AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE AO AR E ABSORÇÃO CAPILAR DE ARGAMASSAS DE CAL, METACAULIM E GESSO

CRUZ, Túllio Alexandre Mustafé da (1); PEREIRA, Valdir Moraes (2); GERALDO, Rodrigo Henrique (3); CAMARINI, Gladis (4);

(1) Arquitetura e Urbanismo - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, campus Muzambinho, tulliomustafe@hotmail.com.br

(2) Engenharia Civil - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Laboratório de Materiais de Construção Civil, vpereira@ipt.br

(3) Engenharia Ambiental - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas; Faculdade de Engenharia de Sorocaba, rodrigoh.geraldo@gmail.com

(4) Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas; Centro Universitário do Sul de Minas, gcamarini@gmail.com

Resumo: *Este trabalho avaliou a permeabilidade ao ar e absorção de água por capilaridade de argamassas ternárias de cal hidratada (CH) e metacaulim (MK) com adição de gesso comercial (GC) ou gesso reciclado (GR). A adição do GR em argamassas pozolânicas é uma contribuição, que visa diminuir o lançamento de resíduos de gesso em aterros sanitários. Tal abordagem justifica-se pela necessidade de desenvolvimento de argamassas com maior durabilidade, mais econômicas e compatíveis com substratos de edificações, em comparação às argamassas convencionais. As argamassas com diferentes proporções de CH e MK tiveram adição de 10% de GC ou GR e foram submetidas a ensaios de permeabilidade ao ar e absorção de água. Os resultados mostraram que a adição dos gessos (comercial ou reciclado) contribuiu para o aumento da permeabilidade ao ar, importante característica para argamassas de revestimento. Da mesma forma, a absorção de água por capilaridade também foi influenciada, uma vez que as argamassas com adição de gesso apresentaram maior absorção capilar do que as argamassas de referência (CH+MK).*

Palavras-chave: *Argamassas, Sistemas ternários, Cal hidratada; Metacaulim, Gesso.*

Área do Conhecimento: *Engenharia Civil, Construção Civil (*http://lattes.cnpq.br/web/dgp/engenharias*), Tecnologia de componentes para construção.*

Abstract: *This study evaluated the air permeability and the capillary water absorption of ternary mortars made with hydrated lime (CH) and Metakaolin (MK) with the addition of commercial gypsum plaster (GC) and recycled gypsum plaster (GR). The addition of GR in pozzolan mortars is a contribution that aims to decrease the gypsum plaster waste discharge in landfills. This approach justify by the need of developing mortars with higher durability, more economy and compatible with buildings substrates, when compared to conventional mortars. The mortars with different ratios of CH and ML had addition of 10% of GC or GR and were tested in terms of air permeability and the capillary water absorption. The results showed that the addition of gypsum plaster (commercial or recycled) contributed to the increase of air permeability, important to coating mortars. The capillary water absorption was also influenced, where the mortars with addition of gypsum plaster presented higher capillary water absorption when compared to reference mortars.*

Keywords: Mortars*, Ternary systems, Hydrated lime; Metakaolin, Gypsum plaster.*

1 INTRODUÇÃO

A utilização de argamassas de cimento Portland (CP) pode apresentar uma série de problemas ambientais, econômicos e de desempenho. As políticas mundiais de combate ao efeito estufa apoiam o desenvolvimento de aglomerantes alternativos, visando, principalmente, a redução na emissão de CO_2 na atmosfera (NURUDIN *et al.*, 2010). Neste sentido, argamassas contendo CH e pozolanas estão sendo estudadas tanto para restauro de patrimônio histórico quanto para utilização em produtos comerciais (CACHIM *et al.*, 2014). Entre as vantagens da aplicação de argamassas de CH e MK, em relação às argamassas de CP, pode-se citar: aumento de resistências mecânicas; maior durabilidade; maior compatibilidade com os substratos; redução de custos; conservação de recursos naturais e diminuição na emissão de gases do efeito estufa, principalmente o CO_2 (SCHNEIDER *et al.*, 2011).

Velosa *et al.* (2009) avaliaram que argamassas binárias de CH e MK apresentam propriedades similares às argamassas de CH utilizadas na antiguidade. Aliadas as técnicas modernas e produtos recentes encontrados em diversos países, como as pozolanas, a aplicação destas argamassas tende a formar compostos que apresentam melhores resistências mecânicas e às intempéries, sendo superiores às argamassas com CP, principalmente pelo aumento da porosidade total e absorção capilar.

