ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS DA REGIÃO SUL DO BRASIL: PERDA DE TRABALHABILIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO

Tema: TECNOLOGIA DOS MATERIAIS.
Grupo[1]: 1

EIJI FUKUI[1], *WALESKA BARBOSA*[2], *MARIENNE R. M. M. COSTA*[3]

[1]Votorantim Cimentos, eiji.fukui@vcimentos.com; [2]Doutoranda, Engenharia e Ciência dos Materiais (PIPE), Universidade Federal do Paraná/UFPR, waleskabarbosa81@gmail.com; [3]Profª Drª , Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, mariennemaron@gmail.com

RESUMO
As argamassas comercializadas no sul do Brasil apresentam comportamentos reológicos diferenciados. Com intuito de analisar essa variação entre os produtos, foram escolhidas 4 argamassas de empresas distintas. Foram analisadas a perda de trabalhabilidade em função do tempo por meio do experimento de squeeze-flow e a aderência no estado endurecido por meio do teste de resistência de aderência à tração. A partir das análises foi possível verificar diferenças entre as formulações dos fabricantes e o consequente impacto no comportamento reológico, sendo que a ARG 3 foi a única argamassa capaz de manter-se trabalhável no tempo de até 180 min com grande estabilidade no teor de ar incorporado, perda de apenas 5,26%, enquanto a ARG 2 perdeu 45% do ar incorporado no mesmo período.

Palavras-chave: argamassa industrializada, perda de trabalhabilidade, reologia, *squeeze-flow,* estado endurecido.

INDUSTRIAL MORTARS OF SOUTH OF BRAZIL: LOSS OF WORKABILITY AS A FUNCTION TIME

ABSTRACT
The commercial mortars in the south of Brazil present different rheological behavior. With the intent to analyze the rheological variation between the products was chosen four mortars of different companies. The loss of workability as a function of time was analyzed through the squeeze-flow experiment, and the adhesion in the hardened state by means of the traction adhesion resistance experiment. Based on the analyzes, it was possible to identify differences

Grupo 1: Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

between the products and the consequent impact on the rheological behavior. The ARG 3 was the only mortar able to remain workable during 180 min, with good stability regarding the incorporated air content, with loss of only 5.26%, while ARG 2 lost 45% of the air incorporated in the same time.

Key-words: industrial mortar, loss of workability, rheology, squeeze-flow, hardened state.

1. INTRODUÇÃO

A trabalhabilidade pode ser definida como a facilidade de misturar, aplicar e dar acabamento em concreto e argamassas no estado fresco [(1)]. A água, além de ser imprescindível para a hidratação cimento, funciona como um dispersante, distanciando as partículas e proporcionando a trabalhabilidade ao sistema [(2-4)].

Geralmente, as argamassas industrializadas possuem aditivos incorporadores de ar e retentores de água. Assim, o processo de mistura impacta a trabalhabilidade, a homogeneidade do material e a incorporação de ar que, consequentemente, afeta o desempenho final do revestimento [(5)]. Outros fatores que também definem a trabalhabilidade são a distribuição granulométrica das partículas [(6)], morfologia dos agregados [(7)], o uso de aditivos incorporadores de ar [(8,9)] e retentores de água [(10)].

A perda de trabalhabilidade da argamassa ocorre em função do tempo e está relacionada com a espera pela aplicação *in situ*, sendo necessária a remistura e, muitas vezes, acréscimo de água para retornar à trabalhabilidade inicial [(11)]. Nos canteiros de obras nem sempre é respeitado o tempo de utilização das argamassas industrializadas [(11)]. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo verificar o comportamento reológico em função do tempo, a quantidade de acréscimo de água para a manutenção da trabalhabilidade e o impacto na resistência de aderência à tração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As argamassas utilizadas no estudo são argamassas comercializadas na região sul do Brasil. A Tabela 1 apresenta a massa específica de cada argamassa estudada e o teor de água indicado por cada fabricante. A massa específica das argamassas foi determinada conforme a ABNT NBR 16605 [(12)].

