

Metodologias para reconstrução do traço de argamassas de edificações antigas: uma revisão sistemática da literatura

Micael Justino

Mestrando, UPE, Brasil

micael.justino@upe.br

<https://orcid.org/0000-0001-9798-5915>

Yeda Póvoas

Professora Doutora, UPE, Brasil

yvp@poli.br

<https://orcid.org/0000-0003-1907-415X>

Raphael Britto

Mestrando, UPE, Brasil

rbml@poli.br

<https://orcid.org/0000-0003-3172-6878>

Submissão: 30/06/2025

Aceite: 20/08/2025

JUSTINO, Micael; PÓVOAS, Yeda; BRITTO, Raphael. Metodologias para reconstrução do traço de argamassas de edificações antigas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 89, 2025. DOI: [10.17271/23188472138920256154](https://doi.org/10.17271/23188472138920256154). Disponível

em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/6154.

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Metodologias para reconstrução do traço de argamassas de edificações antigas: uma revisão sistemática da literatura

RESUMO

Objetivo - realizar um levantamento de alcance global a respeito dos métodos utilizados para caracterizar a composição estrutural das argamassas de edificações históricas, bem como os tipos de análises necessárias para esse fim.

Metodologia - o seguinte trabalho seguiu a metodologia de uma revisão sistemática. As bases foram selecionadas, Scopus, Science direct e Engineering village com intuito de abranger publicações tanto de áreas específicas como do geral.

Originalidade/relevância – o levantamento das pesquisas, proposto por esse trabalho, visa trazer clareza quanto aos métodos mais eficazes na obtenção do traço de argamassas antigas, contribuindo nas restaurações de edifícios históricos com uma certeza maior em relação a compatibilidade das argamassas.

Resultados – os resultados apontam para os métodos de ataque ácido, DRX e TGA como os mais utilizados por apresentarem claramente a composição do material. Outro resultado importante está na identificação dos traços mais comuns de argamassas históricas sendo 1:3, 1:1,5 e 1:2.

Contribuições teóricas/metodológicas – por indicar os métodos mais eficientes na caracterização de argamassas antigas, os resultados dessa pesquisa podem trazer segurança quanto a elaboração de parâmetros usados na restauração do patrimônio histórico.

Contribuições sociais e ambientais – o restauro de edificações antigas requer minucioso cuidado devido a possíveis incompatibilidades entre os materiais e por isso a busca pelo melhor método de caracterizar as argamassas pode ser custosa e por vezes demorada. Os resultados dessa pesquisa podem impactar essa busca economizando recursos e tempo, uma vez que possui alcance global e abrange uma extensa faixa temporal.

PALAVRAS-CHAVE: Restauração. Argamassas históricas. Reconstrução de traço.

Methodologies for reconstruction of the binder aggregate ratio of historical mortars: a systematic literature review

ABSTRACT

Objective –To conduct a global scope review regarding the methods used to characterize the structural composition of mortars in historical buildings, as well as the types of analysis necessary for this purpose.

Methodology – This work followed the methodology of a systematic review. The Scopus, Science Direct, and Engineering Village databases were selected to cover publications from both specific and general areas.

Originality/Relevance – The survey of research proposed by this work aims to bring clarity to the most effective methods for obtaining the composition of old mortars, contributing to the restoration of historical buildings with greater certainty regarding the compatibility of mortars.

Results – The results point to acid attack, XRD, and TGA methods as the most used because they clearly present the material's composition. Another important result is the identification of the most common compositions of historical mortars, being 1:3, 1:1.5, and 1:2.

Theoretical/Methodological Contributions – By indicating the most efficient methods for characterizing ancient mortars, the results of this research can bring security regarding the elaboration of parameters used in the restoration of historical heritage.

Social and Environmental Contributions –The restoration of ancient buildings requires meticulous care due to possible incompatibility between materials, and therefore the search for the best method to characterize mortars can be costly and time-consuming. The results of this research can impact this search by saving resources and time, given its global scope and extensive time frame.

KEYWORDS: Restoration. Historical mortars. Reconstruction of the binder aggregate ratio.

Metodologías para determinar la proporción ligante árido en morteros históricos: una revisión sistemática de la literatura

RESUMEN

Objetivo – Realizar un levantamiento de alcance global sobre los métodos utilizados para caracterizar la composición estructural de las argamasas de edificaciones históricas, así como los tipos de análisis necesarios para este fin.

Metodología – El siguiente trabajo siguió la metodología de una revisión sistemática. Las bases seleccionadas fueron Scopus, Science Direct y Engineering Village con el fin de abarcar publicaciones tanto de áreas específicas como generales.

Originalidad/Relevancia – el levantamiento de las investigaciones propuesto por este trabajo tiene como objetivo traer claridad sobre los métodos más eficaces para obtener la composición de argamasas antiguas, contribuyendo a las restauraciones de edificios históricos con una mayor certeza en relación con la compatibilidad de las argamasas.

Resultados – los resultados apuntan a los métodos de ataque ácido, DRX y TGA como los más utilizados por presentar claramente la composición del material. Otro resultado importante es la identificación de las composiciones más comunes de argamasas históricas siendo 1:3, 1:1,5 y 1:2.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – al indicar los métodos más eficientes en la caracterización de argamasas antiguas, los resultados de esta investigación pueden brindar seguridad en cuanto a la elaboración de parámetros utilizados en la restauración del patrimonio histórico.

Contribuciones Sociales y Ambientales – la restauración de edificaciones antiguas requiere un cuidado minucioso debido a posibles incompatibilidades entre los materiales, y por lo tanto la búsqueda del mejor método para caracterizar las argamasas puede ser costosa y a veces demorada. Los resultados de esta investigación pueden impactar en esta búsqueda ahorrando recursos y tiempo, ya que tiene un alcance global y abarca una amplia franja temporal.

