DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM ÓTIMA DE FÍLER DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS (RSRO) PARA OBTENÇÃO DE ARGAMASSAS AUTOADENSÁVEIS

Tema: Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.
Grupo: 2

UILIANA M. DA S. M. FARIAS[1], MÔNICA BATISTA LEITE[2]

[1]Prof[a]. Ms – Universidade Estadual de Feira de Santana/UEFS, uilianamerces@yahoo.com.br
[2]Prof[a]. Dr[a]., – Universidade Estadual de Feira de Santana/UEFS, mleite.uefs@gmail.com

RESUMO
Os resíduos gerados na produção de rochas ornamentais vêm sendo utilizados como adições, oque pode ajudar a melhorar as propriedades reológicas de argamassas autoadensáveis. Desse modo, o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento da argamassa autoadensável com a incorporação de diferentes teores do resíduo de serragem de rochas ornamentais. Para a realização das misturas foi adotada a metodologia de Repette-Melo. A relação água/cimento e o teor de aditivo foram ajustados de acordo com o espalhamento e a fluidez. Observou-se que é possível utilizar RSRO em argamassas autoadensáveis, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental causado por esse resíduo.

Palavras-chave:argamassa,autoadensável, resíduo de serragem de rochas ornamentais.

DETERMINATION OF THE BEST CONTENT OF *DIMENSION STONE SAW DUST* FOR SELF-COMPACTING MORTARS

ABSTRACT
The residues generated in the productionof ornamental rocks havebeen used as mineral admixtures, whichcan help to improve ther heological properties of self-compacting mortar. In thisway, this work main go a list o evaluate the behavior of the self-compacting mortar with thein corporation of different contents of dimension Stone saw dust (DSSD). The Repette-Melo methodology was adopted for mixtures production. The water/cement ratio and the superplasticizer content were adjusted according to the spreading and the flowability. The use of DSSD in self-compacting mortars is possible, contributing to there duction of the environment a limpact generated by this residue.

Key-words: *mortar, self-compacting, dimension stone saw dust.*

1. INTRODUÇÃO

A construção civil pode absorver um grande volume de resíduos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Atualmente, o uso de resíduos industriais, como os oriundos das indústrias metalúrgicas e termoelétricas, como componente do concreto tem crescido em todo mundo[1].O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais, sendo que o Espiríto Santo é o maior estado produtor nacional. As exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento, no ano de 2016, foram de 2,46 milhões de toneladas, segundo a ABIROCHAS[2]. A produção anual de blocos de granito e mármore é de aproximadamente 2,9 toneladas [3]. Sabe-se que 25 a 30% desta produção corresponde a resíduo conforme estudos de GONÇALVES[4].

A produção de rochas ornamentais é composta por quatro fases. A extração do maciço ou matacão, que é realizada nas pedreiras, com posterior transporte para as serrarias, onde sofre odesdobramento ou serragem em chapas. Outra fase é o polimento, o qual dá o acabamento ao material, e por fim as chapas são vendidas nas marmorarias[5]. O desdobramento consiste em serrar os blocos de rocha em chapas ou placas semiacabadas em equipamentos denominados de teares. O resíduo é composto pelo pó de rocha e água, quando é serrado por fio diamantado, e adiciona-se granalha, cal e fragmentos metálicos do desgaste das lâminas, quando é serrado com polpa abrasiva. A lama abrasiva é enviada para aterros.Quando isso não ocorre ela é descartada inadequadamente em leitos de rios ou locais impróprios, alterando a paisagem do local, assoreando rios e causando poluição ambiental[6]. O aproveitamento dos resíduos gerados na produção de rochas ornamentais vem sendo bastante utilizado em diversas pesquisas, como em peças pré-moldadas[7], em concreto autoadensável[8], na durabilidade de concreto[9], na resistência à compressão e no módulo de elasticidade das argamassas como substituição da areia[10].

1.1. Argamassa autoadensável

A argamassa autoadensável é capaz de preencher vazios e se autoadensar sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo, sem segregação[11]. A capacidade de se autoadensar é obtida pela alta fluidez, sua principal característica[12], e moderada viscosidade e coesão entre as partículas que a compõem. Essa argamassa precisa de elevado teor de finos para alcançartais propriedades, no estado fresco, de trabalhabilidade e coesão. A trabalhabilidade é importante pois influencia a qualidade das argamassas no estado endurecido, conforme estudos de GOLASZEWSKI[13].

