

Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas

Analysis of the influence of fine aggregate type on the characteristics and dosage of mixed mortars

White José dos Santos 
Rita de Cassia Sant'Ana Alvarenga
Reginaldo Carneiro da Silva
Leonardo GonçalvesPedroti
Alessandra Tolentino Souza
Antonio Serpa Freire

Resumo

As argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria com uso de areia artificial de britagem tem se tornado uma alternativa viável nos últimos anos, contudo têm-se grandes divergências quanto a preceitos de dosagem adequada para esses materiais. Diante disso, este trabalho objetiva estudar argamassas mistas de revestimento e assentamento de alvenaria com areia artificial de britagem e areia natural, de forma a avaliar os efeitos desses agregados em propriedades do estado fresco e endurecido sob análise de um processo de dosagem mais eficiente. Foram realizados ensaios de teor de ar incorporado; resistências à compressão, tração na flexão e aderência; módulo de elasticidade; absorção de água; porosidade; fissurabilidade e testes estatísticos em três idades (14, 28 e 85 dias). Empregou-se CP-II-E-32, cal CH-I, areia artificial de britagem de gnaiss e areia natural quartzosa. Percebe-se que o tipo de agregado influencia significativamente nas propriedades analisadas e que se necessita de um método de dosagem que considere esses preceitos/condições para obtenção de argamassas mistas de boa qualidade e de acordo com as condições de uso.

Palavras-chave: Argamassas mistas. Areia natural. Areia artificial de britagem.

Abstract

Coating mortars and plastering masonry using artificial sand from crushing has become a viable alternative in recent years, however, there is widespread disagreement with regards to the adequate dosage of materials. The objective of this project was to study coating mortars and plastering masonry with artificial crushing sand and natural sand, in order to evaluate the effects of these aggregates on fresh and hardened states properties under analysis of a more efficient mix design process. The samples were tested for incorporated air content, resistance to compression, traction in flexion and grip, modulus of elasticity; water absorption; porosity. Cracking and statistical tests were performed in three age groups (14, 28 and 85 days). CP-II-E-32, CH-I lime, artificial crushing gneiss sand and natural quartz sand were used. The results showed that the artificial aggregate is suitable for use in mixed mortars. The study demonstrated that the type of mortar significantly influences the properties analysed and that it is necessary to have a dosage method that considers those conditions in order to obtain good-quality mortars that are suitable to the conditions of use.

Keywords: Coating mortar. Natural sand. Artificial Crushing Sand.

¹White José dos Santos
¹Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG - Brasil

²Rita de Cassia Sant'Ana
Alvarenga
²Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

³Reginaldo Carneiro da Silva
³Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

⁴Leonardo Gonçalves Pedroti
⁴Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG - Brasil

⁵Alessandra Tolentino Souza
⁵Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG - Brasil

⁶Antonio Serpa Freire
⁶Universidade Federal de Minas Gerais
Viçosa - MG - Brasil

Recebido em 16/07/18
Aceito em 02/01/19

Introdução

As argamassas de revestimento apresentam problemas no que tange ao efeito do tipo de agregado nos processos de dosagem (HADDAD *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2018). Quando se fala em agregados artificiais de britagem, verificam-se grandes vantagens, como, por exemplo: uniformização das características, isenção de impurezas orgânicas, entre outras (SILVA, 2006; SOUZA *et al.*, 2018). Contudo, há algumas desvantagens como a forma dos grãos, o elevado teor de material pulverulento e a elevada porosidade devido ao processo de britagem (FREITAS, 2010; HADDAD *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2018).

Diante disso, evidencia-se a necessidade de se considerar na escolha de um traço com foco no desempenho esperado da argamassa ao longo do tempo, ou seja, sua durabilidade (HADDAD *et al.*, 2016). No entanto, na prática identifica-se o emprego de traços mais pobres (BARBOSA; SANTOS; COURA, 2018; COSTA, 2005), o que reduz a qualidade dos revestimentos. Destaca-se que o desempenho da argamassa está condicionado à aspereza, determinada em função da natureza mineralógica e granulometria do agregado (FARIA; SANTOS; AUBERT, 2015; SAHMARAN *et al.*, 2009); acabamento final (HADDAD *et al.*, 2016); resistência mecânica oriunda dos materiais empregados (PENG; HU; DING, 2009; KADRI; DUVAL, 2002) e de dosagem de forma eficiente (SILVA, 2006; SANTOS *et al.*, 2018) e quantidade de água na mistura (BARBOSA; SANTOS, 2013).

Para atender a essas condições necessita-se de um método de dosagem (SANTOS *et al.*, 2018) de argamassas mistas que considere as características dos materiais (aglomerantes e agregados em geral) e as condições de aplicação (propriedades mecânicas e de durabilidade e condições de obra) de modo a obter de forma eficiente e prática as argamassas adequadas. Tem-se ainda o fato de muitas empresas estarem substituindo as argamassas preparadas em obra pelas pré-fabricadas, devido à dificuldade de estoque e caracterização adequada de materiais e sua dosagem de forma ineficiente no canteiro de obras (BARBOSA; SANTOS, 2013; SANTOS *et al.*, 2018). Logo, a areia artificial de britagem pode permitir maior controle de produção e garantia das características dos agregados e, assim, das argamassas (SILVA, 2006; HADDAD *et al.*, 2016).

Diante desse contexto, este trabalho objetiva estudar argamassas mistas com areia artificial de britagem e areia natural analisando sobre o ponto

de vista do processo de dosagem proposto em Santos *et al.* (2018) de forma a avaliar os efeitos desses agregados em propriedades do estado fresco e endurecido e como o processo de dosagem pode ajudar nesse preceito. Buscou-se uma dosagem para uma condição pré-estipulada e ajustada segundo a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005a) para uma argamassa de média a alta exigência em fachadas, e assim avaliar como as premissas de um processo de dosagem aliado à tipologia dos materiais constituintes podem ajudar na geração de uma argamassa de boa qualidade.

Síntese do método de dosagem

O método de dosagem de Santos *et al.* (2018) corresponde a uma sequência de atividades simples que permitem obter o traço ideal (TI) para condições pré-estabelecidas (seja por meio de norma, condições ambientais e/ou características dos materiais). Resumem-se as atividades do método de Santos *et al.* (2018) em:

(a) definição do tipo e da quantidade de agregado: ocorreu a partir da análise da curva granulométrica, definindo-se a dimensão máxima característica em função do acabamento desejado (2,4 mm para acabamento mais áspero ou 1,2 mm para superfícies mais finas) e das massas específicas unitárias compactas e reais através da Equação 1:

$$P_{areia} = 100 - \left[\left(1 - \frac{\gamma_u}{\gamma_r} \right) \cdot 100 \right] \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

P_{areia} = teor de agregados miúdos no traço, em %;

γ_u = massa específica unitária compacta do agregado miúdo, em g/cm³;

γ_r = massa específica real do agregado miúdo, em g/cm³;

c_{vazios} = coeficiente de vazios, em %;

V_s = volume de sólidos, em litros;

V_t = volume total, em litros; e

V_v = volume de vazios, em litros.

