XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

ANÁLISE DA POROSIDADE E ABSORÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO À BASE DE CAL DESTINADAS A RESTAURO

Analysis of the porosity and absorption of lime-based coating mortars intended for restoration

ANIÊ MEIRELLES BERGEMANN[1], ROSANA MUÑOZ[2], VANESSA SILVEIRA SILVA[3]
[1]Bergemann, A. M., Universidade Federal da Bahia, bergemann.bim@gmail.com
[2] Muñoz, R., Universidade Federal da Bahia, munoz.rosana@ufba.br
[3] Silva, V. S., Universidade Federal da Bahia, vanessass@ufba.br

RESUMO
A porosidade de um material influencia diretamente suas propriedades físicas e mecânicas. Em intervenções restaurativas, a porosidade de uma argamassa de reintegração precisa ser compatível com a do substrato para evitar tensões de expansão ou retração. Este estudo analisa os impactos da porosidade em argamassas de cal para restauro, avaliando argamassas de quatro formulações distintas submetidas a um programa experimental. Entre as formulações investigadas, a argamassa de traço 1:2 apresentou desempenho mais adequado. Os resultados reforçam a importância de uma porosidade equilibrada – nem demasiada nem muito reduzida – em argamassas de reintegração para a eficácia e durabilidade das intervenções restaurativas.

Palavras-chave: Porosidade. Argamassa. Restauro. Preservação Patrimonial.

ABSTRACT
The porosity of a material directly influences its physical and mechanical properties. In restorative interventions, the porosity of a reintegration mortar must be compatible with that of the substrate to prevent expansion or shrinkage stresses. This study examines the effects of porosity in lime mortars for restoration, evaluating four distinct formulations subjected to an experimental program. Among the formulations analysed, the 1:2 mortar mix demonstrated the most suitable performance. The findings underscore the importance of balanced porosity – neither excessive nor overly low – in reintegration mortars to ensure the efficacy and durability of restorative interventions.

Keywords: Porosity. Mortar. Restoration. Heritage Preservation.

Como citar:
BERGEMANN, A. M., MUÑOZ, R., SILVA, V. S. Análise da porosidade e absorção de argamassas de revestimento à base de cal destinadas a restauro. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A porosidade ou índice de vazios de um material constitui um parâmetro crucial no desempenho mecânico da argamassa, uma vez que se relaciona intimamente a características como densidade, permeabilidade à água e capilaridade [1]. Dessa forma, sua análise revela-se indispensável para a avaliação do comportamento das argamassas em distintas condições de exposição à água e ao ambiente.

A porosidade constitui uma característica essencial para viabilizar o fluxo de ar e a secagem das argamassas à base de cal [2] [3] [4]. Assim, importa o estabelecimento de um equilíbrio adequado, de modo que os poros não sejam totalmente obstruídos, ao mesmo tempo em que se evita uma porosidade excessivamente elevada, a qual poderia comprometer as propriedades intrínsecas do material [1].

Argamassas de cal possuem alta porosidade e permeabilidade, propriedades que, embora promovam um desempenho eficiente em diversos contextos, também evidenciam a incompatibilidade com materiais mais recentes à base de cimento. Materiais com propriedades tão distintas, como cal e cimento, ao serem utilizados juntos, em restauro, podem provocar retração excessiva e o consequente surgimento de fissuras devido às diferenças exorbitantes das suas características mecânicas [5] [6].

Com isso, importa ressaltar que as argamassas de reintegração para uso em restauro devem possuir uma porosidade devidamente calibrada, correspondente à do material antigo [1]. Nesse contexto, recomenda-se o uso de materiais similares com aqueles originalmente empregados na construção antiga, como a cal, visando à compatibilidade estrutural e estética, preservando a integridade e a autenticidade do patrimônio histórico.

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a porosidade de quatro formulações de argamassas especialmente desenvolvidas para intervenções restaurativas, incorporando os aditivos metacaulim, hidrogenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio.

