

INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS DAS AREIAS NO COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DAS ARGAMASSAS DE CAL EXPOSTAS AO AMBIENTE MARINHO.

INFLUENCE OF SANDS FINE CONTENTS IN THE CAPILLARITY COEFFICIENT OF LIME MORTARS EXPOSED TO MARINE ENVIRONMENT.

Flávia Costa de Mattos¹

Margarete Regina Freitas Gonçalves²

Resumo: As areias através da distribuição granulométrica, natureza mineralógica e textura superficial exercem grande influência no desempenho das argamassas, tanto no estado fresco como no endurecido, repercutindo na durabilidade dos revestimentos. A durabilidade de uma argamassa de revestimento está vinculada à presença de umidade e de sais solúveis, que podem estar presentes nos poros dos materiais de construção ou no ambiente, como nas regiões litorâneas. Este estudo foi realizado com diferentes amostras de areias, sendo todas quartzosas, comercializadas no município do Rio Grande-RS em que após a caracterização física e mineralógica, foram produzidas três famílias de argamassas de cal hidratada tipo CH-II na proporção 1:3, em volume, mantendo-se a mesma relação água/material seco em 18%. No estado fresco foi obtido o índice de consistência (flow-table) e a densidade de massa. Para a análise no estado endurecido, foram moldados corpos de prova prismáticos 40x40x160 mm e após o processo de cura foram realizados os ensaios de densidade de massa e absorção de água por capilaridade, aos 28 e 240 dias. Os resultados indicam que a argamassa produzida com o agregado com maior percentual da fração de finos (passante na peneira #75 μm) foi a que apresentou o menor coeficiente de capilaridade aos 28 dias de cura. O desempenho das três famílias, a partir desta data, tornou-se assemelhado indicando o refinamento na rede de poros.

Palavras-chave: Argamassa. Agregado miúdo. Capilaridade.

Abstract: Due to their particle size distribution, mineralogical nature, and superficial texture, sands exert great influence in mortars performance, for both fresh and hardened state, affecting the lifetime of wall coating. The lifetime of a mortar coating is linked to the presence of humidity and soluble salts, which can be present in the construction material porosity or in the environment, such as coastal regions. This study was made with different samples of sands, being all quartz sands, commercialized in Rio Grande, a municipality in RS. After the physical and mineralogical characterizations, three hydrated lime mortar families type CH-II were produced in the proportion 1:3, in volume, keeping the same relation water/dry mineral in 18%. In fresh state, the consistence index (flow-table) and mass density were obtained. In order to analyze the hardened state, prismatic sample parts 40x40x160 mm were shaped and after the

¹ Doutoranda em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, fcmattos@vetorial.net.

² Doutora em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, margareterfg@gmail.com.

curing process, the mass density and water absorption by capillarity tests were made at day 28 and day 240. The results indicate that the mortar produced with the aggregate with the higher percentage of fine mesh fraction (passing #75 μm sieve) was the one that presented the smallest capillarity coefficient after 28 days curing. The performance of the three families, from this date on, became similar, indicating the pore network refinement.

Keywords: Mortar. Fine Mesh Aggregate. Capillarity.

1 INTRODUÇÃO

A durabilidade dos revestimentos executados com argamassas de cal apresenta íntima ligação com o ambiente no qual estão expostos, determinando a capacidade de manter sua estabilidade química e física ao longo do tempo, portanto, estando condicionada a agressividade do meio ao qual estão expostos e pelas solicitações de natureza física e mecânica (RECENA, 2015).

Em condições normais de uso, a durabilidade de uma argamassa de revestimento está vinculada à presença de umidade e de sais solúveis, que podem estar presentes nos poros dos materiais de construção ou no ambiente, como nas regiões litorâneas.

Para Freitas et al. (2015, p.15), do ponto de vista físico, existe três mecanismos fundamentais de fixação da umidade: higroscopicidade, condensação e capilaridade. Também relatam os autores que a cristalização dos sais, um dos principais mecanismos de degradação, é baseada na estrutura porosa do material (tamanho e arranjo dos poros) e do tipo de sal.