(b) estimativa da quantidade de água: é recomendado o valor inicial de 15%, considerando uma consistência (*flowtable*) de 260±10 mm, e essa água deve ser adicionada gradualmente, conforme o ajuste do traço à consistência e trabalhabilidade desejada;

(c) atribuição da quantidade de aglomerante: o método propõe uma dosagem para argamassas mistas (dois aglomerantes – cimento e cal). Ele

indica duas expressões, sendo uma expressão que permita obter o consumo de cimento ($P_{cimento}$) em função do consumo atribuído de cal (P_{cal}), conforme experiência dos profissionais (Equação 2), ou encontrar o valor da cal em função do cimento, conforme a Equação 3.

$$P_{cimento} = 100 - (P_{cal} + P_{areia} + P_{água}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$P_{cal} = 100 - (P_{cimento} + P_{areia} + P_{água}) \quad \text{Eq. 3}$$

(d) ajuste experimental dos traços básicos: a partir das etapas anteriores, devem-se extrair pelo menos três traços de argamassa expressos em porcentagem do volume aparente total de materiais. Esses traços devem ser ajustados de forma experimental, e, se necessário, acertar a quantidade de água e dos demais materiais na mistura considerando: exsudação e/ou falta de coesão no material, que podem ser indício de que há pouco aglomerante, sendo necessário o incremento do aglomerante ou adaptações no agregado com a inserção de finos; se a coesão for excessiva, indica-se acrescentar agregado à mistura e/ou reduzir o teor de finos do agregado ou teor de aglomerantes; e se a argamassa ficar muito áspera é indício de que a granulometria da areia possui várias partículas de dimensões maiores, devendo realizar um peneiramento para retirar a graduação indesejável, e refazer todo o processo de dosagem. Pode-se ainda inserir adições e aditivos nessa etapa do método;

(e) definição das propriedades e idades: é preciso conhecer as condições do local de aplicação e qual a expectativa para a argamassa a ser dosada, e especificar as propriedades que melhor representem e atenda a condição ambiental. Os autores indicam que as propriedades resistência à tração na flexão e potencial de aderência à tração, consistência e coesão como mínimas sejam consideradas no planejamento das argamassas de revestimento, visto que são propriedades básicas, e, qualquer que seja a condição, seus resultados são extremamente relevantes para as argamassas de revestimento; e

(f) definição do traço ideal: as argamassas de revestimento devem atender a uma condição de dosagem dada pela Equação 4. Para definir o traço ideal, pode-se construir gráficos correlacionando os valores das propriedades (eixo das abscissas) e os percentuais (volumes aparentes) dos materiais utilizados (eixo das ordenadas). A partir destes se constroem linhas de tendência por meio de uma planilha eletrônica e encontram-se as correlações do consumo de cada material para cada propriedade. Encontra-se o traço ideal para cada propriedade atribuindo o valor de F_d e o percentual de material para a condição especificada. O traço final é aquele que atende a todas as condições, ou

seja, aquele que estiver mais à direita do gráfico, ou mais próximo do traço mais forte para propriedades com limitações superiores, e traço mais fraco para limitações inferiores.

$$F_d = F_k \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \cdot s \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

F_d corresponde ao limite de dosagem de determinada propriedade da argamassa;

F_k corresponde ao limite característico de determinada propriedade da argamassa;

$t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ corresponde a um valor tabelado (Distribuição t) para um nível de significância de 5%;

“ s ” é o desvio padrão da amostra avaliado através de regressão linear de cada propriedade em função dos constituintes dos materiais em porcentagem de volume; e

“ n ” é o número de amostras.

Materiais e programa experimental

No programa experimental buscou-se caracterizar os agregados e as argamassas mistas de modo a avaliar a influência do tipo de agregado no processo de dosagem e nas propriedades analisadas.

Materiais

Empregou-se cimento CP II-E-32; cal hidratada tipo CH I, agregado miúdo na zona utilizável inferior: areia natural quartzosa e areia artificial de britagem de gnaiss. As características físicas das areias natural e artificial utilizadas encontram-se compiladas na Tabela 1 e Figuras 1 e 2, juntamente com as normas que preconizaram para cada propriedade. Ambos não apresentaram nenhum mineral que compromettesse sua aceitação para uso em argamassas de revestimento.

Programa experimental

O programa experimental deste trabalho consistiu em caracterizar os materiais (Tabela 1) e realizar os ensaios necessários para avaliar as características de argamassa com areia artificial de britagem e natural. Os ensaios (Tabela 2) foram estruturados para uma condição pré-definida para uma argamassa de revestimento de fachada com características medianas a superiores, para um proporcionamento que atendesse às condições expressas na Tabela 3 (definidas pelos autores com base nas suas experiências e fundamentadas nas diretrizes de classificação da NBR 13281 (ABNT,

2005a) e recomendações de Carasek (2010) para intervalos de confiança unilaterais pelo processo de dosagem de Santos *et al.* (2018) e consistência (260 ± 10 mm) conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016). Os traços foram avaliados quanto à trabalhabilidade e coesão através da adesão da argamassa a colher de pedreiro e à facilidade de aplicação e adesão ao substrato composto com um prisma de alvenaria estrutural com bloco de concreto após chapisco industrializado rolado.

Foi realizada a análise dos resultados por meio de teste estatísticos de normalidade (que comprovou que os valores encontrados se aproximavam de

uma curva normal), ANOVA (para as curvas de correlação e interdependência das propriedades) e teste *t* (para aferição de atendimentos dos limites de dosagem estipulados para o traço ideal), que foram aprovados. Vislumbrando garantir e aumentar a representatividade dos resultados de forma eficiente e confiável (95% para testes de normalidade), estruturou-se a ampliação (em relação às normas) do número de corpos de prova (18 CP's para f_i e A_d ; 36 CP's para f_c ; e 10 CP's para E_d , CC , A_i e P), de modo a maximizar a amostragem e realizar testes que comprovassem o cumprimento dos parâmetros estipulados.

Tabela 1 - Características físicas das areias artificial e natural

Granulometria - NBR NM 248 (ABNT, 2003a)	Areia natural	Areia artificial
Classificação	Zona utilizável inferior	
Dimensão máxima característica	1,2 mm	1,2 mm
Módulo de finura	1,48	1,56
Massa específica real - kg/dm ³	2,577	2,660
Massa específica unitária solta - kg/dm ³	1,291	1,440
Massa específica unitária compacta - kg/dm ³	1,439	1,656
Teor de argila - %	Isento	Isento
Teor de material pulverulento - %	4,70	14,70
Impureza orgânica - %	<300p.p.m.	<300p.p.m
Absorção de água - %	2,68%	5,32%
Formas dos grãos	Arredondado	Angulosa

Fonte: Absorção de água - NBR NM 30 (ABNT, 2000); Teor de material pulverulento - NBR NM 46 (ABNT, 2001a); Impureza orgânica - NBR NM 49 (ABNT, 2001b); Massa específica unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006); Teor de argila - NBR 7218 (ABNT, 2010a); Massa específica real - NBR NM 52 (ABNT, 2009a).

Figura 1 - Curvas granulométricas dos agregados, com apresentação das zonas utilizável superior (ZUS) e inferior (ZUI) e ótima (ZO) e das curvas granulométricas da areia natural (A.N.) e areia artificial (A.A.)

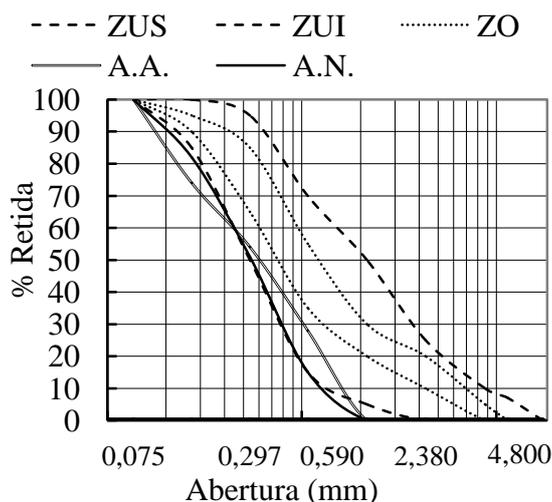


Figura 2 - Imagens de microscópio digital dos agregados artificial e natural



Tabela 2 - Ensaios realizados no programa experimental

ENSAIO	IDADE (dias)	Normas
Consistência	0	NBR 13276 (ABNT, 2016)
Densidade de massa fresca	0	NBR 13278 (ABNT, 2005b)
Densidade de massa no estado endurecido	28	NBR 13280 (ABNT, 2005c)
Resistência à tração na flexão	14-28-85	NBR 13279 (ABNT, 2005d)
Resistência à compressão axial	14-28-85	NBR 13279 (ABNT, 2005d)
Módulo de elasticidade	28	NBR 15630 (ABNT, 2009b)
Resistência de aderência à tração	28	NBR 13528 (ABNT, 2010b)
Absorção de água por imersão	28	NBR NM 30 (ABNT, 2000)
Absorção de água por capilaridade	28	NBR 15259 (ABNT, 2005e)
Porosidade	28	NBR NM 30 (ABNT, 2000)

Tabela 3 - Propriedades condicionantes para as argamassas

Propriedades	Limite
f_c – Compressão	$\geq 4,0$ Mpa
f_r – Tração na flexão	$\geq 2,0$ Mpa
A_d – Tração por aderência	$\geq 0,30$ Mpa
CC– Coeficiente de capilaridade	$\leq 7,0$ g/dm ² .min ^{1/2}
C– Consistência – <i>flowtable</i>	= 260±10 mm
γ_{fresca} – Densidade de massa no estado fresco	≥ 1600 kg/l
γ_{seca} – Densidade de massa no estado endurecido	≥ 1400 kg/l
Análise de propensão à fissuração	$E_d \leq 7$ GPa e $E_d/f_t \leq 2500$

Fonte: fundamentada na experiência dos autores e na NBR 13281 (ABNT, 2005a) e Carasek (2010).