PALABRAS CLAVE: Restauración. Morteros históricos. Determinación de la proporción ligante árido

1. INTRODUÇÃO

Resistentes ao tempo e às mudanças culturais as edificações históricas necessitam de constantes intervenções e reparos. De acordo com Loureiro (2020c) as argamassas de reboco por sofrerem maior exposição às intempéries e impactos mecânicos correspondem a parte da estrutura com maior urgência desses reparos. Affonso e Azambuja (2024) chama atenção para a importância da argamassa de revestimento no funcionamento geral das edificações e do alto consumo deste material em construções tradicionalmente encontradas no Brasil. Xu (2018) cita que essas argamassas, basicamente, são constituídas de uma mistura entre materiais inertes e aqueles com propriedades cimentícias como a cal que, por sua vez, tem sido utilizada a milhares de anos. No entanto, Borsoi (2019) chama atenção para a não padronização desses compostos, afirmando que a composição das argamassas pode variar de acordo com a sua função.

Com a melhoria dos requisitos de habitação humana, os requisitos de desempenho da argamassa aumentaram inevitavelmente, portanto, as pessoas inventaram argamassas compostas orgânico-inorgânicas com diferentes funções e propriedades. (Lou, 2023, p.1, tradução própria)

Apesar da tamanha heterogeneidade na composição das argamassas, Silva *et al.* (2024) cita que a argamassa de restauro é imprescindível na conservação do patrimônio histórico, pois é formulada para atender às necessidades específicas de compatibilidade estética e funcional entre o material antigo e o novo. Segundo Loureiro (2020b) a utilização do cimento Portland, por exemplo, pode gerar trincas, manchas e até eflorescência. Pachego-Torgal (2012) e Barbero-Barrera *et al.* (2014) ressaltam que tais efeitos ocorrem porque o cimento Portland apresenta baixa permeabilidade, alto módulo de elasticidade e a presença de sais o que evidencia características incompatíveis com argamassas à base de cal. Outro ponto importante diz respeito ao aspecto cultural e histórico das cidades que precisam ser conservados para as futuras gerações, não admitindo dessa forma qualquer adição que descaracterize a edificação.

Visando tal compatibilidade, a restauração de estruturas históricas exige uma abordagem científica e multidisciplinar que comporte tanto o aspecto estrutural como o histórico. Yildizlar (2020) resalta que para uma restauração segura e correta do ponto de vista técnico, deverão ser determinadas as características dos materiais utilizados nas obras de restauro, bem como a sua compatibilidade com os materiais existentes e os efeitos a longo prazo.

Nas obras de restauro deverão ser projetadas e aplicadas argamassas e rebocos compatíveis com os utilizados na construção original, o que exige bons conhecimentos não só da natureza do ligante e dos agregados, mas também da formulação e microestrutura da argamassa. (Yildizlar, 2020, p. 3, tradução própria)

Face ao exposto, Quian (2022) friza a necessidade de uma análise que determine a composição dos materiais da edificação histórica como medida inicial para uma restauração ou habilitação, uma vez que estes materiais têm grandes impactos nas características mecânicas e físicas de edifícios.

O presente trabalho tem por objetivo realizar um levantamento de alcance global a respeito dos métodos utilizados para caracterizar a proporção em massa das argamassas de

edificações históricas, bem como os tipos de análises necessárias para esse fim. Tal estudo pode ser capaz de trazer à luz a evolução dessas metodologias no decorrer dos anos o que contribuirá na identificação de possíveis lacunas num processo cada vez mais essencial frente a uma contemporaneidade que visa preservar o passado.

2. METODOLOGIA

A revisão sistemática da literatura é uma maneira organizada e reprodutível para identificar, avaliar e resumir o corpo de conhecimento produzido sobre um determinado assunto (Fink, 2019). O seguinte trabalho seguiu a metodologia de uma revisão sistemática PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalysis (Liberati et al, 2009). As bases foram selecionadas com intuito de abranger publicações tanto de áreas específicas como do geral.

Para atender essa generalização foram escolhidas a Scopus que de acordo com a Elsevier possui um acervo abrangendo mais de 240 disciplinas e a Science Direct que segundo própria base possui mais de 1 milhão de artigos para acesso aberto. Já para atender uma gama de publicações mais voltadas para área da Engenharia, arquitetura e construção foi escolhida a Engineering village.

Na definição das strings de busca é empregada a estratégia PICO, que objetiva retirar da formulação das questões da pesquisa elementos essenciais: População (P), Interesse (I) e Contexto (Co). O Quadro 1 mostra os elementos do PICO. As strings de busca foram: "architecture OR construction AND heritage OR "historic masonry" OR "historic mortars" AND "characterization AND mortars", sendo adaptadas de acordo com cada base de dado utilizada. Entre as palavras do mesmo segmento ou sinônimos foi usado o boleano OR, entre as de segmentos diferentes o boleano AND e selecionadas as opções "no título" e "no resumo", para encontrar os trabalhos.

Quadro 1- Elementos do PICO do estudo

Critérios	Descrição
População	Arquitetura, Construção, Reabilitação, Reforma
Interesse	Construções históricas, Conservações históricas, Argamassas históricas, Alvenaria histórica
Contexto	Caracterização, Caracterização e análise de argamassas, Caracterização e análise de argamassas históricas, microscopia de argamassas históricas

Fonte: Os autores

As palavras escolhidas tinham objetivo de convergir a pesquisa para trabalhos que apresentassem metodologias capazes de reconstruir a proporção do traço de argamassas que compusessem estruturas de edificações antigas para tanto foi montado o Quadro 1 com as questões cuja pesquisa visa responder.

Quadro 2: Questões da pesquisa

Referência	Questões	Motivação
Q 1	Quais metodologias usadas para caracterização?	A identificação dos métodos usados leva ao conhecimento dos mais precisos na obtenção das análises.
Q 2	Quais tipos de traço eram encontrados?	Ter ciência da existência de proporções comuns nesses traços de argamassas históricas.
Q 3	Há diferenças quanto ao método no decorrer dos anos?	Identificar se no decorrer dos anos houve inclusão ou retirada de alguma técnica relevante.