Sobre os aditivos, importa salientar que a incorporação do hidrogenofosfato de cálcio dihidratado em argamassas de cal surge como uma estratégia promissora para o aprimoramento de sua durabilidade e desempenho, especialmente pela influência na porosidade, que afeta diretamente a resistência mecânica, permeabilidade e capacidade de troca de umidade [1]. Em ambientes com alta umidade e migração de sais solúveis, sua aplicação torna-se ainda mais significativa. Além, disto, também apresenta propriedades químicas favoráveis. Tratamentos à base de fosfatos, como o hidrogenofosfato de cálcio dihidratado, conseguem penetrar profundamente em substratos calcários sem alterar sua porosidade, preservando suas propriedades fundamentais [7]. Os fosfatos de cálcio têm baixa solubilidade e são seguros para a saúde humana, características que os tornam promissores para a conservação de materiais [8]. Outra vantagem é a sua baixa recuperação elástica, o que contribui para melhor trabalhabilidade da argamassa e redução de fissuras [9]. Além disso, vale ressaltar que um dos principais desafios na preservação das argamassas de cal é a migração de sais solúveis nos poros, o que pode resultar em eflorescências, criptoflorescências e desintegração [1]. O hidrogenofosfato de cálcio dihidratado pode mitigar esses efeitos ao reagir com esses sais solúveis, pois pode auxiliar na conversão destes em compostos insolúveis, limitando sua mobilidade. Assim, sua incorporação tem o potencial de

não apenas contribuir para a conservação das argamassas, mas também aprimorar sua durabilidade ao estabilizar a microestrutura e minimizar os danos causados por agentes externos.

Ademais, em relação ao silicato de potássio, embora a literatura sobre a sua adição em argamassas de cal ainda seja limitada, há indícios promissores de seus benefícios, especialmente na resistência à degradação por sais solúveis. Estudos prévios demonstram que silicatos alcalinos, como o de sódio, melhoram o desempenho mecânico das argamassas [10]. Além disso, pesquisas sobre matrizes geopoliméricas indicam que o silicato de potássio pode fortalecer a estrutura das argamassas, promovendo ligações químicas mais robustas e maior resistência mecânica [11]. Esses dados sugerem que a incorporação do silicato de potássio em argamassas de cal pode ser uma estratégia promissora para aprimorar sua durabilidade e desempenho, justificando sua investigação experimental.

Este estudo visa contribuir para o avanço das práticas de conservação e restauro, na busca de parâmetros técnicos que orientem a formulação de argamassas compatíveis com as demandas específicas do patrimônio histórico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Anterior à elaboração dos corpos de prova, realizou-se a caracterização com ênfase em determinados aspectos dos materiais. Após esta etapa, seguiu-se com a definição dos traços, a determinação do índice de consistência e, por fim, os ensaios no estado endurecido aos 90 dias.

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados na elaboração das argamassas foram cal hidratada do tipo I (CH-I), areia fina limpa proveniente de jazida situada em Camaçari, município vizinho à Salvador, local de pesquisa; metacaulim, dihidrogenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio de procedência da região sudeste do Brasil. A Tabela 1 apresenta dados de caracterização dos materiais.

Tabela 1 – Resumo da caracterização dos materiais.

Material	Tipo	Estado físico	Massa unitária (g/ cm³)	Massa específica (g/ cm³)	Módulo de finura	Dimensão máxima característica
Areia	Fina, lavada	grãos (sólido)	1,59	2,66	1,69	1,18
Cal	CH-I	grãos (sólido)	0,48	2,33	-	-
Metacaulim	Do Brasil	grãos (sólido)	0,55	2,62	-	-
Fosfato	Hidrogenofosfato de Cálcio Dihidratado	grãos (sólido)	0,64		-	-
Silicato	Silicato de Potássio KCD-75	líquido	-	1,394	-	-

Fonte: Os autores (2025).

TRAÇOS

Na Tabela 2 são apresentados as quatro formulações distintas das argamassas elaboradas.

Tabela 2 – Argamassas, notação e traços em volume (V) e em massa (M).

