

Argamassas macroporosas para revestimento e assentamento

Macroporous Mortars for Laying and Coating

Paloma Bárbara Pinto (1), Anderson Patrick Pereira (1), Karine Fernandes Paixão (1), Henrique Emanuel Américo da Silva (2), Ricardo André Fiorotti Peixoto (3), Júlia Castro Mendes (4)

(1) Graduando(a), Faculdade Santa Rita (FaSaR) - Departamento de Engenharia Civil.

(2) Graduando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.

(3) Professor D.Sc, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.

(4) Professora M.Sc. Faculdade Santa Rita (FaSaR) - Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro. Ouro Preto, Brasil. CEP 35400-000. E-mail: jcmendes.eng@gmail.com

Resumo

O sistema de vedação vertical de uma edificação é responsável, entre outros, pela proteção da construção aos agentes externos. Em edifícios convencionais, esse sistema é composto por alvenarias e argamassas, as quais possuem um sistema de poros e canaliculos que permitem a absorção capilar da água, sendo potenciais acarretadores de patologias. Dessa forma, este trabalho busca avaliar a dosagem ótima de um aditivo incorporador de ar (AIA) biodegradável nas argamassas. O AIA promove a inserção de macroporos de ar incorporado (10 – 3000 μm), provocando uma interrupção dos canaliculos, sem prejudicar suas propriedades fundamentais de aplicação. O aditivo utilizado é baseado em moléculas surfactantes de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS), proveniente de detergentes lava-louças. Os detergentes domésticos são produtos amplamente disponíveis, atóxicos, de relativo baixo custo e menor impacto ambiental, visto que são biodegradáveis. O presente trabalho compara resultados de ensaios físicos (absorção de água, coeficiente de capilaridade e massa específica) e térmicos (condutividade térmica) de argamassas de traços 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:cal:areia) com teores variados de AIA. Foram observadas uma maior trabalhabilidade, maior isolamento térmico e uma redução dos efeitos de elevação capilar e da massa específica para todas as dosagens estudadas. Busca-se, assim, contribuir com a qualidade dos ambientes internos das edificações, além de promover o desenvolvimento tecnológico das matrizes cimentícias.

Palavra-Chave: Aditivo Incorporador de Ar, Argamassas; Matrizes Macroporosas, Capilaridade;

Abstract

The envelope of a building is responsible, among others, for the physical protection of the building from external agents. In conventional buildings, this system is composed of masonry and mortars, which have a system of pores and canaliculi that allow the capillary absorption of water, potentially incurring in pathologies. Thus, this work seeks to evaluate the optimum dosage of a biodegradable air entraining admixture (AEA) in mortars. The AEA promotes the stabilisation of macropores of incorporated air (10 - 3000 μm), interrupting the canaliculi, without damaging the application properties of the mortar. The admixture used in the present work is based on surfactant molecules of Linear Alkyl Benzene Sodium Sulfonate (LAS), derived from dishwashing liquids. Household detergents are widely available products that are easy to apply, non-toxic, relatively inexpensive and have a lower environmental impact, since they are biodegradable. The present work compares the results of physical tests (water absorption, capillary coefficient and specific mass), and thermal evaluation (thermal conductivity) from two mortars mixtures: 1:2:9 and 1:1:6 (cement : lime : sand) with varying levels of AEA. All mixtures studied presented higher workability, higher thermal insulation and a reduction in the effects of capillary elevation and specific mass. Therefore, this work seeks to contribute to the quality of the internal environments of the buildings, as well as to promote the technological development of cement-based composites.

Keywords: Air-Entraining Admixture, Mortars; Macroporous Cement-Based Composites, Capillarity.

1 Introdução

As argamassas de revestimento e assentamento têm a função de revestir e proteger a estrutura, garantindo ainda a vedação do ambiente. Para o meio externo há uma necessidade de aspectos decorativos e principalmente de proteção contra as intempéries, já para o meio interno, é priorizado o aspecto decorativo, higiênico e de segurança (YAZIGI, 2004).

Uma das características das argamassas é seu sistema de poros e canais capilares de diferentes dimensões (POWERS, 1949) (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Devido a esse sistema de poros interconectados e à tensão superficial da água, a umidade passa a penetrá-la, o que, por consequência, contribui significativamente com o efeito de degradação e patologias nos materiais que compõem a estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998). Essa umidade pode ser originada de diversas formas, podendo ser (BERTOLLINI, 2014):

- Umidade de construção: permanência de umidade provinda da água de colocação ou cura durante a construção;
- Umidade descendente: originada pelo contato direto com água do meio externo;
- Umidade por vapor: condensação de vapor de água nos poros ou na superfície;
- Umidade por elevação: absorção de água por capilaridade devido ao contato direto da parte mais baixa da alvenaria com água ou solos úmidos.

