosagens de materiais finos e de agregados finos), V_w/V_p (relação em volume absoluto entre as dosagens de água e de 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 e a contribuição para o volume de materiais finos proveniente dos agregados finos.

As propriedades reológicas foram avaliadas indirectamente pelo ensaio de espalhamento e de fluidez, expressos, respectivamente, em termos da área de espalhamento relativa (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm). O “cone de espalhamento” e o “Funil-V” utilizados possuem as dimensões interiores que se apresentam na Figura 1.

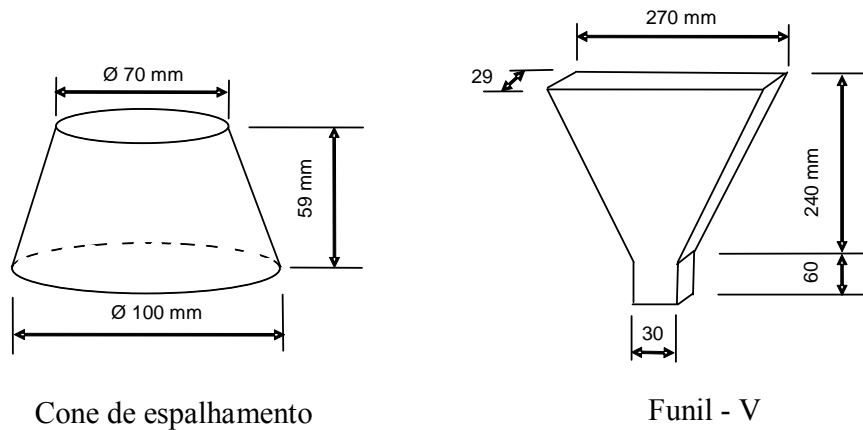


Figura 1 – Dimensões do cone de espalhamento e do funil-V

A área de espalhamento relativa (Gm) é traduzida pela Equação 1, enquanto que a velocidade relativa de escoamento (Rm), em s^{-1} , é traduzida pela Equação 2. A sigla (Dm) representa o diâmetro médio de espalhamento, em mm; a sigla (D_0) representa o diâmetro inicial na base do cone, em mm, enquanto que a sigla (t) representa o tempo de escoamento no funil-V, em segundos.

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

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

O procedimento de amassadura adoptado é semelhante àquele proposto por Domone et al. [11] para misturas com superplastificantes à base de policarboxilatos modificados e compreendeu, na totalidade, cerca de onze minutos em cada argamassa com a seguinte sequência: a) 3 minutos de mistura a velocidade normal, com entrada do superplastificante ao fim de 1 minuto, sem paragem; b) Pausa curta, estritamente necessária para limpeza das pás; c) Mistura de 2 minutos a velocidade normal; d) Pausa de 2 minutos; e) 1 minuto a velocidade normal; f) descarga.

Cada mistura de materiais finos definida no Quadro 1 foi combinada com diferentes valores de V_p/V_s (0,60; 0,65; 0,70; 0,75 e 0,80). Para cada uma das associações referidas foi produzida uma argamassa com as propriedades reológicas adequadas. Os valores de V_w/V_p e $Sp/p\%$ adequados foram obtidos experimentalmente mediante a realização de uma média de três a quatro amassaduras. Em cada amassadura com as propriedades adequadas foram moldados 4 provetes cúbicos de 50 mm de aresta para serem ensaiados à compressão aos 28 dias de idade.

