AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO POR MEIO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Tema: Métodos de ensaio.
Grupo: 1

INGRIDY NASCIMENTO[1], YURI ALENCAR[2], STELA FUCALE[3], ANGELO JUST DA COSTA E SILVA[4], SILVIO ROMERO DE MELO FERREIRA[5]

[1]Mestre Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco/UPE, irqsn_pec@poli.br
[2]Graduando Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco/UPE, yral_pec@poli.br
[3]Profª Drª, Escola Politécnica de Pernambuco/UPE, sfucale@yahoo.com.br
[4]Prof. Dr., Escola Politécnica de Pernambuco/UPE, angelo@tecomat.com.br
[5]Prof. Dr., Universidade Federal de Pernambuco, sr.mf@hotmail.com

RESUMO

O estudo do comportamento das argamassas no estado fresco tem sido objeto de diversas pesquisas recentes no Brasil, em campo e em laboratório. Este trabalho apresenta um programa experimental utilizando equipamento de cisalhamento direto, usualmente empregado na área de Geotecnia. Foram dosados 4 traços de argamassa, com proporções distintas da cal, espalhamento (*flow table*) constante, diferentes tensões normais (10KPa, 37KPa e 50KPa) e velocidade cisalhante de 0,2mm/min. O método permitiu identificar aumento das tensões cisalhantes, coesão e ângulo de atrito à medida que se incrementa o uso da cal na mistura, indicando a sensibilidade do método para essa avaliação em argamassas.

Palavras-chave: argamassa, estado fresco, cisalhamento direto.

EVALUATION OF RHEOLOGICAL COATING MORTAR BEHAVIOR BY THE DIRECT SHEAR TEST

ABSTRACT

The study of the behavior of the mortar in its fresh state have been the goal of many recent researches in Brazil, in the field and in the lab. This paper presents an experimental program using equipment of direct shearing, usually appointed in the Geotechnical area. It was made 4 mixtures of mortars, with distinct proportions of lime, constant consistency (flow table), different normal tensions (10KPa, 37KPa and 50KPa) and shear speed of 0,2mm/min. The method allowed to identify the increase of shear tensions, cohesion and the friction angle as the use of lime increases in the mix, indicating its sensibility to this mortar evaluation.

Key-words: mortar, fresh state, direct shearing.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas de revestimento são definidas na engenharia civil como materiais obtidos pela mistura, em proporções adequadas, de aglomerante (cimento e cal), agregado miúdo e água, com ou sem aditivos e adições [1]. O interesse em um melhor conhecimento das propriedades dos elementos constituintes, e uma possível inserção de novos materiais no processo produtivo, vêm motivando avanços no estudo das argamassas de revestimento [2].

Uma argamassa trabalhável deve apresentar uma facilidade de manuseio e aplicação que permita alcançar uma tensão limite que propicie aderência com o substrato, evitando o deslizamento do material [3], no estado fresco, e o seu descolamento, após o endurecimento.

Na análise de argamassas de revestimento em seu estado fresco, surge como alternativa a utilização do ensaio de cisalhamento direto, aplicado, corriqueiramente, para a caracterização geotécnica de solos. Apesar dos parâmetros (coesão e ângulo de atrito) obtidos com os ensaios de cisalhamento direto não poderem ainda afirmar uma trabalhabilidade das argamassas, estudos exploratórios anteriores indicam a utilização do ensaio para as argamassas em seu estado fresco [2, 3, 4, 5, 6], e também endurecido [7].

No Brasil, embora se tenha avançado bastante nos últimos anos em técnicas para avaliação do comportamento reológicos de argamassas [8,9], ainda existe a necessidade de estudos complementares para uma análise mais detalhada dessa propriedade.