Resultados e discussões

Os resultados são apresentados como média \pm erro padrão. Foram realizados ainda teste *t* e ANOVA para comparação dos dados, significância dos resultados nos quais foi considerado $p < 0,05$ (sendo *p* o nível de significância estatística para uma confiabilidade dos dados de 95%).

A maioria dos trabalhos (SENGUL; TASDEMIR; TASDEMIR, 2002; SILVA, 2006; SAHMARAN *et al.*, 2009; CARASEK, 2010; FREITAS, 2010; HADDAD, 2015, HADDAD *et al.*, 2016, SANTOS *et al.*, 2018) que avalia o efeito do tipo de agregado geralmente mantém o traço e analisa as propriedades que acham pertinentes. Neste artigo buscou-se um método de dosagem (SANTOS *et al.*, 2018) que considerasse o tipo e as características dos agregados e a partir daí analisar a efetividade da dosagem, possíveis diferenças nos traços tanto no estado fresco quanto endurecido e limitações do método e de uso desses agregados. Para isso, estruturou-se primeiramente o processo de dosagem com algumas considerações quanto ao método e na sequência avaliaram-se as características dos traços básicos e do traço ideal (TI obtido pelo método) em relação às características da dosagem e dos componentes dos traços. Foi dado maior ênfase no tipo de agregado.

Dosagem do traço para as condições especificadas

Primeiramente, realizou-se o processo de dosagem segundo Santos *et al.* (2018), obtendo-se como traços básicos as seis proporções em massa expressas na Tabela 4. Conforme observado na Tabela 1, as massas específicas real e unitária compacta da areia natural é 2,577 kg/l e 1,439 kg/l, respectivamente, e da areia artificial é de 2,660 kg/l e 1,656 kg/l, respectivamente. Adotando-se a Equação 1, obteve-se um consumo de areia natural de 55,84% e para areia artificial de 62,27%. O consumo inicial de água foi de 15%, conforme

orientação do método. Para definir o consumo de aglomerante, adotou-se as equações 2 e 3, sendo atribuído o consumo de cimento intermediário em 10%, um traço mais forte (+ 3% de cimento) e outro mais fraco (- 3% cimento). Destaca-se que foram utilizados os valores de massa específica real e unitária do cimento (3,10 kg/l e 1,70 kg/l) e da cal (2,8 kg/l e 0,50 kg/l), respectivamente, fornecidos pelo fabricante.

Os traços foram ajustados (Tabela 4), buscando-se uma consistência de 260±10 mm e trabalhabilidade e coesão que permitissem uma argamassa de adequação a aplicação como argamassa de revestimento de fachada. Para tanto, foi necessário somente o incremento de água para atender as condições do estado fresco, devido à maior finura desses agregados utilizados (Tabela 1 – módulo de finura de 1,48 (A.N.) e 1,56 (A.A.)). Constatou-se maior demanda para as argamassas com agregado artificial devido à maior porosidade.

Percebeu-se que os traços com areia natural se alteraram um pouco com o ajuste, contudo a relação aglomerante/agregado (em volume) se mantém – 0,52. Para adquirir a plasticidade desejada, foi necessário aumentar (17,6%) a relação água/materiais secos (em massa) de 0,14 para 0,17 em média, em função da sua maior área específica (Tabela 1). Para areia artificial, também se identificou variação, contudo a relação aglomerante/agregado (em volume) se mantém – 0,36. Para adquirir a plasticidade desejada, foi preciso aumentar (25%) a relação água/materiais secos (em massa) de 0,12 para 0,16 em média, principalmente devido à maior área específica, forma, rugosidade e também à maior porosidade do agregado artificial devido ao processo de britagem (Figura 2). Percebe-se ainda pela Tabela 1 que a areia artificial continha maior teor de materiais pulverulentos (4,70% para A.N. e 14,78% para A.A) e pela Figura 2 que as partículas menores (0,15 mm) eram mais finas que a da areia natural, o que demanda maior quantidade de água.

Tabela 4 - Traços básicos ajustados em massa

Agregado		Cimento	Cal	Areia	Água
Natural	1º	1,000	0,931	6,752	1,471
	2º	1,000	0,564	4,727	0,979
	3º	1,000	0,366	3,636	0,833
Artificial	1º	1,000	0,661	8,667	1,605
	2º	1,000	0,374	6,067	1,177
	3º	1,000	0,220	4,667	0,932

Fica evidente que o método de dosagem conseguiu mensurar o efeito das características dos agregados e definir um proporcionamento destes de modo a atender as características preestabelecidas e de acordo com uma boa aplicação, pois ambas as argamassas apresentaram coesão e trabalhabilidade adequadas para aplicação como revestimento de fechada. Pode-se destacar que os grãos da areia artificial são mais angulosos que a areia natural e isso poderia deixar a argamassa mais áspera (SILVA, 2006; HADDAD, 2015), contudo a presença de cal permitiu reduzir esse efeito e gerar uma argamassa com boa trabalhabilidade e coesão.

O consumo de cimento se mostrou bem parecido, e o de cal exibiu diferenças, o que se justifica pelo maior teor de finos presentes no agregado artificial, reduzindo o consumo desse aglomerante que atua também como componente plastificante. A partir desses traços moldaram-se os corpos de prova, ensaiaram-se e encontraram-se os valores de cada propriedade por traço (Tabela 5), balizados nos limites da Tabela 3 e no desvio-padrão de cada resultado.

Estruturou-se o intervalo de confiança para esses resultados, com confiabilidade de 95%, sendo adotado aqui o parâmetro que $f_c, f_b, A_d, E_d, Y_{seca}, Y_{fresca}$, os valores de F_d (parâmetros de dosagem), vide Tabela 7, deveriam ser maiores que o F_k (parâmetros característicos). Já para o coeficiente de capilaridade e a avaliação de tendência a fissurabilidade, optou-se que F_d fosse menor que o F_k , devido ao fato de que quanto maior esses parâmetros menores seriam as outras propriedades, ou, ainda, este seria um elemento depreciativo na qualidade das argamassas.

Diante desta análise de cada propriedade, obtêm-se as correlações que definem o traço ideal para cada areia. Para areia natural identificou-se que aderência se mostrou como crítica, e pode-se utilizar as Equações 5 a 8 para definir o consumo dos materiais:

$$C_{areia} = -33,688 A_d^2 + 26,359 A_d + 49,766 \quad \text{Eq. 5}$$

$$C_{\text{água}} = 52,361 A_d^2 - 41,027 A_d + 24,413 \quad \text{Eq. 6}$$

$$C_{\text{cal}} = 25,859 A_d^2 - 42,942 A_d + 31,521 \quad \text{Eq. 7}$$

$$C_{\text{cimento}} = -44,531 A_d^2 + 57,609 A_d - 5,7 \quad \text{Eq. 8}$$

Para areia artificial, identificou-se a resistência a tração na flexão como propriedade limitadora. Assim, têm-se as Equações de 9 a 12 para definir o consumo de material:

$$C_{\text{areia}} = 0,1832 f_t^2 - 1,4881 f_t + 61,987 \quad \text{Eq. 9}$$

$$C_{\text{água}} = -0,240 f_t^2 + 1,973 f_t + 15,468 \quad \text{Eq. 10}$$

$$C_{\text{cal}} = 0,628 f_t^2 - 6,048 f_t + 25,374 \quad \text{Eq. 11}$$

$$C_{\text{cimento}} = -0,560 f_t^2 + 6,593 f_t - 2,751 \quad \text{Eq. 12}$$

Através do teste ANOVA verificou-se a significância/dependência entre a propriedade e o consumo de material, e para a resistência potencial de aderência à tração (propriedade limitadora) da argamassa com areia natural a variação do consumo de areia e de água ($f_0 < f_{0,05;1,7}$) não apresentou significância. Em contrapartida a resistência à tração na flexão, propriedade limitadora para areia artificial, mostrou-se influenciada por todos os componentes do traço.

