

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO PELO MÉTODO SQUEEZE FLOW EM ARGAMASSAS INCORPORADAS COM RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL \*

Gabrielly Carvalho Martins Azevedo<sup>1</sup>  
Pamella Inacio Moreira<sup>2</sup>  
Letícia Freitas Ciribelli<sup>3</sup>  
Gustavo de Castro Xavier<sup>4</sup>  
Afonso Rangel Garcez de Azevedo<sup>5</sup>  
Jonas Alexandre<sup>6</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>7</sup>

## Resumo

O objetivo deste estudo é a análise das argamassas de múltiplo uso no estado fluido, incorporadas de resíduo de rocha ornamental (RRO), coletado em Santo Antônio de Pádua/RJ. Utiliza-se do método de *squeezeflow* para compreender suas principais características reológicas. Esse processo se realiza através da substituição da areia pelo resíduo de rocha nas percentagens de 10%, 15% e 20%, incluídas de cimentos Portland do tipo CP II e tipo CP III. Desta forma, analisa-se a trabalhabilidade, consistência, assim como, a influência das velocidades propostas pelo método de *squeezeflow*, a influência do resíduo de rocha e a influência dos cimentos citados.

**Palavras-chave:** Resíduo de rocha ornamental; Argamassa; Estado Fluido.

## ANALYSIS OF RHEOLOGICAL BEHAVIOR BY THE METHOD SQUEEZE FLOW IN MORTARS INCORPORATED WITH RESIDUE OF ORNAMENTAL ROCK

### Abstract

The objective of this study is the analysis of the multiple use mortars of wastewater, incorporated to the sediment of Ornamental Rock (RRO), in the city of Santo Antônio de Pádua/RJ. The *squeezeflow* method is used for its characteristic rheological aspects. This process is accomplished by replacing the sand with the rock residue in the percentages of 10%, 15% and 20%, included of Portland cement type CP II and type CP III. Thus, the analysis of an operation, the consistency, as well as the flow influence by the *squeezeflow* method, the influence of the screening process and the influence of the mentioned cements.

**Keywords:** Residue of Ornamental Rock; Mortar; Fluid State.

<sup>1</sup> Aluna de graduação em Engenharia Civil, Faculdade Santo Antônio de Pádua, Santo Antônio de Pádua, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>2</sup> Aluna de graduação em Engenharia Civil, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>3</sup> Aluna de graduação em Engenharia de Produção, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, Doutor, Professor Orientador, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>5</sup> Engenheiro Civil, doutor, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro Civil, doutor, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>7</sup> *Engenheiro Civil, doutor, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil vem enfrentando, como um dos problemas relacionados à poluição do meio ambiente, a disposição final dos resíduos de rochas. Esses resíduos podem alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo reservatórios naturais de água, quando lançados sem nenhum tratamento prévio [1].

Na cidade de Santo Antônio de Pádua, na região noroeste fluminense, a extração de rochas ornamentais iniciou-se com um forte crescimento a partir de 1980, com o início da utilização dessas rochas na construção civil. A classificação da rocha existente na região é geologicamente como milonito gnaisse, oriundo do metamorfismo de rochas ígneas à semelhança dos gnaisses [2].

Para a aplicação de rochas ornamentais na construção civil, é necessário o desdobramento dos blocos de rochas para chapas, sendo esse processo o responsável pelo resíduo na forma de lama. Essa lama é levada, geralmente, para um tanque de decantação, através do uso de bombas. A extração e o corte de rochas ornamentais nessa região ocasionam enormes quantidades de resíduos de rocha ornamental (RRO) [1].

Com a intenção de minimizar a disposição final dos resíduos diretamente no meio ambiente, este trabalho inicia o estudo da incorporação dos resíduos de rochas oriundos de Pádua/RJ em argamassas de múltiplo uso.

Para se entender as propriedades das argamassas incorporadas de resíduo de rocha, é necessária uma série de estudos e análises do seu comportamento no estado fluido e, posteriormente, no estado endurecido.

Este trabalho tem como objetivo iniciar a análise das argamassas incorporadas com resíduo de rocha no estado fluido. Nesse processo, utilizou-se do método de *squeeze flow* para compreender suas características reológicas. Para isso, foi realizada uma substituição da areia pelo resíduo de rocha nas percentagens de 10%, 15% e 20%, incluídas de cimentos Portland do tipo CP II e tipo CP III.