A absorção capilar é a causa de um dos fenômenos mais indíciosos e difíceis de controlar na alvenaria (SOUZA e RIPPER, 1998). A infiltração de água acarreta uma série de consequências patológicas, como corrosão de armaduras, eflorescência, degradação do concreto e argamassa, empolamento e bolhas em tintas, entre outros, gerando altos custos de manutenção e recuperação (BERTOLLINI, 2014).

Uma das formas de evitar esse efeito é o uso de aditivos impermeabilizantes. Estes aditivos reagem com o cimento durante o processo de hidratação, produzindo substâncias minerais que bloqueiam a rede capilar, e assim, reduzindo significativamente sua permeabilidade. Outros tipos adicionam à matriz cimentícia polímeros acrílicos que formam um filme impermeável, ou ainda adicionam substâncias hidrofugantes, repelindo a água (VEDACIT IMPERMEABILIZANTES, 2016) (YAZIGI, 2009).

Entretanto, o uso de aditivos no revestimento, sem um sistema adequado de impermeabilização, apenas retarda o efeito patológico da umidade. Em situações comuns nas quais apenas a face externa da parede é impermeabilizada, a umidade ascendente é intensificada no meio interno, acentuando ocorrências de bolor e descascamento (BERTOLLINI, 2014).

Uma alternativa ao uso de aditivos impermeabilizantes para mitigar as patologias provocadas pela umidade nos revestimentos é a utilização dos aditivos incorporadores de ar (AIA). Os AIA são baseados em moléculas surfactantes, que estabilizam os poros formados durante a mistura, gerando um sistema de microporos pequenos (de 10 - 3000

μm) e bem dispersos pela matriz (DU e FOLLIARD, 2005) (RAMACHANDRAN, 1995). Esses poros e canais podem apresentar variações nas suas dimensões, volume ocupado, grau de interconexão e abertura na superfície externa do material (ATAHAN, CARLOS JR, *et al.*, 2008). Eles passam, então, a interferir diretamente nas suas características físicas, como resistência mecânica, condutividade térmica e acústica, massa específica ou ainda a absorção de água (MENDES, MORO, *et al.*, 2017) (ZHAO, XIAO, *et al.*, 2014).

Assim, surgem as argamassas macroporosas - aquelas em que os poros promovidos pelo AIA ($> 10 \mu\text{m}$) previnem a ascensão de água por capilaridade, sem aumentar a absorção de água. Busca-se, assim, reduzir as patologias ligadas a esse fenômeno. Isso ocorre porque os vazios de ar incorporado provocam a desconexão dos capilares, dificultando a ascensão da água e permitindo sua evaporação, mas não são interligados de forma a não aumentar a permeabilidade da matriz. Ainda, a incorporação de ar melhora a trabalhabilidade da matriz, sua coesão, e reduz sua massa específica, acarretando melhor qualidade, maior produtividade e menor sobrecarga estrutural (YOUNG, MINDESS, *et al.*, 1998) (MENDES, MORO, *et al.*, 2017). Por fim, o sistema de vazios promove um maior isolamento térmico e acústico da argamassa e, portanto, da edificação como um todo.

Os materiais de construção são responsáveis não somente pela saúde dos ocupantes e estética do empreendimento, mas também pelas questões de conforto térmico e eficiência energética (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997). O uso de materiais com menor condutividade térmica influenciará na maior ou menor necessidade de condicionamento artificial do ambiente interno da construção durante toda a sua vida útil (OLIVEIRA, 2009).

MENDES, MORO, *et al.* (2017) provaram que o detergente doméstico baseado em surfactante biodegradável, Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS) é um AIA eficaz para promover a estabilização dos poros. Além de amplamente disponível, atóxico e de baixo custo (aproximadamente R\$ 3,50 por litro), o detergente é composto por surfactantes biodegradáveis, de menor impacto ambiental.

Portanto, o presente trabalho visa avaliar as propriedades térmicas e físicas de argamassas macroporosas de revestimento e assentamento. Busca-se, assim, contribuir para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis e de baixo custo para a melhoria do ambiente construído e, conseqüente, para o avanço tecnológico dos sistemas de vedação.

2 Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se pesquisa experimental e de aplicação em engenharia. Foram avaliados dois traços típicos de argamassa: 1:2:9 e 1:1:6 (cimento : cal : areia, em volume) com porcentagens de adição de aditivo incorporador de ar (AIA) de 0% (referência), 0,05%, 0,5% e 5% em massa sobre a massa de cimento (m.c.).