O presente do trabalho, tem por objetivo analisar o comportamento de argamassas de revestimento com diferentes e crescentes proporções da cal em seu estado fresco, a partir da do método normalizado adaptado da ASTM 3080[10], usado na área de Geotecnia, submetidas a distintas tensões normais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram produzidos 04 traços (quatro) distintos para as argamassas de revestimento, com proporções diferentes do ligante cal, denominados como TR1 (1:0:6), TR2 (1:0,5:6), TR3 (1:1:6) e TR4 (1:1,5:6), a fim de proporcionar diferentes comportamentos de trabalhabilidade à mistura. Todos os traços foram definidos com suas proporções em volume e para os respectivos materiais: cimento (CP II Z-32): cal hidratada (CH-I): areia (50% fina + 50% grossa = agregado miúdo). A Tabela 1 apresenta os valores obtidos com os ensaios de caracterização física do cimento (CPII Z-32) e da cal hidratada (CH-I) utilizados na pesquisa.

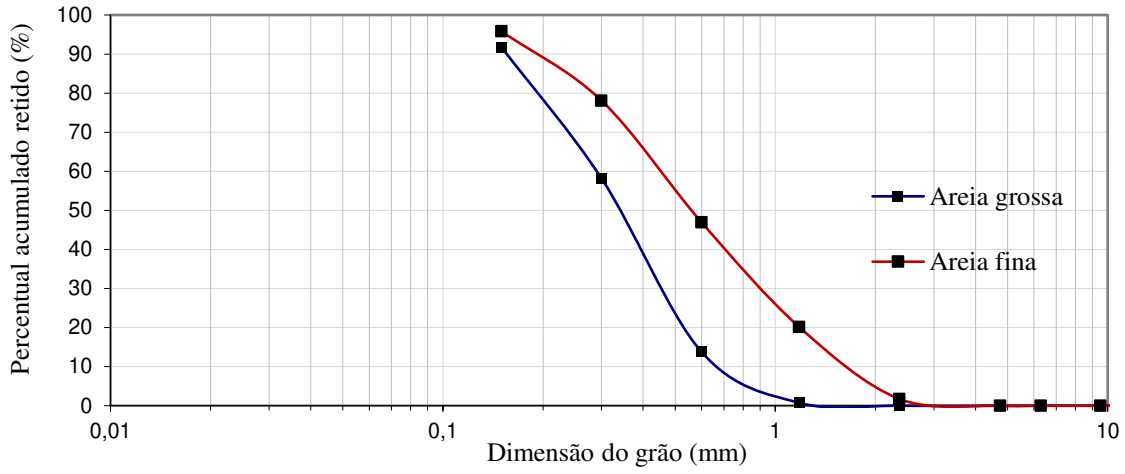
Quanto aos agregados, a partir dos percentuais retidos nas peneiras foram elaboradas as curvas granulométricas da areia fina e grossa, ilustradas na Figura 1, e os principais resultados de caracterização estão descritos na Tabela 2.

Tabela 1 – Caracterização física do cimento CPII Z-32 e da cal hidratada CH-I

Método de ensaio	Característica analisada	Unidade	Valor (CPII Z-32)	Valor (CH-I)
ABNT NBR NM 23:2001[8]	Massa específica	g/cm³	2,94	1,14
ABNT NBR NM 45:2006[9]	Massa unitária	g/cm³	1,54	0,92

Fonte: Autoria Própria

Figura 1 - Curvas granulométricas (areia fina e areia grossa)



Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 – Caracterização física dos agregados

	Módulo de finura	Diâmetro máximo (mm)	Massa unitária (g/cm³)	Massa específica (g/cm³)	Material pulverulento (%)
Areia fina	1,64	1,18	1,17	2,62	1,59
Areia grossa	2,43	4,80	1,28	2,66	0,94

Fonte: Autoria Própria

Buscou-se uma trabalhabilidade usual e aplicável na prática, igual para todos os traços de argamassas, controlada pelo ensaio de flow table com valores de 245± 5mm. Sendo assim, foram utilizados diferentes volumes de água para cada um deles, com relações água/cimento de 0,92, 0,95, 0,98 e 0,99, e relações água/ligante (cimento + cal hidratada) de 1,41, 1,06, 0,86 e 0,72, para os traços TR1, TR2, TR3 e TR4, respectivamente. Essa variação ocorreu pelo fato de cada traço apresentar volume de materiais secos diferentes, especialmente a quantidade de cal incorporada, que tem influência significativa na obtenção da referida consistência.