Outro produto conhecido, mas pouco explorado em argamassas e pastas é o gesso de construção. Pinheiro (2011) e Pereira *et al.* (2015) demostraram que o GC e o GR possuem viabilidade técnica e propriedades adequadas para serem utilizados como material de revestimento de alvenarias. Morsy *et al.* (2017) caracterizaram argamassas ternárias evidenciando que a adição de gesso tem potencial para melhorar a aderência, aumentar a porosidade e por consequência, melhorar a durabilidade de argamassas. Além disso, os autores concluíram que a adição do gesso favoreceu o ganho de resistência mecânica das argamassas, em idades iniciais, principalmente em ambientes com baixo teor de CO_2.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de argamassas ternárias compostas por CH, MK, GC e GR. Para isso, foram realizados ensaios de permeabilidade ao ar e absorção de água por capilaridade. O estudo justifica-se pela necessidade de aplicação de compostos mais duráveis e adaptados às necessidades impostas por um mercado que precisa suprir as novas solicitações de produtos menos agressivos ao meio ambiente. Além disso, a inserção do GR em argamassas tem se mostrado promissor, pois tem apresentado que pode contribuir para o aumento da porosidade e da absorção por capilaridade, propriedades peculiaridades necessárias para a secagem dos substratos das alvenarias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados a CH tipo I, o MK HP-Ultra e GC obtidos nos centros comerciais da cidade de Campinas-SP. O GR foi obtido a partir de resíduos de GC hidratados em laboratório. O gesso hidratado foi fragmentado, seco e moído em moinho de martelos. Em seguida o resíduo de gesso foi calcinado em estufa com circulação de ar, em camadas de espessura controlada (1 cm). A calcinação ocorreu por 1 hora sob a temperatura de 150 °C ± 10 ºC, seguido por peneiramento mecânico para garantir que o GR tivesse um módulo de finura ≤ 1,0. O GR foi homogeneizado por meio de um sistema de pilha, e, posteriormente, armazenado até a data dos ensaios (PINHEIRO, 2011).

Um aditivo plastificante a base de policarboxilato foi utilizado para melhorar a fluidez das argamassas. O produto é isento de cloretos e também foi obtido no comércio da região de Campinas/SP.

A água utilizada foi fornecida pelo sistema de abastecimento público. A mesma é considerada própria para a utilização em atividades ligadas ao setor da construção civil.

Areia natural de leito de rio foi utilizada para produção das argamassas. As propriedades físicas dos materiais utilizados neste trabalho experimental são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos materiais utilizados

Propriedades	CH	MK	GC	GR	Areia
Massa unitária (kg/m^3)	691	496	675	397	-
Massa específica (kg/m^3)	-	2570	2260	397	-
Diâmetro máx. característico (mm)	-	-	0,21	0,84	2,40
Retenção de água aos 150 min (%)	11,7	-	-	-	-
Área superficial (BET)	-	22,3	-	-	-
Diâmetro médio (µm)	-	20,4	-	-	-
Superfície específica (m^3/kg)	-	-	664	215	-
Módulo de finura	-	-	1,00	1,02	2,87

Fonte: Autores (2019).

2.2 Misturas experimentais

Foram realizadas 9 misturas experimentais, divididas em três grupos principais: referência, com adição de GC e com adição de GR. A relação aglomerante:areia (agl:areia) foi fixada em 1:1,5, enquanto a relação água:aglomerante (a:agl) foi de 0,65. Estes valores foram adotados a partir da análise dos estudos de Morsy *et al.* (2017), os quais concluíram que as adições de gesso de construção devem estar entre 5% e 10%, em função de CH+MK.

A mistura da argamassa foi realizada em um misturador mecânico até a completa homogeneização (5 min). Ressalta-se que utilizou-se 1,5% de aditivo plastificante para a melhorar a fluidez das argamassas. Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram nos moldes por 24 h. Após a desforma, os mesmos foram posicionados em câmara úmida fechada em condições consideradas como laboratoriais, sendo: temperatura média de 25 °C e umidade relativa do ar de 60%. A Tabela 2 apresenta as misturas experimentais.

Tabela 2 – Misturas experimentais

Misturas experimentais		Aglomerantes		Adição em função do traço CH:MK		Agl:areia	a:agl
		CH	MK	GC	GR		
Referência	R1090	10%	90%	-	-	1:1,5	0,65
	R2080	20%	80%	-	-	1:1,5	0,65
	R3070	30%	70%	-	-	1:1,5	0,65
Adição de gesso comercial	GC1090	10%	90%	10%	-	1:1,5	0,65
	GC2080	20%	80%	10%	-	1:1,5	0,65
	GC3070	30%	70%	10%	-	1:1,5	0,65
Adição de gesso reciclado	GR1090	10%	90%	-	10%	1:1,5	0,65
	GR2080	20%	80%	-	10%	1:1,5	0,65
	GR3070	30%	70%	-	10%	1:1,5	0,65

Fonte: Autores (2019)

2.3 Métodos

2.3.1 Permeabilidade ao ar

Para a realização do ensaio de permeabilidade ao ar adotou-se o método de Thenoz, descrito em Pereira *et al*. (2008). A análise foi realizada em corpos de prova cilíndricos (50 mm x 100 mm) com 90 dias de idade. Antes da realização do ensaio, os corpos de prova foram cortados, utilizando-se o terço médio com 50 mm de altura. Os corpos de prova permaneceram em estufa por 24h e após esfriar, as laterais foram impermeabilizadas. Os ensaios foram realizados com o auxílio de um permeâmetro de carga variável (PEREIRA *et al*., 2008).