O fator a/c utilizado foi o equivalente à abertura de $260 \pm 10 \text{ mm}$ na mesa de consistência sugerida pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Para os traços com aditivos, foi mantido o Índice de Consistência fixo e variou-se a relação a/c equivalentemente.

2.1 Materiais

Para confecção dos corpos de prova, foram utilizados: Cimento CPV da Nacional Cimentos; Cal Hidratada CHI de marca Supercal; Areia de rio regional com 92,7% de silicatos; Água potável; e AIA baseado em LAS, compreendendo detergente neutro. Este AIA é composto por uma associação de tensoativos aniônicos entre 6 e 10%: o LAS, (CAS: 25155-30-0); Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Trietanolamina (CAS: 27323-41-7) e Lauril Éter Sulfato de Sódio (CAS: 9004-82-4) (QUÍMICA AMPARO LTDA, 2011).

2.2 Caracterização Física

No estado fresco, foi realizado o ensaio de Índice de Consistência, para a determinação do fator a/c dos traços, conforme NBR 13276 (ABNT, 2005); e Teor de Ar Incorporado, através do método pressométrico, com equipamento da marca Solotest. No estado endurecido, foram realizados os seguintes ensaios: massa específica, absorção de água e do índice de vazios, segundo NBR 9778 (ABNT, 2009); e absorção de água por capilaridade, segundo NBR 15259 (ABNT, 2005b). Para cada ensaio, foi utilizada uma média de 5 corpos de prova.

2.3 Caracterização Térmica

A caracterização térmica compreendeu a determinação da condutividade térmica. Para este fim, foi utilizado um equipamento HFM 436 Lambda, da fabricante NETZSCH. Para cada traço foram construídas 4 placas de dimensões 300x300 e aproximadamente 50 mm de espessura, curadas por 14 dias, em média. Antes do ensaio, as amostras foram previamente secas em estufa por 24h a 100°C, de modo a igualar o teor de umidade de cada matriz a aproximadamente 0%. O valor final da condutividade térmica foi dado pela média das aferições na temperatura de 20°C e delta de 20°C.

3 Resultados e Discussão

3.1 Índice de Consistência

Para se determinar a quantidade de água a ser inserida em cada traço, foi definido como padrão o índice de consistência em 260 ± 10 mm. Optou-se por utilizar a relação água/cimento em massa (fator a/c) ao invés da relação água/ligantes em volume comumente utilizada, visando à maior precisão e repetibilidade dos traços. Assim, a figura 1 mostra os resultados do fator a/c obtidos.

Observa-se uma redução do fator a/c conforme o aumento do teor de AIA. Isso se deve à maior trabalhabilidade das argamassas, proveniente do melhor espalhamento das partículas de cimento devido à ação dos surfactantes (OUYANG, GUO e QIU, 2008) (MENDES, MORO, *et al.*, 2017).

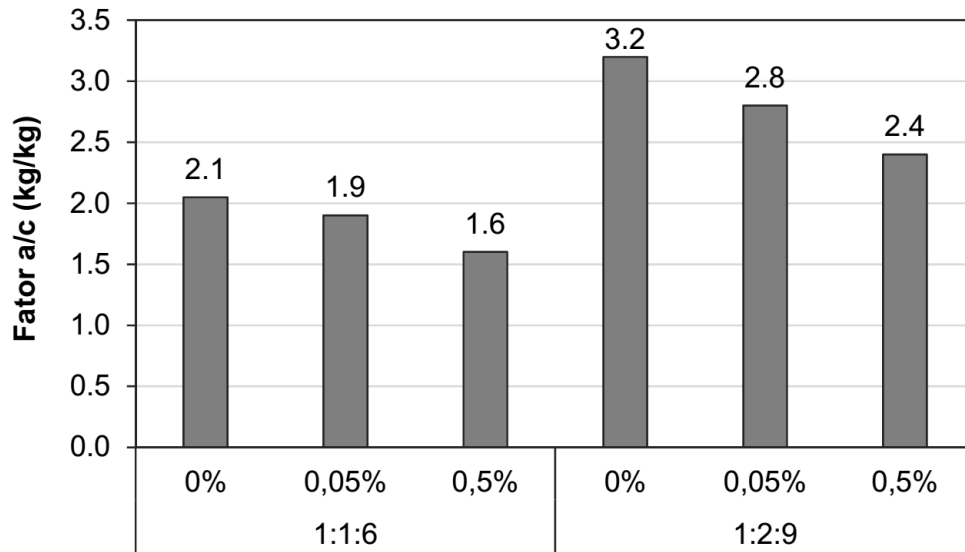


Figura 1 - Resultado do fator a/c dos traços 1:1:6 e 1:2:9

3.2 Caracterização Física

As figuras 2 e 3 mostram os resultados de massa específica e absorção de água para os traços 1:2:9 e 1:1:6.