Segundo Cincotto et al. (2012, p.1), “as regiões climáticas brasileiras são muito diversificadas quanto à umidade ambiente e quanto à precipitação de chuvas, fato que motiva a seleção da argamassa adequada às condições ambientais locais”.

Desta forma, as areias utilizadas sob a forma de agregado miúdo, por constituírem de 75 a 85% do volume total das argamassas, apresentam papel fundamental no comportamento global, porque facilitam as reações químicas de carbonatação, que tem início pela secagem da água em excesso e pela transformação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) em carbonato de cálcio (CaCO_3), através do contato com o dióxido de carbono (CO_2). Elas, também, contribuem para a distribuição uniforme de eventuais efeitos de retração evitando fissuras superficiais no revestimento, promovendo a pasta partículas aptas a resistir às cargas aplicadas, ao desgaste e a ação das intempéries.

Recena (2014), quando trata da água capilar, ressalta que no processo de cura, a saída da água das argamassas se dá pela formação de uma rede capilar e de sua interligação, que ajuda no processo de carbonatação, mas que

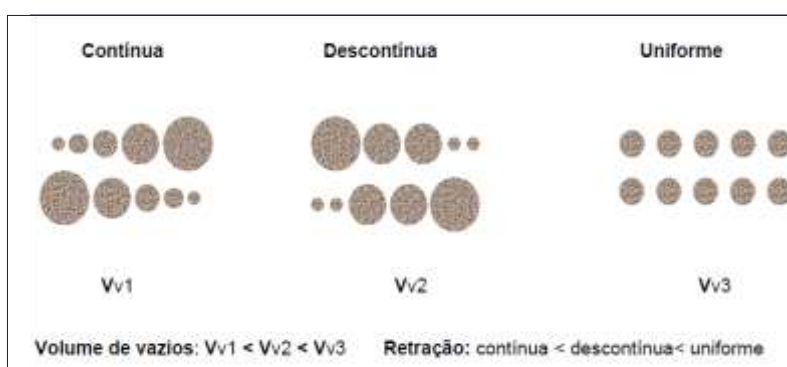
pelos mesmos canais que a água sai esta poderá retornar carreando, neste processo, agentes agressivos responsáveis pela degradação da pasta e, conseqüentemente, do revestimento.

A adequada proporção e o diâmetro dos materiais particulados contribuem para reduzir os vazios resultantes do arranjo granulométrico espacial, promovendo o adequado empacotamento das partículas (CINCOTTO et al., 2012).

A compacidade das argamassas apresenta íntima ligação com a distribuição granulométrica e a forma dos grãos, visto que relaciona a quantidade e a dimensão dos espaços vazios, devendo os vazios maiores serem preenchidos com partículas menores e assim sucessivamente, refletindo na quantidade de ligante e de água a ser utilizada, conduzindo a diminuição do fenômeno de retração (CASTRO e PANDOLFELLI, 2009).

De fato, quanto mais elevado for o volume de vazios a ser preenchido pela pasta aglomerante maior será o potencial de retração da argamassa, neste sentido, Carasek (2007) apresenta a relação das areias quanto à distribuição granulométrica e retração plástica, em que a distribuição contínua apresenta maior empacotamento dos grãos e, conseqüentemente, menor retração conforme Figura 1.

Figura 1 – Classificação das areias quanto à distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica.



Fonte: Carasek (2007)

As areias, pela sua distribuição granulométrica, natureza mineralógica entre outros aspectos possuem influência significativa no desempenho das

argamassas, tanto no estado fresco, através da trabalhabilidade como no estado endurecido, através da sua densidade, resistência e durabilidade (SANTOS et al., 2015).