O intervalo de variação admissível para G_m e R_m é definido pelos valores de G_m entre 5,3 e 5,9 e de R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1} , a que correspondem, respectivamente, valores de D_m entre 251 e 263 mm e de t entre 7,69 e 8,77 s. Estudos posteriores realizados em betões revelaram que as argamassas assim produzidas conduzem a betões com valores de G_c entre 8 e 11,25 e de R_c entre 0,5 e 1,0 s^{-1} , a que correspondem, respectivamente, D_m entre 600 e 700 mm e t entre 10 e 20 s.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Correlação entre os parâmetros da composição das argamassas

A Figura 2 ilustra as correlações entre V_p/V_s e V_w/V_p para as argamassas produzidas. Observa-se em cada família de argamassas que o aumento de V_p/V_s conduz a menores razões volumétricas entre a água e os materiais finos (V_w/V_p). Isto sucede porque a dosagem de materiais finos (V_p) aumenta com o aumento de V_p/V_s , enquanto que a dosagem de água não sofre variações muito significativas em cada mistura de materiais finos. Verifica-se ainda, nas misturas com o mesmo valor de V_p/V_s , o mesmo tipo de cimento e de adição, que a razão V_w/V_p diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento por essa adição. Efectivamente, para um mesmo valor de V_p/V_s , a dosagem de materiais finos (V_p) permanece razoavelmente constante. Por outro lado, ao aumentar a percentagem de substituição do cimento pela adição ocorre uma diminuição da dosagem de água. Nestas condições, o aumento da percentagem de substituição conduz a uma redução de razão V_w/V_p . No entanto, uma diminuição de V_w/V_p não corresponde a um aumento de resistência, mas sim à sua redução. Isto ocorre porque a redução da dosagem de cimento em massa, em consequência do aumento da percentagem de substituição, é sempre superior em valor absoluto comparativamente com a redução da dosagem de água, o que conduz a um aumento da razão W/C e, em consequência, a uma redução da resistência.

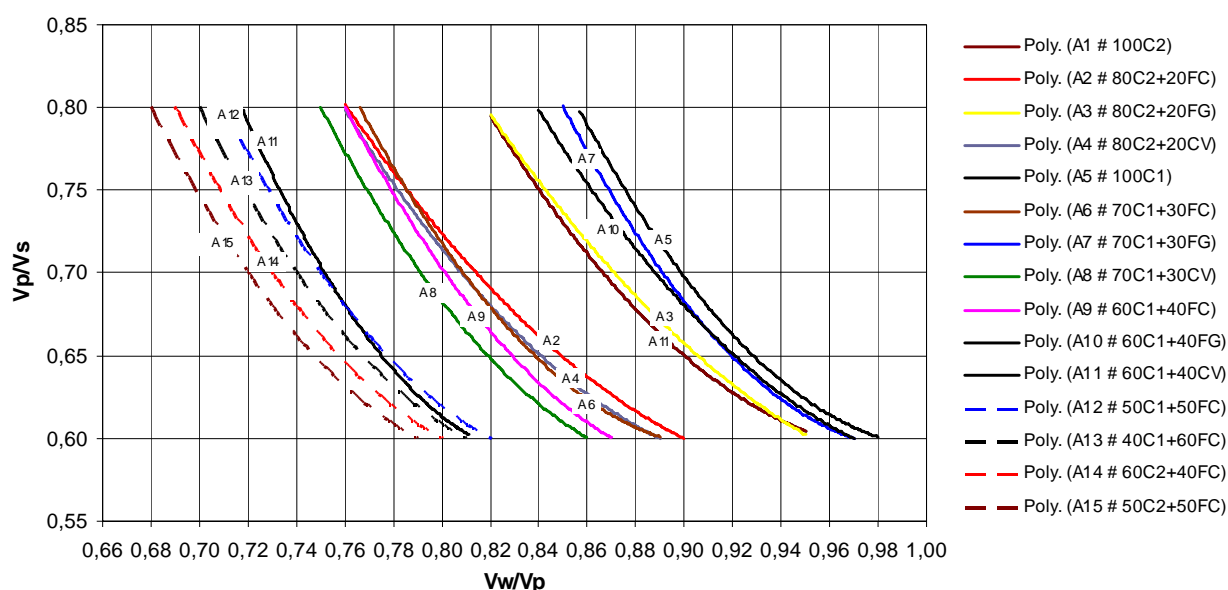


Figura 2 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para todas as famílias de argamassas