A ARG 1, ARG 3 e ARG 4 são compostas por areia de quartzo, cimento Portland e cal hidratada. As duas primeiras apresentam aditivos químicos, enquanto a ARG 2 é composta por cimento Portland, areia e fíler calcário e aditivos químicos. A distribuição granulométrica dos finos foi determinada por granulômetro a laser, via a seco, modelo *Mastersizer 2000* da *Malvern Instruments*. As partículas acima de 100 µm foram analisadas no granulômetro a laser *Camsizer XT da Restsch Technology*.

Para cada argamassa foram misturados 160 kg de material anidro em um misturador mecânico modelo UEZ 73730 da Toni Technik. A sequência de material adicionado na mistura foi: I) metade da argamassa anidra; II) metade da água; III) o restante do material anidro; IV) o restante da água. Após a mistura, a argamassa foi dividida em 4 caixas plásticas contendo 40 kg cada e acondicionadas em ambiente com temperatura entre 21 °C e 25 °C e umidade relativa do ar entre 55% e 65%. Foram realizados ensaios de laboratório, aplicações *in loco* logo após a mistura (0 min) e, para cada uma hora completada (60 min, 120 min e 180 min). Foi acrescentada água para melhorar a consistência quando a argamassa não apresentava comportamento adequado para aplicação. Esta adição de água foi feita empiricamente, com base na experiência do pedreiro.

Os experimentos no estado a fresco (densidade a fresco [13], *squeeze-flow* com taxa de deslocamento de 0,1 mm/s [14]) foram realizados antes e depois da adição de água, sendo realizadas 3 repetições para cada experimento.

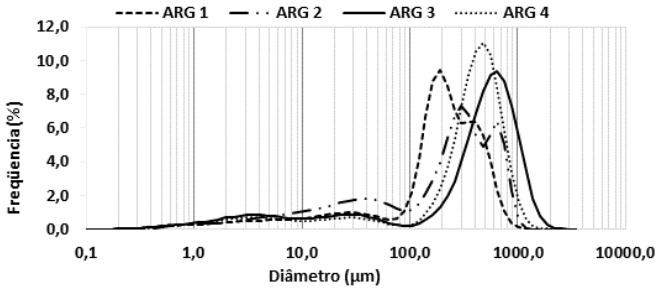
No ensaio de resistência de aderência à tração [15] as aplicações ocorreram em painel de bloco cerâmico estrutural de 4,5 MPa com chapisco de traço 1:3 (cimento : areia) em uma área de 0,8 m² com espessura aproximada de 2,0 cm. A partir dos teores de ar incorporado e água, determinou-se a distribuição volumétrica das argamassas frescas, conforme a Figura 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 estão apresentadas as distribuições granulométricas das argamassas. A amostra ARG 2 apresentou maior frequência de partículas finas e maior concentração entre os 10 µm e 100 µm, enquanto as demais argamassas apresentaram menor frequência de finos e distribuição mais aberta, entre 1 µm e 60 µm.

A fração de partículas referente às areias empregadas nas argamassas apresentaram perfis de distribuição diferenciados, sendo que a ARG 3 apresentou o pico de maior frequência em aproximadamente 600 µm e uma distribuição contínua com presença de partículas de maior diâmetro em relação às demais argamassas.

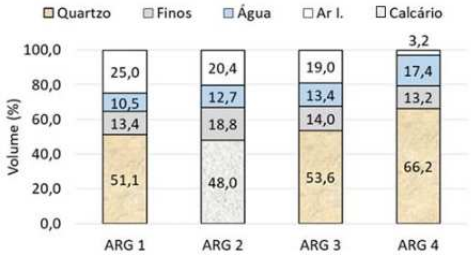
Figura 1 - Curva granulométrica das argamassas analisadas.



A ARG 4 apresentou perfil semelhante ao da ARG 3. Contudo, uma distribuição um pouco mais fina sendo cerca de 11% das partículas concentradas em 500 µm. A AGR 2 apresentou dois picos principais: um referente a areia fina e outro a areia média, 300 µm e 700 µm, respectivamente. A areia utilizada na formulação da ARG 1 foi a mais fina entre todas as argamassas com dois picos principais: o primeiro a 200 µm e o segundo a 400 µm.

Na Figura 2 encontram-se as distribuições volumétricas das argamassas no estado fresco, separados por areia (quartzo/calcária), finos (cimento e cal/fíler), água e ar incorporado. A partir do resultado de ar incorporado, observa-se que a ARG 4 apresenta caraterísticas similar à executada em obra, sem presença de aditivo incorporador de ar. A ARG 1 apresentou maior teor de ar incorporado (25,0%).