Em estudo similar, Silva e Campiteli (2006) concluíram que o coeficiente de capilaridade de uma argamassa é fortemente influenciado, de forma positiva, pela adição do teor de finos dos agregados. Ainda avaliam que, o teor adequado de finos que uma areia deve ter para otimizar as propriedades da argamassa, depende da granulometria e morfologia das partículas.

Resultado semelhante foi observado por Oliveira et. al. (2013) quando analisaram a adição de agregados finos de vidro e obtiveram redução significativa deste coeficiente com maior percentual de finos.

Em geral, a utilização de areias está vinculada a uma determinada região que, por uma questão de proximidade, torna o material mais econômico, como é o caso da cidade do Rio Grande, RS, que utiliza areia extraída de regiões das cidades de Pelotas e Cristal. Por esta razão, as características específicas das areias são muitas vezes ignoradas, bem como o ambiente e o grau de agressividade do local onde serão utilizadas.

Assim, no presente estudo se analisou as areias abundantemente comercializadas no município de Rio Grande, RS, identificando e comparando as suas características físicas e mineralógicas e, as propriedades físicas obtidas em argamassas de areia e cal no estado fresco (índice de consistência e densidade de massa) e no estado endurecido (densidade de massa e capilaridade) após 28 e 240 dias de cura.

2 METODOLOGIA

Para o trabalho experimental foram coletadas areias em três comércios locais, disponibilizadas com granulometria fina(f) e média(m), e cal hidratada tipo CH-II. As areias foram identificadas pelas letras A, B e C e caracterizadas quanto ao módulo de finura, massa unitária, coeficiente de uniformidade, teor de finos, distribuição granulométrica e mineralogia.

Os ensaios de caracterização física foram feitos no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e a análise

mineralógica, através de Difração de Raios X em um equipamento da marca Bruker, modelo D8 Advance, no laboratório do Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul- CEME-Sul/FURG.

Após a caracterização das areias, foram preparadas argamassas com a cal hidratada CH-II, com traço volumétrico igual a 1:3 e relação água/materiais secos no percentual igual a 18% sobre o peso das composições binárias. A dosagem e o preparo dos materiais constituintes das argamassas foi realizada em massa, de acordo com a NBR- 13276:2005. Finalizado o procedimento de mistura, foi realizado o ensaio para a obtenção do índice de consistência através da mesa de consistência (flow-table), indicado em 260 mm \pm 10 mm conforme NBR 13276:2005 e a densidade de massa de acordo com a NBR 13278:2005.

Os corpos de prova, três por amostra de areia, foram moldados em formas prismáticas medindo 40x40x160 mm e submetidos ao processo de cura em ambiente com umidade e temperatura controladas.

Após 7 dias ocorreu a desforma dos corpos de prova que permaneceram em cura controlada até completar 28 dias e depois, foram colocados em ambiente externo ao laboratório, protegido da ação de chuvas.

A densidade de massa aparente no estado endurecido e o coeficiente de capilaridade foram obtidos de acordo com normas vigentes, NBR 13280:2005 e NBR 15259:2005, respectivamente, aos 28 e 240 dias de cura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode-se ver na Tabela 1, os ensaios de caracterização das areias coletadas mostram que estas se apresentam em conformidade com os parâmetros de norma e encontram-se estabelecidas nas faixas de areia fina e média, conforme ofertadas e comercializadas.

Todas as areias analisadas possuem distribuição uniforme dos grãos, com $Cu < 5$ e distribuição granulométrica apresentada na Figura 2.

Tabela 1 – Características físicas das areias.

