# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA AREIA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ARGAMASSAS À BASE DE CAL

**Tema:** Manutenção, reabilitação e restauro.
**Grupo:** 1

VALDICLÉIA. O. FERREIRA[1], ROSANA MUÑOZ[2], MARINA N. CERQUEIRA[3]

[1]Mestranda, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia/UFBA, cleaferreira.eng.civil@gmail.com
[2]Profª Drª, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia/UFBA, munoz.rosana@gmail.com
[3]Graduada em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia/UFBA, mahnobrec@gmail.com

**RESUMO**

Muitos estudos sobre argamassas de cimento e mistas têm evidenciado que a composição granulométrica do agregado miúdo interfere nas propriedades das mesmas. Este trabalho objetiva verificar se essa influência, no que tange ao comportamento mecânico, também pode ser atribuída a argamassas somente à base de cal, específicas para utilização em revestimentos destinados a intervenções restaurativas. Para isto, foram selecionadas areias, confeccionadas argamassas e realizados ensaios. Os resultados foram comparados com os requisitos propostos pela literatura e correlacionados entre si. De forma geral, areias com diferentes granulometrias proporcionam acréscimos na resistência mecânica das argamassas, no entanto observou-se também aumento de rigidez, característica não desejável para argamassas de restauro.

**Palavras-chave:** agregado miúdo, argamassa de cal, comportamento mecânico, restauro.

# STUDY OF THE SAND INFLUENCE ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF LIME MORTAR

**ABSTRACT**

Many studies on cement and composite mortars have shown that the granulometric composition of the aggregate interferes in the properties of the same. This work aims to verify if this influence, with respect to the mechanical behavior, can also be attributed to lime-based mortars, specific for use in coatings intended for restorative interventions. For this, sands were selected, mortars made and tests performed. The results were compared with the requirements proposed in the literature and correlated with each other. In general, sands with different granulometry increase the mechanical resistance of mortars, however, an increase in stiffness has also been observed, an undesirable characteristic for restoration mortars.

Key-**words:** fine aggregate, lime mortar, mechanical behavior, restoration.

## INTRODUÇÃO

Um dos mais importantes conjuntos patrimoniais do Brasil situa-se na Cidade de Salvador, sendo este de relevante valor histórico, artístico e cultural. No entanto, vários edifícios apresentam danos devido à ação do tempo e/ou do homem, e, ainda por falta de manutenção, sendo o revestimento, por muitas vezes, a parte mais degradada, principalmente por constituir o componente mais exposto, ou por desempenhar papel de proteção dos elementos construtivos [(1)].

Nas intervenções restaurativas, deve-se considerar, a priori, a conservação do revestimento, utilizando-se a reintegração pontual, a fim de não descaracterizar e acelerar a degradação dos rebocos antigos, e substituí-lo apenas quando o estado de conservação não permitir sua preservação. Neste último caso, o revestimento de substituição deve ser compatível com os elementos pré-existentes [(2)].

A busca por formulações à base de cal compatíveis com o suporte antigo faz com que a análise do agregado miúdo seja imprescindível, já que este é um dos materiais mais representativos dos constituintes das argamassas, chegando a representar cerca de 80% de seu volume, e suas características exercem importante papel no comportamento dos revestimentos de argamassa.

Muitos estudos sobre argamassas de cimento e mistas têm evidenciado que a composição granulométrica da areia interfere nas propriedades das mesmas. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo verificar se essa influência, no que tange ao comportamento mecânico, também pode ser atribuída às argamassas somente à base de cal, específicas para utilização em revestimentos destinados a intervenções restaurativas.

## ABORDAGEM TEÓRICA

Em relação às propriedades físicas da areia, a granulometria é a característica que mais influencia o comportamento da argamassa, constituindo importante parâmetro na avaliação da compacidade da mistura [(3)]. Essa característica pode ser representada por meio do módulo de finura, do coeficiente de curvatura, do coeficiente de uniformidade, da dimensão máxima característica e pelo seu perfil granulométrico [(4)] [(5)].

Tristão [(4)] e Carneiro [(5)], em seus estudos sobre a influência da granulometria em argamassa de cal e cimento, realizaram uma análise quantitativa do coeficiente de uniformidade como forma de verificar a continuidade da distribuição granulométrica e estabelecer diferenças entre as areias. Areias com valores elevados de coeficiente de uniformidade possuem granulometria contínua, ou seja, grãos com dimensões variadas, entre finos, médios e grossos. Tal característica diminui o índice de vazios, reduzindo o consumo de aglomerante, influenciando decisivamente as propriedades mecânicas.