A argamassa autoadensável é utilizada, principalmente, na execução de contrapiso, tendo a vantagem de não necessitar de forças externas para seu adensamento, não apresentando segregação ou exsudação. Com a aplicação deste tipo de argamassa ocorre uma diminuição na espessura do piso, diminuição do consumo de cimento, redução de tendência à fissuração, diminuição no tempo de execução da obra, diminuição de mão-de-obra e menor

tempo de cura. Estudos de Ortega[14] comprovam a melhoria das imperfeições nos pisos e aumento na produtividade. A argamassa autoadensável é, também, usada para determinar as características do concreto autoadensável, segundo MADANDOUST[15] eGOLASZEWSKI[13]. A fluidez e a segregação do concreto autoadensável são controlados pelo ajuste da reologia da argamassa e a adequada seleção dos agregados[16,17].As características de fluidez, viscosidade e a capacidade de resistir à segregação são obtidas pela adição de aditivos químicos superplastificantes e adições minerais[18].

A incorporação de adições pode ajudar a melhorar as propriedades reológicas da argamassa autoadensável, ocorrendo o refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta, além de melhorar algumas propriedades mecânicas[16]. A adição de finos na mistura melhora a trabalhabilidade devido à redução do tamanho e do volume de vazios[19], reduz, ainda, a segregação e a exsudação, melhorando a coesão e fluidez da argamassa autoadensável no estado fresco. Além disso, o uso de adições aumenta a durabilidade à fissuração térmica e ao ataque químico, conforme estudos de SOARES[9].

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento da argamassa autoadensável com a incorporação de diferentes teores de resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO). O uso do RSRO como fíler em argamassas autoadensáveis se apresenta como uma opção de aproveitamento deste material, minimizando o impacto ambiental e buscando o desenvolvimento sustentável para o setor da construção civil e para as empresas de exploração de rochas ornamentais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Feira de Santana.Foi utilizado o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI), com massa específica de 3,12 kg/dm^3. O cimento foi ensaiado de acordo com as prescrições da NBR NM 23[20]. O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural quartzosa, oriunda da cidade de Alagoinhas-Ba, com massa específica de 2,61 kg/dm^3 e dimensão máxima característica de 1,2 mm. Utilizou-se, também, o aditivo superplastificante Glenium 51, do tipo policarboxílico, com teor de sólidos de 29,67%.

Foi utilizado o RSRO oriundo do processo de serragem por fio diamantado e com diâmetro médio de 3,610 µm e massa específica de 2,67 kg/dm^3. O resíduo utilizado neste trabalho é constituído principalmente por óxido de cálcio (CaO), além de sílica (SiO_2) e outros elementos em menor composição como Al_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O, Fe_2O_3, SO_4, segundo MOURA *etal*.[7]. Após a caracterização química do resíduo, MOURA *etal*.[7] constataram que o resíduo não possui propriedades aglomerantes ou pozolânicas, e foi classificado como Classe III – Inerte. A granulometria do resíduo é extremamente fina com partículas menores que 75µm, agindo na mistura como um fíler, atuando como ponto de nucleação, ativando a hidratação do cimento.

2.1. Dosagem e produção das argamassas autoadensáveis

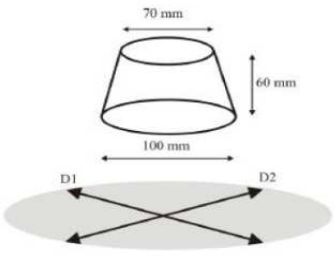
Para a realização das misturas das argamassas autoadensáveis foi adotada a metodologia de Repette-Melo descrita em MELO[21], com substituição da areia pelo RSRO nos teores de 5, 15 e 25%. O traço utilizado foi de 1,0:2,5 (cimento:areia). A relação água/cimento e o teor de SP foram ajustados de acordo com o espalhamento e a fluidez, medidos no ensaio da mesa de consistência e no funil V, respectivamente. O teor de aditivo considerado ideal foi aquele para o qual a argamassa apresentou um diâmetro de espalhamento entre 200 a 280mm e tempo de escoamento entre 3,5 a 10 segundos.