Para a preparação dos traços, os ligantes (cal e cimento) foram primeiramente misturados, depois se adicionou as correspondentes quantidades dos agregados e, em seguida, era colocada certa quantidade de água do traço, misturando os materiais manualmente, de modo a proporcionar uma melhor homogeneidade da mistura. Posteriormente, o traço era colocado no misturador de argamassa, e era realizado sua mistura em duas velocidades distintas, primeiro na mais baixa (v = 830 rpm), indicado na própria argamassadeira, durante 30seg, e posteriormente na mais alta (v = 1680 rpm) por mais 60 seg. O restante da água do traço dosado era colocado no momento da mistura na argamassadeira.

Após o ensaio de *flow table*, os diferentes traços de argamassa de revestimento foram submetidos ao ensaio de cisalhamento direto, segundo o procedimento utilizado usualmente em solos.

Os traços de argamassas foram moldados na caixa cisalhante bipartida (Lado = 10 cm e Altura = 4 cm) pertencente ao equipamento. O tempo decorrido entre a fase de consolidação e o início do ensaio foi de aproximadamente 10min. Após a consolidação do corpo-de-prova, por meio da aplicação de uma tensão normal, aplicou-se uma tensão horizontal de cisalhamento, utilizando velocidade (v) constante de 0,2 mm/s. A velocidade adotada teve como objetivo impedir que a água presente no traço de argamassa não fosse drenada antes do final do ensaio, permanecendo na caixa bipartida durante todo o processo.

Cada dosagem, TR1, TR2, TR3 e TR4, foi submetida a 03 (três) tensões normais diferentes (10KPa, 37KPa e 50KPa), totalizando 12 ensaios de cisalhamento direto. Como o tempo total do ensaio de cisalhamento direto era em torno de 50min para cada tensão normal aplicada, as propriedades das argamassas poderiam ser alteradas, influenciando na sua trabalhabilidade. Assim, para não descaracterizar os resultados do ensaio de cisalhamento direto, cada traço dosado foi ensaiado apenas uma vez.