Formulação	Notação	Traço em	Materiais				
			Cal	Areia	Metacaulim	Hidrogenofosfato de cálcio dihidratado	Silicato de potássio
Argamassa Referência	AR	V	1,00	2,00			
		M	0,48	3,18			
Argamassa Cal, Areia e Metacaulim	AM	V	1,00	3,00	0,80		
		M	0,48	4,77	0,44		
Argamassa Cal, Areia, Hidro.de cálcio dihidratado e Silicato de potássio	AFS	V	1,00	3,00		0,441	0,028
		M	0,48	4,77		0,282	0,113
Argamassa Cal, Areia, Metacaulim, Hidro.de cálcio dihidratado e Silicato de potássio	AMFS	V	1,00	3,00	0,80	0,478	0,031
		M	0,48	4,77	0,44	0,306	0,122

Fonte: Os autores (2025).

ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Para a determinação da relação água/ligante e execução satisfatória das argamassas, foi realizado o índice de consistência conforme os procedimentos descritos na norma NBR 13276 [12]. Contudo, para a definição da consistência apropriada, adotou-se como referência a tese de Magalhães [13] que recomenda a utilização de um intervalo de 205+-10 mm como parâmetro. Optou-se por utilizar os dados obtidos pela autora, uma vez que sua investigação se concentrou especificamente em argamassas à base de cal. Tal decisão justifica-se pelo fato de a norma NBR 13276 [12] não diferenciar os diâmetros recomendados para argamassas de cimento e de cal, apesar das distintas propriedades físico-químicas desses materiais. Na Tabela 3 constam as relações água/ligante e água/material seco, obtidas no índice de consistência.

Tabela 3 – Relações água/ligante e água/material seco.

Argamassa (notação)	Relação água/	
	Ligante	Material seco
AR	1,4	0,18
AM	1,6	0,13
AFS	2,6	0,22
AMFS	2,9	0,23

Fonte: Os autores (2025).

Ensaios no estado Endurecido

Para a realização dos ensaios no estado endurecido mencionados nesse estudo foram moldados e submetidos à cura, onze corpos de prova prismáticos para cada uma das quatro argamassas. Os corpos de prova, com dimensões de 4x4x16 cm, foram elaborados acordo com a norma NBR 13279 [14]. Os ensaios realizados aos 90 dias estão apresentados na Tabela 4, que inclui a norma adotada para a execução dos ensaios, referência da literatura e número de corpos de prova utilizados por ensaio (Nº de CP).

Tabela 4 – Ensaios das argamassas de revestimento no estado endurecido e quantidade de corpos de prova para cada ensaio, por formulação.

Ensaio	Norma técnica	Literatura	Nº de CP
Massa Específica			
Porosidade Aberta ou Aparente	1. NBR 9778 [15]		3
Índice de Absorção por Imersão			
Evolução de Carbonatação	Sem norma específica		
Resistência à Tração por Flexão	3. NBR 13279 [14]		3
Resistência à Compressão	3. NBR 13279 [14]	Veiga [17] [18]	
Absorção de Água por Capilaridade	4. NBR 15259 [16]		5

Fonte: Os autores (2025).

Carbonatação

O ensaio da evolução da carbonatação foi realizado com a aplicação do indicador ácido-base, a fenolftaleína, nas metades dos corpos de prova cisalhados no ensaio de resistência à tração por flexão que não foram utilizados na execução do ensaio de resistência à compressão.

Resistência Mecânica: resistência à Tração por flexão e resistência à Compressão

Ambos ensaios foram conduzidos por meio da NBR 13279 [14] com o emprego da prensa eletromecânica de marca Instron, modelo 1122. A prensa dispõe de dispositivo de leitura digital de resolução de 0,01 kgf; e fez-se uso de célula de carga com capacidade para 100 kgf no ensaio de Resistência à Tração por Flexão (Rf) e outra célula de carga para 500kgf, no ensaio de Resistência à Compressão (Rc).

Massa específica, porosidade e absorção de água por imersão

Esse ensaio foi realizado, por meio de umedecimento secagem e pesagem com o uso da balança analógica e balança hidrostática, conforme previsto na NBR 9778 [15].

