



## **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE PASTAS ESTABILIZADAS AO LONGO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO PARA ARGAMASSA ESTABILIZADA**

**Tema:** Tecnologia dos materiais.

GABRIELE C. FOGAGNOLI<sup>1</sup>, YASMIN A. B. DA SILVA<sup>2</sup>, ANDREA M. BETIOLI<sup>3</sup>, LUCIANA M. CALÇADA<sup>4</sup>, JULIANA M. CASALI<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Acad. Eng. Civil, IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis, gabriele.c@aluno.ifsc.edu.br

<sup>2</sup>Acad. Eng. Civil, IFSC/ DACC Campus Florianópolis, yasmin.ab@aluno.ifsc.edu.br

<sup>3</sup>Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>, IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina/ DACC, andrea.betioli@ifsc.edu.br

<sup>4</sup>Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>, IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina/ DACC, lucianamaltez@ifsc.edu.br

<sup>5</sup>Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>, IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina/ DACC, juliana.casali@ifsc.edu.br

### **RESUMO**

Para as argamassas estabilizadas manterem a trabalhabilidade por até 72 horas é necessário uma compatibilidade entre o cimento Portland e os aditivos. Assim, esse artigo tem como objetivo avaliar pastas estabilizadas com três relações água/cimento em três tempos de armazenamento. Foram avaliados fluidez, parâmetros reológicos e tempo de início de pega. A partir dos resultados, observou-se uma perda de fluidez, assim como aumento da tensão de escoamento e viscosidade ao longo do tempo de armazenamento. Além disso, foi constatado um aumento do tempo de início de pega das pastas, após a mistura, com 0 hora em relação as pastas com 48 e 120 horas com as menores relações a/c estudadas.

**Palavras-chave:** reologia, pasta de cimento Portland, aditivo estabilizador de hidratação.

## **INFLUENCE OF THE QUANTITY OF WATER ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PASTE FOR READY MIX MORTAR**

### **ABSTRACT**

For ready mix mortars to maintain workability for up to 72 hours, compatibility between Portland cement and admixtures is required. Thus, this article aims to evaluate pastes stabilized with three water/cement ratios in three storage durations. Fluidity, rheological parameters and setting time were evaluated. From the results, a loss of fluidity was observed, as well as an increase in the yield stress and viscosity over the storage durations. In addition, an increase in the initial setting time was observed for the pastes evaluated, after the mix, with 0 hour in relation to pastes with 48 and 120 hours with lower w/c ratio.

**Key-words:** rheology, Portland cement paste, hydration stabilising admixture.



## 1. INTRODUÇÃO

As argamassas estabilizadas vêm sendo cada vez mais aplicadas em construções, considerando suas diversas vantagens logísticas, uma vez que chegam prontas na obra para serem utilizadas, mantendo suas propriedades por até 72 horas, o que proporciona maior agilidade aos sistemas construtivos<sup>(1)</sup>. Para isso, são adicionados aditivos estabilizador de hidratação (AEH) e incorporador de ar (AIA) à argamassa, os quais interagem com as partículas cimento Portland e conferem propriedades de trabalhabilidade e coesão, retardando o tempo de início de pega e conservando a plasticidade<sup>(2)</sup> da mistura.

Assim, as características de argamassas estabilizadas se relacionam diretamente com a hidratação do cimento Portland e as interações químicas que ocorrem nas pastas, pois como descrito por Cardoso (2009)<sup>(3)</sup>, a parte reativa das argamassas é composta por finos (como cimento Portland) e água. Com base nisso, diversos autores<sup>(1)(4)(5)</sup> realizam estudos em pasta para analisar a compatibilidade entre o cimento Portland e os aditivos.