Fonte: Os autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 FILTROS DA BASE DE DADOS

Nas próprias bases de dados os seguintes filtros foram estabelecidos, nesta ordem: limitação de áreas Engineering, Materials Science, Earth and planetary Science, Environmental Science, Computer Science, Physical, Chemical, Energy, Chemical engineering, Multidisciplinary; limitação à língua inglesa, espanhola, portuguesa e italiana; limitação aos documentos tipo artigos e artigos de conferência. Após esses filtros oferecidos pelas plataformas os quantitativos se limitaram a 557 artigos na scopus, 712 na engineering village e 507 na Science direct. A Tabela 1 mostra o quantitativo de artigos encontrados em cada base de dados.

Tabela 1: Resultado da pesquisa nas bases de dados

Base de dados	Resultados da busca
Scopus	685
Engeneering village	768
Web of science	625

Fonte: Os autores

3.2 FILTROS PESSOAIS

Um total de 2.078 artigos restaram quando unificados os quantitativos das bases de pesquisa. Prosseguindo então para filtros pessoais de cunho mais analítico como remoção de títulos repetidos; remoção de DOI repetidos; exclusão por título, retirando os trabalhos que não utilizavam, para fazer menção às argamassas, palavras como: Restoration, Chemometric, Investigation, Analysis, Characterization, Assessment, Detection, Estimation; sobrando 122 artigos para leitura do resumo.

Quanto aos critérios de exclusão por resumos, procurou-se excluir os trabalhos que não propunham nenhum tipo de análise de argamassas no sentido de apresentar sua constituição química, mineralógica ou microscópica, sendo excluídos aqueles que não apresentavam como resultado a proporção das misturas. Sobrando ao final dessa etapa 47 artigos para leitura e análise completa. O Quadro 3 mostra os critérios utilizados para escolha dos títulos e artigos de trabalhos selecionados representados pela combinação das palavras mortor ou historical mortor com as palavras-chave. Enquanto a Figura 1 traz um fluxograma dos quantitativos obtidos a cada fase de seleção.

Quadro 3: Critério para inclusão - combinações necessárias para escolha

Palavra principal	Combinação para Título	Palavra principal	Combinação para Resumo
Mortar Or Historical mortar	Restoration	Mortar Or Historical mortars	Compositions
	Chemometric		Granulometric distributions
	Investigation		Binder/aggregate ratios
	Analysis		Mineralogical characterization
	Characterization		Chemical characterization
	Assessment		Original composition
	Detection		
	Estimation		

Fonte: Os autores

Figura 1: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Os autores

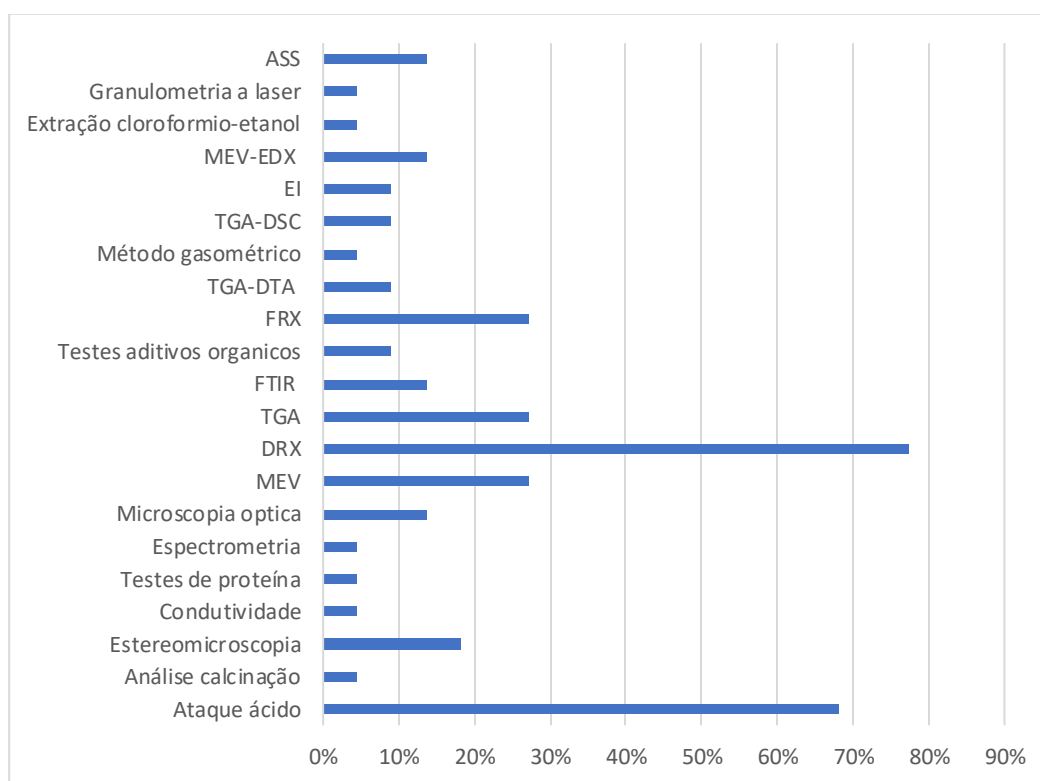
3.3 DISCUSSÕES

Uma vez concluído o refino das pesquisas selecionadas por meio do método PRISMA pôde-se olhar de forma mais analítica para os estudos e constatar um grande número de técnicas

físicas e químicas que podem ser aplicadas na caracterização de argamassas antigas (Santos Silva, 2010). No entanto, o presente artigo se retém a identificar apenas as técnicas que visam a obtenção da proporção em traço da argamassa. A Figura 2 exhibe os métodos encontrados nos trabalhos selecionados, bem como o percentual em que apareceram na RSL.