Analisou-se a trabalhabilidade e a consistência das argamassas nas diferentes composições, a influência das velocidades que é proposta pelo método de *squeeze flow*, a influência do resíduo de rocha e a influência dos cimentos do tipo CP II e do tipo CP III nas argamassas desenvolvidas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

O material desenvolvido neste estudo consiste em três argamassas, sendo uma composta de cimento Portland tipo CP II da empresa Mauá e outra composta pelo tipo CP III da empresa Nassau, todas acrescentadas de areia e de resíduo de rocha ornamental coletado na cidade de Santo Antônio de Pádua da Indústria e Comércio de Pedras Rola Ltda, localizada na região noroeste fluminense.

As argamassas foram testadas com três diferentes composições, com a consequente substituição de porcentagem de areia por resíduo de rocha nos percentuais de 10%, 15% e 20%. Anteriormente à mistura, os materiais foram peneirados na peneira 20 Mesh (0,85 mm), para, em seguida, serem feitas as composições previstas.

As argamassas testadas nas referentes substituições foram submetidas ao ensaio de consistência (ABNT 13276, 2005), com o objetivo de encontrar a quantidade de

água, baseando-se nas margens do índice de consistência estabelecido pela norma [3].

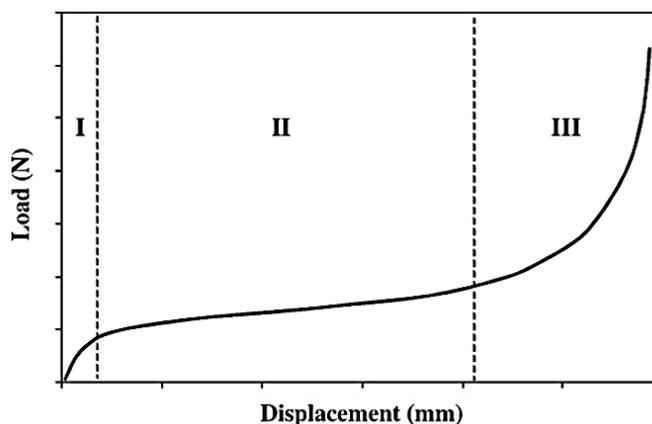
**Tabela 1.** Índice de Consistência

Porcentagem	CPII	CPIII	CPV
10%	262	255	256
15%	261	260,7	263
20%	259,3	255,3	259

A margem estabelecida pela norma é de  $\pm 260$  mm.

Na intenção de caracterizar as argamassas no estado fluido, utilizou-se o método de *squeezeflow* (ABNT 15839, 2010), a fim de se descrever o comportamento reológico de cada composição testada [4]. As diferentes misturas foram preparadas em uma argamassadeira por cerca de 90s, ficando posteriormente, 15 minutos em descanso. Os testes de *squeezeflow* foram conduzidos em uma máquina de ensaio universal EMIC 26-30 com capacidade de 30 kN, usando uma célula de carga de 1 kN, compondo-se de uma placa superior fixa com superfície lisa de 100 mm de diâmetro. Logo após as misturas, as argamassas foram espalhadas e razadas, para garantir um acabamento perfeito, em um molde cilíndrico metálico de 100 mm de diâmetro e de 10 mm de altura sobre uma base rígida de aço inox.

Os resultados emitidos pelo teste de *squeezeflow* podem ser diferenciados em três estágios, quais sejam: o comportamento elástico linear (I), o comportamento plástico ou fluxo viscoso (II) e a fase de endurecimento de tensão (III) [5]. Esses três estágios são avaliados em curvas exponenciais, expressas na forma de força *versus* deslocamentos, conforme a figura abaixo:



**Figura 1.** Típica curva de força *versus* deslocamento ilustrado pelo método de *squeezeflow*, ilustrando os três principais estágios do comportamento de um material no estado fluido [5].

No primeiro estágio, as argamassas poderão apresentar problemas de fissuração ainda no estado fluido, decorrente da recuperação elástica após a remoção da força aplicada. No estágio 2, as argamassas tendem a sofrer grandes deformações sem necessitar de um aumento expressivo de força para ocorrer um deslocamento e, no terceiro estágio, a carga necessária para provocar um deslocamento tende a ser altamente expressiva [5]. Ressalta-se também que a intensidade dos estágios pode variar de acordo com a composição dos materiais e com a configuração de ensaio utilizado.