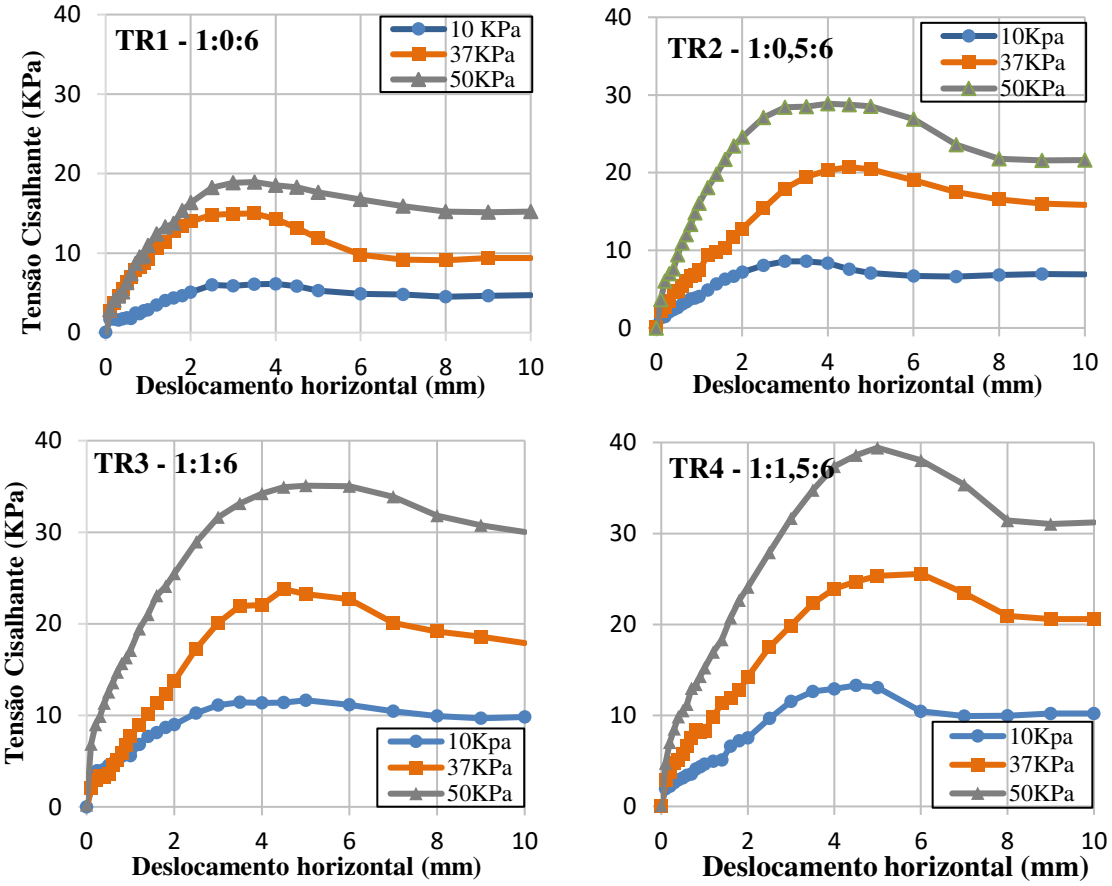
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas tensão cisalhante versus deslocamento horizontal das amostras de argamassas ensaiadas, para todos os traços propostos, estão apresentadas na Figura 2.

Evidenciou-se que as curvas de cisalhamento das amostras estudadas apresentam comportamento de pico à medida que se aumenta a tensão normal (Figura 2), ou seja, a tensão cisalhante aumenta até o ponto de ruptura, a partir do qual, com o aumento do deslocamento horizontal, ela se apresenta praticamente constante, definida como tensão residual.

O ganho de tensão de cisalhamento inicial, é brando ao longo do deslocamento horizontal, isso é observado devido ao aumento gradativo no teor da cal, influenciando no deslocamento horizontal, a qual a amostra se deforma mais, antes de atingir o ponto máximo da tensão cisalhante [2].

