

PROCEDIMENTO PARA DOSAGEM DA ARGAMASSA AUTOADENSÁVEL COM FÍLER CALCÁRIO

Rafaella Salvador Paulino (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento - UEL) E-mail:

rafaellaspaulino@gmail.com

Berenice Martins Toralles (Professora associada ao Departamento de Engenharia Civil - UEL) E-mail:

toralles@uel.br

Resumo: O concreto autoadensável (CAA) representa uma evolução dos concretos convencionais, capaz de conferir à construção benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais. Em função de suas vantagens, nas últimas décadas, o CAA vem sendo investigado e as pesquisas abordam a utilização de novos materiais em sua estrutura, em busca pela melhoria de seu desempenho. Este trabalho teve verificar a possibilidade de produção de argamassas autoadensáveis com fíler calcário em substituição parcial ao cimento Portland. Para atingir este objetivo, inicialmente, a taxa de substituição de cimento Portland por fíler foi definida, bem como o teor de aditivo adicionado à mistura. Na sequência, foram realizados ensaios de espalhamento e funil-V com o intuito de verificar o comportamento das argamassas no estado fresco. As análises experimentais demonstraram uma diminuição de viscosidade e aumento da fluidez à medida em que se aumentava o teor de fíler e a dosagem de aditivo superplastificante. Verificou-se que a argamassa que possuiu melhor comportamento possuía 0,3% de relação superplastificante/cimento e teor de finos de 25%, em relação a massa de materiais secos. Concluiu-se portanto, que é possível produzir argamassas com propriedades autoadensáveis com a utilização de fíler calcário em substituição parcial ao cimento Portland, como alternativa sustentável.

Palavras-chave: argamassa autoadensável, fíler calcário, espalhamento, funil-V.

PROCEDURE FOR DOSAGE OF SELF-ADJUSTABLE LIMESTONE MORTAR

Abstract: Self-compacting concrete (CAA) represents an evolution of conventional concrete capable of conferring economic, technological and environmental benefits to construction. Due to its advantages, in the last decades, CAA has been investigated and researches approach the use of new materials in its structure, seeking to improve its performance. This work aimed to verify the possibility of producing self-compacting mortars with limestone filler in partial replacement of Portland cement. To achieve this goal, initially, the Portland cement substitution rate for filler was defined, as well as the additive content added to the mixture. Subsequently, spreading and V-funnel tests were performed to verify the behavior of mortars in the fresh state. Experimental analyzes showed a decrease in viscosity and increased flowability as the filler content and superplasticizer additive dosage increased. It was found that the mortar that had the best behavior had 0.3% superplasticizer / cement ratio and 25% fines content, relative to the dry matter mass. It was concluded, therefore, that it is possible to produce mortars with self-adhesive properties with the use of limestone filler in partial replacement of Portland cement, as a sustainable alternative.

Keywords: self-compacting mortar, limestone filler, spreading, V-funnel.

1. Introdução

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, porém, com as inovações nos projetos de engenharia, exige-se, cada vez mais, estudos aprofundados a respeito desse componente da construção civil, por meio do estudo de novos tipos de concreto que vão além do convencional, como por exemplo os concretos autoadensáveis (SANTOS et al., 2019).

O concreto autoadensável (CAA), que é capaz de conferir à construção benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais, tem como característica principal a sua capacidade de se mover no interior das fôrmas por ação do peso próprio, ou seja, sem a necessidade de aplicação de forças externas para o seu adensamento, garantindo homogeneidade da peças

(NUNES, 2001). Outra consequência benéfica está aliada à possível diminuição da equipe de trabalho, visto que a etapa de vibração do concreto é extinta e a quantidade de funcionários para desempenhar as atividades de lançamento e espalhamento do concreto, que se autocompacta, torna-se menor (OKAMURA; OUCHI, 2003).

Atualmente o maior impacto ambiental do concreto como material de construção origina-se das emissões de CO₂ durante a produção do cimento. Uma das alternativas utilizadas para minimizar este impacto é a utilização de adições minerais como substituição ao cimento. Entre as diferentes adições utilizadas, o uso de fíler calcário parece ser uma alternativa interessante para melhorar a sustentabilidade do uso do concreto na construção (GARCÍA, 2017). Em geral, as adições minerais promovem redução da permeabilidade do concreto, com consequente aumento da durabilidade, e aumento da resistência mecânica a idades avançadas (JIANG et. al., 1999).