O gráfico apresentado na Figura 3 ilustra as correlações entre $Sp/p\%$ e V_w/V_p para as argamassas produzidas. Observa-se, em cada família de argamassas, que a dosagem de superplastificante, expressa em termos de $Sp/p\%$, não sofre alterações significativas com a variação de V_w/V_p , ou indirectamente, com a variação de V_p/V_s . Contudo, apesar de pouco significativa, verificou-se uma ligeira tendência para a redução de $Sp/p\%$ com o aumento da razão V_w/V_p . Em misturas com o mesmo tipo de cimento e de adição, verificou-se que a dosagem de superplastificante, expressa por $Sp/p\%$, tende a diminuir quando se aumenta a percentagem de substituição do cimento pela adição.

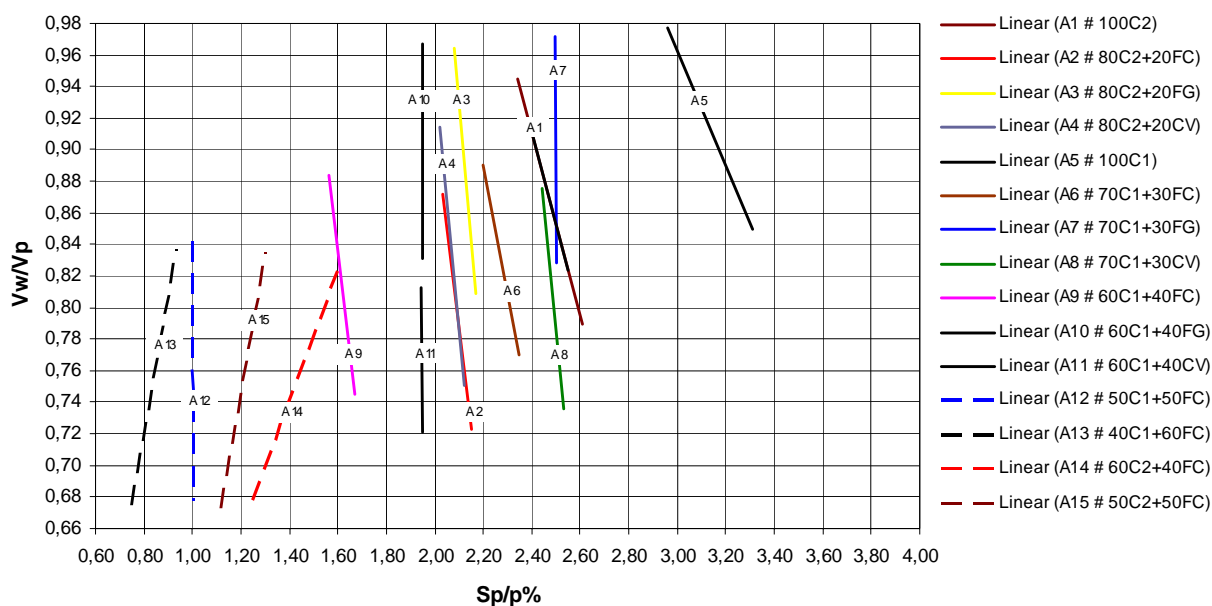


Figura 3 – Relação V_w/V_p versus $Sp/p\%$ para todas as famílias de argamassas

3.3 Parâmetros correlacionados com a resistência

As correlações entre a resistência à compressão ($f_{m,28}$) e o parâmetro V_p/V_s , para cada uma das famílias de argamassas estudadas, são apresentadas na Figura 4. Os resultados apresentados permitem verificar que a gama de resistências à compressão das argamassas se situou aproximadamente entre os 25 MPa e os 95 MPa. O intervalo de variação da resistência à compressão em cada família de argamassas situa-se em média nos 10 MPa quando V_p/V_s varia 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 nitidamente para cada uma das famílias de argamassas quando avaliada isoladamente.