Em destaque é possível verificar a Difração de raios-X (DRX) e o método de via úmida em Ataque ácido, ambos foram utilizados em 78% e 69% dos trabalhos analisados, respectivamente. A utilização do DRX é recorrente por alguns fatores, como o fato de ser um ensaio não destrutivo, a precisão dos resultados, podendo rapidamente identificar as fases mineralógicas, o que por exemplo caracterizaria o ligante de uma argamassa. Por sua vez, o ataque ácido é um método destrutivo, que se baseia em um simples conceito químico: a solubilidade. A fração solúvel é considerada o ligante, enquanto a insolúvel, o agregado, e por diferença de massa, pode-se obter a reconstrução do traço. A Fluorescência de raios-X (FRX), Termogravimetria (TGA) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV) também foram encontrados em boa parte das pesquisas analisadas.

Figura 2 – Utilização dos métodos de análise nos estudos selecionados.



Fonte: Os autores

O uso dos métodos, assim como (em alguns casos) a combinação desses, geram resultados que são expostos através das análises de diferentes naturezas. Entretanto, é importante pontuar a necessidade de se ter clareza quanto ao objetivo que cada método poderá atingir, antes mesmo de fazer uso dele. Dessa forma, com base nos dados obtidos pelos artigos

selecionados o Quadro 4 se encarrega de relacionar esses métodos, isolados ou combinados, aos seus respectivos objetivos.

Quadro 4 - Métodos de análises e seus respectivos objetivos.

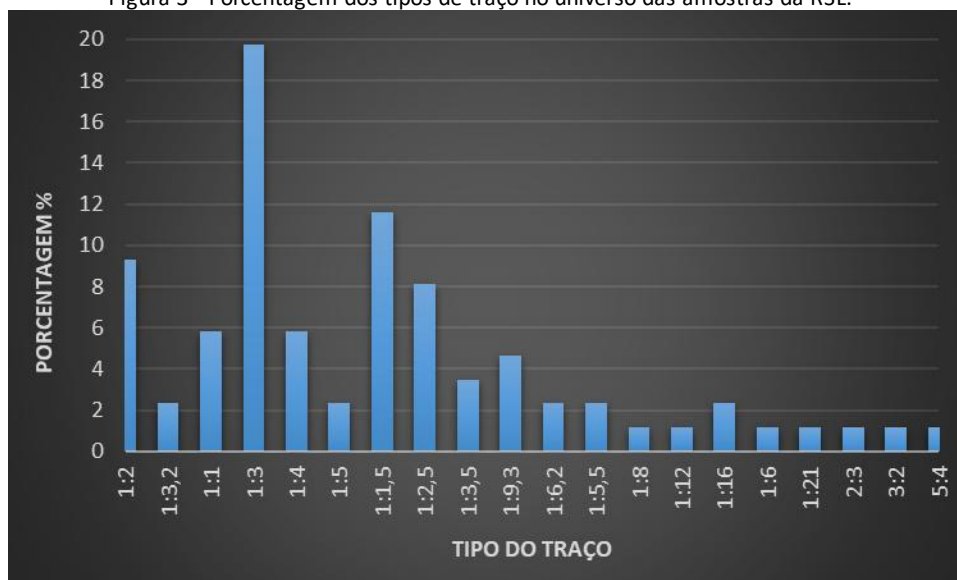
Métodos	Objetivo
Ataque ácido	Determinar as proporções de agregados que não reagem ao ligante
Análise de calcinação	Verificar a atividade pozolânica da argamassa de reboco
Estereomicroscopia	Caracterizar os agregados
Condutividade	Determinar as porções de sais solúveis em água.
Testes de proteína	Identificar eventuais aditivos orgânicos
Espectrometria	Analisar os componentes solúveis (ligantes).
Microscopia óptica	Obter parâmetros petrográficos: agregado/ligante, tamanho do agregado
Microscopia eletrônica de varredura MEV	Analisar a composição química, detalhando a microestrutura com imagens claras.
Difração de raios-X DRX	Identificar as fases minerais, mesmo que a concentração seja baixa.
Termogravimetria TGA	Mostrar a variação da massa em função do tempo. Permite analisar a composição química.
Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier FTIR	Caracterizar quimicamente a amostra.
Testes de aditivos orgânicos: Iodeto de potássio para amido; teste de proteína; teste de reagente Benedict para açúcares	Detectar a presença de componentes orgânicos.
Fluorescência de raios-X FRX	Detectar a composição elementar
Termogravimetria com análise termogravimétrica diferencial TGA-DTA	Analisar perda de massa em função da temperatura identificando as taxas de variação.
Método gasométrico	Estimar a fração em peso do ligante.
Termogravimetria com calorimetria exploratória TGA-DSC	Analisar a perda de massa em função da energia de entalpia.
Microscopia eletrônica de varredura por energia dispersiva de raios-x MEV-EDX	Corroborar os resultados de análises anteriores pois é capaz de identificar os elementos da amostra por meio de energia dispersiva de raios-x.
Tratamento de extração com clorofórmio-etanol	Detectar componentes orgânicos.
Granulometria a laser	Não especificado
Espetroscopia de absorção atômica ASS	Permite quantificar o óxido ligante através do índice de cimentação (IC). À medida que o caráter hidráulico conferido por esses óxidos aumenta, o IC cresce.

Fonte: Os autores

No que diz respeito aos traços, cada artigo analisado acaba propondo mais de uma proporção em massa, pois em que cada amostra é encontrado um resultado que a difere da outra. Dessa forma, a Figura 6 apresenta o tipo de traço encontrado e sua frequência no universo das amostras dos trabalhos selecionados.

Os resultados apontam para uma grande variedade de traços. Contudo, pode-se observar que o traço 1:3 é aquele que possui maior frequência, aparecendo em quase 20% das amostras, mostrando que esta proporção foi comumente utilizada na formulação de argamassas no decorrer da história. Outros traços também aparecem com percentuais elevados 1:1,5 com 2,3%; 1:2,5 com 8,14%; 1:2 com 9,3%; 1:1 com 5,8% e 1:4 com 5%.