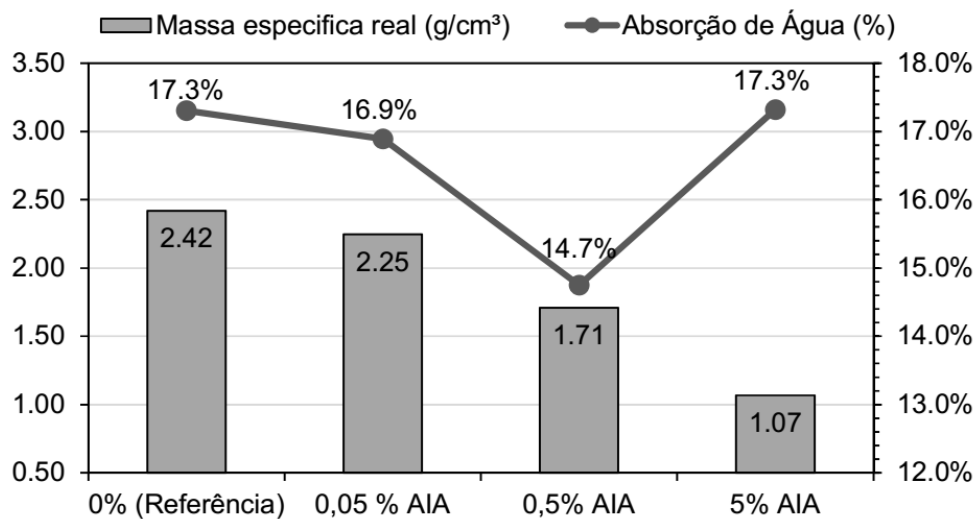


Figura 2 - Resultado de Massa Específica Real e Absorção de água do traço 1:2:9

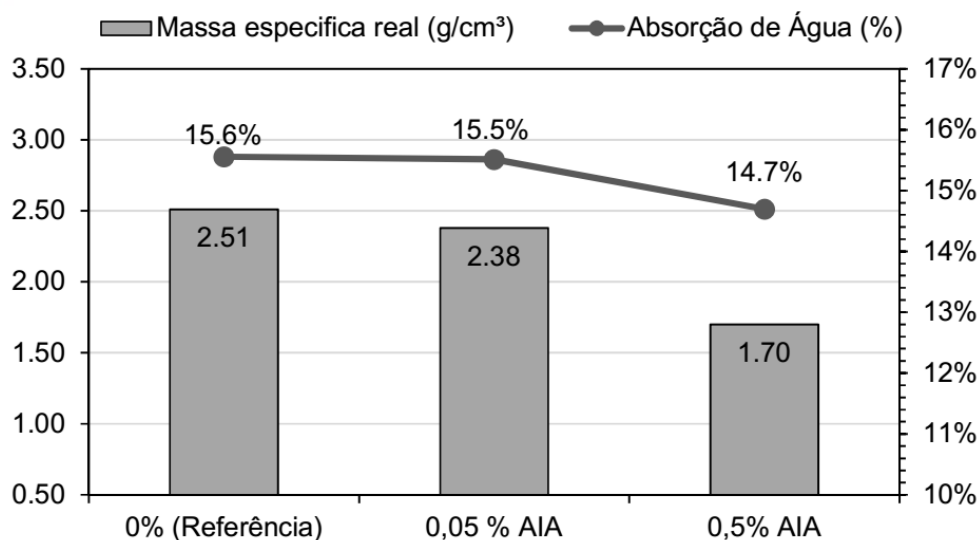


Figura 3 - Resultado de Massa Específica Real e Absorção de água do traço 1:1:6

Conforme esperado, ocorre um decréscimo na massa específica real conforme o aumento da porcentagem de AIA no traço. À medida que o surfactante é adicionado, a tensão superficial se reduz, com a formação e manutenção de um sistema de espuma estável (OUYANG, GUO e QIU, 2008). Assim, o sistema de poros aumenta em volume e dimensões médias, fazendo com que a argamassa fique mais leve (MENDES, MORO, *et al.*, 2017) (YANG, ZHU, *et al.*, 2000). As argamassas 1:2:9 e 1:1:6 com 0,5% de AIA ficaram 29% e 32% menos densas do que as respectivas referências. Essa redução da massa específica acarreta uma redução das ações permanentes na estrutura e na fundação das edificações.

