

EFEITO DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE GRANITO NA REOLOGIA DA ARGAMASSA*

Laimara da Silva Barroso¹
Euzébio Bernabé Zanelato²
Afonso Rangel Garcez de Azevedo³
MarkssuelTeixeira Marvila⁴
Jonas Alexandre⁵
Sergio Neves Monteiro⁶
Beatryz Cardoso Mendes⁷
Gustavo de Castro Xavier⁸

Resumo

A construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais. Por isso, vem sendo estudado a adição de materiais alternativos para a produção de argamassas, como a incorporação de resíduo da produção de granito na substituição parcial ou total do agregado. Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilização do granito em argamassa e realizar o ensaio de reologia a fim de analisar a viscosidade e o escoamento da argamassa. Para isso foi estabelecido à incorporação de granito em 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%. Assim, no estado fresco, foram realizados ensaios de índice de consistência, conforme NBR 13276/2005 e ensaio de análise reológica através do *squeeze-flow*, consoante NBR 15839/2010. O *squeeze-flow* é um método que avalia o comportamento da argamassa em relação à carga aplicada e a deformação ocasionada. Os resultados mostram que as argamassas com teores de 0% e 20% apresentaram dificuldade de escoamento, enquanto o teor de 80% foi necessário uma redução de carga para a deformação elástica. Já a amostra de 100% apresentou deformação por enrijecimento e os teores de 40% e 60% apresentaram maior deformação plástica e melhor desempenho, concluindo-se, então, a viabilização da utilização de granito em argamassas.

Palavras-chave: Argamassa; Granito; Reologia

EFFECT OF GRANITE WASTE ADDITION ON MORTAR RHEOLOGY

Abstract

Civil construction is one of the largest consumers of natural resources. Therefore, it has been studied the addition of alternative materials for the production of mortars, such as the incorporation of granite in the partial or total replacement of the aggregate. This work aims to analyze the feasibility of granite in mortar and to perform the rheology test in order to analyze the viscosity and the flow of the mortar. For this it was established to the incorporation of granite in 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. Thus, in the fresh state, tests of consistency index were performed, according to NBR 13276/2005 and rheological analysis using *squeeze-flow*, according to NBR 15839/2010. The *squeeze-flow* is a method that evaluates the behavior of the mortar in relation to the load applied and the deformation caused. The results show that mortars with contents of 0% and 20% presented difficulties of flow, while the content of 80% required a reduction of load for the elastic deformation. The 100% sample presented deformation by stiffening and the contents of 40% and 60% presented greater plastic deformation and better performance, concluding, then, the feasibility of the use of granite in mortars.

Keywords: Mortar; Granite; Rheology.

- ¹ *Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ² *Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ³ *Doutor em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁴ *Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁵ *Doutor em Ciências de Engenharia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁶ *Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade da Flórida, Gainesville, Flórida, Estados Unidos.*
- ⁷ *Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.*
- ⁸ *Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade da Flórida, Gainesville, Flórida, Estados Unidos.*

1 INTRODUÇÃO

Na situação atual, em que há um grande desperdício de resíduos, é essencial que a indústria da construção civil se preocupe com o desenvolvimento sustentável, buscando alternativas para reaproveitar os resíduos sólidos, inserindo-os novamente no mercado. Em vista disso, muitos estudos são realizados com o intuito de reduzir os problemas relacionados à destinação final dos resíduos, minimizando o consumo de recursos naturais [1].

O granito é um grande gerador de resíduo, pois no processo de sua transformação em pias, pisos e revestimentos, pode ocorrer até 80% de perda das rochas originais, desde a extração, passando pelo corte até o polimento [2].

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas e Eventos (2015), o Brasil é o terceiro maior exportador de granito do mundo em 2014. Sendo o Espírito Santo o produtor de 50% de rochas ornamentais nacionalmente e também o responsável por mais de 70% das exportações brasileiras [3].

Como o índice de resíduos de granito é alto, torna-se importante estudar o reaproveitamento desse material, sendo possível incorporá-lo em argamassas. Assim, neste artigo foram utilizadas diferentes quantidades de granito como agregado na argamassa.