Nesse contexto, este artigo tem como finalidade avaliar a fluidez, os parâmetros reológicos e o tempo de início de pega de pastas cimentícias para argamassa estabilizada, analisando a influência da quantidade de água e tempo de armazenamento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As pastas cimentícias estabilizadas estudadas foram produzidas com cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos - CP V - ARI - RS (características na Tabela 1), água, aditivo estabilizador de hidratação e incorporador de ar (características na Tabela 2) nos teores de 0,8% e de 0,35% em relação à massa de cimento Portland, respectivamente.

Tabela 1 – Características do cimento Portland utilizado.

| Propriedades físicas                                |  |         |  |  |  |         |  |
|---|--|---------|--|--|--|---------|--|
| Item de controle                                    |  | Cimento |  | Item de controle                         |  | Cimento |  |
| Porcentagem retida #200 (%)                         |  | 0,0     |  | Resistência à compressão - 1 dia (MPa)   |  | 23,7    |  |
| Porcentagem retida #325 (%)                         |  | 0,8     |  | Resistência à compressão - 3 dias (MPa)  |  | 35,2    |  |
| Superfície específica - Blaine (cm <sup>2</sup> /g) |  | 5150    |  | Resistência à compressão - 7 dias (MPa)  |  | 40,2    |  |
| Água de consistência normal (%)                     |  | 29,7    |  | Resistência à compressão - 28 dias (MPa) |  | 47,8    |  |
| Tempo de início de pega (min)                       |  | 230     |  | Resíduo insolúvel (%)                    |  | 9,0     |  |
| Tempo de final de pega (min)                        |  | 270     |  | Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )    |  | 3,03    |  |
| Propriedades químicas                               |  |         |  |  |  |         |  |
| Item de controle                                    |  | Cimento |  | Item de controle                         |  | Cimento |  |
| MgO (%)   |  | 6,2     |  | SO <sub>3</sub> (%)                      |  | 2,8     |  |
|   |  |         |  | Perda ao fogo (%)                        |  | 4,6     |  |

Fonte: resultados obtidos com o fabricante a partir dos requisitos da norma ABNT NBR 16697 (2018).



Tabela 2 – Característica dos aditivos químicos utilizados.

| Aditivo                                       | Aditivo estabilizador de hidratação                  | Aditivo incorporador de ar                     |
|---|--|--|
| Função  | Retardador de argamassas para argamassa estabilizada | Incorporador de ar para argamassa estabilizada |
| Base química (componente de maior quantidade) | -  | Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado        |
| Teor de sólidos (%)                           | 45   | 3  |
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )         | 1,17   | 1,00   |
| pH (23°C)                                     | 6  | 9  |
| Estado físico/ Cor                            | Líquido/ Amarelado                                   | Líquido/ Amarelo                               |
| Dosagem recomendada                           | 0,2 a 1,5% da massa do cimento                       | 0,1 a 0,5% da massa do cimento                 |

Fonte: resultados obtidos com o fabricante.

A quantidade de água foi estipulada em três teores diferentes de relação água/cimento (a/c): 0,40; 0,50 e 0,60. As pastas foram avaliadas em três tempos de armazenamento: 0 hora (após a mistura), 48 horas e 120 horas. Para os tempos de armazenamento de 48 h e 120 h, as pastas foram armazenadas em um pote hermeticamente fechado com controle de massa.

O procedimento de mistura utilizado no tempo de 0 h consistiu na adição de toda a água e aditivos, seguida da adição do cimento Portland e mistura durante 70 s em um misturador de alta eficiência (velocidade de 10000 rpm – tupa adaptada). Para as demais pastas armazenadas, foi realizada uma homogeneização da amostra no mesmo tempo e misturador.