Os resultados de massa específica provam que os corpos de prova com 0,05% e 0,5% de AIA possuem uma matriz mais porosa do que o tratamento de referência; e, entretanto, esses poros adicionais não se traduzem em um aumento significativo da absorção de água da matriz, pelo contrário, o efeito inverso é observado. As argamassas 1:2:9 e 1:1:6 com 0,5% de AIA apresentaram absorção de água 15% e 6% menor do que as respectivas referências. Os poros desses traços não colaboram para a entrada de água na matriz; pois estão bem distribuídos de forma a não haver ligação entre eles, e/ou interrompendo os canais capilares próximos à superfície e impedindo a penetração da água por tensão superficial (MENDES, MORO, *et al.*, 2017) (BERTOLLINI, 2014).

A mesma interpretação não foi válida para o traço 1:2:9 contendo 5% de AIA. Nesse caso, os poros alcançaram tal volume e dimensões, que a interconexão entre eles foi possibilitada (MENDES, MORO, *et al.*, 2017). Nesse caso, a permeabilidade da amostra aumenta, e, conseqüentemente, a sua absorção de água. Assim, o traço foi considerado inapto para uso em sistemas de vedação vertical, e os ensaios posteriores foram descontinuados para este tratamento.

Cabe notar que os efeitos da incorporação de ar – redução da massa específica e relativamente maior absorção de água – foram notados mais expressivamente para o traço 1:2:9 do que para o 1:1:6. Isso provavelmente se deve à maior massa relativa de areia em relação aos ligantes no traço 1:2:9. Como a incorporação de ar se deve à cascata tridimensional de agregados caindo um sobre os outros durante a mistura (DU e FOLLIARD, 2005), esses efeitos foram ligeiramente potencializados para esse traço, como se pode observar na figura 4, que mostra o teor de ar incorporado.

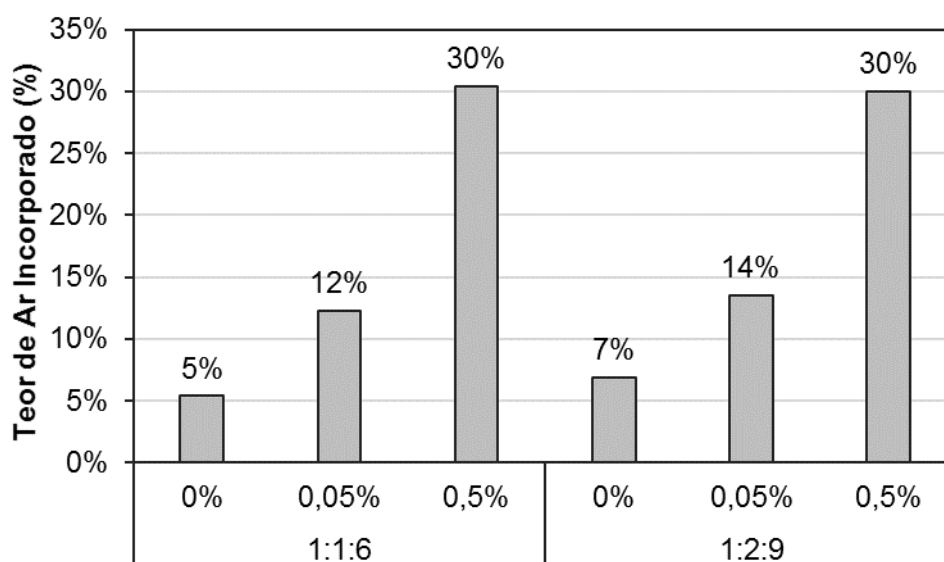


Figura 4 – Resultado do Teor de Ar Incorporado dos traços 1:1:6 e 1:2:9

Este resultado mostra uma maior incorporação de ar para o traço 1:2:9 nas matrizes de referência e 0,05%. Nas matrizes com médio teor de AIA – 0,5% – o efeito de incorporação é similar, provavelmente devido à ampla disponibilidade de moléculas de surfactante na mistura, cujo efeito de estabilização de vazios se superpõe ao da cascata tridimensional.