Figura 2 - Tensão x deslocamento horizontal – TR1, TR2, TR3 e TR4

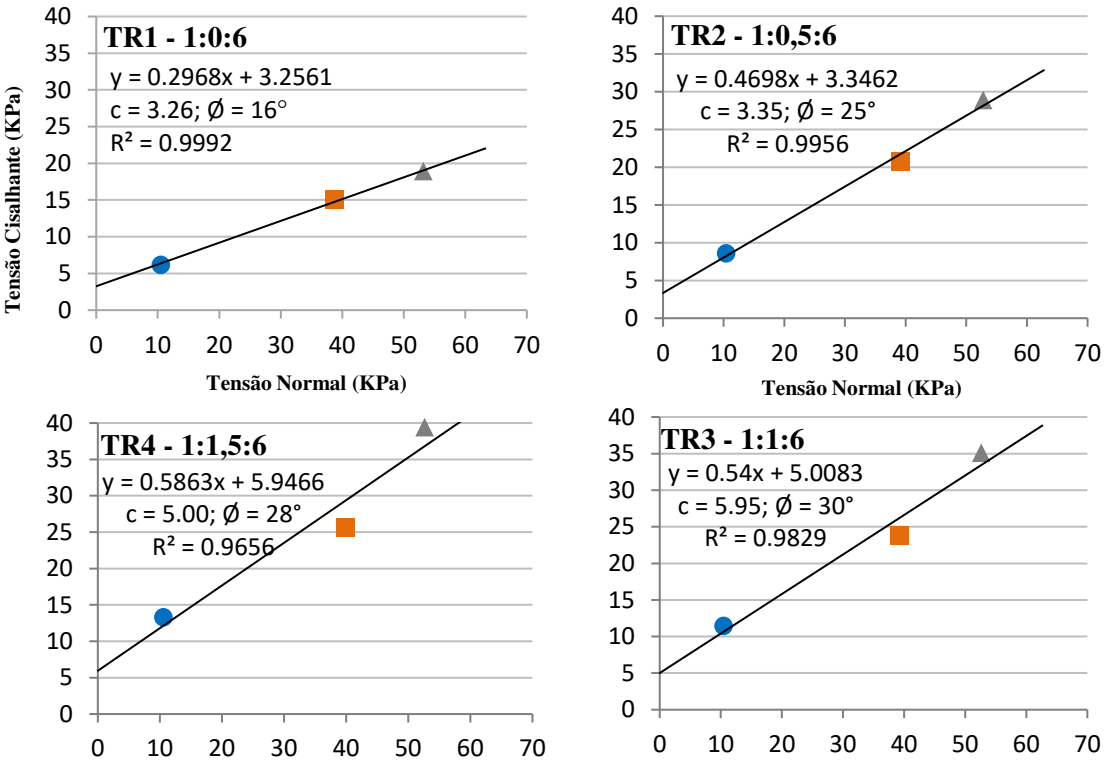


Fonte: Autoria Própria

Por meio da regressão linear de cada tensão cisalhante máxima e das tensões normais, que foram submetidos os traços de argamassa, são obtidos os gráficos ilustrados na Figura 3, representados pela obtenção dos valores da coesão (c) e do ângulo de atrito (Ø), os quais são originados pela interceptação da reta na ordenada da tensão cisalhante quando a tensão normal for nula e pelo ângulo da inclinação da reta, respectivamente.

Observou-se que quando a proporção de cal aumenta na composição das argamassas, os valores para o ângulo de atrito tendem a aumentar. Tanto o atrito interno quanto a coesão de uma argamassa dependem da distância entre as partículas que constituem a argamassa, fazendo com que uma mistura com maior quantidade de cal em seu traço, proporcione uma menor distância entre os grãos, dificultando o cisalhamento entre as camadas e, consequentemente, apresente um maior ângulo de atrito e aumente a coesão da pasta [2,4].

Figura 3 - Tensão cisalhante x tensão normal – TR1, TR2, TR3 e TR4



Autoria própria

Importante ressaltar que uma das principais funções exercidas pela cal numa argamassa mista é auxiliar na trabalhabilidade, indiretamente medida a partir do atrito entre os grãos dos agregados e da coesão da mistura. Com os resultados apresentados na Figura 3, observa-se que o incremento na quantidade de cal presente nos traços TR2, TR3 e TR4 resultou em valores gradativos de coesão e ângulo de atrito às respectivas misturas.

Destaca-se que não existem na literatura valores de coesão, ângulo de atrito, tensões cisalhantes ou deslocamento horizontal que atestem uma boa trabalhabilidade da argamassa[4]. Contudo, a avaliação comparativa desses parâmetros entre os diferentes traços, em conjunto com a análise em campo das argamassas, pode auxiliar na compreensão do seu comportamento reológico e, também, servir como base para a definição de eventuais valores que permitam classificar as misturas quanto a sua facilidade de espalhamento na base.

Os baixos valores de coesão observados no traço sem cal (TR1), por exemplo, indicam a dificuldade em se preencher toda a área de contato da argamassa com a base, o que atesta a assertividade na recomendação pelo uso da cal hidratada nas argamassas mistas, a fim de obter uma melhor união entre os grãos.