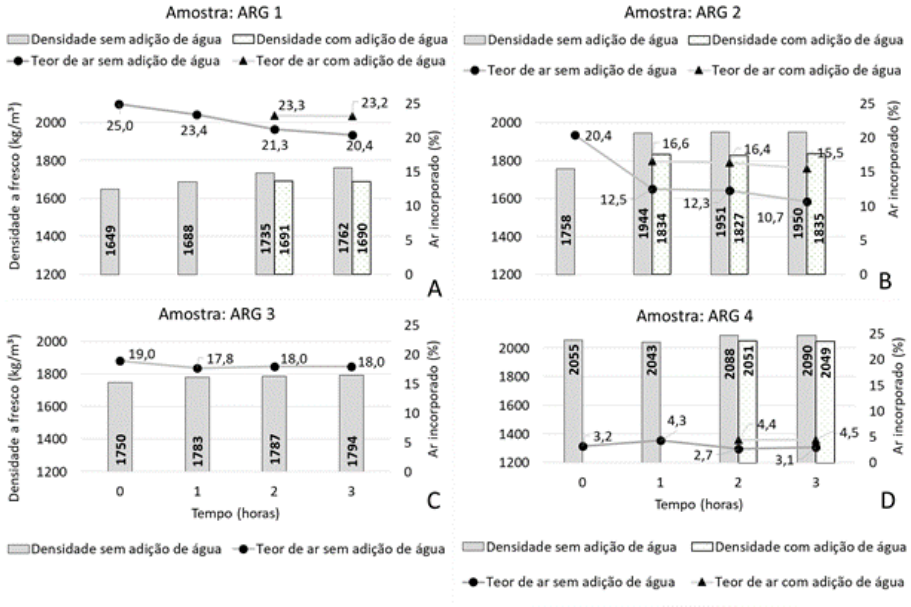
Figura 2 - Distribuição volumétrica das argamassas.



A Figura 3 apresenta as densidades das argamassas a fresco para os quatro intervalos de tempo analisados e a densidade após a remistura com ou sem adição de água. A decisão de adicionar a água foi tomada empiricamente pelo pedreiro e, após a adição, foram executados novamente os ensaios de densidade a fresco e *squeeze-flow* (Figura 4 e 5).

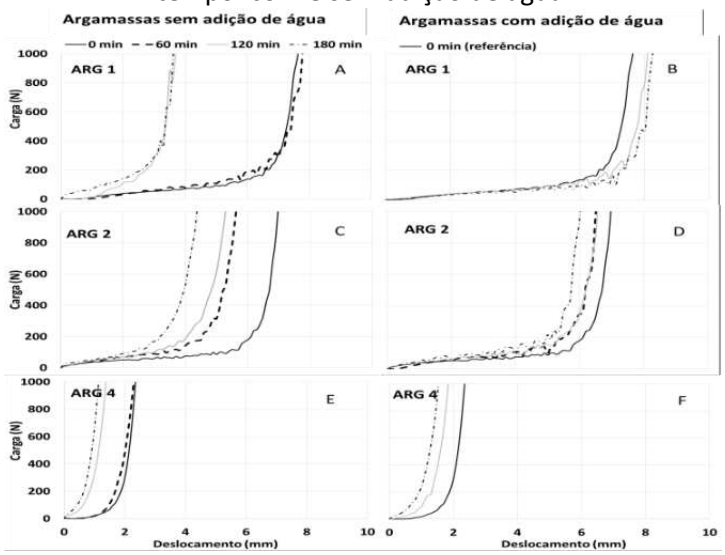
Observa-se que para a ARG 3 (Figura 3 – C) não foi necessário acrescentar água, sendo executada apenas a remistura. A densidade se manteve constante e o teor de ar incorporado (18% a 19%) teve um decréscimo de 5,26% em relação ao teor inicial. Isto indica que esta argamassa apresentou elevada estabilidade no período de tempo analisado. A ARG 1, apesar de elevado teor de ar incorporado (20,4% a 25%) em todo o período da análise, apresentou um decréscimo no ar incorporado superior a 18 %.