Ensaio	Af	Am	Bf	Bm	Cm	Cmv***
Módulo de finura NBR NM- 248	1,14	2,68	1,62	2,63	1,92	2,59
Dimensão máxima característica (mm) NBR NM- 248	1,2	2,4	2,4	2,4	2,4	4,8
Massa unitária (g/cm ³) NBR NM- 45	1,41	1,6	1,45	1,61	1,55	1,57
Coefficiente de uniformidade *	3,1	3,2	2,0	3,2	4,4	3,5
Teor de finos (%) **	2,87	0,43	0,91	0,69	1,96	0,56

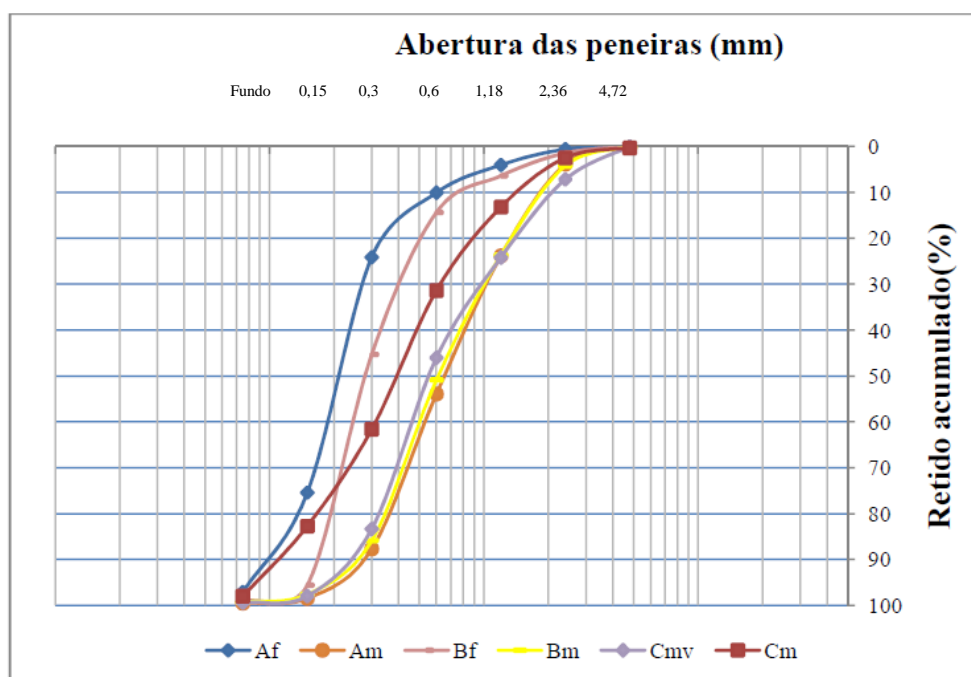
* Coeficiente de uniformidade (Cu) definido como a relação entre as malhas das peneiras correspondentes a 60% e 10% do material passante.

** Material passante na peneira ABNT 0,075 mm.

*** Cmv- Areia adquirida na loja C- média e de coloração vermelha.

Fonte: Autores (2017)

Figura 2 – Curvas Granulométricas das areias analisadas.



Fonte: Autores (2017)

Com relação a natureza mineralógica das areias, foram identificados os compostos apresentados no Quadro 1, onde verifica-se a predominância de quartzo em todas areias e a presença de calcita e dolomita nas areias B e C.

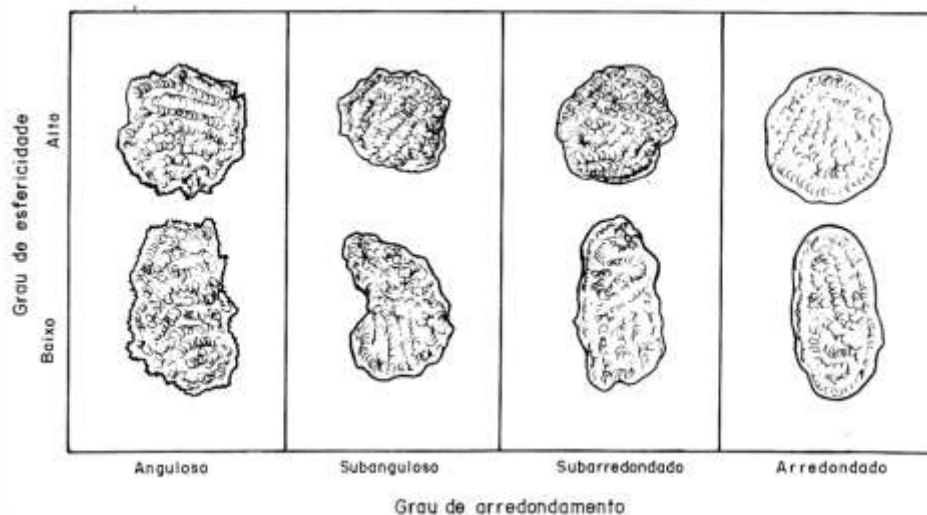
Quadro 1 – Composição mineralógica das areias.