Dentre as amostras com cal, percebe-se que a coesão dos traços TR3 e TR4 se assemelha, bem acima dos valores encontrados para o TR1 (sem cal) e o TR2, o que também indica adequação das misturas com proporção 1:1:6 (TR3) e 1:1,5:6 (TR4), normalmente empregados em usos para ambientes externos.

Por fim, os ensaios de resistência à compressão realizados nas argamassas resultaram em valores médios, ao 28 dias de idade, de 4,8MPa, 7,0MPa, 4,9MPa e 3,6MPa, respectivamente para os traços TR1, TR2, TR3 e TR4, de modo que elas podem ser classificadas como P3, P4 e P5, segundo a NBR 13279:2015[13], utilizáveis em revestimentos para diferentes usos.

Como a finalidade da pesquisa é verificar a possível utilização do ensaio de cisalhamento direto aplicados em solos, ser utilizado para avaliar o comportamento reológico das argamassas de revestimento em seu estado fresco, os valores do índice de correlação (R^2) comprovam uma excelente relação linear entre as variáveis das tensões máximas cisalhantes e as tensões normais, o que atestam a viabilidade da utilização do ensaio de cisalhamento direto nas argamassas de revestimento em seu estado fresco, entre todos os parâmetros obtidos com o ensaio de cisalhamento direto [1,3,4].

4. CONCLUSÕES

Com base no que foi discutido, podem ser apresentadas algumas conclusões:

- O método de ensaio de cisalhamento direto apresenta sensibilidade para avaliação do comportamento da argamassa em estado fresco, obtendo parâmetros que permitam distinguir de forma mais eficaz, as diferenças não perceptíveis em equipamento de análise monoponto, como o caso do "flow table";
- Novas metodologias e ferramentas de avaliações das argamassas no estado fresco são necessárias para que se aumente a robustez do produto argamassa, visando maior produtividade e desempenho;
- Os índices obtidos no ensaio (coesão, ângulo de atrito, tensão cisalhante e deslocamento horizontal de ruptura) se mostraram crescentes à medida em que se incrementa o teor da cal na dosagem das argamassas;
- Com o método empregado se pôde evidenciar que uso da cal hidratada nas argamassas proporciona maior interação das partículas, facilitando o seu espalhamento na base.

REFERÊNCIAS

1. CARASEK, H. Argamassas. *In*: Isaia, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 28, p. 893-944.

2. SOUSA, José Getúlio Gomes. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

3. SOUSA, J.G.G.; BAUER, E. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Estudo da reologia das argamassas de revestimento no estado fresco**. Rio Grande do Norte: CBECIMAT, 2002. V.1, p. 571-577.

4. LU, G.; WANG, K. Theoretical and experimental study on shear behavior of fresh mortar. **Cement & Concrete Composites**, v. 33, pp. 319-327, Sep. 2011.

5. CARASEK, H.; ARAÚJO, R.C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 3, pp. 714-732, Fev. 2016.

6. ARAÚJO, R.C.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. *In*: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Caracterização reológica de argamassa de revestimento pelo método do cisalhamento direto**. São Paulo: SBTA, 2017. V.7 p. 1-9.

7. CAMPOS, M. O. **Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substratos de concreto**. 2014. 321 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia, Estruturas e Construção Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

8. CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G; JOHN, V. M. Rheological behavior of mortars under diferent squeezing rates. **Cement and Concrete Research**, v.39, p.748-753, may. 2009.

9. ARAÚJO, R. C.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Caracterização reológica de argamassa de revestimento pelo método do cisalhamento direto. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA), 2017, São Paulo. **Anais**... p. 1-9. São Paulo, 2017

10. ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM 3080**: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. USA, 2011.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 23**: cimento portland: determinação de massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

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