Figura 3 – Densidades argamassas e ar incorporado em função do tempo: com e sem adição de água.



Devido à perda de trabalhabilidade das argamassas ARG 1 e ARG 4 (Figura 3 – B e D), respectivamente, foi necessário o acréscimo de água a partir de 120 min; já para a ARG 2 (Figura 3 – D), foi acrescentada água a partir de 60 min e esta foi a argamassa que apresentou maior perda de ar incorporado em função do tempo, aproximadamente 45% e, consequentemente, maior acréscimo na densidade.

Figura 4 – Resultado do *squeeze-flow* para as argamassas ARG 1, ARG 2 e ARG 4 em função do tempo: com e sem adição de água.



As argamassas apresentam três estágios de deformações característicos [16], sendo eles: estagio I - deformação elástica, baixas cargas e pequeno deslocamento; estágio II - deformação plástica ou viscosa, geralmente apresentando elevado deslocamento neste regime, com acréscimo gradual na carga medida; estágio III – enrijecimento, elevado acréscimo na carga e pequeno deslocamento.

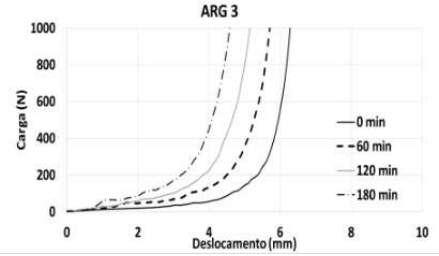
Para a análise dos resultados reológicos foi considerado que a trabalhabilidade da argamassa está diretamente relacionada com a máxima deformação plástica, a qual foi obtida a partir da curva do squeeze-flow. Para cada curva foram traçadas duas retas tangenciais, uma no estágio II, deformação plástica, e outra no estágio III (enrijecimento); a intersecção das retas determina a deformação plástica máxima (D_{pmax}) na abscissa, e o eixo da ordenada indica a carga máxima no estágio D_{pmax}.

No tempo inicial, as argamassas ARG 1 (Figura 4 – A) e ARG 2 (Figura 4 - C) apresentaram as maiores deformações plásticas, superiores a 6 mm; a ARG 3 (Figura 5) apresentou a D_{pmax} em torno de 5,5 mm, enquanto a ARG 4 apresentou pequena deformação plástica.

Para o tempo de 60 min, apenas a ARG 1 e ARG 4 mantiveram a deformação plástica máxima inicial. Para que a argamassa ARG 2 pudesse ser aplicada, foi necessário acrescentar água, o que possibilitou aumentar a D_{pmax} em 1,2 mm (Figura 4 – C e D, curvas pretas com linhas tracejadas). O ar incorporado também aumentou (Figura 3 – B), porém nenhuma das duas medidas aproximou-se dos valores iniciais de ar incorporado medidos no início do experimento.

Para a ARG 3, o aplicador julgou desnecessário o acréscimo de água. Contudo, observou-se um decréscimo de 1 mm na D_{pmax}. Esta argamassa e a ARG 2 mostraram valores da D_{pmax} e perfis de curvas muito semelhantes. A estabilidade do ar incorporado, o uso de areia de quartzo e a cal favorecem a consistência cremosa para a argamassa ARG 3, enquanto a ARG 2, com fíler e areia calcária e sem cal, apresenta uma consistência mais áspera. Acredita-se que foram estas as razões que influenciaram o critério de escolha do aplicador.

Figura 5 – Resultado do *squeeze-flow* para a argamassa ARG 3 em função do tempo.