As figuras 5 e 6, a seguir, mostram os resultados do Índice de Capilaridade dos traços 1:2:9 e 1:1:6. Os dados do índice de capilaridade para o traço 1:2:9, mostrados na Figura 5, indicam que nos corpos de prova sem AIA (0%) a capilaridade foi a mais alta dentre os traços. Após 1 hora transcorrida, ocorreu uma absorção de água por capilaridade média de 2,27g/cm² e chegando à 2,56g/cm² no final das 48hrs. Conforme o aumento da porcentagem de AIA, observou-se que a capilaridade diminuiu, chegando ao menor valor no traço com 5% de AIA. Esses corpos-de prova apresentaram um valor médio mínimo, na primeira hora de ensaio, de 0,41g/cm² e chegando à 0,80g/cm² nas 48hrs, uma queda de quase 70% em relação ao mesmo tempo do traço de referência. O traço de 0,05% apresentou uma redução de 8%, enquanto o de 0,5%, 42%. Portanto, foi demonstrado que a capilaridade na argamassa diminui conforme ocorre aumento de macroporos resultantes da adição de maiores porcentagens de AIA. Estes os macroporos, de maiores dimensões que os poros/canalículos capilares e os poros de gel da matriz (MEHTA e MONTEIRO, 2014), interrompem os canalículos capilares presentes na argamassa

convencional, diminuindo a ascensão de água por efeito da tensão superficial que ocorre nestes canaliculos.

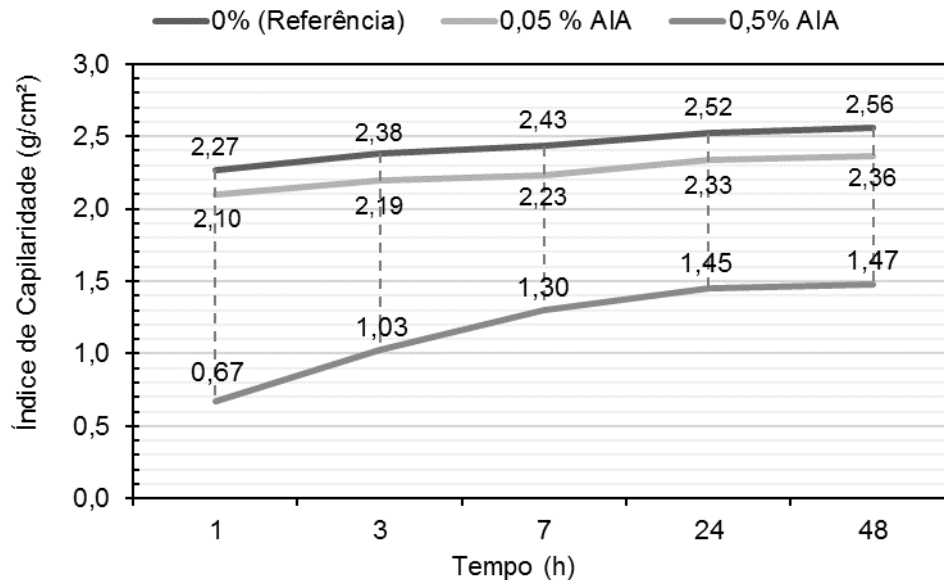


Figura 5 - Resultado de Índice de Capilaridade do traço 1:2:9

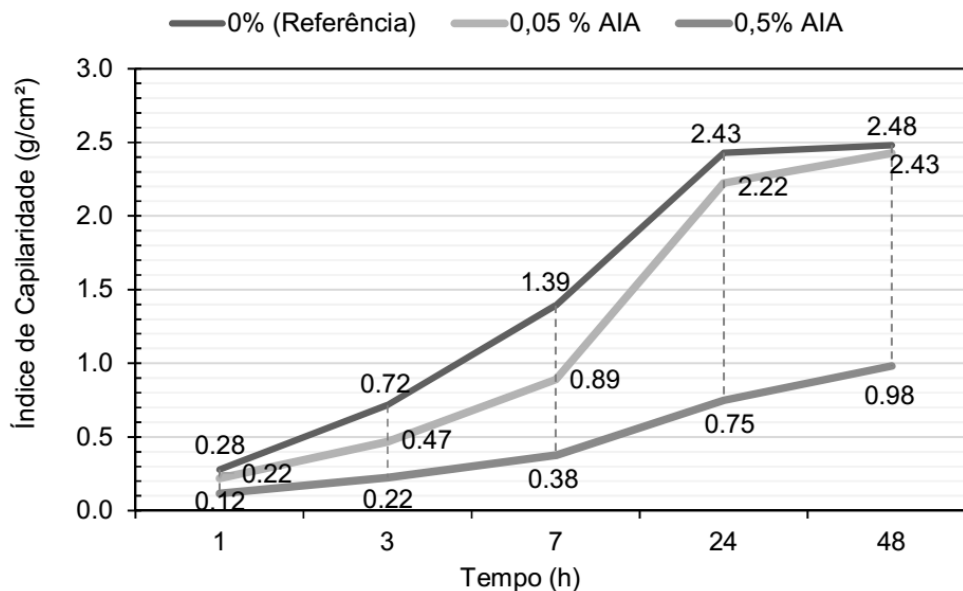


Figura 6 - Resultado de Índice de Capilaridade do traço 1:1:6

Conforme mostrado na figura 6, para o traço 1:1:6 também ocorre redução na capilaridade com o aumento da porcentagem de AIA. Para esse ensaio, adotou-se um traço com menores massas relativas de areia, o que acarreta menores quantidade de vazios e, portanto, índices de capilaridade menores, quando comparado ao traço de 1:2:9. Outro fator possível de ter ocorrido é a redução do tamanho dos poros do traço 1:2:9 devido à ação da cal hidratada – o que favorece a ação da ascensão capilar.