Absorção de água por capilaridade

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de absorção de água por capilaridade, seguindo rigorosamente os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 15259 [16], que envolve prévia secagem em estufa das amostras até massa constante, seguida, e o posicionamento desses em contato com uma superfície saturada. A variação de massa foi registrada em intervalos de tempo pré-determinados, conforme as diretrizes normativas.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nas argamassas de revestimento à base de cal utilizadas em intervenções restaurativas, as propriedades carbonatação, resistência à tração por flexão e resistência à compressão, massa específica, porosidade, índice de absorção por imersão e absorção por capilaridade estão intrinsecamente relacionadas e desempenham um papel fundamental na durabilidade, integridade e desempenho do material.

Os resultados obtidos no estado endurecido foram essenciais para compreender a relação entre as propriedades das argamassas e sua porosidade, bem como o impacto dessas propriedades no desempenho da argamassa. As Tabelas 5 a 10 sintetizam os valores médios obtidos para cada formulação dos corpos de prova obtidos quando submetidos aos respectivos ensaios. A quantidade de corpos de prova moldados por formulação está detalhada na Tabela 4.

CARBONATAÇÃO

Os resultados do ensaio de carbonatação, nas superfícies externas e no interior dos corpos de prova, estão sintetizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Carbonatação das argamassas, por formulação, aos 90 dias.

Formulação	90 dias	
	Ext	Int
AR	+	0
AM	++	++
AFS	--	0
AMFS	-	0

Legenda:
++ Carbonatação Muito Elevada 80-100%;
+ Carbonatação Elevada 60-79%;
0 Carbonatação Parcial 40-59%;
- Carbonatação Baixa 20-39%;
-- Carbonatação Muito Baixa 0-19%

Fonte: Os autores (2025).

No período em que foi realizado o ensaio, a argamassa de referência, AR, apresentou carbonatação expressiva na sua superfície externa, enquanto sua carbonatação diminuía gradativamente em direção ao centro do material, fenômeno esperado e considerado coerente, devido à elevada proporção de cal em relação à areia presente nessa formulação. Por outro lado, a argamassa contendo cal e metacaulim, AM, mostrou-se completamente carbonatada, tanto nas superfícies externas quanto em seu interior, possivelmente devido à menor quantidade de cal em proporção à areia nesta formulação.

Um comportamento atípico foi identificado nas argamassas de cal, hidrogenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio, AFS, bem como na argamassa de cal, metacaulim, hidrogrenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio, AMFS. Nessas formulações, a coloração rosada observada após a aplicação de fenolftaleína foi menos intensa no interior do material em comparação à região externa. Este resultado indica que o interior dessas argamassas apresenta um pH mais ácido ou neutro – condição comumente associada a uma

maior carbonatação – em relação às superfícies externas. Tal fenômeno é incomum, considerando que o interior do corpo de prova é tipicamente menos acessível ao dióxido de carbono (CO_2), o principal agente envolvido no processo de carbonatação.

O processo de carbonatação da cal desempenha um papel fundamental, pois, de acordo com Magalhães [13], a precipitação do carbonato de cálcio nos poros mais amplos da matriz contribui para a redução da porosidade aberta. De modo complementar, Ferreira [19], em seu programa experimental em que desenvolve e submete argamassas a ensaios, constata que as argamassas que exibiram a carbonatação mais eficaz, também apresentaram maiores valores de resistência mecânica e aderência à tração. Assim, pode-se estabelecer uma correlação direta entre a carbonatação das argamassas à base de cal e características como a porosidade e a resistência mecânica, evidenciando a importância desse fenômeno para o aprimoramento das propriedades do material.

Resistência Mecânica: resistência à Tração por flexão e resistência à Compressão

A Tabela 6 explicita a resistência mecânica, especificamente, o valor médio, por formulação, da resistência à tração por flexão e da resistência à compressão, aos 90 dias, conforme a NBR 13279 [14]. Além disso, exibe uma comparação com os parâmetros de Veiga [17][18].

Tabela 6 – Resistência mecânica média, por formulação, aos 90 dias.