Figura 3 - Porcentagem dos tipos de traço no universo das amostras da RSL.



Fonte: Os autores.

A Tabela 2 apresenta os artigos selecionados após o refino do método PRISMA, bem como características importantes de cada trabalho como ano, país e método escolhido para análise das amostras em cada estudo.

Nr.	Autores/ Referencias	Ano	País	Método utilizado
1	Luxán, M.P.; Dorrego, F.; Laborde, A.	1995	Espanha	TGA ¹
2	Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Bisbikou, K.	1995	Grécia	TGA-DTA ² ; DRX ³

¹ Análise Termogravimétrica

² Análise Termogravimétrica e termo diferencial

³ Difração de Raios-X

3	Moropoulou A.; Bakolas A.; Bisbikou K.	2000	Grécia	MEV-EDX ⁴ ; DRX ³ ; Microscopia óptica; TGA ¹ ; FTIR ⁵
4	Callebaut, K. <i>et al.</i>	2001	Belgica	DRX ³ ; MEV-EDX ⁴ ; Microscopia petrográfica
5	De Luxán M.P.; Dorrego F.	2004	Espanha	Ataque ácido; Peneiramento
6	Rampazzi, L. <i>et al.</i>	2006	Itália	Ataque ácido; Microscopia optica; Peneiramento
7	Stefanidou M.A.; Papayianni I.	2007	Grécia	Não especificado
8	Gleize, P.J.P.; Motta, E.V.; Silva, D.A. <i>et al.</i>	2009	Brasil	FTIR ⁵ ; ASS ⁶ ; DRX ³ ; TGA ¹ ; Ataque ácido
9	Mertens, G. <i>et al.</i>	2009	Bélgica	Microscopia de fluorescência; Ataque ácido
10	Cizer, Ö.; Schueremans, L.; Serre, G.;	2010	Bélgica	DRX ³ ; TGA ¹ ; Ataque ácido
11	Sanjurjo-Sánchez, <i>et al.</i>	2010	Espanha	DRX ³ ; AAN ⁷
12	Schueremans, L.; <i>et al.</i>	2011	Bélgica	MEV; FRX ⁸ ; Ataque ácido;
13	Kramar, S.; <i>et al.</i>	2011	Eslovênia	Microscopia optica; DRX ³ ;FTIR ⁵ ; MEV-EDS ⁹ ;
14	Bartz, W.; Rogó, J.; Rogal, R.;	2012	Polônia	Microscopia optica; MEV; Ataque ácido; ASS ⁶ ; DRX ³ ; Peneiramento; EI ¹⁰ ; TGA – DTA ²
15	Sagin, E. U.; <i>et al.</i>	2012	Turquia	DRX ³ ; FTIR ⁵ ; MEV-EDS ⁹ ; LIBS ¹¹
16	Pineda, P.; Robador, M.D.; Perez-Rodriguez, J.L.	2013	Espanha	MEV; DRX ² ;FTIR ⁴ ; MEV-EDX ⁴ ; TGA – DTA ²
17	Martínez, I.; <i>et al.</i>	2013	Espanha	Porosimetria de intrusão de mercúrio; DRX ³ ; MEV-EDX ⁴
18	Carasek, H.; Japiassú, P.; Cascudo, O.;	2014	Portugal	DRX ³ ; TGA-DTA ² ; Microscopia optica; MEV; Ataque ácido; Análise ASS ⁸ ;

⁴ Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva

⁵ Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

⁶ Espectrometria de Absorção Atômica

⁷ Análise de ativação de neutrons

⁸ Fluorescência de Raios-X

⁹ Espectroscopia de Energia Dispersiva

¹⁰ Espectroscopia de infravermelho

¹¹ Espectroscopia de ruptura induzida por laser

19	Meng, C. L.; <i>et al.</i>	2015	China	DRX ³ ; MEV-EDS ⁹
20	Liu, X.; Ma, X.; Zhang, B.	2016	China	DRX ³ ; TGA-DSC ¹² ; Método gasométrico; Ataque ácido
21	Leone, G.; <i>et al.</i>	2016	Itália	FRX ⁸ ; microscopia petrográfica; TGA – DTA ²
22	Lopez-Arcea; P.; <i>et al.</i>	2016	França	MEV-EDS ⁹ ; DRX ³ ; Cromatografia iônica
23	Ulukaya S.; Yoruç A.B.H.; Yüzer N.; <i>et al.</i>	2017	Turquia	DRX ³ ; TGA ¹ ; FTIR ⁵ ; FRX ⁸ ; Ataque ácido
24	Laycock, E. A.; Pirrie, D.; Clegg, F.; <i>et al.</i>	2019	Reino Unido	Ataque ácido; peneiramento; FRX ⁸ ; DRX ² ; FTIR ⁴
25	Borsoi, G.; Santos Silva, A. Menezes, P.; <i>et al.</i>	2019	Portugal	DRX ² ; TGA-DTA ² ; Ataque ácido; MEV;
26	Guerra, F.; Lopes, W; Cazarolli, J. C.	2019	Brasil	DRX ² ; FRX ⁸ ; TGA ¹ ; Ataque ácido
27	Durán-Suárez J.A.; Sáez-Pérez M.P.	2019	Etiopia	DRX ² ; FRX ⁵ ; Microscopia optica; MEV
28	Ipekci, E.; Sagin, E. U.; Böke, H.	2019	Turquia	DRX ² ; FRX ⁵ ; MEV-EDS ⁹ ; TGA – DTA ⁶
29	Yildizlar B.; Sayin B.; Akçay C.	2020	Turquia	Ataque ácido; Peneiramento; Análise de calcinação; Microscopia optica; condutividade; Testes de proteína
30	Vidovszky, I.; Pintér, F.	2020	Hungria	Microscopia optica e MEV
31	Loureiro, A. M. S.; Paz, S. P. A.; Veiga, M. R.; <i>et al.</i>	2020	Brasil	DRX ³ ; DSC ¹³
32	Loureiro, A. M. S.; Da Paz, S. P. A.; Do Rosário, V.M.;	2020	Brasil	Ataque ácido; peneiramento; microscopia petrográfica; DRX ³ ; TGA-DSC ¹² ; MEV-EDX ⁴ ; FRX ⁸
33	Loureiro, A. M. S.; Paz, S. P. A.; Angélica, R. S.	2020	Brasil	Ataque ácido; DRX ³ ; FRX ⁵ ; DRX ³ -DSC ¹³ ;
34	Sena da Fonseca, B; Ferreira Pinto, A.P.; Vaz Silva, D.	2020	Portugal	DRX ³ ; Ataque ácido
35	Parracha J.L.; <i>et al.</i>	2020	Portugal	TGA – DTA ² ; Microscopia optica; DRX ³ ; FRX ⁸ ; Ataque ácido
36	Santhanam, K. ; <i>et al.</i>	2021	Índia	DRX ³ ; FRX ⁸ ; MEV; FTIR ⁵ ; Ataque ácido