Este trabalho tem como objetivo analisar, através do ensaio de reologia, no qual é realizado na argamassa em seu estado fresco, os seus diferentes comportamentos de acordo com a quantidade de incorporação de granito.

O comportamento da argamassa no estado fresco depende da variação das proporções dos materiais constituintes e da variação da sua qualidade, levando também na influência da capacidade de aderência. Além disso, em relação à viscosidade e ao escoamento, quando submetida a uma determinada tensão de cisalhamento, a argamassa poderá apresentar contato mais extenso com o substrato, otimizando o mecanismo de aderência [4]. Segundo John (2003) a argamassa necessita de um coeficiente de viscosidade plástica menor possível, de forma a diminuir o trabalho de adensamento e espalhamento e, por outro lado, a tensão de escoamento deve ser relativamente alta, pois uma vez aplicada na parede, não deve escorrer [5].

Para saber o comportamento da argamassa, foi realizado o ensaio de reologia, a fim de conhecer a deformação de acordo com a tensão aplicada. Este termo tem origem grega (rheos = fluir e logos = estudo), ou seja, reologia é a ciência que estuda o fluxo e a tensão da matéria, avaliando as relações entre a tensão de cisalhamento aplicada e a deformação em um determinado período de tempo [6].

Reis e Tristão (2006) verificaram que o resíduo de granito adicionado à argamassa em quantidades apropriadas mostra-se viável e desempenha como efeito "filer", diminuindo a porosidade da matriz (material com granulometria de silte e argila) e influenciando outras propriedades das argamassas no estado fresco [7].

Neste trabalho foram adotados teores de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de adição de granito, em relação ao volume de areia, para argamassa de cimento, areia e cal hidratada, além da mistura de referência, contendo apenas agregados naturais. Estas amostras foram analisadas quanto às propriedades no estado fresco através do índice de consistência e reologia.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados no presente trabalho foram o cimento Portland CP II e a cal hidratada CH-III. Todo o cimento e cal utilizados foram do mesmo lote de fabricação, para manter a homogeneização da argamassa produzida e diminuir possíveis erros nos resultados do experimento.

O agregado utilizado foi a areia proveniente da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ. Foi realizada a secagem em estufa para retirar toda a umidade contida e não interferir no controle da relação água/cimento.

Para a substituição parcial e total do agregado miúdo, utilizou-se resíduo de granito, proveniente de uma indústria de granito da localidade de Cachoeiro de Itapemirim – ES, importante polo produtor nacional de rochas ornamentais.

Foi utilizado o traço em volume, variando o granito na proporção de 156,38 g e a areia em 272,20 g, de acordo com a relação da substituição da areia pelo granito em 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos traços em relação à substituição da areia pelo granito

Teores (%)	Cimento Portland (g)	Cal hidratada (g)	Granito (g)	Areia (g)
0	200,00	94,09	0,00	1361,02
20	200,00	94,09	156,38	1088,81
40	200,00	94,09	312,75	816,61
60	200,00	94,09	469,13	544,41
80	200,00	94,09	625,51	272,20
100	200,00	94,09	781,89	0,00

De modo geral, para definir o comportamento da argamassa no estado fresco é necessário utilizar relações com a sua consistência. Esta consistência é normalmente medida por meio do ensaio de mesa de consistência (flowtable) [4]. Este ensaio é um ensaio dinâmico onde são aplicados golpes, através de quedas com altura fixa, que provocam o escoamento da argamassa [8].

O ensaio de consistência foi realizado com a argamassa no estado fresco conforme a NBR 13276/2005 [9]. Este ensaio consiste em medir o espalhamento de uma quantidade de argamassa moldada em forma de tronco-cônico sobre uma mesa de consistência (flow table). Foi realizado um ensaio para cada teor de substituição, mantendo a consistência de (265 ± 5) mm. A figura 1 mostra a mesa de consistência utilizada.