2.3.2 Absorção por capilaridade

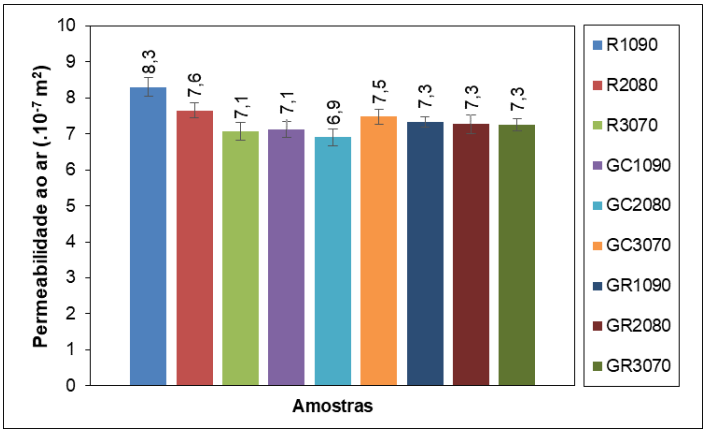
Para a realização do ensaio de absorção por capilaridade foram adotados os procedimentos descritos pela NBR 9779 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de água por capilaridade (ABNT, 2013). Foram realizados em corpos de prova prismáticos com 40 mm x 40 mm x 160 mm. Antes do ensaio, as amostras foram colocadas por 24 h em uma estufa a 50 ºC para a constância de massa. A partir disso, os corpos de prova tiveram suas laterais impermeabilizadas, e posteriormente foram pesados para a determinação da massa seca. Os tempos de aferição da absorção foram os seguintes: 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480 e 1440 min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Permeabilidade ao ar

A análise dos resultados do ensaio de permeabilidade ao ar (Figura 1) mostrou que a adição do gesso contribuiu para o aumento nos tempos de passagem do ar pelo interior das misturas e, por consequência, da porosidade em GC3070, GR1090, GR2080 e GR3070. Sabe-se que quanto maior tempo medido, menor é a resistência à passagem do ar pelas amostras. Nas argamassas de referência, sem adição de gesso, fica evidente que a diminuição nos teores de CH resulta também no aumento dos valores de permeabilidade encontrados.

Figura 1 – Permeabilidade ao ar aos 90 dias



Fonte: Autores (2019)

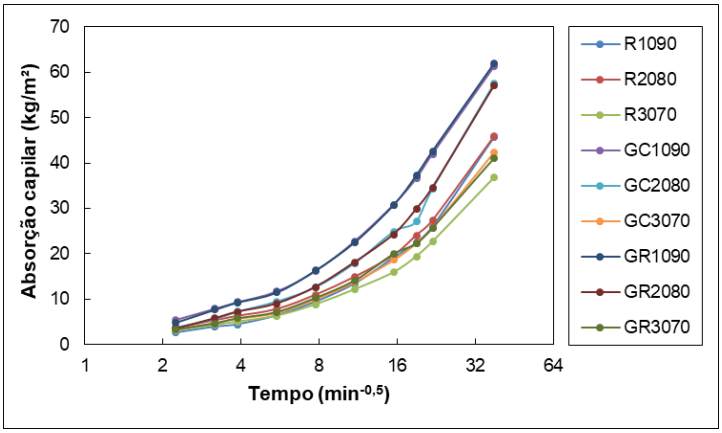
A permeabilidade ar das argamassas é um fator determinante para a aplicação em rebocos de alvenarias novas ou já existentes, uma vez que maiores porosidades e, consequentemente, maiores permeabilidades permitem uma melhor secagem das camadas do substrato e maior carbonatação do hidróxido de cálcio, proporcionando maior enrijecimento. Nota-se que no caso das argamassas de gesso, estas mesmas amostras apresentam valores de permeabilidade ao ar próximas à argamassa de referência R2080. Com isso, a adição

do gesso, principalmente do GR parece estabilizar a permeabilidade ao ar das argamassas, em valores próximos a 7,3 x $10^{-7}m^2$.