Para Kanan [6], a escolha da areia com diversas dimensões de partículas é um fator decisivo na durabilidade dos revestimentos à base de cal, pois diminui os espaços vazios entre os grãos e ainda possibilita que o aglomerante fique distribuído em meio a esses vazios, formando assim, uma argamassa mais compacta, melhorando a trabalhabilidade, a resistência e suas propriedades hídricas.

Em relação ao comportamento mecânico, a aderência entre a base e o novo reboco deve ser moderada, de modo que seja suficiente para garantir a durabilidade, e, ainda, permita uma futura reversão sem prejudicar o suporte. O uso de argamassas com aderência incompatível pode desencadear descolamento do reboco, fissuras e trincas, facilitando assim a percolação da água, um dos principais agentes de degradação dos revestimentos[7]. No caso de argamassas de restauro, as resistências e o módulo de elasticidade devem ser menores ou iguais aos do reboco existente, proporcionando formulações com capacidade de deformação elevada, sem que ocorra a transferência de tensões ao suporte e o rompimento dos materiais novos e dos existentes [5][8].

A Tabela 1 apresenta os requisitos mecânicos quantitativos a serem atendidos pelas argamassas de substituição destinadas ao uso em intervenções de edificações antigas, estabelecidos por Veiga [2].

Tabela 1 – Requisitos quantitativos para argamassas de substituição

| Uso | Características Mecânicas (MPa) | | | Aderência (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| Externo e Interno | Rt | Rc | E | 0,1 – 0,3 ou ruptura coesiva pelo reboco |
| | 0,2 – 0,7 | 0,4 – 2,5 | 2000 - 5000 | |

Fonte: Adaptado de Veiga (2005, pag. 9)

## PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

### Caracterização dos materiais

A definição do traço utilizado, 1:2 (cal: areia), baseou-se nos estudos de Magalhães [9], que o identificou como o mais adequado para formulação de argamassa de restauro. Com base nas massas unitárias das areias previamente selecionadas (rio, pedreira e mina), o referido traço volumétrico foi convertido em massa. Utilizou-se a Cal Hidratada CH I. A quantidade de água foi determinada por meio do ensaio *Flow Table*, de acordo com a NBR 13276[10]. Foi fixado um índice de consistência padrão de 190 mm ± 10 mm com base nos estudos de Veiga[2], Gonçalves[8] e Magalhães[9]. A água foi adicionada de modo que as argamassas obtivessem a trabalhabilidade necessária e não se intensificasse o processo de retração. O traço em massa e a relação água/ ligante estão dispostos na Tabela 2.

As seis areias utilizadas foram adquiridas de diversos fornecedores legais, localizados na Bahia, e foram identificadas por códigos do tipo (LETRA MAIÚSCULA_X) em que a letra indica a sua origem (Rio, Mina ou Pedreira), em seguida uma sequência de um número (X) para identificação das amostras. Dessa forma, procedeu-se a caracterização física dos materiais conforme Tabelas 3 e 4.

Tabela 2 – Traço em massa e a relação água/ ligante

| Areia | Argamassa | Proporção (cal: areia) | Relação água/ cal | Areia | Argamassa | Proporção (cal: areia) | Relação água/ cal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R_1 | 1R | 1: 7,51 | 1,10 | D_5 | 4D | 1: 7,46 | 1,20 |
| R_2 | 2R | 1: 6,83 | 1,05 | P_3 | 5P | 1: 8,49 | 1,43 |
| R_3 | 3D | 1: 7,01 | 1,10 | P_4 | 6P | 1: 7,02 | 1,17 |

Tabela 3 – Característica da Cal CH- I

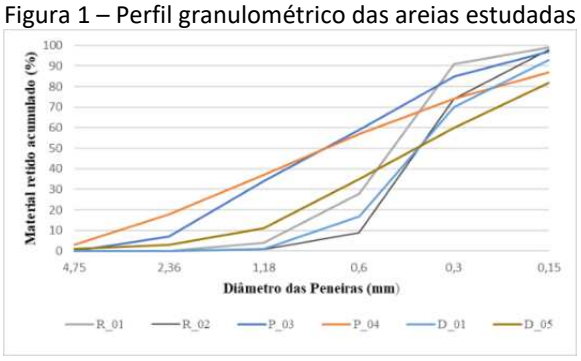
| Características Físicas | |
|---|---|
| Massa Unitária (g/dm³) (NBR NM 45[11]) | 0,41 |
| Massa Especifica (g/dm³) (NBR 16605[12]) | 2,33 |