Segundo Okamura et. al. (2000), a produção de CAA exige também uma diminuição na quantidade de agregado graúdo, assim como a incorporação de aditivos superplastificantes, o que permitir reduzir a quantidade de água de amassamento necessária ao concreto sem alterar a consistência do material no estado fresco ou, aumentar a fluidez do concreto fresco sem que para isso seja aumentada a quantidade de água presente na mistura (NEVILLE, 1997).

Para determinar a proporção de materiais constituintes do concreto autoadensável de maneira eficaz é importante dispensar uma atenção especial no estudo a respeito da dosagem da argamassa, tendo em vista que o CAA é composto basicamente por argamassa e agregado graúdo. Por este motivo, torna-se mais conveniente realizar os ajustes e testes nesta fase, que posteriormente irá compor o CAA, para determinar se o material apresenta fluidez demasiada, baixa viscosidade, segregação e exsudação (SANTOS, 2019).

A exsudação do CAA deve ser controlada a fim de se evitar o enfraquecimento da aderência do concreto às armaduras, decorrente do acúmulo de água sobre as barras. Além disso, ela pode provocar o desenvolvimento de fissuras, especialmente sobre as armaduras, devido à restrição imposta por elas à acomodação do concreto plástico (GOMES, 2002).

O objetivo deste estudo é desenvolver uma argamassa com características autoadensáveis, substituindo parcialmente o cimento por fíler calcário, avaliando assim, o seu comportamento no estado fresco.

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os materiais constituintes na argamassa autoadensável foram: cimento, areia quartzosa de rio (granulometria média e fina), fíler calcário dolomítico; aditivo superplastificante, e água.

O cimento Portland utilizado foi do tipo CP II-F-32, com massa específica de 3,01 g/cm³, de acordo a NBR NR 23:2001. As suas especificações foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações do Cimento Portland CP II-F-32

Parâmetros	
Tempo de início de pega (horas)	> 1
MgO (%)	< 6,5
Perda ao fogo (%)	< 6,5
Resíduo insolúvel (%)	< 2,5

SO ₃ (%)	< 4,0
Resistência à compressão (MPa)	
1 dia	-
3 dias	> 10,0
7 dias	> 20,0
28 dias	> 32,0

Na produção das argamassas, foi realizada a combinação entre duas areias quartzosas de rios, afim de se obter um teor de finos capaz de promover melhorias em termos de fluidez e deformabilidade - areia 1 (80%) e areia 2 (20%). A primeira é proveniente de Nova Alvorada-PR e a segunda, da bacia do rio Paraná, no município de Presidente Epitácio-SP. As caracterizações físicas das areias estão apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 1 - Caracterização física das areias

Ensaio realizado	Norma	Areia 1	Areia 2	Unidade
Módulo de finura	NBR NM 248:2003	1,86	2,00	-
Dimensão máxima característica	NBR NM 248:2003	1,18	2,36	(mm)
Massa unitária	NBR NM 45:2006	1,596	1,536	(g/cm ³)
Massa específica	NBR NM 52:2009	2,670	2,650	(g/cm ³)
Teor de material pulverulento	NBR NM 46:2003	0,6	0,5	(%)

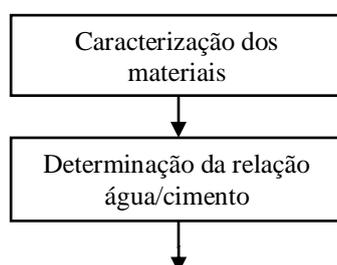
O filer calcário dolomítico foi escolhido como adição e apresentou uma massa específica de 2,787g/cm³, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009). O aditivo superplastificante utilizado foi CQ FLOW 3760. Trata-se de uma solução aquosa de polímeros de baixa viscosidade pronto para uso. As suas especificações foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Quadro 1 - Especificações do aditivo

Aditivo	CQ FLOW 3760
Composição básica	Solução de policarboxilato em meio aquoso
Aspecto	Líquido
Cor	Castanho claro
Densidade à 25°C	1,05 a 1,10 kg/l
pH	3,0 a 6,0
Teor de sólidos	34 a 37%

2.2 Métodos

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente realizou-se a caracterização dos materiais, estabeleceu-se a relação água/cimento, seguido da realização dos ensaios de caracterização da pasta aglomerante, e por fim, da argamassa. A Figura 1 apresenta um fluxograma do método.