Formulação	Rf (MPa)	Comparação com Veiga [17] [18]	Rc (MPa)	Comparação com Veiga [17] [18]	Rf/Rc
	-	Ideal: 0,2-0,7	-	Ideal: 0,4-2,5	
AR	0,84	Superior	0,75	Adequada	1,12
AM	0,52	Adequada	0,72	Adequada	0,72
AFS	0,45	Adequada	0,04	Inferior	11,25
AMFS	0,07	Inferior	0,11	Inferior	0,64

Rf: Resistência à Tração por Flexão
Rc: Resistência à Compressão

Fonte: Os autores (2025).

A formulação AR apresentou resistência à tração por flexão acima do intervalo considerado adequado, enquanto sua resistência à compressão permaneceu dentro dos limites estabelecidos como apropriados, ambos com base nos critérios definidos por Veiga [17][18]. A formulação AM demonstrou-se adequada, dentro do intervalo, tanto para resistência à tração por flexão quanto para resistência à compressão, conforme os critérios de Veiga [17][18].

A formulação AFS, que contém hidrogenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio, revelou-se adequada em termos de resistência à tração por flexão, porém apresentou um valor inferior ao recomendado para resistência à compressão em Veiga [17][18]. Por sua vez, a formulação AMFS, que além dos dois aditivos mencionados, também contém metacaulim, apresentou valores fora da faixa estabelecida por Veiga [17][18] tanto para resistência à tração por flexão quanto para resistência à compressão.

Esses resultados sugerem uma possível incompatibilidade entre um dos aditivos e o metacaulim e, essas incompatibilidades químicas podem desestabilizar a estrutura da argamassa.

MASSA ESPECÍFICA, POROSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

A Tabela 7 apresenta os valores médios, para cada formulação, no que se refere à massa específica, porosidade e absorção de água por imersão, aos 90 dias.

Tabela 7 – Massa específica, porosidade e absorção de água por imersão, por formulação, aos 90 dias.

Formulação	Massa específica da amostra seca (g/cm³)	Índice de vazios	Absorção de água por imersão
AR	1,85	17,77%	9,59%
AM	1,85	22,23%	12,01%
AFS	1,67	28,51%	17,07%
AMFS	1,74	26,69%	15,51%

Fonte: Os autores (2025).

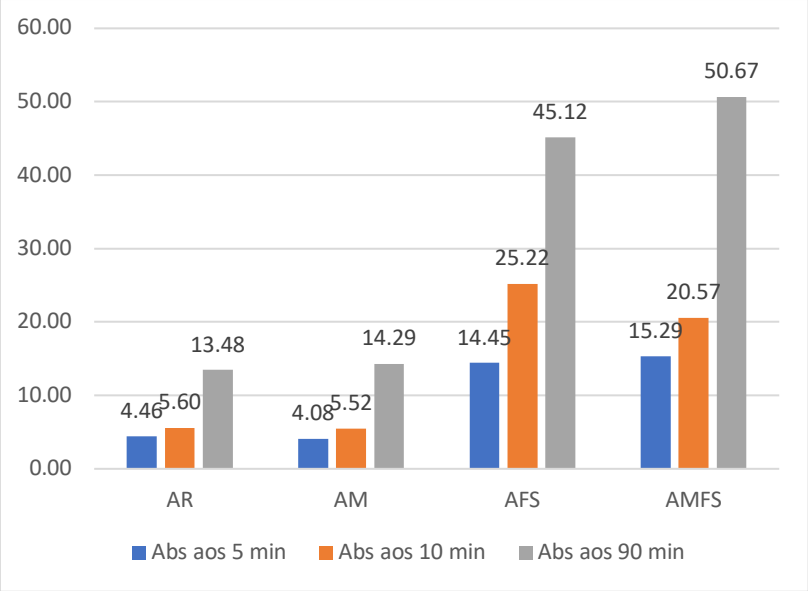
As formulações AR e AM exibiram os maiores valores de massa específica, acompanhadas de forma consistente, pelos menores valores para o índice de vazios e menores taxas de absorção de água por imersão, com a formulação AR destacando-se como a argamassa com os menores valores nestas propriedades. Em contrapartida, as formulações AFS e AMFS, que incluem os aditivos dihidrogenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio, apresentaram menores valores de massa específica, associados a índice de vazios e a absorção de água por imersão significativamente mais elevados.