Encontrou-se o traço ideal (Tabela 6) para cada tipo de agregado segundo processo de dosagem de Santos *et al.* (2018) pelas Equações de 5 a 12, ou seja, o traço que atende a todas as premissas (propriedade condicionantes) estipuladas na Tabela 3.

Apresentam-se na Tabela 7 os valores limitadores de dosagem (F_d), os resultados experimentais médios e erro padrão para o traço ideal de cada tipo de areia analisada. Percebe-se que os valores encontrados para as argamassas estão dentro dos limites do intervalo de confiança (teste t), demonstrando que o processo de dosagem permite obter as argamassas mistas desejadas, com confiabilidade de 95% em função das características distintas dos agregados e das condições definidas.

Tabela 5 - Resultados de cada traço de argamassa

Propriedade	Areia natural			Areia artificial		
	1º A.N.	2º A.N.	3º A.N.	1º A.A.	2º A.A.	3º A.A.
f_c (MPa)	4,76	8,41	14,30	4,04	7,13	11,44
Erro	0,06	0,27	0,63	0,08	0,15	0,15
f_t (MPa)	1,52	2,68	3,50	1,90	2,71	3,90
Erro	0,02	0,05	0,08	0,02	0,07	0,02
A_d (MPa)	0,277	0,389	0,557	0,323	0,467	0,620
Erro	0,010	0,010	0,012	0,010	0,006	0,015
CC (g/dm ² .min ^{1/2})	8,70	4,30	1,58	8,12	4,50	2,10
Erro	0,11	0,08	0,49	0,11	0,81	0,04
γ_{seca} (kg/l)	1,751	1,871	1,932	2,027	2,096	2,122
Erro	0,007	0,030	0,015	0,012	0,007	0,010
γ_{fresca} (kg/l)	1,957	1,976	1,987	2,031	2,036	2,047
Erro	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000
E_d (Gpa)	4,18	6,52	7,36	4,83	6,25	7,71
Erro	0,03	0,03	0,04	0,10	0,13	0,14
E_d/f_t	2748	2435	2104	2542	2306	1976

Tabela 6 - Traço ideal para areias natural e artificial em massa

Traço final	Cimento	Cal	Areia	Água
A.N.	1,000	0,551	4,653	0,964
A.A.	1,000	0,455	6,793	1,298

Tabela 7 - Resultados, erros e teste t para o traço ideal

Propriedade	Areia natural			Areia artificial		
	F_d	$F_{encontrado}$	Erro	F_d	$F_{encontrado}$	Erro
f_c (MPa)	> 4,872	8,24	0,74	> 4,899	5,96	0,44
f_t (MPa)	> 2,456	2,69	0,23	> 2,396	2,40	0,17
A_d (MPa)	> 0,390	0,39	0,03	> 0,396	0,40	0,03
CC (g/dm ² .min ^{1/2})	< 5,729	4,68	0,08	< 6,412	6,07	0,18
γ_{seca} (kg/l)	> 1522	1,884	0,03	> 1460	2,020	0,018
γ_{fresca} (kg/l)	> 1612	1,978	0,001	> 1602	2,034	0,003
E_d (GPa)	< 6793	6,31	0,05	< 6167	5,58	0,04
E_d/f_t	< 2500	2346		< 2500	2321	

Nota: o teste t constatou que os valores encontrados em cada propriedade atendiam aos limites estipulados na Tabela 3.

Fica evidente que o uso de um método como o proposto permitiu chegar a proporções de materiais diferentes, devido a diferença do tipo de agregado, contudo com propriedades próximas. Diante dos resultados e das verificações experimentais desta parte do trabalho, e associada à metodologia de dosagem proposta, percebe-se que a metodologia de dosagem permitiu a estruturação de um proporcionamento de materiais de forma eficiente, convergindo para argamassas de boa qualidade (estado fresco e endurecido) e que atendem aos parâmetros técnico-científicos, normativos e às condições do local de uso, conforme pré-definido na Tabela 3. Faz-se no próximo tópico uma análise mais detalhada dos efeitos desses agregados nas características das argamassas mistas e, assim, do

método de dosagem, sendo essa abordagem a inovação proposta neste artigo.

Análise das propriedades das argamassas

Nesta parte apresentam-se os valores encontrados para todos os traços, sob análise de cada propriedade, seus constituintes e sua evolução ao longo da idade, sempre correlacionando como processo de dosagem e bibliografia especializada.

Resistência à compressão

A Figura 3 apresenta os resultados dos traços de argamassa de revestimento com areia natural (A.N) e com artificial (A.A.) para a resistência à compressão (f_c). Os resultados de resistência dão

um indicativo de que a carbonatação da cal esteja ocorrendo e contribuindo para o aumento da resistência, com projeção de crescimento positivo. O teste ANOVA demonstrou significância na variação do tempo de cura em relação à resistência à compressão, corroborando com a bibliografia (FREITAS, 2010). A influência da presença da cal pode ser observada nos traços mais ricos nesse aglomerante (1º A.N. e 1º A.A.), nos quais o aumento da resistência à compressão chegou a 86,91% (1º A.A.) após os 28 dias em relação à mesma data. O efeito do cimento pode ser observado nos traços mais ricos nesse material (3º A.N. e 3º A.A.), nos quais o aumento se mostrou mais evidente até 28 dias de idade, chegando a 49,72%.

O teste t identificou que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, logo a metodologia permitiu a obtenção de três traços diferentes, que margeiam os parâmetros de dosagem. Quando se analisam os dois tipos de agregados, percebe-se que os traços são semelhantes para essa propriedade e que apesar da forma e granulometria promoveram uma alteração significativa nas composições dos traços, o método permitiu obter traços diferentes, mas com valores próximos de f_c , o que demonstra sua eficiência.

Percebeu-se que o agregado artificial na presença de cal teve um ganho percentual de resistência à compressão mais acentuado (86,91% para A.A. e 33,03% para A.N.), demonstrando que houve maior afinidade entre esse agregado e a cal. Contribuíram para esse resultado a granulometria (Tabela 1 e Figuras 1 e 2), a permeabilidade dos vazios (menor teor de cal e, assim, de aditivo incorporador de ar) e a microfissuração do agregado artificial (gerada pelo processo de britagem), que permitiram melhor empacotamento de partículas (granulometria e forma) e a entrada de aglomerantes que, posteriormente, puderam se hidratar e carbonatar fechando os poros permeáveis desse agregado e aumentando as densidades desses compósitos (PENG; HU; DING, 2009; SAHMARAN *et al.*, 2009; CARASEK, 2010; SENGUL; TASDEMIR, 2002; TASDEMIR, 2002; GULBE; VITINA; SETINA, 2017).

Quanto à classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005a) para a resistência à compressão, constatou-se compreendida entre P4 (média resistência) e P6 (alta resistência), demonstrando que os traços propostos são indicativos de argamassas de boa

qualidade quanto a esses parâmetros, uma vez que promoveram a geração de argamassas classificadas de média a alta resistência à compressão.

Resistência à tração na flexão

A Figura 4 apresenta os resultados dos seis traços básicos e o ideal (TI) de argamassa com areia natural (A.N.) e com areia artificial (A.A.) para resistência à tração na flexão (f_t). Percebe-se um comportamento linear dos valores de f_t ao longo da idade, o que permite considerar que durante o período de teste não se identificou a estabilização das reações de carbonatação da cal e hidratação do cimento, com previsão de crescimento positivo.

Pode-se admitir que a ação de carbonatação da cal se torna mais preponderante a partir dos 28 dias, e verificou-se que a presença da cal promoveu, em todos os traços, aumentos expressivos (dobro) nessa propriedade nas idades entre 28 e 85, sobretudo nos traços com maior teor de cal: 1º A.N. e 1º A.A. Nos traços 3º A.N. e 3º A.A. (maior teor de cimento), constatou-se o efeito do cimento de forma mais significativa, nos quais o aumento chegou a 55,70% até os 28 dias.