As argamassas foram preparadas em argamassadeira mecânica de eixo planetário, com capacidade de 5 litros. A sequência de mistura adotada na produção das argamassas autoadensáveis garantiu a homogeneização dos materiais, utilizando-seum tempo total de mistura de 9 minutos, como se segue:

1. Cimento, fíler e 80% da água misturados em velocidade lenta durante 30 segundos;
2. Adição do agregado miúdo, em velocidade lenta durante 30 segundos;
3. Mistura em velocidade rápida por 1 minuto;
4. Limpeza e repouso por 3 minutos;
5. Incorporação do aditivo e restante da água, após 5 minutos do início da mistura;
6. Mistura final por 4 minutos em velocidade rápida.

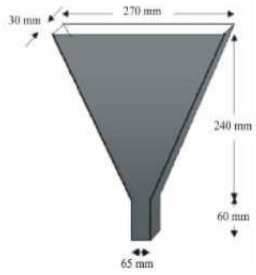
Após a mistura, foi determinado o espalhamento das argamassas, na mesa de consistência, moldada em única camada e sem adensamento, utilizando um molde tronco de cone, conforme Figura 1a. A mesa de consistência foi usada apenas como apoio para o ensaio de espalhamento.Após o espalhamento da mistura, o ensaio consiste na medição do diâmetro de duas medidas perpendiculares entre si. Por meio deste ensaio, é possível expressar a capacidade da argamassa autoadensável de escoar pela ação do seu peso próprio e verificar sua habilidade de preenchimento[22], cujos limites de espalhamento variam de 200 a 280 mm[21].A fluidez das argamassas foi determinada pelo ensaio do Funil V (Figura 1b), medindo-seo tempo de escoamento da mistura, cujos limites para este ensaio são de 3,5 a 10s.

Figura 1a – Molde para medir espalhamento



Fonte: Nunes (2001)

Figura 1b - Funil V para medir tempo de escoamento



Fonte: Nunes (2001)

Além dos ensaios no estado fresco, foram moldados seis corpos de prova prismáticos, com dimensão 40x40x160 mm, para cada mistura, para avaliação da resistência mecânica nas idades de 7 e 28 dias, conforme a NBR 13279[23], sendo empregados 3 corpos de prova para cada idade. As argamassasforam adensadas pelo seu peso próprio. O processo de desmoldagem ocorreu após 24 horas da moldagem, e os corpos de prova foram submetidos à cura por imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio até a idade de ruptura.

2.2. Apresentação e discussão dos resultados

Os resultados de espalhamento e tempo de escoamento no Funil-V estão apresentados na Tabela 1. Verificou-se que as argamassas autoadensáveis estudadas foram bem dosadas, pois não apresentaram excesso de água nas bordas da seção espalhada (Figura 2), indicando boa retenção de água e coesão adequada, conforme REPETTE[22].

Tabela 1–Valores derelação a/c e teor de SP e resultados de espalhamento e tempo de escoamento

Mistura	Traço	Relação a/c	SP (%)	Espalhamento (mm)	Funil V (s)
REF	1:2,5	0,50	0,15	250	4,17
5%RSRO	1:2,5	0,50	0,15	205	6,95
15%RSRO	1:2,5	0,55	0,20	244	8,83
25%RSRO	1:2,5	0,55	0,30	219	9,11

Figura 2 – Aspecto de uma das argamassas autoadensáveis estudadas no ensaio de espalhamento



Fonte: O próprio autor

A análise dos resultados da Tabela 1 indica que para uma mesma relação a/c, à medida que o teor da substituição da areia pelo RSROaumentouo diâmetro do espalhamentodiminuiu, fato observado também nas misturas 15%RSRO e 25%RSRO que apresentam o mesmo a/c e diferem no teor de aditivo. Tal fato demonstra que o resíduo aumentou a coesão da argamassa autoadensável, pois a coesão é definida como a capacidade da mistura de se manter na posição original sob pequenas tensões[24].Foi observado, ainda, que à medida que se aumentou o teor de substituição do RSRO, ocorreu o aumento do consumo de água e do teor de aditivo devido à finura do resíduo.