Figura 1. Mesa de consistência

Apesar da complexidade do comportamento reológico que as argamassas podem apresentar, elas são tradicionalmente caracterizadas por testes simples, como a mesa de consistência (flow table), mostrado anteriormente, além do ensaio de

squeeze-flow [4]. O ensaio de *squeeze-flow* é um método para analisar o comportamento da argamassa em relação à deformação devido a força aplicada. O equipamento utilizado nesse ensaio é mostrado na Figura 2.

Figura 2. Ilustração da geometria do ensaio do *squeeze-flow*

Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR 15839/2010 [10], no qual foi aplicada uma carga de compressão na argamassa, através do equipamento, a uma velocidade de deslocamento constante. Para isto, foi moldada uma amostra de argamassa com diâmetro 101 mm e altura 10 mm e utilizou-se velocidade de deslocamento constante de 0,1 mm/s para o ensaio do tipo lento. Para realizar esse ensaio foi utilizado o equipamento da marca EMIC, associado com duas placas, para aplicar o deslocamento de compressão e fazer a leitura de carga necessária para deformar a argamassa. Na Figura 3 pode ser visto a amostra moldada e o ensaio em andamento.



Figura 3. Amostra moldada e ensaio de *squeeze-flow* em andamento

O final do ensaio ocorre quando é atingido o deslocamento da punção de 9 mm ou a carga máxima de 1 kN. Os resultados foram expressos em gráfico de carga (N) x deslocamento (mm). O gráfico obtido apresenta uma curva com três regiões bem distintas [11], conforme Figura 4.

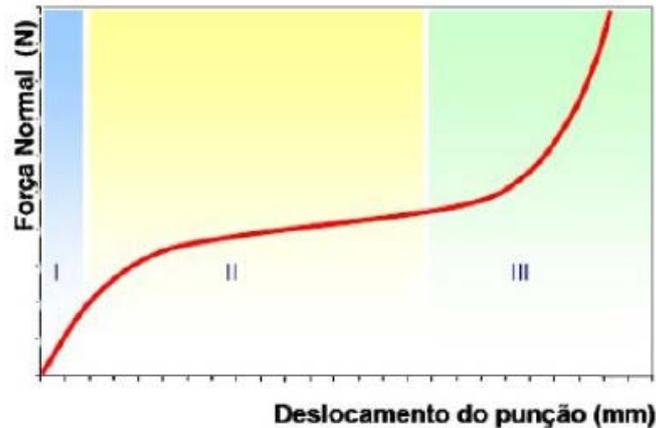


Figura 4. Perfil típico de uma curva força x deslocamento de um ensaio de *squeeze-flow* com controle de deslocamento.

Fonte. Belloet *al.*, 2013.

O estágio I trata-se de um pequeno deslocamento que mostra a deformação elástica do material, o estágio II trata-se de um deslocamento intermediário mostrando a deformação plástica ou fluxo viscoso e o estágio III trata-se de um grande deslocamento e enrijecimento por deformação, influenciado pela aproximação dos agregados e o atrito formado pelos mesmos [12].

2.2 Resultados

Na Tabela 2 é mostrado o resultado do espalhamento das argamassas realizado pelo método da mesa de consistência.

Tabela 2. Medida do espalhamento das argamassas pelo método da mesa de consistência

Teores (%)	Água (g)	Espalhamento (mm)
0	319,0	265
20	262,0	265
40	306,0	265
60	369,0	260
80	396,5	260
100	474,0	260

Os resultados obtidos no ensaio de *squeezeflow*, do tipo lento (com velocidade de 0,1 m/s), de cada teor de substituição de granito, feito para a reologia, pode ser visto no gráfico representado na Figura 5.