Esses resultados sugerem que os aditivos influenciam diretamente a porosidade e a capacidade de absorção do material, contribuindo para o aumento destas propriedades.

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os valores médios de absorção de água por capilaridade para cada formulação, aos 90 dias, estão dispostos na Figura 1.

Figura 1 – Absorção capilar das argamassas, por formulação, aos 90 dias, em 5, 10 e 90min.



Fonte: Os autores (2025).

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado para três tempos: 5, 10 e 90min. Apesar de não ser previsto em norma mensurar a absorção nos primeiros 5 minutos, optou-se por fazê-lo aqui seguindo a recomendação de Magalhães [13]. Isto porque, considera-se fundamental para essa pesquisa que lida com argamassas à base de cal, material poroso de alta absorção capilar sobretudo nos estágios iniciais. Vale ressaltar que a norma NBR 15259 [16] não especifica o material ligante, se cimento Portland, cal ou outro.

É evidente a alta taxa de absorção capilar das formulações AFS e AMFS em comparação com as formulações AR e AM, para todos os tempos analisados. Entre 5 e 10 minutos, a absorção das formulações AFS e AMFS apresentou um aumento especialmente acentuado, de forma proporcionalmente mais expressiva do que nas formulações AR e AM.

Aos 90 minutos, a formulação AMFS registrou a maior quantidade de água absorvida entre as quatro formulações, com 50,67g de água, enquanto a formulação AR apresentou a menor absorção neste mesmo período, com apenas 13,48g. Esses resultados indicam que a presença de certos aditivos nas formulações AFS e AMFS pode ter promovido uma maior porosidade e, consequentemente, uma capacidade aumentada de absorção de água ao longo do tempo.

Também se optou por realizar o cálculo do coeficiente de capilaridade por formulação, aos 90 dias, utilizando a unidade $kg/m^2.min^{1/2}$ para fins comparativos com Veiga [17][18], que disponibiliza dados nestas unidades. O valor médio do coeficiente de capilaridade, por formulação, aos 90 dias, é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficiente de capilaridade, por formulação, aos 90 dias.

Formulação	Coeficiente de capilaridade por formulação $kg/m^2 . min^{1/2}$	Comparação com Veiga (2003, 2005) Ideal: 1,0 - 1,5 $kg/m^2 . min^{1/2}$
AR	1,26	Adequado
AM	1,40	Adequado
AFS	3,18	Superior
AMFS	4,82	Superior

Fonte: Os autores (2025).

Como demonstrado na Tabela 8, as formulações AR e AM apresentaram coeficiente de capilaridade adequado aos parâmetros estabelecidos por Veiga [17][18], enquanto as formulações com aditivos, AFS e AMFS, apresentaram coeficiente de capilaridade fora da faixa considerada adequada, significativamente superior, de acordo com as especificações da pesquisadora. A formulação AMFS, especialmente, alcançou um coeficiente de capilaridade de 4,82 $kg/m^2.min^{1/2}$ muito superior ao apropriado para argamassas de revestimento em restauro, segundo essa referência.

Por fim, a Tabela 9 apresenta, de forma consolidada, os dados mencionados, com a finalidade de uma visão mais abrangente dos resultados.

Em relação aos ensaios no estado endurecido, houve algumas elucidações que podem ser verificadas na tabela resumitiva. O ensaio referente ao índice de absorção, índice de vazios e massa específica confirma a correlação direta entre os índices de absorção e de vazios, e uma relação inversa entre essas duas propriedades e a massa específica. Nesse contexto, a argamassa de referência, à base de cal de traço 1:2 (cal:areia), formulação AR, apresentou os menores índices de absorção e de vazios, indicando uma menor porosidade, enquanto exibiu

uma das maiores massas específicas. Em contraposição, a formulação contendo cal, hidrogenofosfato de cálcio dihidratado e silicato de potássio, representada pela sigla AFS, apresentou os maiores índices de absorção e de vazios, ou seja, maior porosidade, e a menor massa específica. Esses dados corroboram com a ideia de que a estrutura porosa de um material influencia diretamente suas propriedades físicas, como a capacidade de absorção e a compactação. Convém ressaltar que uma absorção capilar excessivamente alta ou baixa pode comprometer significativamente as propriedades de coesão da argamassa e sua aderência ao substrato.