Após a mistura, as pastas estabilizadas foram avaliadas em relação à: fluidez (espalhamento no mini-slump - cone de Kantro), comportamento reológico e tempo de início de pega das pastas. O comportamento reológico foi avaliado por meio de reometria rotacional, em um reômetro Haake MARS III, com geometria cilindro concêntrico aletado, mesmo utilizado por Marco (2023)<sup>(5)</sup>. A quantidade da amostra foi de 25 ml, em uma temperatura de 23°C ± 0,1°C e com um gap inferior de 11 mm. Primeiramente, aplicou-se um pré-cisalhamento com duração de 60 s a uma taxa de cisalhamento de 100 s<sup>-1</sup>. Em seguida, a amostra foi submetida a um ciclo de aceleração (ascendente) com taxa de cisalhamento de 0,1 s<sup>-1</sup> a 100 s<sup>-1</sup> seguido de uma desaceleração (descendente) de 100 s<sup>-1</sup> a 0,1 s<sup>-1</sup>. Os parâmetros reológicos foram obtidos pelo modelo de Herschel-Bulkley (HB) e analisado a viscosidade aparente em 100 s<sup>-1</sup> conforme realizado por Marco (2023)<sup>(5)</sup> para pastas estabilizadas.

O tempo de início de pega foi avaliado em calorímetros semi-adiabáticos, onde foram obtidas as temperaturas usando termopar tipo K por meio de um data logger ao longo do tempo. O tempo de início de pega foi determinado pelo método das derivadas.

### 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Na Tabela 3 são apresentados os valores de fluidez obtidos pelo espalhamento no mini-slump (cone de Kantro).



Tabela 3 – Espalhamento das pastas de acordo com o tempo de armazenamento, unidade cm.

| Tempo de armazenamento | Relação a/c |       |       |
|------------------------|-------------|-------|-------|
|                        | 0,4         | 0,5   | 0,6   |
| 0h (após a mistura)    | 8,50        | 14,30 | 16,00 |
| 48h                    | 5,45        | 10,65 | 12,60 |
| 120h                   | --          | 8,40  | 11,30 |

Fonte: Autores, 2023.

Observa-se na Tabela 3 que houve influência da quantidade de água (relação água/ cimento) nos valores de espalhamento para o mesmo tempo de armazenamento. Também foi possível observar uma perda de fluidez das pastas estabilizadas, para a pasta de 0,4 (35,3%) entre 0 e 48 h e para a pasta de 0,5 (41,3%) entre 0 e 120 h. Cabe ressaltar que não foi possível avaliar a fluidez da pasta de 0,4 no tempo de 120 h em função da consistência. No entanto, para esse tempo, foi possível determinar as propriedades reológicas (Figura 2a). Nesse caso, também se verificou a perda de fluidez da pasta, com o aumento expressivo da tensão de escoamento e da viscosidade aparente (em  $100 \text{ s}^{-1}$ ) conforme o aumento do tempo de armazenamento (Tabela 4, Figura 1a e Figura 1d). Nas pastas armazenadas com relação a/c de 0,5 (Figuras 1b e Figura 1e) e 0,6 (Figura 1c e Figura 1f) houve influência em seus parâmetros reológicos, porém, com menor intensidade em comparação da pasta 0,4.

Tabela 4 – Tensão de escoamento (modelo de Herschel-Bulkley) e viscosidade aparente em  $100 \text{ s}^{-1}$

| Pasta (a/c) | Tensão de escoamento (Pa) |       |       | Viscosidade aparente (Pa.s) |        |        |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-----------------------------|--------|--------|
|             | 0 h (após mistura)        | 48 h  | 120 h | 0 h (após mistura)          | 48 h   | 120 h  |
| 0,4         | 21,19                     | 89,98 | 148,7 | 1,124                       | 2,502  | 3,965  |
| 0,5         | 9,748                     | 27,8  | 41,01 | 0,46                        | 0,9261 | 1,262  |
| 0,6         | 3,946                     | -     | 13,44 | 0,5739                      | 0,5093 | 0,5566 |