Tabela 4 – Características das areias

| Identificação | Módulo de Finura (MF) | Coeficiente de Uniformidade (Cun) | Identificação | Módulo de Finura (MF) | Coeficiente de Uniformidade (Cun) |
|---|---|---|---|---|---|
| D_01 | 1,81 | 2,88 | R_02 | 1,82 | 2,01 |
| D_05 | 2,45 | 6,00 | P_03 | 2,82 | 8,00 |
| R_01 | 2,22 | 1,76 | P_04 | 2,76 | 4,07 |

O perfil granulométrico dos seis agregados miúdos estudados está evidenciado na Figura 1, na qual é possível notar que as areias de pedreira P_3 e P_4 e de duna D_5 apresentaram distribuição granulométrica contínua, ou seja, melhor empacotamento do sistema com grãos distribuídos uniformemente em todos os diâmetros de forma a preencher os espaços vazios existentes. As areias de rio R_1 e R_2 possuem a maioria dos grãos retidos na abertura de 0,3 mm, configurando uma granulometria mais uniforme e Coeficiente de Uniformidade de 1,76 e 1,82, respectivamente.

Figura 1 – Perfil granulométrico das areias estudadas




Fonte: Autoras, 2018

Os ensaios de Resistência à Compressão (Rc) e Resistência à Tração (Rt) foram realizados conforme a NBR 13279 [13]; e o Módulo de Elasticidade (E), de acordo com a NBR 15630[14]. Para cada ensaio, foram moldados cinco corpos de prova prismáticos de 4cm x 4cm x 16cm e mantidos em ambiente natural até o rompimento, aos 90 dias. Para o ensaio de aderência, foram confeccionados modelos de paredes nas dimensões 30 cm x 40 cm x 10 cm, com tijolo

maciço. Foi utilizada argamassa de assentamento composta por cal, cimento e areia, traço 0,9:0,1:3, em volume, resultando no traço em massa, 0,9:0,25:8,75, seguindo a recomendação de Magalhães[9]. O revestimento foi constituído por chapisco de cal e areia, no traço 1:0,5, em volume, e camada de reboco com 2cm de espessura. O ensaio de aderência foi realizado de acordo com a NBR 13528[15].

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

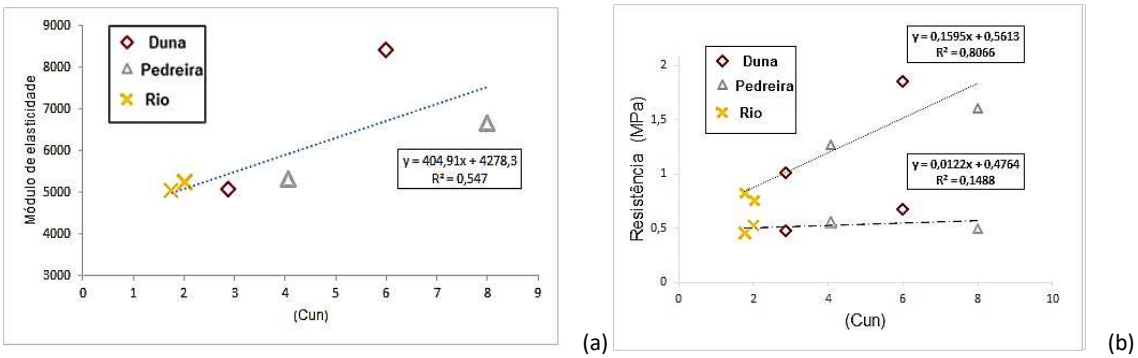
Os resultados dos ensaios mecânicos realizados nesta pesquisa estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios aos 90 dias

| Amostra | Características Mecânicas (MPa) | | | Aderência (MPa) | | Amostra | Características Mecânicas (MPa) | | | Aderência (MPa) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rt | Rc | E | Tensão | Tipo de ruptura | | Rt | Rc | E | Tensão | Tipo de ruptura |
| P_03 | 0,49 | 1,60 | 6669 | 0,09 | Argamassa | D_05 | 0,67 | 1,85 | 8386 | 0,05 | Argamassa |
| D_01 | 0,47 | 1,01 | 5043 | 0,06 | Chapisco | R_01 | 0,46 | 0,83 | 5020 | 0,08 | Interface substrato/ chapisco |
| P_04 | 0,55 | 1,26 | 5316 | 0,07 | Argamassa | R_02 | 0,52 | 0,76 | 5245 | 0,06 | Interface substrato/ chapisco |