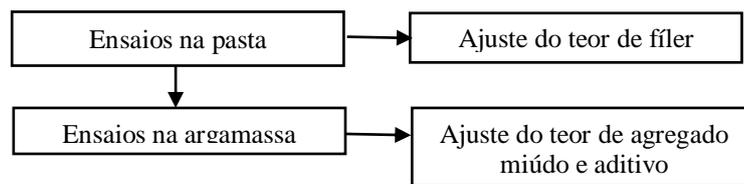


Figura 1 - Fluxograma adaptado do método de Repette-Mello (2005)

2.2.1 Ensaio na pasta

Para desenvolvimento e avaliação da argamassa foi utilizada a metodologia proposta Repette-Melo (2005). Com a caracterização dos materiais realizada e definida a relação a/c de 0,56, procedeu-se o estudo na fase de pasta aglomerante, afim de determinar o teor de fíler ideal, cuja incorporação foi realizada em substituição parcial ao cimento Portland, em massa. Para tanto, variou-se em 5% o teor de fíler para a produção de 4 pastas aglomerantes, seguindo o consumo de materiais apresentado na Tabela 2. Em seguida, fez-se uma análise visual das pastas compostas pelas diferentes proporções de materiais.

Tabela 2 – Consumo de materiais para produção de 250g de pasta aglomerante

Pasta	% de fíler	Cimento (g)	Fíler calcário (g)	Água (ml)
1	15	212,5	37,5	119
2	20	200,0	50,0	112
3	25	187,5	62,5	105
4	30	175,0	75,0	98

*Porcentagem referente aos sólidos da pasta.

Definida porcentagem da adição, o teor de saturação do aditivo foi determinado por meio do ensaio do Cone de Marsh. O procedimento adotado para o ensaio seguiu a recomendação de Roncero (2000), no qual o cone foi preenchido com 800 ml da pasta, medindo-se tempo para escoamento de 200ml. Para a pasta aglomerante escolhida, foram feitas adições de 0,1% de aditivo, em relação à massa de cimento e determinados os tempos de escoamento através de um cronômetro digital, até o momento em que o tempo de escoamento apresentou diferença de até 1 segundo, entre uma amostra e outra.

2.2.2 Ensaio na argamassa

Adotou-se o teor de agregado miúdo em 45% do volume total de argamassa, conforme recomendações de Repette-Mello (2005), e reduziu-se a quantidade de água incorporado às 4 misturas. O consumo de materiais para o preparo das argamassas encontra-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Consumo de materiais (p/ 1,7L de argamassa)

Argamassa	CP (g)	Fíler (g)	Areia 1 (g)	Areia 2 (g)	Aditivo (g)	Água (ml)	a/c
1	1157,06	385,69	1009,80	252,45	3,47	630	0,544
2						620	0,536
3						615	0,532
4						610	0,527

Após confecção da argamassa foram realizados os ensaios de espalhamento e funil-V para argamassas com o intuito de obter os índices G_m e R_m , conforme a equação 1 e 2.

$$G_m = \frac{d_1 \times d_2 - d_0^2}{d_n^2} \quad (1)$$

Em que:

G_m : índice de espalhamento relativo para argamassas.

d_1 : primeiro diâmetro do espalhamento obtido com o mini cone para argamassas.

d_2 : segundo diâmetro do espalhamento obtido com o mini cone para argamassas.

d_0 : diâmetro da base do mini cone para argamassas.

$$R_m = \frac{10}{\text{tempo de escoamento (s)}} \quad (2)$$

Em que:

R_m é o escoamento relativo para argamassas.

Determinados os valores de G_m e R_m do ensaio da argamassa e realizados os ensaios, foram avaliadas as propriedades de fluidez e viscosidade da argamassa para determinação das argamassas autoadensáveis, levando-se em consideração também os critérios definidos por Edmatsu et al. (1999): diâmetro médio de espalhamento “*Slump flow*” variando de 200 mm a 283 mm e tempos de escoamento de 5 a 10 segundos para o ensaio do Funil-V.

3. Resultados e discussões

3.1 Ensaio na pasta

Mantendo-se a relação a/c de 0,56, foi realizada a incorporação de fíler calcário em substituição ao cimento Portland, em massa, sem emprego de superplastificante, nas porcentagens de 15%, 20%, 25% e 30%. O teor de finos foi variado, a fim de identificar o comportamento do material e obter a melhor relação entre altíssima fluidez e moderada viscosidade necessárias para a argamassa ser considerada autoadensável.

Verificou-se para as pastas aglomerantes analisadas, que o aumento do teor de adição originou pastas menos viscosas, este fenômeno ocorre, pois, o fíler calcário dolomítico possui massa específica inferior à do cimento Portland, diminuindo a coesão que existia devido à grande área superficial do material (SANTOS, 2019).