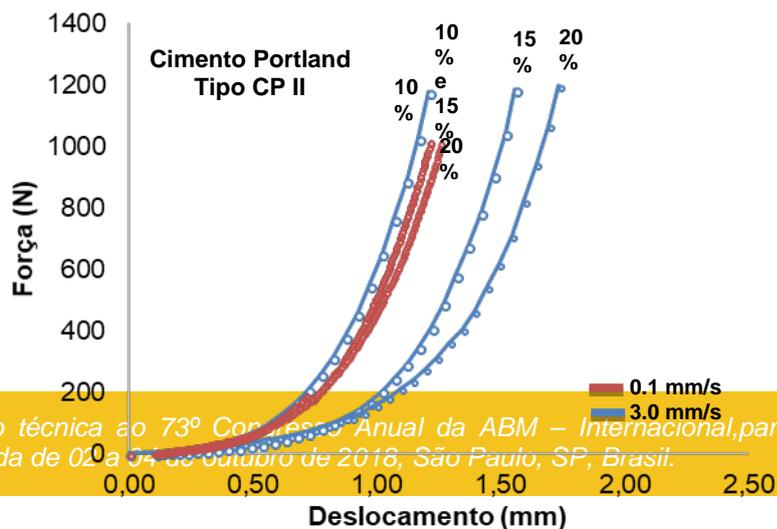
**Figura 2.** Fissurações em argamassas no estado fluido.

O teste de *squeezeflow* consistiu em comprimir as diferentes composições testadas, a uma velocidade de 0,1 mm/s e de 3,0 mm/s, até um máximo deslocamento de 9 mm. Os dados de carga, deslocamento e tempo foram coletados e registrados pelo *software* do equipamento

## 2.2 Resultados e Discussões

Através das curvas geradas pela técnica de *squeezeflow*, é possível descrever o nível de trabalhabilidade do material estudado. São listados três níveis de trabalhabilidade, sendo a alta trabalhabilidade a ocorrência do prolongamento do estágio de deformação plástica em cargas muito baixas, ocorrendo a transição para a fase de endurecimento de tensão somente em deslocamentos maiores; a baixa trabalhabilidade a ausência do estágio de deformação plástica e a média trabalhabilidade a variação do nível de carga à medida que a deformação plástica ocorre. Acrescenta-se ainda que, em argamassas de média trabalhabilidade, o material tende a fluir e, depois, a parar, sendo que essa parada provoca cargas maiores e, quando voltam a fluir, a carga tende a decrescer [5].

A seguir, tem-se os resultados obtidos nas argamassas compostas de cimento Portland tipo CP II e tipo CP III, nas diferentes substituições (10%, 15% e 20% de RRO), comprimidas em velocidades de 0,1 mm/s e 3,0 mm/s:



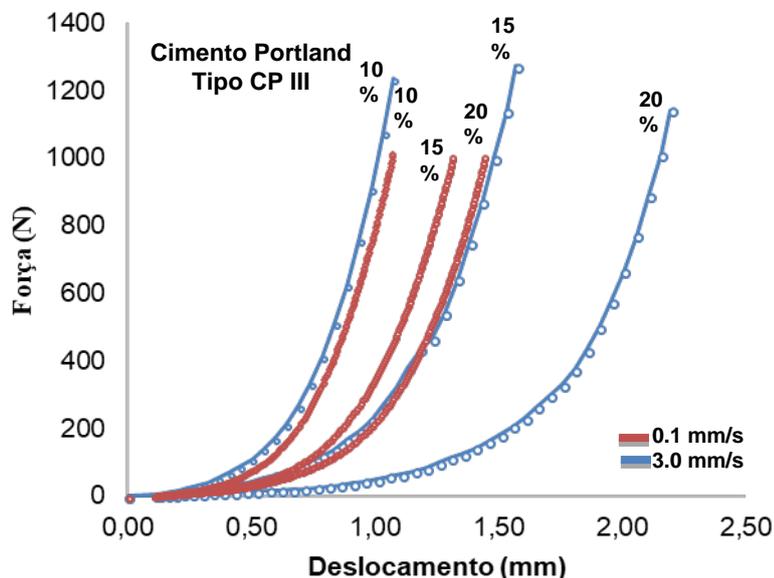


Figura 3. Gráficos gerados pelo método do *squeezeflow*.