Realizou-se o teste t comparando os dois tipos de agregados e comprovou-se a visualização da Figura 4, demonstrando que os resultados dos traços são semelhantes quanto à f_t , mesmo os traços apresentando composições e materiais diferentes. Novamente o método de dosagem analisado permitiu obter traços diferentes, mas com valores próximos de f_t , o que reforça sua eficiência também para essa propriedade. Os agregados contribuem para a resistência à tração das argamassas, e os agregados mais arredondados e com granulometria mais contínua promoveram o aumento da resistência mecânica e os grãos mais finos melhoraram a trabalhabilidade e coesão na interface agregado/pasta e assim também af_t (PENG; HU; DING, 2002; LARRARD, 2009). Já os agregados mostraram ganhos de resistência consideráveis das argamassas, com valores entre 28 e 85 dias de idade (172% a 269%), tanto em relação aos traços com mais cimento como para os traços com mais cal. Logo, a forma, a granulometria e a rugosidade dos grãos, quando proporcionadas de forma adequada, promoveram boa ancoragem entre a matriz cimentícia e o agregado, repercutindo no aumento de f_t , corroborando com (PENG; HU; DING, 2009; SAHMARAN *et al.*, 2009; SENGUL; TASDEMIR, 2002).

Figura 3 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI) para a resistência à compressão (f_c)

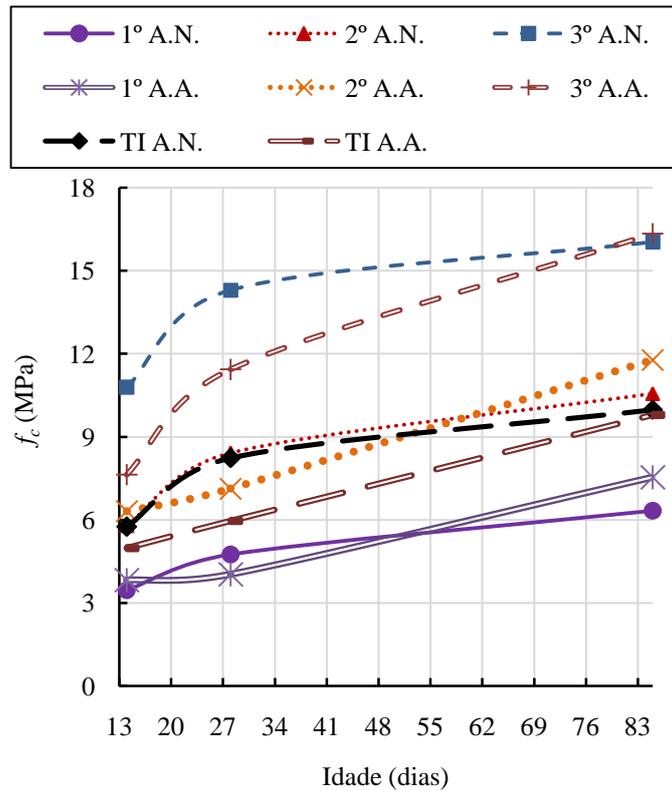
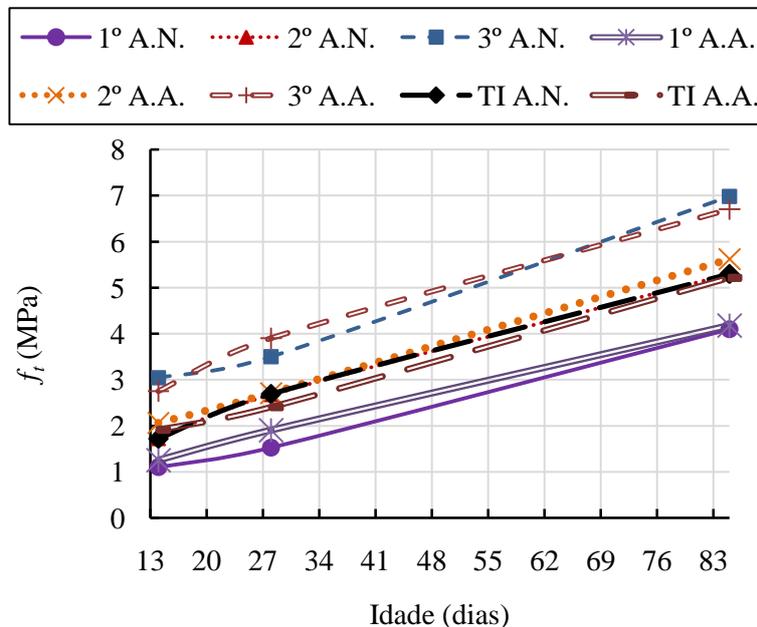


Figura 4 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI) para a resistência à tração na flexão (f_t)



Quanto à classificação das argamassas da NBR 13281 (ABNT, 2005a) para a tração na flexão, têm-se argamassas entre R2 (média resistência) e R6 (alta resistência), demonstrando que os traços propostos são indicativos de argamassas de boa

qualidade quanto a essa propriedade. Destaca-se que a propriedade foi a limitadora do traço ideal da areia artificial. Logo, sua aferição correta permite a definição precisa dos traços, ou seja, o caminho

crítico da dosagem da A.A. passou por essa propriedade.

Resistência de aderência à tração

A Figura 5 apresenta os resultados da resistência de aderência a tração dos seis traços básicos de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) e o traço ideal para cada agregado realizado aos 28 dias de idade. Tem-se um comportamento similar ao de f_t . O teste t identificou que os traços são diferentes entre si ao se avaliar as composições e semelhantes quando se comparam os dois tipos de agregados. Novamente demonstra que o método de Santos *et al.* (2018) permite encontrar os traços para atender aos pré-requisitos de forma adequada mesmo para agregados diferentes.

Quanto aos aglomerantes constatou-se que os traços mais ricos em cimento apresentam maiores valores A_d , sobretudo nas areias artificiais, devido à maior rugosidade. Os traços mais ricos em cal apresentaram valores menores em A_d , confirmando a bibliografia que afirma que quanto maior o teor de cal, maior a queda de resistência (PAIVA; GOMES; OLIVEIRA, 2007; HAACH; VASCONCELOS; LOURENÇO, 2011), menor a densidade, maior a quantidade de poros (GULBE; VITINA; SETINA, 2017), e este último está intimamente ligado à redução de contato com o substrato (THIRUMALINI; RAVI; RAJESH, 2017).

Percebe-se que houve influência um pouco mais acentuada da granulometria, forma e rugosidade na aderência das argamassas do que nas demais propriedades. A forma e a rugosidade visualizadas pelas arestas mais contundentes e superfície mais áspera (Figura2) do agregado artificial propiciaram

maior ancoragem dos grãos à pasta (SAHMARAN *et al.*, 2009; HADDAD, 2015), conferindo aumentos que variaram entre 10% e 22% da A_d em relação à argamassa com areia natural. Além disso, a maior presença de finos pode melhorar a plasticidade e coesão das argamassas no estado fresco (PAIVA *et al.*, 2006), causando um recobrimento mais eficiente dos agregados e melhorando a interface agregado/pasta, e assim também a A_d (PENG; HU; DING, 2002; LARRARD, 2009).

Quanto à classificação das argamassas pela NBR 13281 (ABNT, 2005a) para aderência à tração, observam-se argamassas entre A2 (média aderência) e A3 (alta aderência), o que demonstra que os traços propostos são indicativos de argamassas de boa qualidade quanto aos parâmetros que foram exigidos. Permitiu-se obter argamassas para uso interno ($A_d \geq 0,2$ MPa) como o traço 1º A.N. e para uso externo ($A_d \geq 0,3$ MPa) como os demais traços analisados (CARASEK, 2010).

Módulo de elasticidade dinâmico e tendência à fissurabilidade

A Figura 6 apresenta os resultados dos seis traços básicos de argamassa com areia natural (A.N.) e com areia artificial (A.A.) e os dois traços ideais para avaliação da tendência à fissurabilidade pelo módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e pela relação E_d/f_t , avaliados aos 28 dias. O teste t demonstrou que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, contudo se apresentaram como semelhantes para os dois tipos de agregados, conforme já observados nas demais propriedades.