ISSN 1984-8757

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão das argamassas autoadensáveis avaliadas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados médios de resistência à compressãoe resistência à tração na flexão

Mistura	a/c	SP (%)	fc (MPa) ± Sd (MPa) (C.V. - %)		ft (MPa) ± Sd (MPa) (C.V. - %)	
			7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
REF	0,50	0,15	29,3 ± 1,8 (6,0)	32,5 ± 0,8 (2,0)	8,6 ± 0,2 (2,0)	9,8 ± 0,3 (3,0)
5%RSRO	0,50	0,15	27,3 ± 2,4 (9,0)	34,1 ± 1,8 (5,0)	8,2 ± 0,4 (5,0)	9,2 ± 0,2 (2,0)
15%RSRO	0,55	0,20	30,2 ± 1,8 (6,0)	39,2 ± 1,5 (4,0)	9,4 ± 0,2 (2,0)	9,4 ± 0,7 (7,0)
25%RSRO	0,55	0,30	24,6 ± 4,3 (17,0)	33,9 ± 4,5 (13,0)	8,6 ± 0,7 (8,0)	10,4 ± 1,2 (12,0)

Nota: a/c: relação água/cimento; fc: resistência à compressão; ; f_t: resistência à tração na flexão; Sd: desvio padrão; C.V.: coeficiente de variação.

Os resultados individuais, aos 28 dias, tanto de resistência à compressão, quanto de tração na flexão, foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA). Observou-se o teor de RSRO interfere na resistência à compressão das argamassas autoadensáveis, pois o $F_{calculado}$ (4,051) foi maior que o $F_{tabelado}$ (3,098), conforme resultados apresentados a Tabela 3. No entanto, para a resistência à tração na flexão observou-se que o teor de RSRO não tem significância nesta propriedade, pois o $F_{calculado}$ (1,855) foi menor que o valor do $F_{tabelado}$ (4,066). Os resultados médios de tração na flexão apontam um ganho de 6% para a mistura 25%RSRO em comparação com a mistura de referência. Contudo, não se observa ganho de resistência para os teores de 5 e 15% de RSRO.

Tabela 3 - Análise de variância do efeito da adição do RSRO sobre a resistência à compressão das argamassas autoadensáveis

Fator	Resistência à compressão					Resistência à tração na flexão				
	GDL	MQ	F_{cal}	$F_{0,05}$	Significância	GDL	MQ	F_{cal}	$F_{0,05}$	Significância
RSRO	3	100,92	4,051	3,098	S	3	0,938	1,855	4,066	NS
ERRO	20	24,92	-	-	-	8	0,505	-	-	-

Nota: GDL– Grau de Liberdade; MQ– Média Quadrada; F_{cal}– Valor calculado de F; $F_{0,05}$ – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo.

Realizando a comparação múltipla de médias, observou-se que o teor de RSRO interfere significativamente na resistência à compressão das argamassas autoadensáveis até o teor de 15% de substituição da areia. A partir deste teor não há diferença significativa dos resultados encontrados (não há diferença significativa da resistência à compressão para o teor de 25%). O teor ótimo encontrado foi de 15% de RSRO para o qual foi obtido a maior resistência à compressão. Estudos realizados anteriormenteapontam como significativos teores de fíleres de 10%em REPETTE[22], 15 e 20% de RSRO em CRUZ *etal*.[10] e até 30% em COLANGELO[25].

Observou-se que o resíduo contribuiu para o aumento da resistência à compressão quando substituiu a areia na argamassaautoadensável devido à sua ação como fíler, preenchendo os vazios na matriz da argamassa e diminuindo a porosidade e, consequentemente, garantindo uma melhor resistência às mesmas.

3. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o uso de RSRO em substituição à areia aumentou a coesão das argamassas autoadensáveis.Foi observado, ainda, que à medida que se aumentou o teor de RSRO, ocorreu o aumento do consumo de água e do teor de aditivo devido à finura do resíduo. A adição de RSRO aumentou a resistência à compressão das argamassas até o teor de 15% de substituição da areia. O teor ótimo encontrado foi de 15% de RSRO, para o qual foi obtida a maior resistência à compressão.Em relação à resistência à tração na flexão, o uso de RSRO não apresentou efeito significativo sobre os resultados, e as resistências são bem semelhantes, independente do teor de resíduo utilizado.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LISBÔA, E. M. **Obtenção do Concreto autoadensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 121p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

2. ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.). **Cenário Mundial do Setor de Rochas Ornamentais.** São Paulo, SP. 2015. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3541>. Acesso em 07 ago 2015.

3. ANUÁRIO Mineral Brasileiro. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2010.

4. GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.** 135 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

5. SILVA, A. A. A. da. **Gestão de resíduo na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva**. 7˚ Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2011.

6. BASTOS, R. S.; ULIANA, J. G.; CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; VIEIRA, G. L.; DEGEN, M. K. **Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção.**55˚ Congresso Brasileiro do Concreto, Rio Grande do Sul, 2013.

7. MOURA, W. A.; LIMA, M. B. L.; NOGUEIRA, J. L. C.; MORRATI, M. Resíduos de serragem de rochas ornamentais para produção de peças pré-moldadas. **Tecnologias construtivas inovadoras e gestão da cadeia produtiva.** Barboza, A. da S. R.; Savastano, H. Porto Alegre, ANTAC, 2009.

8. CALMON, J. L., MORATTI, M., MORAES S., CENCI D., **Self-compacting concrete using marble and granite sawing wastes as filler.**World SustainableBuildingConference, Tokyo, 2005.

9. SOARES, R. B. **Contribuição ao estudo de concretos produzidos com a incorporação de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais**. 2014. 163p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

10. CRUZ, D. F. M. da.; LAMEIRAS, R. M.; BARBOZA, A. da S. R.; LIMA, L. A. de. **Estudo das propriedades mecânicas de argamassas produzidas utilizando-se resíduo do corte de mármore e granito.** VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. São Paulo. IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto) – CT 206 –Meio Ambiente, 2003.

11. MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante.** 139 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

12. SAFI, B.; SAIDI, M.; DAOUI, A.; BELLAL, A.; MECHEKAK, A.; TOUMI, K. **The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM).** Construction and Building Materials 78, p. 430-438, 2015.

13. GOLASZEWSKI, J.; SZWABOWSKI, J. **The effect of cement specific surface on rheology of superplasticized mortars.** 6˚ Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e 1˚International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

14. ORTEGA, A. G. **Mortero Autonivelante**. III Jornadas Iberoamericano de Materiales de Construcción. San Juan, 2003.

15. MADANDOUST, R.; MOHSENI, E.; MOUSAVI, S. Y.; NAMNEVIS, M. **An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO_2, nano-Fe_2O_3 and nano-CuO.** Construction and Building Materials 86, p. 44-50, 2015.

16. BENABED, B.; KADRI, EL-H.; AZZOUZ, L.; KENAI, S. **Properties of self-compacting mortar made with various types of sand.** Cement & Concrete Composites 34, p. 1167-1173, 2012.

17. OLIVEIRA, L. A. P. de; NEPOMUCENO, M. C. S.; CARVALHO, J. C. M. **Rheology of self-compacting concrete mortar phase**. Twin International Conferences 2nd Civil Engineering & 5 th Concrete Future, Corvilha, Portugal, 2013.

18. BRANCO, R. P. **Utilização de resíduos de concreto em concreto auto-adensável.** 118 p Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

19. MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

21. MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto autoadensável com adição de fíler calcário.** 183 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

22. REPETTE, W. L. Concreto Autoadensável. Concreto: Ciência e Tecnologia. G. S. Isaia. !.ed, 1v, São Paulo, IBRACON, 2011.

23. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

24. DAL MOLIN, D. C. C. Adições Minerais. Concreto: Ciência e Tecnologia. G. S. Isaia. 1 ed, 1v, São Paulo, IBRACON, 2011.

25. COLANGELO, F.; MARROCCOLI, M.; CIOFFI, R. **Properties of self-levelling concrete made with industrial wastes.** Rilem proceedings pro, v. 40, p.580-589, 2010.