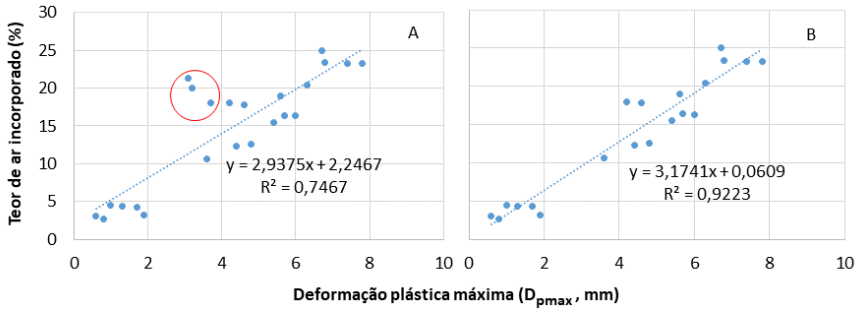
As argamassas ARG 1 e ARG 4 apresentaram maior perda de trabalhabilidade no intervalo entre 60 e 120 min e não apresentaram perda de plasticidade entre 120 e 180 min. Ao adicionar água, para os dois últimos períodos de tempo, a ARG 1 (Figura 4 – A e B) apresentou D_{pmax} superior à curva inicial, enquanto a ARG 4 (Figura 4 – E e F), apesar de um pequeno acréscimo no ar incorporado (Figura 3), continuou com deformação plástica inferior à inicial.

O comportamento reológico, a baixa deformação plástica e enrijecimento precoce da argamassa ARG 4 são consequência do maior teor de água e da falta de aditivos que aumentam a viscosidade da pasta. Tal fato promove a separação de fase durante a realização do ensaio, dificultando a lubrificação do sistema granular e, consequentemente, o fluxo da argamassa.

Este efeito de menor deformação plástica após o acréscimo de água em relação a curva inicial, também ocorreu na ARG 2, que não retornou à trabalhabilidade inicial. Tal fato pode ser explicado pela baixa retenção das bolhas de ar em função do tempo e pela dificuldade de reincorporação destas bolhas.

A Figura 6 apresenta a deformação plástica máxima de todas as amostras em função do ar incorporado, independentemente do acréscimo de água. O coeficiente de correlação entre a D_{pmax} e o teor de ar foi superior a 0,74 (Figura 6 – A), porém, 3 amostras de argamassas apresentaram elevado teor de ar, entre 18 a 22% e D_{pmax} entre 3 e 4 mm. Retirando estas 3 amostras (ARG 1_120 min, ARG 1_180 min e ARG 3_180 min) o R^2 eleva-se para 0,92, o que indica forte correlação entre o teor de ar incorporado e a deformação plástica máxima.

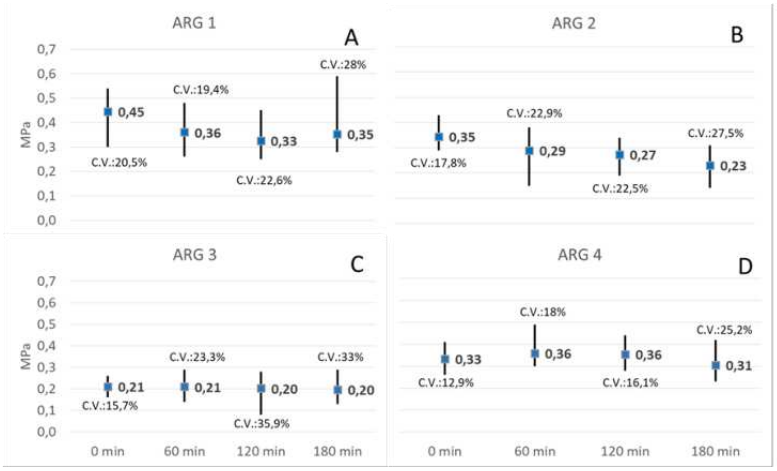
Figura 6 – Porcentagem de ar incorporado em função da deformação plástica máxima.



Os resultados de resistência de aderência à tração para as argamassas apresentaram coeficiente de variação (CV) inferiores a 35,9% e a média na variação do CV foi cerca de 22%, com os valores médios de resistência de aderência à tração variando entre 0,20 e 0,45 MPa. De modo geral, as argamassas ARG 1, ARG 2 e ARG 4 (Figura 7 – A, B e D), respectivamente, apresentaram ligeira queda na resistência de aderência à tração em função do tempo e do

acréscimo de água. Entretanto, os resultados enquadram-se dentro dos valores máximos e mínimos, tornado difusa a análise para esta caracterização.

Figura 7 – Resultado de resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas *in situ*.



A argamassa ARG 3 (Figura 7 – C), que apresentou maior estabilidade de ar incorporado no estado fresco, obteve menor variação na média dos resultados de resistência de aderência em função do tempo (0,01MPa). Contudo, aos 120 min e 180 min apresentou os maiores coeficientes de variação acima de 30%.