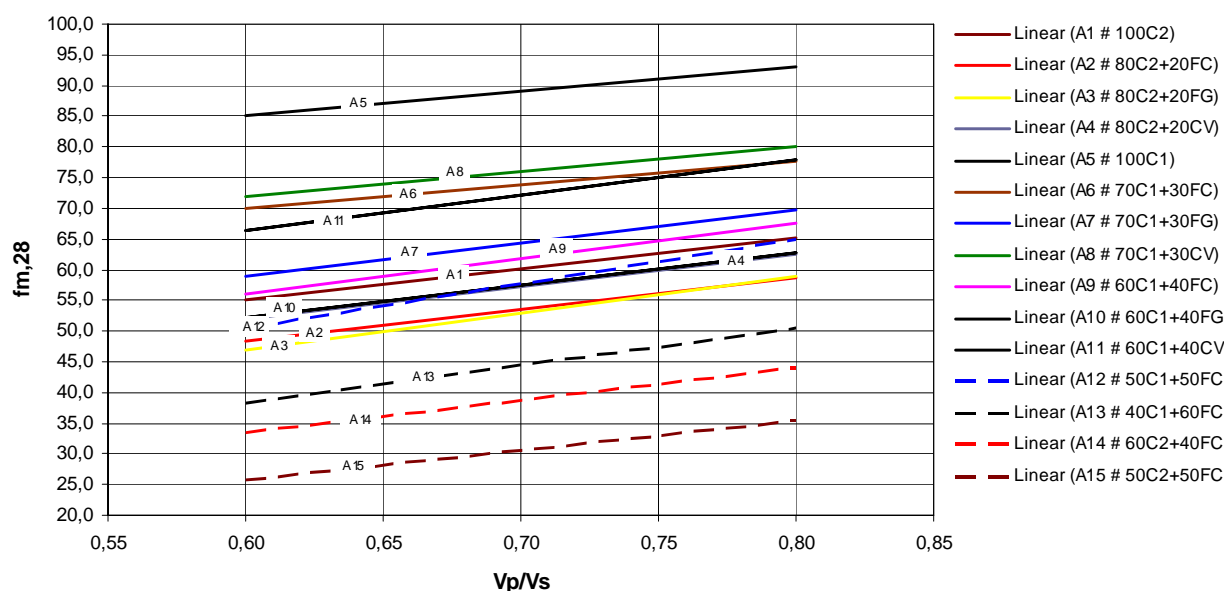


Figura 4 – Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para todas as famílias de argamassas

Na Figura 5 são apresentadas duas correlações entre a resistência à compressão e a razão W/C , em massa. A correlação (1) inclui todas as misturas que incorporaram o CEM I 42,5R enquanto a

correlação (2) inclui todas as misturas que incorporaram o CEM II/B-L32,5N. Tal como seria de esperar, a resistência à compressão diminui com o aumento da razão W/C, em massa. A observação da Figura 5 evidencia a existência de um padrão de comportamento geral para cada tipo de cimento utilizado, já que não se detectaram diferenças face ao tipo e dosagem das adições.