Para o tratamento dos dados, avaliou-se a correlação entre as variáveis dependentes (Rc, Rt, E e Aderência) com a variável independente (Cun), conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Correlação entre as variáveis (a) Módulo de Elasticidade e Cun; (b) Resistências à compressão e à tração e Cun




Fonte: Autoras, 2018

Pela análise dos resultados, observa-se uma forte correlação ($R^2$ = 0,8066) entre o coeficiente de uniformidade e a resistência à compressão (Rc), o que confirma que o acréscimo das resistências é explicado, em boa parte, pela granulometria. O módulo de elasticidade mostrou correlação razoável ($R^2$ = 0,547). Relativamente à aderência e resistência à tração os valores

de $R^2$ foram em torno de 0,07 e 0,15, respectivamente, assim não foi possível obter uma relação com o coeficiente de uniformidade.

Embora as granulometrias contínuas produzam argamassas com melhor desempenho mecânico, é possível notar que apesar de todas as argamassas apresentarem valores dentro dos limites estabelecidos por Veiga[2] nos parâmetros de resistência à tração na flexão e à compressão, apenas duas argamassas aproximaram-se do limite no parâmetro de módulo de elasticidade M_01 e R_01. Salienta-se que, embora a aderência seja pouco influenciada pela granulometria, a areia P_04 apresentou os valores de tensão mais próximos do recomendado.

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nas propriedades mecânicas, foi possível validar que a composição granulométrica apresenta forte influência no acréscimo da resistência à compressão e uma influência razoável no módulo de elasticidade. No que tange à resistência à tração e ao coeficiente de uniformidade, observou-se uma fraca correlação entre essas duas variáveis. Para a resistência à aderência essa interferência é quase nula.

É importante ressaltar que as argamassas com areia de granulometria uniforme, com Cun mais baixo, proporcionaram melhores resultados em comparação aos requisitos da Tabela 1. Todavia, as argamassas com areias de granulometria contínua (Cun mais alto) apresentaram resistência à compressão dentro dos limites, mas módulo de elasticidade muito elevado.

Verificou-se, no presente trabalho, que o coeficiente de uniformidade da areia além de influenciar as argamassas de cimento e mistas, como já evidenciado por diversos autores, explica também o acréscimo nos valores de resistência à compressão e no módulo de elasticidade das argamassas à base de cal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAGALHÃES, A. C. A. **Degradação de revestimentos de paredes de edifícios antigos: metodologia de diagnóstico**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

2. VEIGA, M. R. **Comportamento de rebocos para edifícios antigos: exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos**. Seminário Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos. Lisboa, LNEC, 14-15 de fevereiro de 2005.

3. SILVA, D. A.; TRISTÃO. F. A.; ROMAN. H. R.; SOUZA. S. K. **Argamassas intermediárias de cal e areia para revestimentos**: efeito das características da areia. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo. Junho de 2013, pp. 317- 329.

4. TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

5. CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO M. A.; JOHN. M. V. **A massa unitária como parâmetro de análise das características de argamassa**. Ambiente Construído, São Paulo. Jul/dez. 1997, v.1, n.2, pp. 37-44.

6. KANAN, M. I. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal**. 1. ed. IPHAN: Brasília, 2008.

7. GUTERRES, P. R. C. **Argamassas de reabilitação: estudo da sua utilização e do seu com portamento para o tratamento e recuperação de construções afetadas por eflorescências.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

8. GONÇALVES, A. E. N. **Estudo da influência dos fatores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio in-situ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

9. MAGALHÃES, A. C. A. **Argamassas de cal com adições pozolânicas: Contribuição para o desenvolvimento de Formulações para o restauro.** Tese (Doutorado em Conservação e Restauro) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2018.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

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

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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: ABNT, 2008.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.