¹² Termogravimetria combinada a calorimetria diferencial de varrimento

¹³ Calorimetria diferencial de varrimento

37	Asaad Al-Omari, Suhail Khattab	2021	Iraque	DRX ³ ; Cromatologia Ionica; MEV
38	Qian, K.; Song, Y.; Lai, J.; <i>et al.</i>	2022	China	FTIR ⁵ ; DRX ³ ; MEV-EDX ⁴ ; Ataque ácido
39	Santhanam, K.; Ramados, R.	2022	Índia	DRX ³ ; FRX ⁸ , MEV-EDX ⁴ , TGA – DTA ²
40	Gomes de Oliveira; <i>et al.</i>	2022	Brasil	Ataque ácido; TGA – DTA ² ; DRX ³
41	Mechling, Jean-Michel; Baquet, M..	2022	França	FRX ⁸ ; DRX ³ ; TGA – DTA ²
42	Paloma Pineda, <i>et al.</i>	2022	Espanha	DRX ² ; FRX ⁸ ; TGA-DSC ¹²
43	Luo L.; <i>et al.</i>	2023	Mianmar	Microscopia optica ; MEV; DRX ³ ; TGA ¹ ; FTIR ⁵ ; Testes para aditivos orgânicos
44	Tirelli, Giulia; <i>et al.</i>	2023	Itália	Microscopia optica
45	Maljaee H.; Silva A.S.; Velosa A.	2023	Portugal	DRX ³ ; FRX ⁵ ; Análise petrografica;
46	Calandra S.; <i>et al.</i>	2023	Itália	Video câmera; DRX ³ ; MEV
47	Talib, Hussnain; <i>et al.</i>	2023	Paquistão	Ataque ácido; DRX ² ; FRX ⁵ ; TGA – DTA ²

4. CONCLUSÕES

A análise dos artigos permite enxergar que os métodos utilizados para caracterização das argamassas históricas são diversificados e, quando combinados, possuem potencial para determinar mais informações do que apenas as proporções em massa que o presente artigo considera. Dessa forma, é possível tomar algumas conclusões a respeito dos métodos:

a) A eficiência dos métodos é comprovada pela constante utilização em trabalhos no decorrer dos anos. Tal constância gera familiaridade com os procedimentos e dessa forma maior confiança no sentido de que os objetivos serão atingidos;

b) O DRX e ataque ácido são metodologias que se enquadram nessa confiabilidade. No que diz respeito aos possíveis resultados, ambos são capazes de evidenciar a microestrutura da argamassa e propor suas proporções em traço, assim como sua composição básica de modo a diferenciar as pastas a base de cal e cimento;

c) Ponto importante a considerar é a necessidade de identificação de possíveis aditivos orgânicos, uma vez que no decorrer da história inúmeros povos adicionaram outros componentes na mistura no intuito de obter diferentes funções. Dessa forma se faz necessários alguns dos testes de aditivos orgânicos ou tratamento de extração com clorofórmio-etano e até uma EI;

Em relação as análises ficam evidente a importância da realização da análise química e mineralógica para que seja elucidado tanto os componentes minerais, como a própria composição base da mistura, evitando dessa forma uma incompatibilização no momento do restauro o que poderia trazer prejuízos estruturais e culturais à edificação.

As conclusões apresentadas por este artigo visam o preenchimento de lacunas a respeito dos métodos mais eficientes para caracterização do traço de argamassas antigas. Trazendo à luz os métodos mais eficientes, bem como suas principais funcionalidades no processo de reconstrução da mistura. Outro importante ponto esclarecido por esta revisão sistemática diz respeito às análises necessárias para que haja uma caracterização segura e clara, evitando desperdícios de processos ou até mesmo erros de escolha.