Compostos	Af	Am	Bf	Bm	Cm	Cmv
Quartzo	***	***	***	***	***	***
Felspato	*	*	*	*	-	vt
Mica	*	vt	vt	-	*	*
Calcita	-	-	**	**	-	**
Dolomita	-	vt	*	**	-	*
Rubi/feldspato	-	-	-	-	vt	vt
***Muito abundante; ** Abundante; *Pouco abundante; ^{vt} Vestígios; - Ausente						

Fonte: Autores (2017)

Através de observação com lupa estereoscópica binocular realizou-se a análise qualitativa da forma dos grãos, arredondamento e esfericidade, considerando o grau de esfericidade e arredondamento dos grãos da NBR 7389-1:2009, conforme Figura 3.

Figura 3 – Grau de esfericidade e arredondamento dos grãos.



Fonte: NBR 7389-1, 2009

O Quadro 2 apresenta as imagens e a respectiva descrição das areias analisadas.

Quadro 2 – Imagem das areias através de lupa estereoscópica e sua respectiva descrição.

Areia	Descrição	Areia	Descrição
	Af Cor predominantemente branca, com grãos arredondados e com alto grau de esfericidade.		Bm Cor predominantemente branca, com grãos arredondados e com baixo grau de esfericidade.
	Am Cor predominantemente laranja, com grãos subarredondados e com baixo grau de esfericidade.		Cm Cor predominantemente amarela, com grãos arredondados e com baixo grau de esfericidade.
	Bf Cor predominantemente branca, com grãos arredondados e com baixo grau de esfericidade.		Cmv Cor predominantemente laranja-avermelhado, com grãos subangulosos e com baixo grau de esfericidade.

Fonte: Autores (2017)

A análise dos resultados do módulo de finura, teor de finos e dimensão máxima característica (Tabela 1) definiu como aptas as areias Am, Bm e Cmv.

Assim, foram preparadas as argamassas no traço 1:3 com as areias Am, Bm e Cmv e com a cal hidratada CH-II, cujos resultados de caracterização no estado fresco encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização das argamassas de cal e areia no estado fresco.

Ensaio/Nomenclatura	Am	Bm	Cmv
Índice de consistência (mm)*	259	257	270
Densidade de massa (kg/m ³)	1979	2006	2006