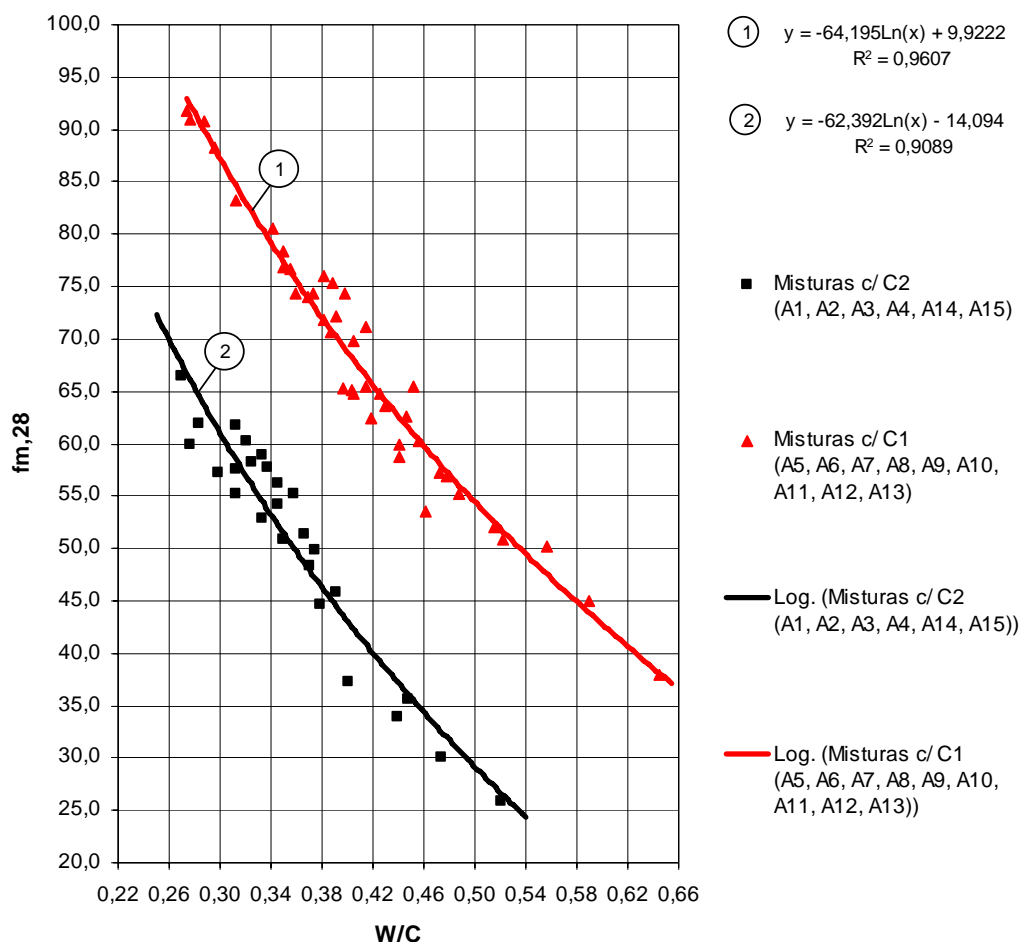


Figura 5 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para todas as famílias de argamassas

Um dos parâmetros chave da composição das argamassas assumidos inicialmente para o controle da resistência à compressão foi a mistura de finos. Este parâmetro pretende traduzir as proporções em volume absoluto dos vários componentes presentes na mistura de finos. No caso concreto das misturas binárias avaliadas no presente trabalho, foi já referido que um aumento da percentagem de substituição do cimento pela adição conduz a uma redução da dosagem de cimento e, em consequência, a um aumento da razão água cimento. Se for possível, para um determinado tipo de cimento e adição previamente definidos, estabelecer uma relação entre a percentagem de substituição do cimento pela adição e a razão W/C, então será possível, indirectamente, a partir da razão W/C estimar a resistência à compressão. O procedimento inverso será igualmente admissível, ou seja, a partir da resistência é possível estimar a razão W/C e, a partir desta e do tipo de cimento e adição seleccionados, determinar a percentagem de substituição do cimento pela adição.

Na prossecução desse objectivo foram estabelecidas, para cada combinação entre o tipo de cimento e de adição utilizadas no presente trabalho, as correlações entre as percentagens de substituição do cimento pelas adições e as razões W/C obtidas. Porém, é sabido que o parâmetro V_p/V_s influencia a resistência à compressão e, indirectamente a razão W/C. Deste modo, a única forma de isolar este parâmetro foi estabelecer as referidas correlações para cada um dos valores de V_p/V_s utilizados. As correlações assim obtidas para o cimento CEM I 42,5R são apresentadas neste trabalho da Figura 6 à Figura 8.