Propõem-se para trabalhos futuros uma investigação da precisão dos resultados de cada método e análise empregada. O que pode ser feito comparando os traços reconstituídos através amostras extraídas de edificações antigas com àquelas determinadas em laboratório. De posse das proporções dos dois grupos de argamassas pode-se realizar uma análise de variância (ANOVA) com intuito de determinar se existem diferenças relevantes entre os resultados.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, S. B. A.; AZAMBUJA, M. D. A. Avaliação tecnológica de argamassa de revestimento produzida com vermiculita expandida. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 12, n. 87, 2024.
- BARBERO-BARRERA, M. M.; *et al.* Lime render layers: An overview of their Properties. **Journal of Cultural Heritage**. v. 15, p. 326-330, 2014.
- BARTZ, W.; *et al.* Characterization of historical lime plasters by combined non-destructive and destructive tests: the case of the sgraffito in božnów. **Construction And Building Materials**, v. 30, p. 439-446, 2012.
- BORSOI, G. *et al.* Analytical characterization of ancient mortars from the archaeological roman site of Pisões (Beja, Portugal). **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 597-608, 2019.
- CALANDRA, S. *et al.* Mortar Characterization of Historical Masonry Damaged by Riverbank Failure: The Case of Lungarno Torrigiani (Florence). **Heritage**, v. 6, n. 5, p. 3820-3834, 2023.
- CALLEBAUT, K. *et al.* Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement?. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 3, p. 397-403, 2001.
- CARASEK, H.; *et al.* Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction And Building Materials**, v. 59, p. 85-98, 2014.
- CIZER, Ö.; *et al.* Assessment of the Compatibility of Repair Mortars in Restoration Projects. **Advanced Materials Research**, v. 133-134, p. 1071-1076, 2010.
- DA FONSECA, B. S.; PINTO, AP F.; SILVA, D. V.. Compositional and textural characterization of historical bedding mortars from rubble stone masonries: Contribution for the design of compatible repair mortars. **Construction and Building Materials**, v. 247, p. 118627, 2020.
- DE LUXAN, M. P.; DORREGO, F. Characterization and selection of mortars in the restoration of the kings portal (Benavente, Zamora). **Materiales de Construcción**, v. 54, n. 273, p. 35-44, 2004.
- DE OLIVEIRA, L. M. G. *et al.* Investigation of the mortars and clay bricks of a luso-brazilian historic structure from XVIII century: The Nosso Senhor do Bonfim Church. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103592, 2022.

DURÁN-SUÁREZ, J. A.; SÁEZ-PÉREZ, M. P. Characterization of classical construction materials used in ethiopian architecture for the restoration of their historic and artistic heritage. **International Journal of Architectural Heritage**, 2019.

FINK, A. **Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper**. Los Angeles: Sage, 2019.

G. BORSOI, *et al.* Analytical characterization of ancient mortars from the archaeological roman site of Pisões (Beja, Portugal). **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 597-608, 2019.

GLEIZE, P.J.P.; *et al.* Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil). **Cement And Concrete Composites**, v. 31, p. 342-346, 2009.

GUERRA, F. L. *et al.* Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community. **Building and Environment**, v. 155, p. 195-209, 2019.

ILVA, A.S.; ADRIANO, P.; MAGALHÃES, A. Characterization of historical mortars from Alentejo's religious buildings. **International Journal of Architectural Heritage**. v. 4, p. 138-154, 2010.

IPEKCI, E.; SAĞIN, E. U.; BÖKE, H.. Interior plastering of Ottoman bath buildings. **Case Studies in Construction Materials**, v. 11, p. e00295, 2019.

KRAMAR, S. *et al.* Mineralogical and microstructural studies of mortars from the bath complex of the Roman villa rustica near Mošnje (Slovenia). **Materials Characterization**, v. 62, n. 11, p. 1042-1057, 2011.

LAYCOCK, *et al.* An investigation to establish the source of the Roman lime mortars used in Wallsend, UK. **Construction And Building Materials**. v. 196, p. 611-625, 2019.

LEONE, G. *et al.* Characterization of archaeological mortars from Herculaneum. **Thermochimica Acta**, v. 624, p. 86-94, 2016.

LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, 2009.

LIU, X.; MA, X.; Z, B. Analytical Investigations of Traditional Masonry Mortars from Ancient City Walls Built during Ming and Qing Dynasties in China. **International Journal Of Architectural Heritage**, v. 10, p. 663-673, 2015.

LÓPEZ-ARCE, P. *et al.* Physico-chemical stone-mortar compatibility of commercial stone-repair mortars of historic buildings from Paris. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 424-441, 2016.

LOU, L.; *et al.* A thorough detection of the mortar materials for Buddhist buildings in Bagan, Myanmar. **European Physical Journal Plus**. v. 138, 2023.

LOUREIRO, A. M. S.; *et al.* Assessment of compatibility between historic mortars and lime-metakaolin restoration mortars made from amazon industrial waste. **Applied Clay Science**, v. 198, p. 105843, 2020a.

LOUREIRO, A. M. S.; *et al.* Investigation of historical mortars from Belém do Pará, Northern Brazil. **Construction And Building Materials**, v. 233, p. 117284, 2020b.

LOUREIRO, A. M. S.; PAZ, S. P. A.; ANGÉLICA, R. S. How to estimate the binder:aggregate ratio from lime-based historic mortars for restoration?. **Frontiers in Materials**, v. 7, 2020c.

LUXÁN, M.P.; DORREGO, F.; LABORDE, A. Ancient gypsum mortars from St. Engracia (Zaragoza, Spain): characterization. identification of additives and treatments. **Cement And Concrete Research**, v. 25, p. 1755-1765, 1995.

MALJAE, H.; SILVA, A. S.; VELOSA, A.. Characterization of mortar from Casa Barbot (Portugal), a case study from the beginning of the 20th century. **Buildings**, v. 13, n. 1, p. 232, 2023.

MARTÍNEZ, I. *et al.* Physico-chemical material characterization of historic unreinforced masonry buildings: The first step for a suitable intervention. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 352-360, 2013.

MECHLING, Jean-Michel; BAQUET, M.. Physicochemical characterisation of the mortars from Notre-Dame de Paris cathedral—Preliminary findings and reconstitution of the fresh mix. **Journal of Cultural Heritage**, v. 65, p. 57-67, 2024.

MENG, C. L. *et al.* Chemical and microscopic study of masonry mortar in ancient pagodas in East China. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 9, n. 8, p. 942-948, 2015.

MERTENS, G. *et al.* Quantitative composition of ancient mortars from the Notre Dame Cathedral in Tournai (Belgium). **Materials characterization**, v. 60, n. 7, p. 580-585, 2009.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K.. Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques. **Thermochimica Acta**, v. 269-270, p. 779-795, 1995.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K.. Investigation of the technology of historic mortars. **Journal of Cultural Heritage**, v. 1, n. 1, p. 45-58, 2000.

PACHECO-TORGAL, F.P.; FARIA, J.; JALALI, S. Some considerations about the use of lime–cement mortars for building conservation purposes in Portugal: A reprehensible option or a lesser evil?. **Construction and Building Materials**. v. 30, p. 488-494, 2012.