Decorrido 1 hora de ensaio, os resultados médios dos três traços com AIA demonstraram valores similares; porém, conforme decorrido o tempo, o índice de capilaridade aumenta gradativamente, principalmente nos corpos de prova de referência (0%) e baixo teor de AIA 0,05%. Isso se deve aos volumes baixos de macroporos, que não provocam alterações relevantes na capilaridade. Portanto, para esse traço ocorre um efeito semelhante ao traço 1:2:9, onde a capilaridade é reduzida conforme o aumento da porcentagem de AIA, onde os macroporos provocam a interrupção dos canalículos e a consequente diminuição da infiltração de umidade por ascensão capilar.

Um segundo fator de interesse seria a melhoria da coesão das argamassas. O uso de AIA baseado em LAS reduz significativamente os potenciais de exsudação e segregação das matrizes (YOUNG, MINDESS, *et al.*, 1998) (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Com isso, tem-se uma redução do fenômeno do depósito de areia no fundo dos corpos de prova deste ensaio. Uma concentração menor de areia sem ligantes incorre em uma menor porosidade no fundo da amostra e uma consequente menor absorção de água por capilaridade, como foi notado para os traços de maior teor de AIA.

3.3 Caracterização Térmica

A figura 7, a seguir, mostra o resultado do ensaio de condutividade térmica das argamassas. Observa-se valores decrescentes conforme o aumento do teor de AIA. Isso se deve ao aumento da porosidade da matriz, o que reconhecidamente reduz a condutividade térmica de materiais cerâmicos (FRANCL e KINGERY, 1954). As argamassas 1:2:9 e 1:1:6 com 0,5% de AIA apresentaram condutividade térmica 37% e 46% inferior às respectivas referências.

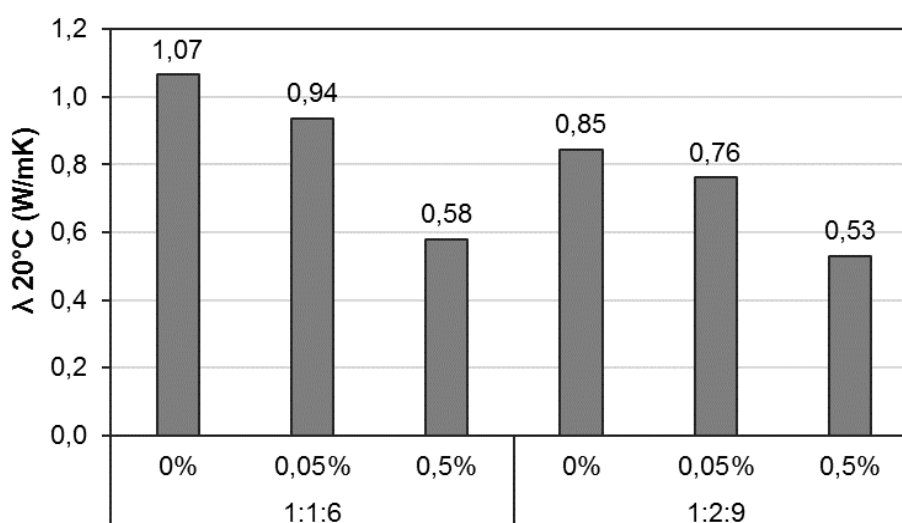


Figura 7 – Condutividade Térmica das argamassas a 20°C.

Mesmo para as argamassas de referência (0%), observa-se uma diferença significativa para o valor de condutividade térmica de argamassas comuns fornecido pela NBR 15220 (ABNT, 2003): 1,15 W/(m.K). Essa discrepância pode superestimar os resultados de simulações computacionais de desempenho de edificações.

Ainda no tocante ao desempenho de edificações, a queda na condutividade térmica tem o potencial de promover um maior conforto térmico dos ocupantes. Além da melhoria da habitabilidade, esse fator promove a redução do gasto energético ao longo da vida útil da construção (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997).