Avaliou-se visualmente e a pasta 3, contendo 25% de fíler calcário em substituição ao cimento foi a escolhida, devido a maior coesão entre os materiais e menor segregação. Ainda na pasta aglomerante, o teor de aditivo foi determinado, por meio da execução do ensaio do Cone de Marsh (Figura 2), cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Ponto de saturação do aditivo

% de aditivo	Tempo (s)
0,10	17,36
0,20	15,21
0,30	11,63
0,40	10,72



Figura 2 - Ensaio no Cone de Marsh

O ponto de saturação foi definido adotando-se o teor a partir do qual o tempo de escoamento apresentou diferença de até 1 segundo, portanto, teor de 0,3% de aditivo.

3.2 Ensaio na argamassa

A partir da determinação do índice de espalhamento relativo (G_m) e do índice de escoamento relativo (R_m) foi possível avaliar a alta fluidez e moderada viscosidade requisitada pela argamassa para ser considerada autoadensável. Os resultados encontrados para o ensaio de espalhamento (Figura 3) estão apresentados na Tabela 4.



Figura 3 - Ensaio de espalhamento (*Slump flow*)

Tabela 4 – Resultados para ensaios na argamassa

Argamassa	Componentes		Slump Flow			G_m
	Água (ml)	% aditivo	d_1 (mm)	d_2 (mm)	$d_{médio}$ (mm)	
1	630	0,3	418	422	420	16,64
2	620	0,3	281	279	280	6,84
3	615	0,3	230	230	230	4,29
4	610	0,3	222	218	220	3,84

Os espalhamentos (G_m) obtidos nas argamassas consideradas autoadensáveis demonstram que quanto maior a utilização de aditivo superplastificante maior será o espalhamento relativo. O alto valor de G_m indica maior deformabilidade da argamassa, portanto, verificou-se por meio dos resultados que, na argamassa 1, a quantidade de água estava superior ao necessário, propiciando a segregação dos materiais. Domone e Jin (1999) sugerem que um valor de $G_m \geq$

8, corresponde a diâmetros de espalhamento ≥ 300 mm, o que condiz com o resultado apresentado.

Para a argamassa 2, reduziu-se 10 ml da quantidade de água incorporada à mistura, o que resultou em um decréscimo significativo no diâmetro de espalhamento (140mm), o qual ainda assim atingiu um valor muito próximo do máximo recomendado por Edmatsu et al. (1999), de 283mm.

A redução de mais 5 ml da quantidade de água na argamassa 3, resultou em uma redução de 50mm no diâmetro de espalhamento. E para a última argamassa, essa mesma redução, resultou uma diminuição de 10mm do diâmetro. Os resultados apresentados comprovam que o *Slump flow* dá um indicativo da distância entre as partículas, quando a mistura é deformada sob condições não restringidas, e que esta cresce com o aumento do teor de água e aditivo superplastificante, conforme descrito por Edmatsu et al. (1999).

A viscosidade relativa obtida por meio do ensaio do funil-v para argamassas tem por objetivo demonstrar principalmente a viscosidade do material analisado, desta maneira, quanto menor o valor de R_m mais viscosa é a argamassa. Os resultados encontrados para o ensaio do funil-V (Figura 4) para as argamassas estão apresentados na Tabela 5.



Figura 4 - Ensaio do Funil-V

Tabela 5 – Resultados para ensaios na argamassa

Argamassa	Componentes		Funil V	
	Água (ml)	% aditivo	Tempo (s)	R_m
1	630	0,3	2,3	4,35
2	620	0,3	6,4	1,56
3	615	0,3	7,2	1,39
4	610	0,3	7,6	1,32

Verifica-se por meio da análise dos resultados, que assim como no ensaio de espalhamento, a argamassa 1 não se enquadrou dentro do limite estabelecido por Edmatsu et al. (1999), com tempo de escoamento de 5 a 10 segundos. As demais argamassas, por sua vez, enquadraram-se no intervalo recomendado. Domone e Jin (1999) sugerem um valor de R_m de 1 a 5, correspondentes a tempos de escoamento de 2s a 10s.

Takada e Tangtensirikul (2000) defendem que argamassas com $G_m = 5$ e $R_m = 1$ são consideradas bem aceitáveis para obter concretos com propriedades autoadensáveis. Portanto, a argamassa com melhor relação entre fluidez e viscosidade e mais apta a produzir traços de concreto autoadensável, com as características necessárias, foi a argamassa 3, com 0,3% de

relação sp/c e teor de finos de 25%, em relação a massa de materiais secos. Este traço apresentou espalhamento médio de 230 milímetros e tempo de escoamento de 7,2 segundos, os valores para espalhamento e escoamento relativo foram respectivamente de 4,29 e 1,39.