Figura 5 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A.) e dos traços ideais (TI) para a resistência de aderência à tração (A_d)

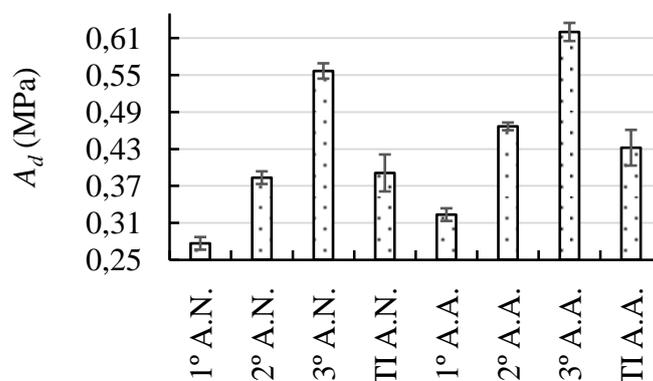
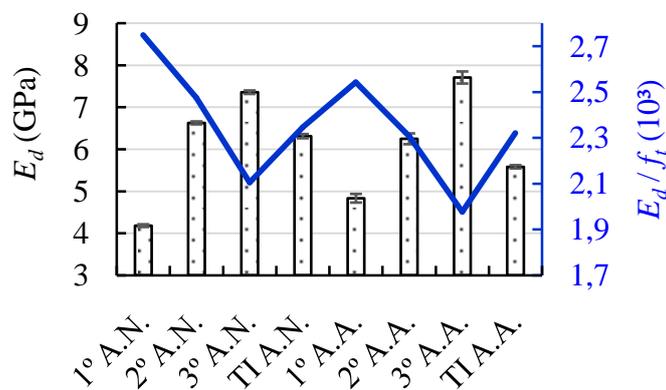


Figura 6 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI) para a módulo de elasticidade dinâmico (E_d)



Evidencia-se que à medida que se aumenta o consumo de cimento, as argamassas ficaram mais rígidas, aumentando o valor do módulo de elasticidade em aproximadamente 20% nos traços analisados. Aliado a isso, tem-se a presença da cal hidratada nos traços mais fracos, e a cal do tipo CH I (da Ical) pode possuir aditivo incorporador de ar (GULBE; VITINA; SETINA, 2017) para melhoria da plasticidade das argamassas sem a necessidade de pré-hidratação da cal na obra. Tem-se com isso o aumento dos vazios (poros) e a redução do valor dessa propriedade (MALHOTRA; SIVASUNDARAM, 2004; BARBOSA *et al.*, 2015). Quanto à tendência à fissurabilidade, pode-se afirmar que os dados indicaram baixa fissurabilidade ($E_d < 7$ GPa e $E_d/f_i < 2500$), o que demonstra que as argamassas produzidas têm indicativo de alta durabilidade e eficiência quanto aos parâmetros analisados (SOUZA; LARA, 2007), sobretudo para uso em revestimentos de fachada devido à grande insolação e às grandes áreas de exposição.

Ao se analisar os traços comparando os dois tipos de agregados, comprova-se a visualização da Figura 6, cujos resultados dos traços mais ricos em cimento tendem a ser um pouco maiores (15%) para areia artificial. Justificam-se esses resultados pela maior densidade de agregado, maior teor de finos que podem maximizar o empacotamento dos grãos (HADDAD *et al.*, 2016) e menor teor de cal, incorporando ar (GULBE; VITINA; SETINA, 2017).

Absorção de água por imersão e porosidade

A Figura 7 apresenta o resultado dos traços de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para absorção de água por imersão e porosidade.

Constata-se pouca diferença entre os traços, comprovado pelo teste *t*. A pequena diferença existente converge para condição de aumento da resistência mecânica e hidratação do cimento e carbonatação da cal preenchendo os poros percoláveis à água, ou seja, com acesso pela superfície da amostra. Como o teor volumétrico de cimento foi o mesmo (10% iniciais pelo método de Santos *et al.* (2018)) percebe-se que nos traços com menores teores de cal os valores de porosidade e absorção por imersão são menores e semelhantes entre os diferentes agregados. Contudo, nos traços mais ricos em cal e areia natural constatou-se aumento de 12% na absorção de água e porosidade semelhante. Admite-se que isso representa que o maior teor de cal diminui o tamanho dos poros (Figura 8) e convergiu para uma maior sucção, mesmo o volume de poros se mantendo estável.

Destaca-se que esse consumo superior de cal para areia natural saiu do processo de Santos *et al.* (2018), no qual se percebeu que a presença de mais finos nos agregados artificiais permitia um aumento de massa específica unitária, o que é plausível, pois esses finos ajudam na plasticidade e compacidade da argamassa e reduzem o consumo de cal para essa finalidade (FREITAS, 2010; DADAD *et al.*, 2016). Com o maior teor da cal, as argamassas aumentaram a quantidade de vazios e consequentemente de absorção de água, conforme observado na areia natural (CARASEK, 2010; BAIA; SABBATINI, 2008; SANTOS *et al.*, 2018).

Comprova-se ainda pelas Figuras 8a e 8b os dados obtidos anteriormente nas quais se percebe uma macroestrutura com muitos poros e com grande proximidade e intercepções, situação própria de argamassas de revestimento (BAIA; SABBATINI, 2008; CHEN; WU; ZHOU, 2013; DADAD *et al.*, 2016). É perceptível que os poros nas argamassas

com areia artificial são ligeiramente maiores, contudo em menor quantidade que as argamassas com areia natural, novamente demonstrando grande proximidade das propriedades analisadas neste trabalho. Os poros da A.A. são mais

irregulares que na A.N., uma vez que são provenientes dos arranjos dos grãos na matriz cimentícia e no caso da A.N. a presença de cal promove poros esféricos (CARASEK, 2010; HADDAD *et al.*, 2016).

Figura 7 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI) para a absorção de água (A_i) e da porosidade (P)

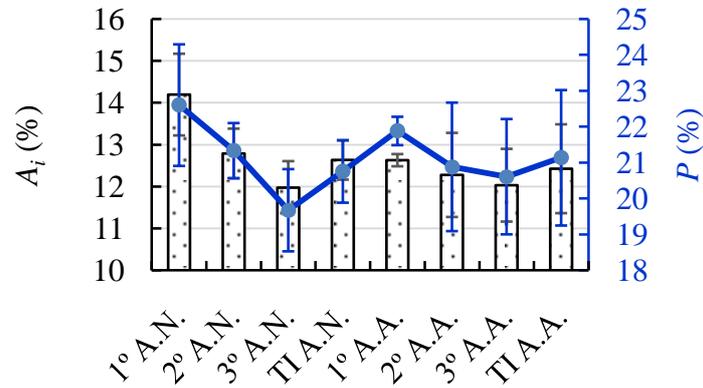
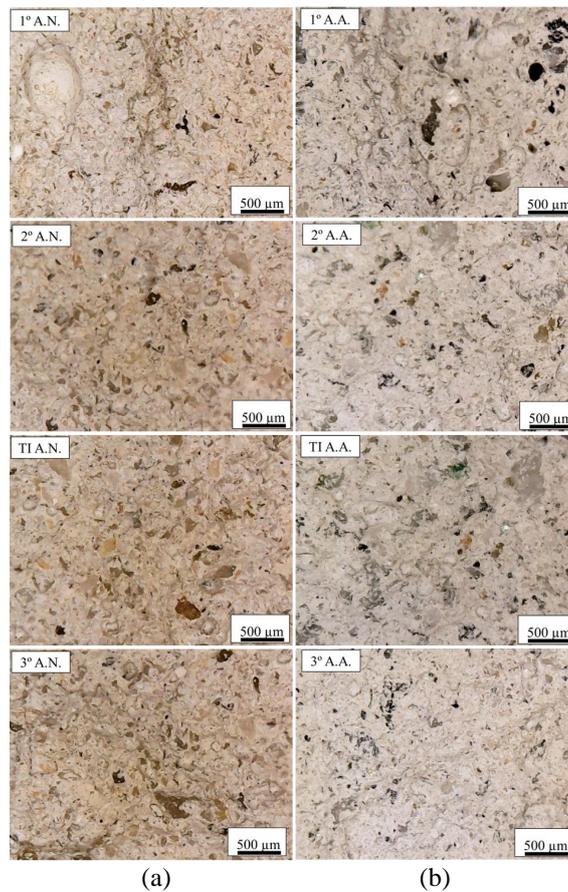


Figura 8 - Imagem de microscópio digital das argamassas dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI)



Absorção de água por capilaridade

A Figura 9 apresenta os resultados dos traços de argamassa com areia natural (A.N.) e com areia artificial (A.A.) para absorção de água por capilaridade e a Figura 8 apresenta os resultados do coeficiente de capilaridade, ambos após 28 dias.