*média de três medidas

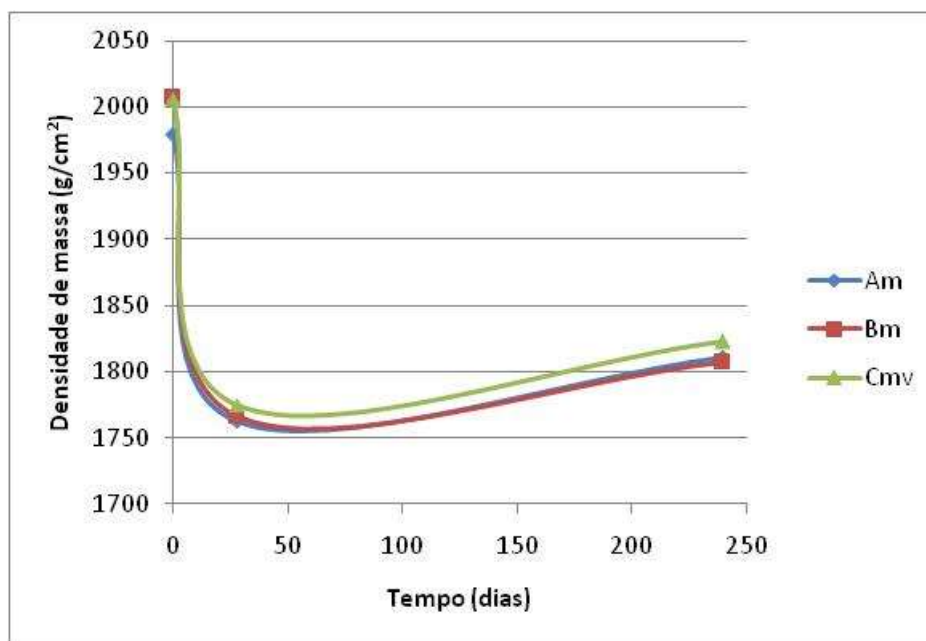
Fonte: Autores (2017)

As argamassas Bm e Cmv, com maior teor de finos, embora com os mesmos valores de densidade de massa, apresentaram diferença no índice de

consistência, sendo a Cmv a mais fluida, provavelmente devido a natureza morfológica desta areia (grãos maiores e mais angulosos).

Os resultados do ensaio de densidade de massa no estado endurecido estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Densidade de massa no estado endurecido.



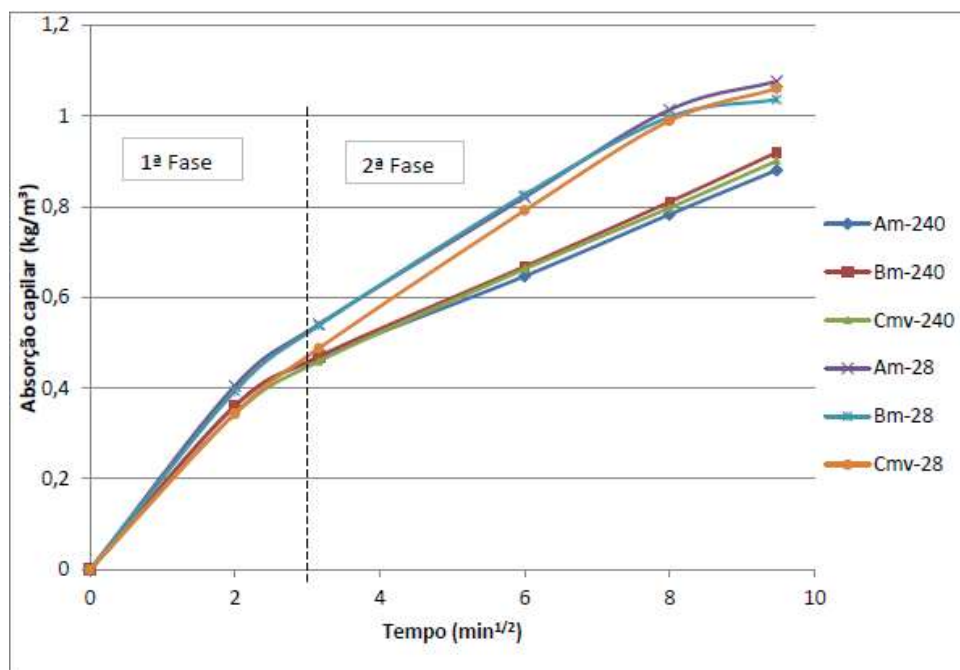
Fonte: Autores (2017)

A densidade de massa aparente de todas as composições foi decrescente até os 28 dias de cura, como esperado, em razão da perda de água envolvida no processo químico.