Somado a isso, ressalta-se que, provavelmente, a incompletude da carbonatação nas formulações com aditivos, AFS e AMFS, está relacionada com a elevada porosidade observada, refletida pelos altos índices de absorção e de vazios nessas argamassas.

Tabela 9 – Tabela resumitiva dos ensaios no estado endurecido, aos 90 dias.

Formulação			AR	AM	AFS	AMFS
Carbonatação	90 dias	Ext Int	+ 0	++ ++	-- 0	- 0
Resistência à Tração por Flexão NBR 13279 [14]	Rf (MPa)		0,84	0,52	0,45	0,07
	Comparação com Veiga [17] [18]	Ideal: 0,2-0,7	Superior	Adequada	Adequada	Inferior
	Desvio Absoluto Máximo	Ideal: < 0,30MPa	0,11	0,09	0,03	0,01
Resistência à Compressão NBR 13279 [14]	Rc (MPa)		0,75	0,72	0,04	0,11
	Comparação com Veiga [17] [18]	Ideal: 0,4-2,5	Adequada	Adequada	Inferior	Inferior
	Desvio Absoluto Máximo	Ideal: < 0,50MPa	0,09	0,18	0	0,05
NBR 9778 [15]	Absorção de água por imersão		9,59%	12,01%	17,07%	15,51%
	Índice de Vazios		17,77%	22,23%	28,51%	26,69%
	Massa Específica (g/cm^3)		1,85	1,85	1,67	1,74
Absorção de água por capilaridade NBR 15259 [16]	aos 5min (g/cm^2)		4,46	4,08	14,45	15,29
	aos 10 min (g/cm^2)		5,60	5,52	25,22	20,57
	aos 90 min (g/cm^2)		13,48	14,29	45,12	50,67

Fonte: Os autores (2025).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram a complexidade envolvida na caracterização de argamassas à base de cal, especialmente quanto à aplicação de parâmetros normativos desenvolvidos originalmente para argamassas de cimento. A análise do índice de consistência evidenciou a necessidade de revisão crítica dos critérios existentes, dada a heterogeneidade desses materiais e sua natureza específica. Ressalta-se, portanto, a importância de estudos que contribuam para o estabelecimento de diretrizes técnicas voltadas exclusivamente a argamassas de cal.

Nos ensaios no estado endurecido, verificou-se a relação direta entre os índices de absorção e de vazios, e sua correlação inversa com a massa específica. Os resultados confirmam que a estrutura porosa influencia diretamente o desempenho físico das argamassas, podendo comprometer a coesão e a aderência em formulações com elevada absorção capilar. O metacaulim apresentou efeito *filler*, mas não substituiu integralmente o papel da cal na redução da porosidade, reforçando a importância da cal no processo de carbonatação e na formação de uma microestrutura mais densa.

A comparação entre cal e metacaulim demonstrou que, apesar de ambos serem materiais finos, suas propriedades e funções são distintas, o que exige critérios específicos para formulação e proporção. Quanto aos aditivos estudados, observou-se que o silicato de potássio pode atrasar a carbonatação superficial, enquanto o hidrogenofosfato de cálcio dihidratado pode favorecer esse processo no interior da matriz.

Por fim, este estudo reforça a relevância de uma abordagem integrada na formulação de argamassas de revestimento à base de cal, considerando tanto os aspectos físico-químicos quanto o comportamento ao longo do tempo. Tais conhecimentos são fundamentais para a preservação do patrimônio histórico edificado, contribuindo para intervenções mais compatíveis, duráveis e sustentáveis, que respeitem a autenticidade dos materiais e das técnicas construtivas tradicionais.