### 2.2.1 Influência da Velocidade

Observar-se que as curvas apresentaram apenas dois estágios: deformação plástica e endurecimento de tensão. As argamassas, nas diferentes composições, iniciaram no estágio 2 com pequenas cargas. O deslocamento aumentou gradativamente, à medida que a carga lentamente foi elevada, sendo que, na transição para o estágio 3, ocorreu um pequeno espaço de deslocamento, seguido de excessivo aumento de carga.

As argamassas compostas pelo cimento CP II de 10%, 15% e 20% na velocidade de 0,1 mm/s apresentaram resultados semelhantes. Destacam-se as curvas de 10% e de 15% com a igualdade dos resultados, efetivando a transição do estágio 2 para o estágio 3 na marca de 0,60 mm deslocamento. Sendo assim, o comportamento das argamassas testadas nas diferentes composições de resíduo de rocha não foi influenciado pela velocidade de deslocamento (0,1 mm/s), manifestando pouca sensibilidade à segregação.

Ao observar as composições na velocidade de 3,0 mm/s, foram obtidos resultados diferentes nas composições testadas. A argamassa composta por 10% de resíduo de rocha obteve a transição de fases em 0,50mm e um deslocamento máximo de 1,20 mm. Já as argamassas compostas por 15% e por 20% comportaram-se plasticamente até 0,60 mm de deslocamento, passando, a partir dessa faixa, para a fase de endurecimento de tensões, consequência da aproximação dos agregados e seus atritos [6].

Analisando as argamassas compostas pelo cimento do tipo CP III, na velocidade de 0,1 mm/s, observa-se que as composições de 10%, 15% e 20% comportam-se plasticamente até 0,50 mm de deslocamento. Apesar disso, o deslocamento máximo das três composições foi totalmente diferente um do outro.

Ao testá-las na velocidade de 3,0 mm/s, as curvas obtidas foram significativamente diferentes. A argamassa composta com 10% comportou-se plasticamente por uma curta faixa de deslocamento, tendo o seu deslocamento máximo de apenas 1,0 mm. Já a argamassa com 15% de resíduo de rocha teve a transição de estágios na marca de 0,70 mm e um deslocamento máximo de 1,50 mm. A argamassa composta com 20% obteve um resultado expressivo, pois se comportou plasticamente até 1,0 mm e obteve um deslocamento máximo de 2,20 mm.

Analisando o comportamento nas ambas velocidades, verificou-se que as argamassas testadas na velocidade de 0,1 mm/s alcançam o deslocamento máximo com a carga de 1 KN, encontrando-se na faixa entre 1,0 a 1,50 mm. De outro modo, quando testadas à velocidade de 3,0 mm/s, as cargas, para alcançar o deslocamento máximo, variam de composição para composição, tendo uma faixa média de carga de 1,2 KN e, em consequência, geram-se um deslocamento máximo maior que na velocidade de 0,1 mm/s, variando na faixa de 1,0 a 2,20 mm.

Dessa forma, verifica-se que a velocidade de 3,0 mm/s influencia diretamente no poder de segregação das argamassas, classificando-a como ideal para compreender de modo mais detalhado o comportamento das argamassas testadas nas diferentes composições de resíduo de rocha ornamental.

### 2.2.2 Influência do Tipo de Cimento

Comparando as curvas das argamassas de cimento Portland tipo CP II com tipo CP III, as misturas com 10% de resíduo de rocha ensaiadas à velocidade de 0,1mm/s e 3mm/s obtiverem resultados semelhantes. As argamassas comportaram-se plasticamente entre 0,50 e 0,60 mm de deslocamento. A partir desse ponto ocorreu a passagem para a fase de endurecimento de tensões, obtendo-se, então, um deslocamento máximo próximo de 1,20mm no tipo CP II e 1,0 mm no tipo CP III.

No entanto, analisando as porcentagens de 15% e 20%, percebe-se uma diferença nas curvas para ambos os tipos de cimento. As curvas geradas pelo *squeezeflow* com o cimento no tipo CP II alcançaram um deslocamento máximo de 1,70 mm, ao passo que as curvas compostas pelo tipo CP III tiveram um resultado mais expressivo, atingindo um deslocamento máximo de 2,20 mm.