A partir do endurecimento, lento para argamassa de cal, todas as formulações começaram a ganhar massa, devido a carbonatação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e a formação do carbonato de cálcio (CaCO_3), que ocorre pela substituição de 1 mol de H_2O por 1 mol de CO_2 ; sendo a massa molecular do anidrido carbônico do ar maior que a da água; resultando em um composto com massa maior que o de origem. As argamassas com maior teor de finos apresentaram valores superiores de densidade de massa, sendo indicativo do maior empacotamento das partículas, aos 28 dias de cura. Ao longo de 240 dias de cura, ocorreu ligeira mudança no comportamento, em que a argamassa Am praticamente se igualou a Bm.

Quanto à absorção de água por capilaridade, apresentado na Figura 5, todas as argamassas possuem um comportamento semelhante, tanto aos 28 quanto aos 240 dias de cura. Na 1ª fase do gráfico correspondente aos 10 primeiros minutos, ocorreu a absorção rápida de água e na 2ª fase, correspondente a 90 minutos, a absorção foi mais lenta.

Figura 5 – Absorção de água por capilaridade das argamassas aos 28 e 240 dias.



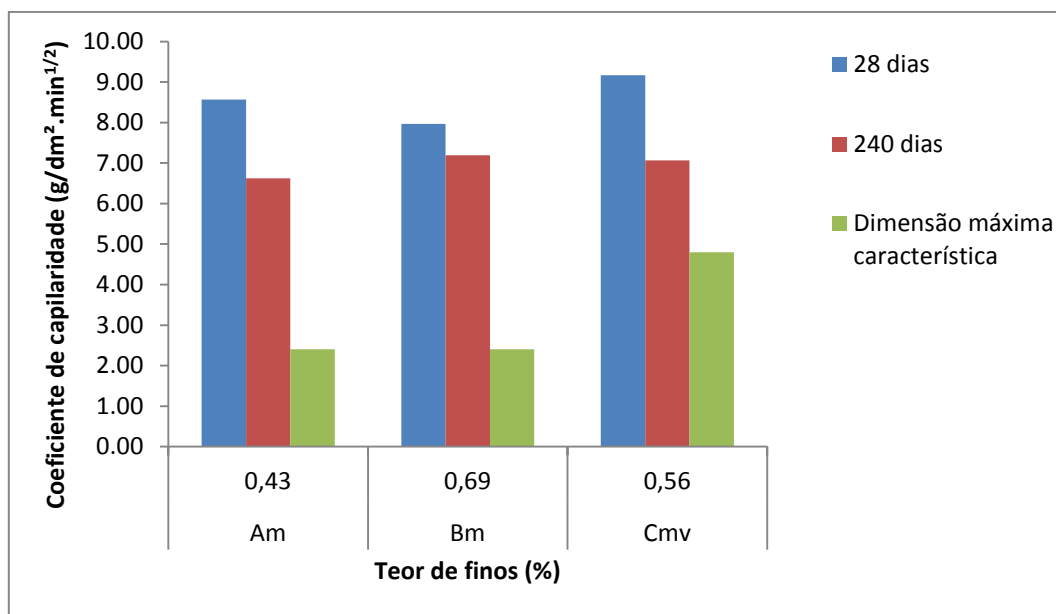
Fonte: Autores (2017)

A argamassa produzida com o agregado que detinha maior fração de finos (Bm) apresentou melhor resultado, com diminuição da absorção de água aos 90 minutos de ensaio, quando comparada com as demais famílias de argamassas aos 28 dias de cura. Na análise aos 240 dias, todas as argamassas apresentaram redução na absorção por capilaridade, devido a provável estabilização do processo de carbonatação que origina a formação de cristais, ocupando desta forma os poros existentes.

A Figura 6 mostra a diminuição no coeficiente de capilaridade das argamassas evidenciando que na fase inicial do processo de cura, quando a resistência mecânica apresenta baixos valores, a influência dos finos e a morfologia dos grãos são percebidas da seguinte forma: argamassa Bm possui maior teor de finos e grãos arredondados; a argamassa Cmv, possui o segundo

maior teor de finos, com grãos subangulosos e de maior dimensão característica e, por fim, a argamassa Am, com menor teor de finos e grãos subarredondados.