As correlações referidas podem ser utilizadas em conjunto com a correlação previamente estabelecida entre a resistência e a razão W/C para estimar a dosagem dos componentes de qualquer argamassa que inclua os dois tipos de cimento e as três adições estudadas neste trabalho. Uma vez seleccionados os materiais finos a utilizar e a gama de resistência pretendida é possível estimar a razão W/C e, a partir desta, estimar a percentagem de substituição adequada. Nesta situação, seleccionado o parâmetro V_p/V_s e estimada a percentagem de substituição conducente a determinada resistência, bastaria determinar experimentalmente as dosagens de água e superplastificante adequadas à obtenção das propriedades reológicas pretendidas.

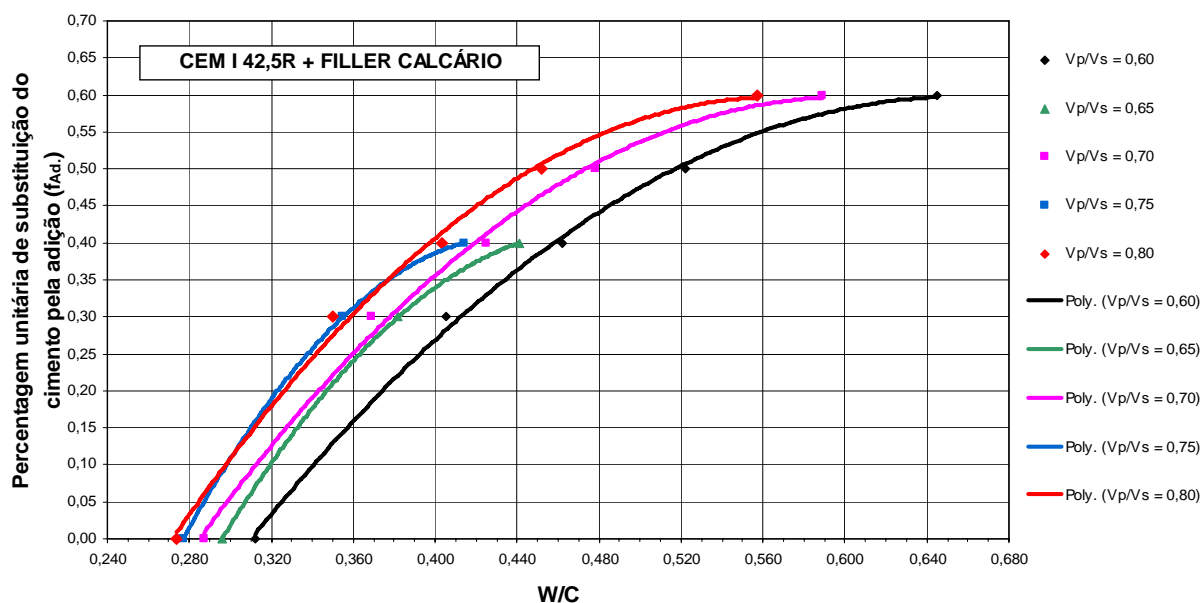


Figura 6 – Relação $f_{Ad.}$ versus W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filler calcário