Esta argamassa apresentou a fluidez necessária para ser considerada autoadensável e apresentou altíssima viscosidade, sendo esta última uma propriedade vital ao inserir agregado graúdo na argamassa para a produção de concreto autoadensável.

4. Conclusão

O método de Repette-Melo por ser dividido em etapas, contemplando o estudo da pasta, da argamassa e por fim, do concreto, facilita a execução dos ensaios em laboratório, uma vez que as quantidades de materiais necessários para os ensaios em pasta e argamassa são reduzidas.

Um ponto importante a ser destacado é a definição de faixas ótimas para a obtenção de argamassas autoadensáveis com os materiais dosados. As argamassas que obtiveram melhores aspectos de fluidez e viscosidade foram as produzidas com relação fíler/materiais secos de 0,25, já a taxa ótima de dosagem de aditivo superplastificante é de 0,30 em relação à massa de cimento.

No estado fresco, a partir da variação do teor de finos, foi possível identificar uma relação entre incremento de fíler calcário e viscosidade, ao mesmo tempo que o aumento na dosagem desse material proporcionava um aumento da fluidez. Desta maneira, conclui-se que o fíler calcário calcítico pode ser utilizado a fim de diminuir a viscosidade e obter argamassas autoadensáveis.

Para as variações analisadas de aditivo superplastificante, comprovou-se o comportamento esperado, em que conforme se aumenta a dosagem de aditivo superplastificante obtém-se uma maior fluidez e menor viscosidade nas argamassas.

Desta maneira, constata-se que é possível produzir argamassas com propriedades autoadensáveis com a utilização de fíler calcário em substituição parcial ao cimento Portland, afim de definir traços que servirão de base para produção de concretos com propriedades autoadensáveis.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. ABNT. Normas Mercosul. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. ABNT. Normas Mercosul. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. ABNT. Normas Mercosul. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. ABNT. Normas Mercosul. NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. ABNT. Normas Mercosul. NBR NM 248: Composição Granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 2003.

DOMONE, P. L.; JIN, J. *Properties of mortar for self-compacting concrete*. In: FIRST INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, p. 109-120, 1999.

EDAMATSU, H.; NISHIDA, N.; OUCHI, M. *A Rational Mix-Design Method for Self-Compacting Concrete*

Considering Interaction Between Coarse Aggregate and Mortar Particles. In: 1st International Rilem Symposium on SelfCompacting Concrete, p. 309-320, 1999, Stockolm, Sweden. A. Skarendahl and Ö. Petersson (editores) , E & FN Spon.

GARCÍA, C. M. V. *Avaliação do impacto do uso do filer calcário como substituição ao cimento no comportamento reológico e retração de microconcretos.* Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 201.

GOMES, P. C. C. *Optimization and Characterization of High-Strength Self- Compacting Concrete.* Tese de doutorado: Universidade Politecnica da Catalunia, Espanha. 2002.

JIANG, L. LIN, B. CAI, Y. *Studies on hydration in high-volume fly ash concrete binders.* ACI Materials Journal, V. 96, Nº 6. Nov/Dez, 1999. pp. 703-706.

MELO, K. A. *Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto.* 2ª ed. São Paulo: Pini. 1997.

NUNES, S. C. B. *Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades.* 2001. 198 páginas. Pós-graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto. Porto.

OKAMURA, H. OZAWA, K. OUCHI, M. *Self-compacting concrete. Structural Concrete,* Nº 1. Março, 2000. pp. 3-17.

OKAMURA, H. OUCHI, M. *Self-compacting concrete. Journal of Advanced Concrete Technology,* Vol. 1, Nº 1. Abril, 2003. pp. 5-15.

REPETTE, W. L. *Concreto de última geração: presente e futuro.* Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. Edição G. C. Isaia. São Paulo: Ibracon, 2005. V2, pp. 1509-1550.

RONCERO, J. *Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: implications for high performance concretes.* Tese de doutorado. Universidade Politécnica de Barcelona. Barcelona, Espanha, 2000.

TAKADA, K; TANGTEMSIRIKUL, S. *Testing of fresh concrete.* In: SELF-COMPACTING CONCRETE: STATE-OF-THE-ART REPORT OF RILEM TECHNICAL COMMITTEE 174-SCC. Cachan: RILEM Publications, S.A.R.L., 2000, p. 20-34.

SANTOS, V. C.; VANDERLEI, R. D.; MORAES, K. K.; ROSINA, E. T. D. F.; BALBINO, G. M. Estudo do comportamento da argamassa autoadensável com cinza do bagaço de cana-de-açúcar no estado fresco e endurecido. Rev. IBRACON Estrut. Mater. vol.12 no.1, São Paulo, 2019.