Figura 6 – Variação do coeficiente capilaridade das argamassas aos 28 e 240 dias.



Fonte: Autores (2017)

Os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas testadas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios produzidos em argamassa de areia e cal.

Ensaio	Areia		
	Am	Bm	Cmv
Teor de finos (%)	0,43	0,69	0,56
Dimensão máxima característica (mm)	2,4	2,4	4,8
Consistência (mm)	259	257	270
Densidade de massa no estado fresco (kg/m³)	1979	2006	2006
Densidade de massa no estado endurecido (kg/m³)-28 dias	1762	1766	1775
Densidade de massa no estado endurecido (kg/m³)-240 dias	1810	1806	1822
Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})-28 dias	8,57	7,97	9,16
Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})-240 dias	6,62	7,19	7,06

Fonte: Autores (2017)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para a determinação do índice de consistência apresentaram valores próximos a 260 mm, garantindo trabalhabilidade com baixa relação água/materiais secos.

Verificou-se, também, que as areias Bm e Cmv foram as que apresentaram maior teor da fração de finos (0,69% e 0,56%, respectivamente), fato este que não alterou o volume de água da mistura, como comprovando nos índices de consistência, semelhantes. No entanto, a argamassa Cmv provavelmente devido a natureza morfológica da areia (grãos maiores e mais angulosos) apresentou-se mais fluida.

No estado endurecido, a influência dos finos foi percebida aos 28 dias de cura quando a argamassa Bm apresentou o valor coeficiente de capilaridade inferior as demais. Aos 240 dias de cura, devido ao processo carbonatação, ocorreu o refinamento dos poros em que todas as argamassas ensaiadas apresentaram redução no coeficiente de capilaridade, sendo também influenciado pela morfologia e granulometria das areias.

Considerando o objetivo deste trabalho, os resultados obtidos possibilitam concluir que todos os agregados apresentam condições para emprego em argamassas de cal, tendo em vista terem provocado redução do coeficiente de capilaridade, condição necessária para a durabilidade das argamassas expostas ao ambiente marinho.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos- Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos- Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 13259**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos- Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 7389-1**: Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto. Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.

CARASEK, H. Argamassas Cap. 26. **ISAIA, GC Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, 2007.**

CASTRO, A.L. de; PANDOLFELLI, V.C.. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n.333, p. 18-32, Mar. 2009.

CINCOTTO, M.A.; ANGULO, S.C.; CARNEIRO, A.. Composições granulométricas de argamassas e seus efeitos no estado fresco e endurecido. In: Congresso Português de Argamassa e Etics, 4., 2012, Coimbra. **Anais...** Coimbra, 2012.

FREITAS, V. P.; TORRES, M. I., GUIMARÃES, A.S.. **Humidade Ascensional**. Porto: FEUP edições, 2008.

OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R.. Incorporação de agregados finos de vidro em argamassa. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 21, pp. 25-39, 2013.

RECENA, F.A. P.. **Técnicas Aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural**. Porto Alegre: IPSPD, 2014.

Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Curitiba, PR, v.2, n.1,25,jan. / jun., 2017.

RECENA, F.A. P.. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014.

SANTOS, A.R.; VEIGA, M.R.; SANTOS, A. S.; BRITO, J.. A influência das areias no desempenho mecânico das argamassas de cal. In: Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción e Congreso de Control de Calidad en la Construcción, 13. E 15., 2015, Lisboa. **Anais...**Lisboa, 2015.

SILVA, N.G; CAMPITELI, V. C.. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. In: Encontro Nacional da Tecnologia no Ambiente Construído, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis, 2006.

Enviado em: 26 abr. 2017

Aceito em: 23 jun. 2017

Editores responsáveis: Mateus das Neves Gomes/ Liércio André Isoldi