Percebe-se que durante o período de teste se identificou a estabilização da percolação capilar da água, permitindo assim identificar os valores de absorção de água por capilaridade de cada traço. Percebeu-se que a composição do traço interferiu nessa propriedade, ou seja, ela reduziu ($\approx 30\%$) com o aumento do consumo de cimento e aumento da resistência mecânica, evidenciando o fechamento dos poros ou a interceptação dos capilares pela hidratação do cimento e carbonatação da cal (CHEN; WU; SHOU, 2013; NOKKEN; HOOTON, 2008).

Constata-se, ainda, que ao se comparar os dois tipos de agregados (teste *t*), comprova-se a visualização da Figura 9 demonstrando que os resultados dos traços mais pobres em cimento são semelhantes quanto à absorção por capilaridade, mesmo os traços apresentando composições e materiais diferentes. Nos traços mais ricos em cimento, em contrapartida, percebe-se uma pequena diferença nos valores intermediários (16,7% em 12 horas) e finais (9,5% em 72 horas). Logo, pode-se afirmar que os agregados mostraram efeitos significativos nessa propriedade, com valores diferenciados, o que conduziu a diferenças que demonstram que os poros deixados

pela areia natural são mais percoláveis e em tamanhos menores que os deixados pela areia artificial, maximizando a capilaridade sem redução das demais propriedades (HADDAD *et al.*, 2016; SENGUL; TASDEMIR; TASDEMIR, 2002), conforme já observado na porosidade e absorção por imersão e nas imagens ampliadas (1.000 vezes) da seção da argamassa exposta da Figura 8.

Quanto ao coeficiente de capilaridade (Figura 10), pode-se classificar (ABNT, 2005a) as argamassas entre C2 e C5 (média capilaridade), logo as argamassas analisadas apresentaram-se adequadas a esses parâmetros preestabelecidos na pesquisa e permitirão bom desempenho à edificação que utilizar as argamassas com essas características (CARASEK, 2010; HADDAD *et al.*, 2016).

Destaca-se a importância dessa propriedade no que tange à permeabilidade da argamassa, uma vez que esta permitirá a entrada de agentes agressivos (SEGAT, 2005), mas também permitirá a percolação de água (CARASEK, 2010) e CO_2 (SIM; PARK, 2011) que garantirá a carbonatação da cal. Logo, o teor encontrado para os traços demonstram que se obtiveram argamassas de qualidade assegurada para uso na construção civil em revestimentos de fachadas que são os mais submetidos aos agentes agressivos e à umidade. Outro fato a se destacar é a interligação dos poros nos traços mais fracos, convergindo para maiores coeficientes de capilaridade ($\approx 8 \text{ g/dm}^2\text{min}^{1/2}$), embora ainda dentro dos limites de classificação NBR 13281 (ABNT, 2005a).

Figura 9 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI) para a absorção de água por capilaridade (A_c)

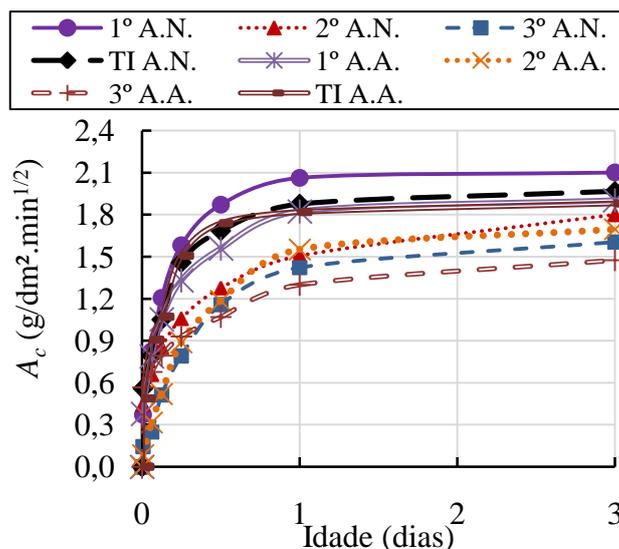
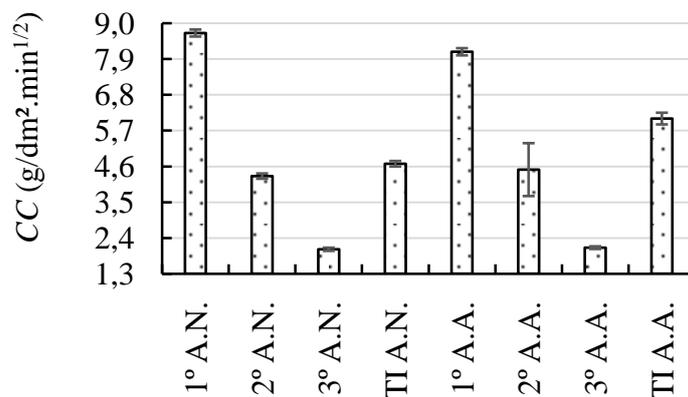


Figura 10 - Resultado dos traços 1º, 2º e 3º da areia natural (A.N.) e da areia artificial (A.A) e dos traços ideais (TI) para o coeficiente de capilaridade (CC)



Conclusão

A realização de todas as etapas propostas no programa experimental permitiu constatar que a utilização de agregado britado em substituição ao agregado natural é uma boa alternativa técnica, uma vez que garante melhorias e/ou manutenção das propriedades das argamassas. A utilização correta dos agregados possibilita a produção de argamassas mais duráveis e que apresentam menos vazios, maior resistência e menor porosidade. Essas características podem ser potencializadas ao se utilizar método de dosagem adequado. Conclui-se, assim, que o método de dosagem de Santos *et al.* (2018) se mostra como uma ferramenta viável e eficiente, com parâmetros e condições de aplicação exequíveis para os agregados artificiais de britagem e naturais. Percebe-se que a metodologia de dosagem permitiu a estruturação de um proporcionamento de materiais de forma eficiente, convergindo para argamassas de boa qualidade e que atendem aos parâmetros técnico-científicos, normativos e às condições do local de uso pré-estabelecidos no início do processo.

De modo geral, a forma angulosa e o teor de finos dos grãos britados associado a sua maior massa específica real favoreceram a densificação no estado endurecido, o que aumentou o módulo de elasticidade e reduziu a porosidade. Também interferiu positivamente na resistência de aderência, devido à melhor ancoragem dos grãos à pasta. Entretanto, isoladamente, essa não é garantia de acréscimo dessa propriedade, pois também depende da distribuição granulométrica e do fator água/cimento que foi aumentando. O efeito da forma dos agregados também se mostrou importante para a resistência à tração na flexão, na qual os grãos mais angulosos garantiram melhor travamento do grão à pasta. Constatou-se, ainda, que grãos arredondados promoveram boa

compacidade no estado endurecido e boa trabalhabilidade no estado fresco oriunda do melhor arranjo e formato granular que, no geral, propiciaram bons valores para o módulo de elasticidade dinâmico, convergindo para os menores valores de E_d e, assim, para a tendência à baixa fissurabilidade.

Fica evidenciado que os procedimentos de dosagem propostos podem otimizar as características das argamassas mistas, demonstrando que as características dos constituintes (granulometria, dimensão máxima característica, módulo de finura, massa específica real e unitária, teor de argila e de material pulverulento, impureza orgânica, absorção de água e formas dos grãos) interferem nas propriedades desses compósitos, seja no estado fresco (consistência exigindo mais água com aumento do teor de cal e/ou material pulverulento devido ao aumento da área específica) ou endurecido com as propriedades mecânicas, aumentando com o consumo de cimento, e os indicadores de durabilidade (porosidade, absorção de água) aumentando com o consumo de cal.