PARRACHA, João Luís *et al.* Mineralogical and microstructural characterisation of rammed earth and earthen mortars from 12th century Paderne Castle. **Journal of Cultural Heritage**, v. 42, p. 226-239, 2020.

PINEDA, P. *et al.* Pore structure and interdisciplinary analyses in Roman mortars: Building techniques and durability factors identification. **Construction and Building Materials**, v. 317, p. 125821, 2022.

PINEDA, P.; ROBADOR, M. D.; PEREZ-RODRIGUEZ, J. L. Characterization and repair measures of the medieval building materials of a Hispanic–Islamic construction. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 612-633, 2013.

QIAN, K.; *et al.* Characterization of historical mortar from ancient city walls of Xindeng in Fuyang, China. **Construction And Building Materials**, v. 315, p. 125780, 2022.

RAMPAZZI, L.; POZZI, A.; Sansonetti, A.; Toniolo, L.; Giussani, B.. A chemometric approach to the characterisation of historical mortars. **Cement and Concrete Research**. v. 36, p. 1108-1114, 2006.

SAGIN, E. U. *et al.* Determination of CaCO₃ and SiO₂ content in the binders of historic lime mortars. **Materials and Structures**, v. 45, p. 841-849, 2012.

SANJURJO-SÁNCHEZ, J. *et al.* Chemical and mineralogical characterization of historic mortars from the Santa Eulalia de Bóveda temple, NW Spain. **Journal of Archaeological Science**, v. 37, n. 9, p. 2346-2351, 2010.

SANTHANAM, K.; *et al.* Characterisation on ancient mortar of Chettinadu house at Kanadukathan, Karaikudi, Tamil Nadu, India. **Materials Today: Proceedings**, v. 43, p. 1147-1153, 2021.

SCHUEREMANS, L. *et al.* Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: Research and practice. **Construction and building materials**, v. 25, n. 12, p. 4338-4350, 2011.

ScienceDirect: A plataforma de literatura acadêmica revisada por pares da Elsevier. **Elsevier**, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/products/sciencedirect>. Acesso em: 17 nov. 2023.

Scopus Conteúdo. **Elsevier**, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/products/scopus/content>. Acesso em: 17 nov. 2023.

SILVA, J. K. S. DA; *et al.* Argamassas de Restauro: Uma revisão dos desafios e inovações na preservação do patrimônio construído. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 12, n. 87, 2024.

STEFANIDOU, M.A.; PAPAYIANNI, I. Analysis of the old mortars and proposals for the conservation of the archeological site of Logos-Edessa. In: 10th International Conference on Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture. **STREMAH 2007**. República Checa, 2007. Disponível em: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/STR07/STR07024FU1.pdf> Acesso em: 30 Out. 2023.

TALIB, H. *et al.* Scanning through multidisciplinary techniques and recreation of historic mortar: Case study of Rohtas Fort. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e02052, 2023.

TIRELLI, G.; et *al.* A Chronology of Ancient Earthquake Damage in the Modena Cathedral (Italy): integrated dating of mortars (14c, pollen record) and bricks. **International Journal Of Architectural Heritage**. v. 17, p. 326-342, 2021.

ULUKAYA, S. Material Characterization of Byzantine Period Brick Masonry Walls Revealed in Istanbul (Turkey). **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, v. 61, p. 209–215, 2017.

VIDOVSKY, I.; PINTÉR, F. An Investigation of the Application and Material Characteristics of Early 20th-Century Portland Cement-Based Structures from the Historical Campus of the Budapest University of Technology and Economics. **International Journal Of Architectural Heritage**, v. 14, p. 358-375, 2018.

XU, L., **Study on the comprehensive analysis method of traditional mortar materials-taking the hall of mental cultivation of the palace museum as na example**. Tese de Doutorado. Master Dissertation Zhejiang University 2018

YILDIZLAR, B.; SAYIN, B.; AKCAY, C. A Case Study on the Restoration of A Historical Masonry Building Based on Field Studies and Laboratory Analyses. **International Journal of Architectural Heritage**. v. 14, p. 1341-1359, 2020.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

O autor Micael Justino foi o responsável pela idéia central do estudo, por isso é considerado o autor principal, e auxiliado pela professora Dra Yeda Póvoas decidiu os objetivos e a metodologia que usaria. Após as escolhas das bases de dados o autor principal contou com auxílio do Raphael Britto para criação dos filtros de base. Os dois autores também desenvolveram filtros mais específicos para que se chegassem aos artigos selecionados ao final do estudo.

De posse dos artigos o autor Micael Justino iniciou a leitura total dos trabalhos, pontuando as características mais importantes. O autor Raphael Britto foi responsável por organizar esses dados em tabelas e graficos. Cada elemento gráfico passou pela análise da Professora Dra Yeda Póvoas. Que por sua vez analisou meticulosamente as etapas da metodologia.

A primeira versão do manuscrito foi feita pelo autor Micael Justino, a edição grafica pelo autor Raphael Britto e as devidas correções e adaptações pela professora Dra Yeda Póvoas, sendo responsável pela revisão crítica do trabalho.

Por fim, coube a professora Dra Yeda Póvoas a supervisão da pesquisa coordenando o trabalho e garantindo a qualidade geral do estudo.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Micael Justino, Yeda Póvoas e Raphael Britto, declaramos que o manuscrito intitulado **“Metodologias para reconstrução do traço de argamassas de edificações antigas uma revisão sistemática da literatura”**:

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui/possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. (Detalhe aqui, se aplicável: "Este trabalho foi financiado por [Nome da Instituição ou Entidade]"; ou "Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo").
 2. **Relações Profissionais:** Não possui/possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. (Detalhe aqui, se aplicável: "Eu/Nós mantemos vínculo empregatício com [Nome da Instituição]"; ou "Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida").
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui/possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito que poderia influenciar a objetividade do estudo.
-