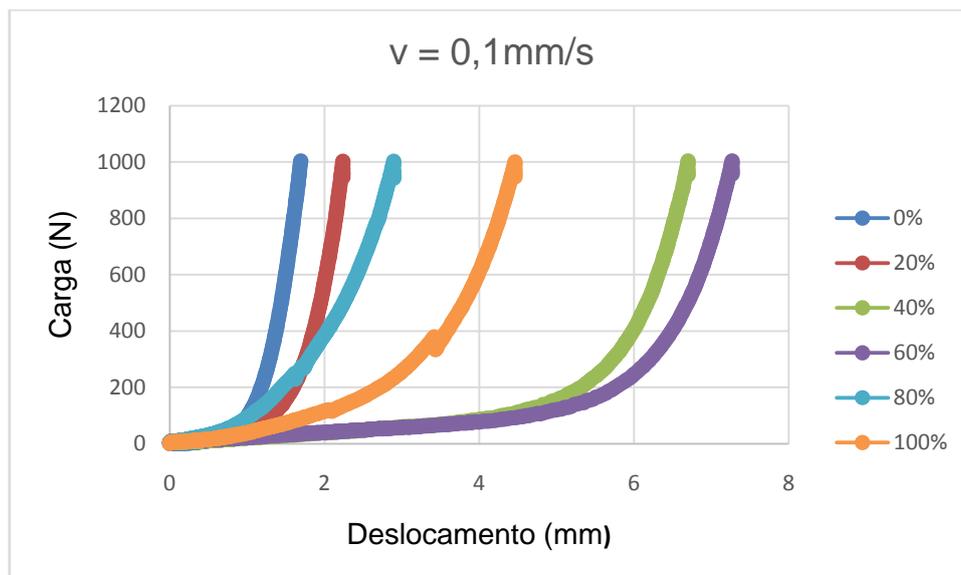


Figura 5. Curva carga x deslocamento dos teores de substituição de granito.

O traço que não teve adição de granito, denominado 0% apresentou deformação elástica (estágio I), no qual caracteriza o comportamento de um material sólido e o estágio III, no qual é necessário um aumento da força para as deformações serem constantes, bem definidos. Porém obteve dificuldade no estágio II que apresenta a deformação plástica. Este comportamento pode ser explicado pelo atrito entre as partículas do sistema, visto que a argamassa apresentou uma aparência seca, refletindo falta de água para recobrir efetivamente todas as unidades da composição. Assim, os agregados, que representam a maior parte do sistema, estavam relativamente próximos e, ainda, separados por uma pasta aparentemente viscosa, incapaz de facilitar o fluxo entre eles e manter a coesão do material [13].

A argamassa com teor de 20% apresentou comportamento semelhante ao da argamassa de 0%, com maior dificuldade de escoamento, saindo do estágio inicial, direto para o enrijecimento por deformação. Isso se deve ao fato de apresentar elevado atrito entre os agregados [14].

Os teores de 40% e 60% apresentaram comportamento bem parecido, com grande parte da deformação plástica e atingindo em seguida o enrijecimento por deformação. A ocorrência do estágio II está relacionada ao comportamento de argamassas de fácil aplicação e espalhamento [15].

A curva do teor de 80% também apresentou dificuldade de escoamento, logo atingindo o enrijecimento por deformação, ou seja, pouca trabalhabilidade e enrijecimento brusco, sendo impossível a sua aplicação [16]. Já a curva do teor de 100%, foi a única a passar de forma clara pelos três estágios, deformação elástica, deformação plástica e enrijecimento por deformação [17].

2.3 Discussão

Os resultados do ensaio indicam que a argamassa sem resíduo de granito exigiu maior carga para se deformar, e conseqüentemente, menor plasticidade, comparada com as argamassas com adição de granito. Resultados semelhantes foram observados por Apolinário [1]. Nota-se também que a argamassa feita com adição de granito apresentou maior viscosidade comparada com a referência, e também elevado atrito entre os agregados. Conforme Santos, Apolinário e Ribeiro [18] a viscosidade tende a aumentar com a adição de resíduo de granito porque as

partículas do resíduo possuem grande área superficial, absorvendo boa quantidade da água da mistura. Além disso, altos teores de resíduos adicionados aumentam a probabilidade de serem formados aglomerados, os quais elevam o atrito interno.