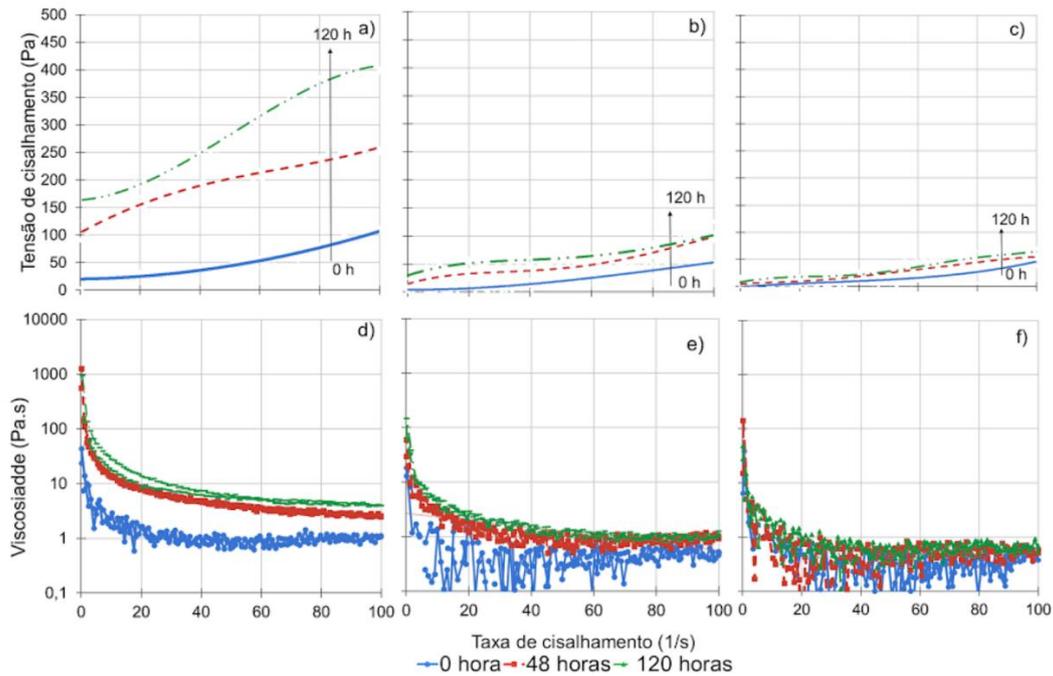
Fonte: Autores, 2023.

Na Tabela 4 observa-se um aumento da tensão de escoamento e da viscosidade ao longo do tempo de armazenamento, demonstrado também pela perda de fluidez obtida no ensaio de espalhamento. Com exceção da viscosidade aparente da pasta com relação a/c 0,6, onde os valores obtidos foram muito próximos para tempos de armazenamento diferentes.

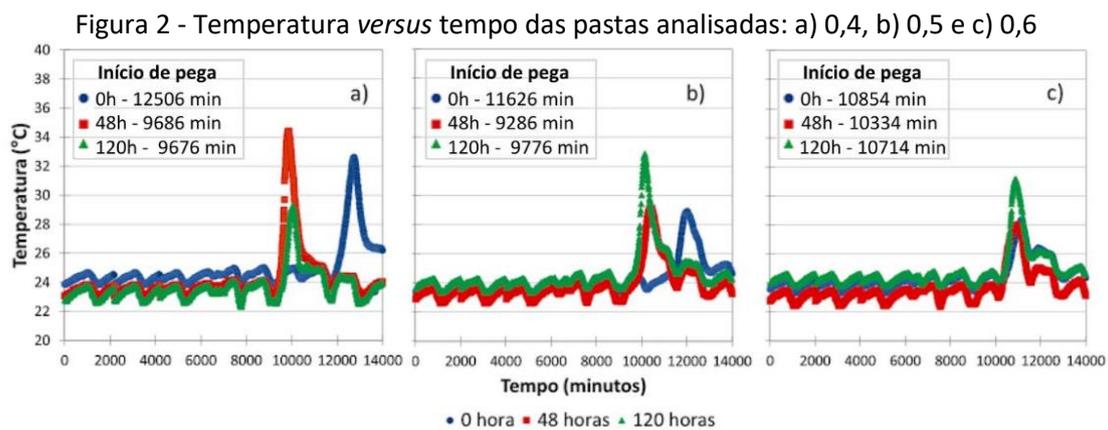
Foi observado também um comportamento distinto no tempo de início de pega das pastas, associado à relação a/c e ao tempo de armazenamento, conforme apresentado na Figura 2. Observa-se na Figura 2a que o tempo de início de pega da pasta de 0,4, nos tempos de armazenamento de 48 e 120 h (6d 17h), foram inferiores ao tempo de início de pega da pasta de 0,4 avaliada com 0 h, após a mistura (8d 16h). O mesmo comportamento também ocorreu para as pastas com relação a/c 0,5; onde para a pasta 0 h (8d 2h), a pasta de 48 h (6d 11h) e para a pasta de 120 h (6d 19h). Já nas pastas com relação a/c 0,6, o tempo de início de pega foi semelhante entre os tempos de armazenamento. Cabe salientar que a perda de água por evaporação não foi observada durante o tempo de armazenamento avaliado pelo controle do peso do pote de armazenamento da pasta.