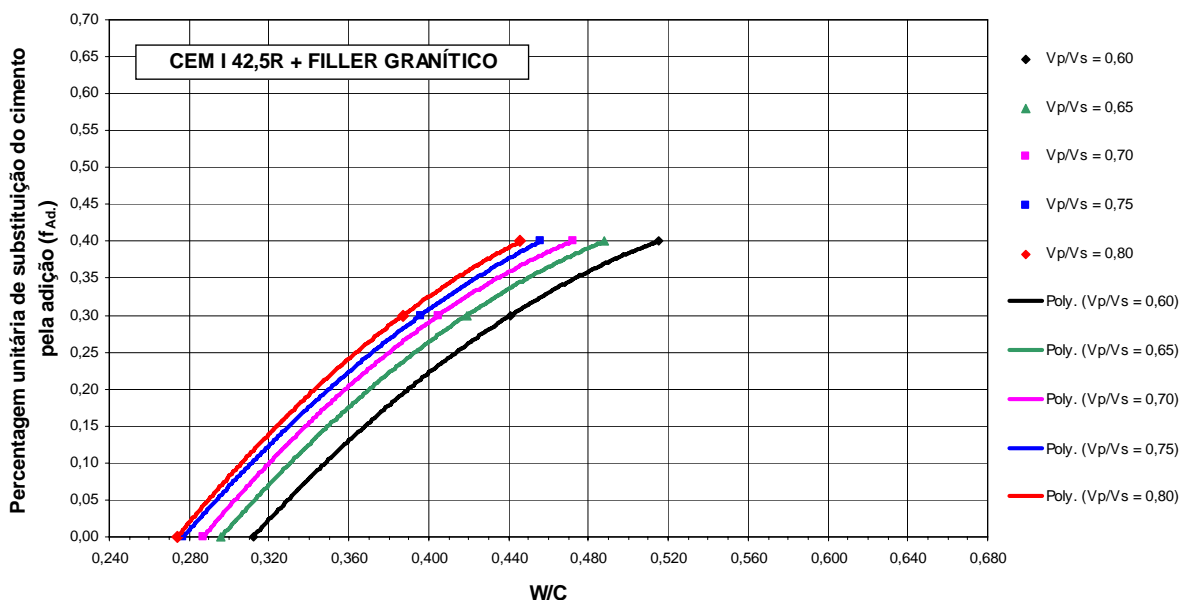


Figura 7 – Relação $f_{Ad.}$ versus W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filler granítico

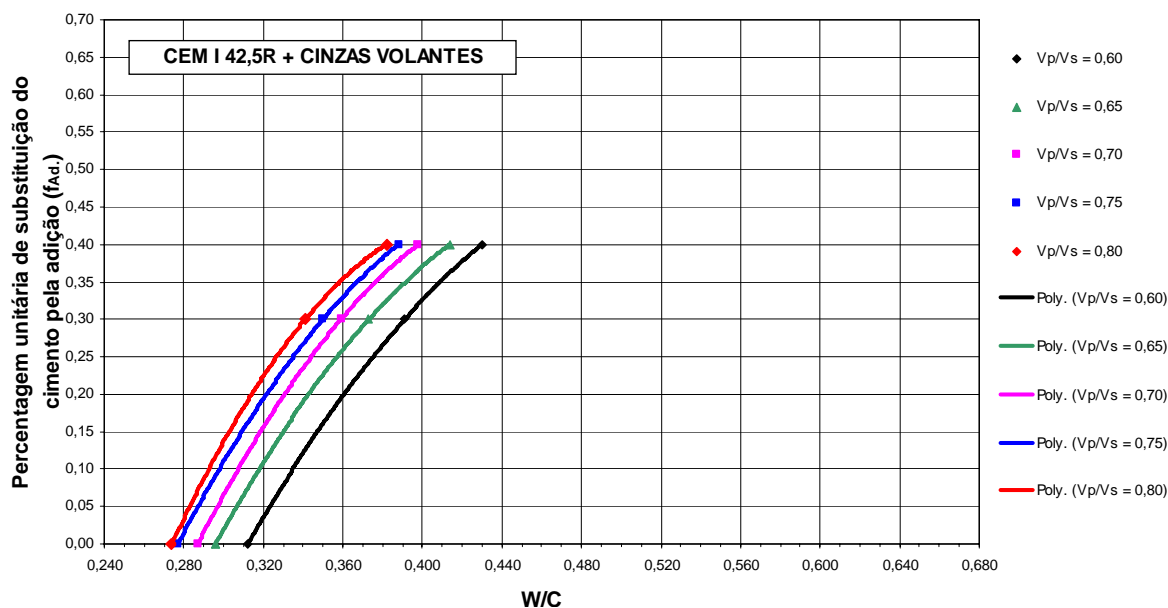


Figura 8 – Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes

4. CONCLUSÕES

A discussão dos resultados apresentada neste artigo conduziu às conclusões que a seguir se apresentam.