Evidencia-se, ainda, a convergência para um material mais econômico (menor consumo de aglomerante), durável (dependência entre resistência, módulo de elasticidade, porosidade, absorção e condições do local de aplicação) e sustentável (materiais mais eficientes e duráveis). Conclui-se que a elaboração de argamassas mistas com areia artificial de britagem ou areia natural é eficiente e adequada aos padrões normativos, desde que dosadas de forma adequada. Tem-se, ainda, que o uso da cal se faz necessário também com a areia artificial para garantir a coesão e a retenção de água necessárias aos revestimentos argamassados, diferente do uso convencional em vários locais.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2005e.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: agregados miúdos: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2001a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: agregado miúdo: determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009a.
- BAIA, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**. 4. São Paulo: Ed. Editora O Nome da Rosa, 2008.
- BARBOSA, M. T. G. SANTOS, W. J. ARGAD: High Performance Mortar. In: PORTUGAL SB13: CONTRIBUTION OF SUSTAINABLE BUILDING TO MEET, 2013. **Proceedings...** 2013.
- BARBOSA, M. T. G.; SANTOS, W. J.; COURA, C. V. G. High Quality of Mortar With Marble Waste Aggregate. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 387-399, abr./jun. 2018.
- BARBOSA, R. A. *et al.* Análise Comparativa de Métodos de Obtenção do Módulo de Elasticidade Para Concreto Preparado Com Areias Natural e Artificial. **Ciência & Engenharia**, v. 24, n. 1, 2015.
- CARASEK, H. C. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010.
- CHEN, X.; WU, S.; ZHOU, J. Influence of Porosity on Compressive and Tensile Strength of Cement Mortar. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 869-874, 2013.

- COSTA, F. N. **Processo de Execução de Revestimento de Fachada de Argamassa: problemas e oportunidade de melhoria.** Porto Alegre, 2005. 195 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.
- FARIA, P.; SANTOS, T.; AUBERT, J. Experimental Characterization of an Earth Eco-Efficient Plastering Mortar. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 28, n. 1, 2015.
- FREITAS, C. **Argamassas de Revestimento Com Agregados Miúdos de Britagem da Região Metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido.** Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- GULBE, L.; VITINA, I.; SETINA, J. The Influence of Cement on Properties of Lime Mortars. **Procedia Engineering**, p. 325-332, 2017.
- HAACH, V. G.; VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P. B. Influence of Aggregates Grading and Water/Cement Ratio in Workability and Hardened Properties of Mortars. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 2980-2987, 2011.
- HADDAD, L. D. *et al.* Analysis of Influence of the Fine Aggregate Particle Size in the Mechanical Properties and Durability of Coating Mortar. **Science & Engineering Journal**, v. 25, n. 1, p. 7-16, 2016.
- HADDAD, L. D. O. **Estudo da Influência da Forma e Granulometria dos Agregados nas Propriedades das Argamassas de Revestimento.** Belo Horizonte, 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- KADRI, H.; DUVAL, R.R. Effect of Ultrafine Particles on Heat of Hydration of Cement Mortars. **ACI Materials Journal**, p. 138-142, mar./abr. 2002.
- LARRARD, F. Concrete Optimisation with Regard to Packing Density and Rheology. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON RHEOLOGY OF CEMENT SUSPENSIONS SUCH AS FRESH CONCRETE, 3., Paris, 2009. **Proceedings...** Paris, 2009.
- MALHOTRA, V.M.; SIVASUNDARAM, V. **Ultrasonic Methods.** In: MALHOTRA, V.M.; CARINO, N.J. (Ed.). **CRC Handbook on Non-destructive Testing of Concrete.** Boston: CRC Press, 2004.
- NOKKEN, M. R.; HOOTON, R. D. Using Pore Parameters to Estimate Permeability or Conductivity of Concrete. **Materials and Structures**, v. 41, n. 1, 2008.
- PAIVA, H. *et al.* Effects of a Water-Retaining Agent on the Rheological Behavior of a Single-Coat Render Mortar. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 1257-1262, 2006.
- PAIVA, S. C.; GOMES, E. A. D. O.; OLIVEIRA, R. A. D. Controle de Qualidade da Cal para Argamassas-Metodologias Alternativas. **Revista Ciência e Tecnologia**, ju./dez. 2007.
- PENG, Y.; HU, S.; DING, Q. Dense Packing Properties of Mineral Admixtures in Cementitious Material. **Particuology Science and Technology of Particles**, v.7, p. 399-402, 2009.
- SAHMARAN, M. *et al.* Influence of Aggregates Type and Size on Ductility and Mechanical Properties of Engineered Cementitious Composites. **ACI Materials Journal**, p. 308-316, 2009.
- SANTOS, W. J. *et al.* Proposta de Método de Dosagem Para Argamassas de Revestimento Com Areia Artificial de Britagem. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 225-243, jan./mar. 2018.
- SEGAT, G. T. **Manifestações Patológicas Observadas em Revestimento de Argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul.** Porto Alegre, 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- SENGUL, Ö.; TASDEMIR, C.; TASDEMIR, M. A. Influence of Aggregate Type on Mechanical Behaviour of Normal- and High-Strength Concrete. **ACI Materials Journal**, p. 528-533, 2002.
- SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária.** Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SIM, J.; PARK, C. Compressive Strength and Resistance to Chloride Ion Penetration and Carbonation of Recycled Aggregate Concrete with Varying Amount of Fly Ash and Fine Recycled Aggregate. **Waste management**, v. 31, p. 2352-2360, 2011.
- SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O. Reologia e Trabalhabilidade das Argamassas. In: BAUER, E. (Coord.). **Revestimentos de Argamassa: características e peculiaridades.** Brasília. 2007.

SOUZA, A. T. *et al.* Behaviour of Mortar Coatings Subjected to Extreme Conditions: lack of curing and no substrate moistening. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, v. 7, n. 75, p. 53-59, 2018

THIRUMALINI, S.; RAVI, R.; RAJESH, M. Experimental Investigation on Physical and Mechanical Properties of Lime Mortar: effect of organic addition. **Journal of Cultural Heritage**, v. 31, p. 97-104, 2017.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições UFV e UFMG e aos órgãos de fomento Capes, Fapemig e CNPq pelo apoio.

Errata

No artigo "Análise da influência do tipo de aregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas", com número de DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400355>>, publicado no periódico Ambiente Construído, 19(4):271-288.

Na página 271 e 288:

Onde se lia:

"Leonardo Gonçalves Petroti"

Leia-se:

"Leonardo Gonçalves Pedroti"

Na página 271 e nas páginas pares:

Onde se lia:

"Petroti, L. G."

Leia-se:

"Pedroti, L. G."

White José dos Santos

Departamento de Engenharia de Materiais e Construção Civil | Universidade Federal de Minas Gerais | Av. Antônio Carlos, 6627, Sala 3320, Bloco 1, Prédio da Engenharia, Pampulha | Belo Horizonte - MG - Brasil | CEP 31270-901 | Tel.: (31) 3249-1809 | E-mail: white.santos@demc.ufmg.br

Rita de Cassia Sant'Ana Alvarenga

Pós-Graduação Engenharia Civil | Universidade Federal de Viçosa | Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário | Viçosa - MG - Brasil | CEP 36570-977 | Tel.: (31) 3899-1482 | E-mail: rcassia.alvarenga@gmail.com

Reginaldo Carneiro da Silva

Pós-Graduação Engenharia Civil | Universidade Federal de Viçosa | E-mail: recsilva@ufv.br

Leonardo Gonçalves Pedroti

Pós-Graduação Engenharia Civil | Universidade Federal de Viçosa | Tel.: (31) 3899-3103 | E-mail: lpedroti@gmail.com

Alessandra Tolentino Souza

Mestrado em Construção Civil | Universidade Federal de Minas Gerais | Av. Antônio Carlos, 6627, Sala 3320, Bloco 1, Prédio da Engenharia, Pampulha | Belo Horizonte, - MG - Brasil, CEP 31270-901 | Tel.: (31) 3249-1809 | E-mail: alessandratsouza@gmail.com

Antonio Serpa Freire

Departamento de Engenharia de Materiais e Construção | Universidade Federal de Minas Gerais | E-mail: antonio.asfreire@yahoo.com.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.