REFERÊNCIAS

[1] BERGEMANN, A. **Argamassas de cal para restauro em áreas próximas ao mar**. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Salvador, 2024.

[2] KANAN, M. I. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal.** Brasília, DF: Iphan / Programa Monumenta, 2008. 172 p.: il.; 20cm. – (Cadernos Técnicos; 8). ISBN 978-85-7334-077-8.

[3] GUTERRES, P. R. C. **Argamassas de reabilitação: estudo da sua utilização e do seu comportamento para o tratamento e recuperação de construções afetadas por eflorescências.** 2016. 369 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2016. Acesso em: 18 mar. 2025.

[4] GIANDOMENICO, M.; CAPASSO, F. E.; MUCA, S.; GAETANI, M. C.; QUARTA, G.; IAFRATE, S.; MELICA, D.; CALIA, A. A Study of Repair Mortars for Restoration of Wall Painted Plasters

in a Hypogeum Rock-Cut Church of Matera (Southern Italy). **Materials**, v. 16, n. 16, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ma16165715. Acesso em: 17 mar. 2025.

[5] NIJLAND, T. G.; LARBI, J. A.; VAN HEES, R. P. J.; LUBELLI, B.; ROOJI, M. Self healing phenomena in concretes and masonry mortars: a microscopic study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SELF HEALING MATERIALS, 1., 2007, Holanda. **Proceedings of […].** Dordrecht: Springer, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/57351304/Self_Healing_Phenomena_In_Concretes_And_Masonry_Mortars_A_Microscopic_Study. Acesso em: 20 mar. 2025.

[6] BORELLI, E.; URLAND, A. **ARC Laboratory Handbook: Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials.** Roma: ICCROM, 1999. ISBN 92-9077-157-7.

[7] SASSONI, E. Hydroxyapatite and other calcium phosphates for the conservation of cultural heritage: a review. **Materials**, v. 11, n. 4, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ma11040557. Acesso em: 3 jan. 2025.

[8] MOLINA, E.; FIOL, C.; CULTRONE, G. Assessment of the efficacy of ethyl silicate and dibasic ammonium phosphate consolidants in improving the durability of two building sandstones from Andalusia (Spain). **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 302, abr. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12665-018-7491-6. Acesso em: 5 jan. 2025.

[9] SCHLACK, H.; BAUER-BRANDL, A.; SCHUBERT, R.; BECKER, D. **Properties of Fujicalin®, a New Modified Anhydrous Dibasic Calcium Phosphate for Direct Compression: Comparison with Dicalcium Phosphate Dihydrate**. Drug Development and Industrial Pharmacy, v. 27, n. 8, p. 789-801, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1081/DDC-100107242. Acesso em: 12 jan. 2025.

[10] BEZERRA, I. M. T. **Desenvolvimento de corpos cerâmicos utilizando ativação alcalina no resíduo da cerâmica vermelha.** 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014.

[11] SITARZ, M.; CASTRO-GOMES, J.; HAGER, I. Strength and Microstructure Characteristics of Blended Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Geopolymer Mortars with Na and K Silicate Solution. **Materials**, v. 15, n. 1, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ma15010211. Acesso em: 21 jan. 2025.

[12] 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.

[13] MAGALHÃES, A. **Argamassa de cal com adições pozolânicas: contribuição para o desenvolvimento de formulações para o restauro**. 2018. 312 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

[14] 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.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[17] VEIGA, M. R. As argamassas na conservação. *In*: JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO: Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes, 1., 2003, Aveiro. **Actas das** [...]. Lisboa: LNEC, 2003.

[18] VEIGA, M. R. Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. *In*: SEMINÁRIO SAIS SOLÚVEIS EM ARGAMASSAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS, 1., 2005, Lisboa. **Actas do** [...]. Lisboa: LNEC, 2005.

[19] FERREIRA, V. O. **Estudo da influência das características da areia nas argamassas de revestimento para intervenções restaurativas.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura E Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.