O parâmetro V_p/V_s revelou-se adequado como parâmetro de cálculo, uma vez que permite controlar directamente a razão entre os volumes de materiais finos e de agregados finos da argamassa. Para cada “família” de argamassas, o aumento de (V_p/V_s) conduz a menores razões volumétricas entre o volume absoluto de água e o volume absoluto de materiais finos, traduzido por (V_w/V_p) . Para um mesmo valor de (V_p/V_s) e comparando as “famílias” de argamassas com o mesmo tipo de cimento e de adição, a razão (V_w/V_p) diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento por essa adição.

Os valores definidos para o intervalo de variação dos parâmetros reológicos revelaram-se adequados. O diâmetro médio de espalhamento (D_m) variou de 251mm a 263 mm, enquanto que o tempo de escoamento no “Funil-V” (t) variou de 7,69s a 8,77s. Estes valores correspondem, respectivamente, a uma área de espalhamento relativa (G_m) situada entre os 5,3 e os 5,9 e a uma velocidade relativa de escoamento (R_m) entre $1,14s^{-1}$ e $1,30s^{-1}$.

Não se detectaram correlações de âmbito geral entre (V_p/V_s) , (V_w/V_p) e $(Sp/p\%)$. Contudo, detectou-se um padrão comum a todas as famílias de argamassas no que respeita à forma das equações estabelecidas. Esse padrão parece ser independente do tipo de cimento ou do tipo de adições utilizadas. Por outro lado, para cada “família” de argamassas, existe uma boa relação entre (V_p/V_s) e a resistência à compressão. A resistência à compressão aumenta com o aumento da razão (V_p/V_s) .

A resistência à compressão das argamassas que incorporam o mesmo tipo de cimento diminui com o aumento da razão W/C em massa. Os resultados obtidos evidenciam um padrão de comportamento geral, diferenciado apenas pelo tipo de cimento. Em associações binárias entre um determinado cimento e uma determinada adição, é possível estabelecer-se uma boa correlação entre a razão W/C e a percentagem de substituição do cimento pela adição, quando o valor (V_p/V_s) permanece constante. Poderá igualmente concluir-se que, uma vez seleccionados os materiais finos a utilizar (cimento e adição) e a gama de resistências pretendida, é possível estimar a razão W/C e, a partir desta e do parâmetro (V_p/V_s) , estimar a percentagem de substituição adequada.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar o seu agradecimento à Fundação para Ciência e Tecnologia pelo financiamento no âmbito do sub-projecto SCC Mix design do Centro de Engenharia Civil da Universidade da Beira Interior – CECUBI

REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] SEDRAN, T.; LARRARD, F. – Optimization of SCC Thanks to Packing Model, in «Proc. of the 1st Intern. RILEM Symposium on SCC», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 321-332.
- [6] PETERSSON, O.; BILLBERG, P. – Investigation on Blocking of SCC with Different maximum Aggregate Size and Use of Viscosity Agent Instead of Filler, in «Proc. of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 333-344.
- [7] PETERSSON, O.; BILLBERG, P; BUI, V. K. - A model for Self-Compacting Concrete, in «Proc. of RILEM Intern. Conf. on Production Methods and Workability of Fresh Concrete», Paisley, June 1996, Ed. Bartos PJM, Marrs DL, and Cleland DJ, E&FN Spon; London, p 484-492.
- [8] TANGTERMSIRIKUL, S.; BUI, V. K. - Blocking Criteria for Aggregate Phase of Self-Compacting High-Performance Concrete, in «Proceedings of Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Thailand Engineering», December, 1995, Bangkok, p. 58-69.
- [9] BUI, V. K.; MONTGOMERY, D. - Mixture Proportioning Method for Self-Compacting High Performance Concrete with Minimum Paste Volume, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on SCC», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 373-384.
- [10] NEPOMUCENO, Miguel – Methodology for self-compacting concrete mix-design, in «PhD tesis», Covilhã, UBI, Portugal, March, 2006.
- [11] 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.
- [12] 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, Perg., Elsevier Science Ltd, 2002, p. 505-511.