Figura 1 - Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento no ciclo descendente para as pastas estabilizadas: (a) relação a/c 0,4 (b) relação a/c 0,5 (c) relação a/c 0,6; Viscosidade (escala logarítmica) *versus* taxa de cisalhamento para as pastas estabilizadas: (d) relação a/c 0,4 (e) relação a/c 0,5 (f) relação a/c 0,6



Fonte: Autores, 2023.



Fonte: Autores, 2023.

Conforme já mencionado houve um menor tempo de início de pega observado para as pastas de 48 h e 120 h, na Figura 2a e Figura 2b, isso pode ser explicado pela homogeneização dessas pastas antes da sua avaliação no tempo pré-estipulado. Nesse caso, pode ter ocorrido uma desaglomeração das partículas que permitiu a livre circulação da água aprisionada, resultando



em uma aceleração das reações de hidratação e redução do tempo de início de pega. Já nas pastas com relação a/c 0,6, a quantidade de água era maior, não permitindo a aglomeração das partículas com o aprisionamento da água, assim não influenciando na pega.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, observou-se que com o aumento do tempo de armazenamento ocorreu uma perda de fluidez e, conseqüentemente, o aumento da tensão de escoamento e viscosidade aparente das pastas estabilizadas, com exceção da pasta com relação de 0,6, na qual a viscosidade permaneceu constante. Também foi observada uma diminuição do tempo de início de pega para as pastas avaliadas após a mistura (0 hora) com relações a/c de 0,4 e 0,5, possivelmente ocasionada pela desaglomeração das partículas pelo processo de mistura ocorrido no tempo de avaliação das pastas armazenadas com 48 e 120 horas. Dessa forma, se demonstra a importância do estudo do comportamento entre o cimento Portland e o aditivo estabilizador de hidratação e o aditivo incorporador de ar.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de Iniciação Científica (IC) e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo financiamento desta pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANTONIAZZI, J. P., MOHAMAD, G., CASALI, J. M., SCHMIDT, R. P. B., TRINDADE, B. **Ação dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland.** Ambiente Construído, v. 20, n. Ambient. constr., 2020 20(3), jul. 2020.
- (2) MELO, D. D. F. **Estudo da influência da cura nos revestimentos executados com argamassa estabilizada.** Florianópolis. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- (3) CARDOSO, Fábio Alonso. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** São Paulo. 2009. p. 135. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – USP, 2009.
- (4) GUINDANI, N. E. **Argamassa estabilizada para revestimento: avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado fresco e endurecido.** Florianópolis, 2018. p. 146. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- (5) MARCO, F. **Estudo do uso de resíduo oriundo do sistema de dessulfurização de gases (FGD) como adição em argamassa estabilizada.** Florianópolis, 2023. p. 175. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.