4. CONCLUSÕES

As argamassas estudadas apresentaram distribuições granulométricas diferentes, principalmente em relação à distribuição da areia, percentual de partículas finas, quantidade e tipos de aglomerantes, assim como os teores de aditivos, os quais influenciam no comportamento reológico e na manutenção da trabalhabilidade das argamassas.

A resistência de aderência à tração em função do tempo de utilização apresentou pequena queda para as argamassas com resultados dentro dos limites máximos e mínimos de cada argamassa analisada.

Reologicamente, as argamassas apresentaram distintas deformações plásticas e resistência ao fluxo. Em relação ao empirismo na escolha de adicionar água ou não pelo aplicador, verificou-se que na maioria dos casos a decisão foi acertada, fato que aumentou a deformação plástica, permitindo que as argamassas recuperassem total ou parcialmente a trabalhabilidade. Apenas a ARG 3 propiciou ao aplicador a sensação de trabalhabilidade constante. Contudo, ao analisar as curvas de fluxo percebe-se que o desempenho da ARG 3 foi similar a argamassa ARG 2. A análise dos resultados de ar incorporado e deformação plástica, indica forte correlação entre eles, ressaltando o impacto na trabalhabilidade e as

alterações do comportamento reológico das argamassas. Este estudo pode ser aplicado em todas as regiões do Brasil, com intuito de compreender os critérios utilizados pelos aplicadores na seleção das argamassas e também de auxiliar o desenvolvimento do produto, obtendo como ganho maior aceitação da argamassa no mercado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Votorantim Cimentos pela oportunidade no desenvolvimento desse estudo, à Silvia R. S. S. Vieira pelos conselhos e ajuda no desenvolvimento do trabalho, a toda área de Desenvolvimento Técnico de Mercado (DTM), aos colegas Marco A. Fuliotti, Eloi R. Camargo, Viviani M. Magalhães, Tacius Moriggi, Renan R. Paula, Wagner J. Santos, Marcio J. J. A. Santos; enfim, a todos os colegas da área de Pesquisa e Desenvolvimento da Votorantim Cimentos.

6. REFERÊNCIAS

1. ACI 116R-78. **Cement and Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Pratice, Part 1, ACI Committee 116**, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.

2. PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o Estudo e Desenvolvimento de Concretos Refratários**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001, São Paulo, 187p.

3. CARDOSO, F. A.; CAMPORA, F.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Influência do tipo de mistura no comportamento reológico de argamassas avaliado por squeeze-flow**. VII SBTA, Recife, 2007, p. 12.

4. KLEIN, N. S. AGUADO, B. M. TORALLES-CARBONARI, L. V. Real, **Prediction of the water obsorption by aggregates over time: modeling though the use of value function and experimental validation.** Construction and Building Materials, 2014, p. 34-43.

5. FRANÇA, M. S. **Comportamento de mistura de sistemas cimentícios multifásicos reativos.** São Paulo 2013, p. 160. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

6. CARDOSO, F.A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** São Paulo, 2009, p. 158. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

7. TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** Florianópolis, 2005, p. 234. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

8. MONTE, R., UEMOTO, K. L., SELMO, S. M. S. **Efeitos de aditivos incorporadores de ar nas propriedades de argamassas de revestimentos**. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2003, p. 13. São Paulo – SP.

9. TORRES, D. R., FUJII, A. L., ROMANO, R. C. O. PILEGGI, R. G. **Comparação entre lauril sulfato de sódio e betaína como incorporadores de ar em argamassas de revestimentos.** In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2011, p. 18. Fortaleza – CE.

10. BARBOSA, W.; BORGES, J.; SILVA, I. J. **Discussão sobre os requisitos de classificação da NBR 13281 para o ensaio de retenção de água**. X SBTA, Fortaleza, 2013, p. 13.

11. FUKUI, E., BARBOSA, W. **Avaliação da influência do tempo de utilização e da adição de água na argamassa industrializada.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Porto Alegre, 2015, p. 18.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605, **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278, **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânica – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15839, **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânica – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow.** Rio de Janeiro, 2010.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528, **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânica – Determinação de resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2010.

16. CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** Escola Politécnica. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009, São Paulo, 138p.