4 Conclusão

Através dos resultados obtidos, foi observada a eficácia do aditivo incorporador de ar (AIA) biodegradável utilizado, o detergente doméstico baseado em LAS. Nota-se a necessidade deste estudo de dosagem ótima de AIA visto que ele influencia fortemente as propriedades da argamassa, tais como consistência e absorção de água. Em trabalhos futuros, ressalta-se também a importância de uma avaliação das propriedades mecânicas dessas argamassas, como resistência à compressão e à flexão e aderência ao substrato.

Observou-se similaridade entre os resultados dos teores 0% e 0,05% de AIA, com pouca melhoria das propriedades de interesse. Por outro lado, o uso excessivo de AIA, ilustrado pela concentração de 5%, causou significativa queda das características físicas e mecânicas, devendo ser evitado. Os melhores resultados foram obtidos para o teor de 0,5% de AIA.

Para os dois traços de argamassa estudados, 1:2:9, tipicamente utilizado para assentamento de alvenarias e 1:1:6, tipicamente utilizado em revestimento, os testes demonstraram que o aumento do teor de AIA até 0,5% proporciona:

- Melhora na plasticidade;
- Aumento do teor de ar incorporado;
- Redução na massa específica;
- Redução da absorção de água;
- Redução da absorção de água por capilaridade;
- Redução da condutividade térmica.

Como consequência, temos argamassas de revestimento e assentamento com menor peso-próprio – levando a uma menor sobrecarga estrutural; melhor coesão e trabalhabilidade, influenciando a produtividade e a facilidade de aplicação; menor absorção de água em geral e por capilaridade, o que leva a um menor potencial de patologias; e um melhor isolamento térmico, o que promove uma habitação com melhor desempenho térmico por toda a sua vida útil. Assim, observa-se o potencial de argamassas macroporosas na construção civil, contribuindo para o menor impacto ambiental das edificações, prevenção de patologias e maior eficiência energética.

5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer as instituições FAPEMIG, CAPES, Fundação Gorceix, UFOP e CNPq pelo apoio financeiro para a realização dessa pesquisa. Também somos gratos pela infraestrutura e colaboração do Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos - RECICLOS - CNPq. Agradecemos à Faculdade Santa Rita - FaSaR, seu Centro de

Pesquisa e Iniciação Científica (CEPIC) e Laboratório de Materiais de Engenharia Civil pela infraestrutura e colaboração.

6 Referências

ABNT. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005a.

ABNT. **NBR 15259 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2005b.

ABNT. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

ATAHAN, H. N. et al. The morphology of entrained air voids in hardened cement paste generated with different anionic surfactants. **Cement & Concrete Composites**, v. 30, p. 566–575, 2008.

BERTOLLINI, L. **Materiais de Construção.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

DU, L.; FOLLIARD, K. J. Mechanisms of air entrainment in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 1463–1471, 2005.

FRANCL, J.; KINGERY, W. D. Thermal conductivity: IX, experimental investigation of effect of porosity on thermal conductivity. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 37, n. 2, p. 99-107, 1954.

LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA. **Lamberts, Dutra & Pereira - Eficiência energética na arquitetura, 3a ed.** [S.l.]: [s.n.], 1997.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDES, J. C. et al. Mechanical, rheological and morphological analysis of cement-based composites with a new LAS-based Air Entraining Agent. **Construction & Building Materials**, p. (in press), 2017.

OLIVEIRA, L. **Metodologia para o desenvolvimento de fachadas leves.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado). 2009.

OUYANG, X.; GUO, Y.; QIU, X. The feasibility of synthetic surfactant as an air entraining agent for the cement matrix. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 1774–1779, 2008.

POWERS, T. C. The air requirement of frost-resistant concrete. **Proceedings of Highway Research Board**, v. 29, p. 184–202, 1949.

QUÍMICA AMPARO LTDA. FISPQ - Detergente Ypê Neutro, 2011. Disponível em: <http://www.ype.ind.br/wp-content/uploads/2014/08/FISPQ_LAVA-LOUCAS_YPE_CLEAR.zip>. Acesso em: 14 set. 2015.

RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete Admixtures Handbook**. 2a. ed. New Jersey: Noyes Publications, 1995.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER,. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. [S.l.]: PINI, 1998.

YANG, Q. et al. Properties of concrete with a new type of saponin air-entraining agent. **Cement and Concrete Research**, v. 30, p. 1313-1317, 2000.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar - 6ª ed. revista e atualizada**. São Paulo: PINI/SINDUSCON-SP, 2004.

YOUNG, J. F. et al. **The Science and Technology of Civil Engineering Materials**. [S.l.]: Prentice Hall, 1998.

ZHAO, H. et al. Influence of Pore Structure on Compressive Strength of Cement Mortar. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 12 pages, 2014.