3 CONCLUSÃO

A partir dos resultados, verificou-se que no ensaio de *squeeze-flow*, em todos os teores, o enrijecimento por deformação está presente, mas nos teores de 40% e 60% a deformação plástica é predominante, favorecendo a produtividade na aplicação de argamassas, enquanto as argamassas com teores de 0% e 20% apresentaram maior dificuldade de escoamento, assim dificultando os procedimentos de aplicação e acabamento do material. Já no teor de 80% ocorreu uma redução das cargas necessárias para deformação do material decorrentes de seu rompimento e a amostra com 100% apresentou deformação pelo enrijecimento. Os resultados confirmam a viabilização da adição de granito em argamassas. Em relação ao ensaio de reologia os traços de 40 % e 60% foram apontados como os melhores teores.

REFERÊNCIAS

- 1 APOLINÁRIO ECA. Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland. Salvador. Dissertação [Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana] – Universidade Federal da Bahia; 2014.
- 2 SUGIMOTO L. O que fazer com os resíduos das rochas ornamentais? Jornal da Unicamp. Campinas; 2017. Acesso em: 26 de abril de 2018. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2017/04/24/o-que-fazer-com-os-residuos-das-rochas-ornamentais>.
- 3 Associação Brasileira de Empresas e Eventos. Brasil quer assumir a liderança no mercado mundial de rochas processadas. Jacarepaguá (RJ); 2015. Acesso em: 26 de abril de 2018. Disponível em: <http://www.abeoc.org.br/2015/01/brasil-quer-assumir-a-lideranca-no-mercado-mundial-de-rochas-processadas/>.
- 4 SILVA RP; BARROS MMSB; PILEGGI RG; JOHN VM. Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, *droppingball* e *squeezeflow*. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI. Florianópolis: Anais, 2005.p.106-120.
- 5 JOHN, VM. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, V. São Paulo: Anais, 2003. p.47-62.
- 6 GLATTHOR A; SCHWEIZER D. Rheological Lab Testing of Buildings Formulations [Internet]. ConchemConference, Düsseldorf, 1994. Acesso em: 26 de abril de 2018. Disponível em: <http://www.baustoffchemie.de/en/rheology/>.
- 7 REIS AS; TRISTÃO FA. Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais [Internet]. Universidade Federal do Espírito Santo, 2006. Acesso em: 26 de abril de 2018. Disponível em: http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2038_07.pdf.
- 8 HACKLEY, VA; FERRARIS, C. F. The use of nomenclature in dispersion Science and technology. Washington: National Institute of Standards and Technology, 2001. Special publications, 945-946.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15839. Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- 11 CARDOSO, A; PILEGGI, RG; JOHN, VM. Caracterização reológica de argamassas pelo método de *squeeze-flow*. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI, Florianópolis: Anais, 2005.p.121-143.
- 12 BELLO, ACD; SILVA, JM; STOLZ, CM; MASUERO AB. Caracterização reológica de argamassas industrializadas aplicadas sobre substratos porosos. In: Congresso brasileiro do Concreto, 55º, Gramado: Anais, 2013.
- 13 CARDOSO, FA. Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico. São Paulo. Tese [Doutorado em Engenharia Civil] –Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 2009. Acesso em: 03 de agosto de 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-21122009-125012/pt-br.php>>.
- 14 AZEVEDO, ARG; ALEXANDRE, J; ZANELATO, EB; MARVILA, MT. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 148, p. 359-368, 2017.
- 15 FRANÇA, MS; CARDOSO, FA; PILEGGI, RG. Influenciado procedimento de mistura em laboratório nas propriedades de argamassas. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 111-124, abr./jun. 2013.
- 16 KAZMIERCZAK, CS; ROSA, M; ARNOLD, DCM. Influenciada adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2016.
- 17 MEDEIROS, MHF; DRANKA, F; MATTANA, AJ; COSTA, MRMM. Compósitos de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono (NTC): Propriedades no estado fresco e resistência à compressão. Revista Matéria, v. 20, n. 01, p. 127-144, 2015.
- 18 SANTOS, GRS; APOLINÁRIO, ECA; RIBEIRO, DV. Influência da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) na reologia das argamassas. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 1, 2013, p. p. 70-86.