Ao adicionar outros materiais ao cimento, suas propriedades tendem a ser alteradas, como a coesão e a consistência, especialmente quando a granulometria das adições tem uma finura menor que a finura do clínquer. Ademais, nos casos em que a finura das adições é semelhante à do cimento, há uma influência da densidade das partículas das adições que acabam influenciando, também, nas características reológicas das argamassas [7].

### 2.2.3 Influência do Resíduo de Rocha Ornamental

As curvas geradas pelo método do *squeezeflow* diferem-se entre si, demonstrando o impacto que as adições das diferentes porcentagens de resíduo de rocha têm sobre o comportamento reológico das argamassas.

Pode ser notado, ainda, que, na argamassa composta por 10% de resíduo de rocha no tipo CP II, ensaiada na velocidade de 0,1 mm/s, e na argamassa composta por 15% de resíduo de rocha no tipo CP III, ensaiada na velocidade de 3 mm/s, houve oscilações em suas curvaturas e sugerem ocorrência de altos níveis de cisalhamento interno no material. Aponta-se ainda que, quando o atrito entre as placas e a argamassa é maior do que o atrito interno da argamassa, essa sofre

cisalhamento interno para acomodar a redução da altura, porém não há ocorrência de espalhamento radial expressivo [8].

A caracterização reológica das argamassas ensaiadas é uma tarefa difícil, sendo necessário conhecer as características físicas das partículas (distribuição granulométrica, densidade, formato, área superficial e rugosidade superficial. Sendo analisada no estado fluido, a resistência da argamassa vai sendo modificada ao longo do tempo, sobretudo pela hidratação do cimento, considerando-se um comportamento reológico variável. Esse comportamento determina a eficiência de aplicação e, por conseguinte, a caracterização da argamassa como de revestimento ou de assentamento [9].

### 3 CONCLUSÃO

As argamassas estudadas, obtiveram a quantidade de água dentro dos limites estabelecidos pela norma. Através dos ensaios de índice de consistência e das análises efetuadas no método de *squeezeflow*, foi possível classificar as argamassas testadas nas diferentes composições como de média trabalhabilidade. Verificou-se que em todas as percentagens ensaiadas, na velocidade de 3 mm/s, os resultados foram mais consistentes e próximo da aplicação em uma obra. Com as análises, verificou-se o comportamento reológico das composições ensaiadas, porém ressalta-se a necessidade da continuação dos ensaios no estado fluido como a análise da densidade de massa, da retenção de água e do teor de ar incorporado, com o objetivo de poder caracterizar suas propriedades no estado fresco de modo mais consistente.

### REFERÊNCIAS

- 1 Moreira, J. M. S; Manhães, J. P. V. T; Holanda, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 2005, 51, p. 180-186.
- 2 Carvalho, de Eduardo Augusto et al. Aproveitamento dos resíduos finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua/RJ. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste - SRONE, 2002, p. 1-8.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15839: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Caracterização reológica pelo método *squeezeflow*. Rio de Janeiro, 2010.
- 5 Cardoso, Fábio A.; John, Vanderley M.; Pileggi, Rafael G.. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. *Cement And Concrete Research*, 2009, 39, p.748-753.
- 6 Stolz, Carina M. et al. Influence of substrate texture on the tensile and shear bond strength of rendering mortars. *Construction And Building Materials*, 2016, 128, p.298-307.
- 7 Mattana, Alécio Júnior; Pereira, Eduardo; Costa, Marianne R. M. M da. Influência dos constituintes do revestimento de argamassa sobre as suas propriedades reológicas. *Uepg: Ciências Exatas e da Terra*, Ponta Grossa, 2013, 19, p.33-44.
- 8 Cardoso, F. A. et al. Characterisation of rendering mortars by squeeze-flow and rotational rheometry. *Cement And Concrete Research*, 2013, 57, p.79-87.
- 9 Costa, Eliane Betânia Carvalho et al. Avaliação do efeito da reologia e da energia de impacto na resistência de argamassa. 3ª Congresso Português de argamassas de

construção.

2010.

Disponível

em:

[http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2049\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2049_2010.pdf)