3.2 Absorção de água por capilaridade

Nos resultados do ensaio de absorção por capilaridade (Figura 2), as argamassas apresentaram o seguinte comportamento, em ordem crescente da absorção de água: R3070, GR3070, GC3070, R1090, R2080, GR2080, GC2080, GC1090 E GR1090. Por tanto, as argamassas com adição de gesso apresentaram os maiores valores e por consequência maior porosidade.

Figura 2 – Absorção por capilaridade aos 90 dias



Fonte: Autores (2019)

Uma das principais desvantagens de argamassas e produtos derivados da CH é a fragilidade apresentada frente a ação prolongada de água. A adição do MK contribui para o aumento dessa resistência, impedindo que as amostras se desfaçam durante o ensaio de absorção por capilaridade. A adição dos gessos não interferiu na fragilidade, uma vez que todas as amostras testadas não apresentaram indícios de ruptura mesmo após 1440 min de imersão.

Os resultados obtidos foram semelhantes aos de Morsy *et al.* (2017), onde adições superiores a 5% de gesso causaram aumento da absorção capilar em argamassas pozolânicas. Este aumento ocorreu devido a conversão dos hidratos metaestáveis em estáveis, precedidos pela liberação de água para o andamento do processo de hidratação com as fases cristalinas remanescentes, resultando na redução volume de sólidos. Segundo os autores, a adição do gesso também altera os tamanhos dos poros, resultando em argamassas com um maior número de poros de menores diâmetros, devido à presença dos cristais de gesso hidratado em forma de agulha.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que a adição do gesso afetou diretamente o aumento da porosidade e absorção capilar das argamassas. Além disso, as adições não afetaram a estabilidade das amostras frente a ação prolongada da água durante o ensaio de absorção capilar. O aumento da porosidade e da absorção capilar contribuem para o desenvolvimento de argamassas compatíveis com as camadas inferiores das alvenarias, os substratos, por permitem a secagem dos mesmos. Essa peculiaridade também é importante para o desenvolvimento de produtos aplicados em obras de restauração de alvenarias histórias. A adição do GR altera de forma positiva a porosidade das argamassas, e a reciclagem destes resíduos é fator determinante para o a diminuição da disposição final incorreta em aterros sanitários, importante vantagem ambiental. Os resultados levam a um campo promissor na adição de gesso em argamassas pozolânicas.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, código de financiamento – 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido ao trabalho. Agradecemos ao Laboratório de Materiais e Aglomerantes (LARES-FEC) pelo apoio técnico durante a realização dos ensaios. Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (campus Muzambinho) pelo apoio cedido em forma de afastamento integral para qualificação de docentes.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2013. 3p.

CACHIM, P.; VELOSA, A. L.; AND FERRAZ, E. Substitution materials for sustainable concrete production in Portugal. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 1, p. 60-66, 2014.

MORSY, M. S.; AL-SALLOUM, Y. A.; ALMUSALLAM, T. H.; ABBAS, H. Mechanical Properties, Phase Composition and Microstructure of Activated Metakaolin-Slaked Lime Binder. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 3, p. 863–871, 2017.

NURUDDIN, M. F.; QUAZI, S.; SHAFIQ, N.; KUSBIANTORO, A. Compressive strength & microstructure of polymeric concrete incorporating fly ash & silica fume. **Canadian Journal of Civil Engineering**, n.1, p. 15-18, 2010.

PINHEIRO, S. M. de M. Gesso reciclado avaliação de propriedades para uso em componentes. 2011. 330 f. **Tese (Doutorado).** Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PEREIRA, V. M.; CARVALLHO, E.; BARDELLA, P. S.; CAMARINI, G. . Análise fluido-dinâmica do escoamento em ensaio de permeabilidade ao ar de argamassas preparadas com cimento Portland de alto-forno. Cerâmica (São Paulo. Impresso), v. 54, p. 160-166, 2008.

PEREIRA, V. M.; CRUZ, A. M. C.; AMORIM, J. V. F. M.; ALVES, T. M. S.; CAMARINI, G. Gesso e fosfogesso calcinados: Avaliação das propriedades nos estado fresco e endurecido. In: 4º Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção civil, ENARC, SÃO PAULO, **Anais...**2015.

SCHNEIDER, M.; ROMER, M.; TSCHUDIN, M.; BOLIO, H. Sustainable cement production—present and future. **Cement and Concrete Research**, n. 41, p. 642–650, 2011.

VELOSA, A. L.; ROCHA, F.; VEIGA, M. R. Influence of chemical and mineralogical composition of metakaolin on mortar characteristics, **Acta Geodynamica et Geomaterialia**, n. 153, p. 121–126, 2009. ‘