

Metodologias disponíveis para cálculo do traço das argamassas históricas

Available methodologies for calculating the trace of historical mortars

Rosana Elisa Coppedê Silva
Bolsista PCI, Eng^a. Geóloga, D.Sc.

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Supervisor, Eng^o. Químico, D.Sc.

Resumo

A caracterização de argamassas históricas é importante para auxiliar na escolha de materiais iguais ou substitutos com as mesmas características originais. Por tratar-se de uma mistura de agregados e aglutinantes, muito semelhante a uma rocha sedimentar, as transformações dos minerais ao longo do tempo auxiliam no entendimento das deformações estruturais da edificação. O local estudado é pitoresco, e localiza-se na Ilha da Boa Viagem, entrada da Baía de Guanabara, na cidade de Niterói. Os objetivos foram a caracterização das argamassas e identificação de outras técnicas que podem ser usadas para a determinação do traço. A equipe do CETEM coletou dez amostras, e o trabalho foi executado com a solicitação formal da empresa responsável pelo projeto de restauração. Os materiais foram submetidos aos ensaios de petrografia macroscópica, análise química por fluorescência de raios x, análise mineralógica por difração de raios x e determinação do traço. Na petrografia pode-se observar que as argamassas possuem agregados de areia grossa a média, e algumas possuem feldspatos (alterados ou não), mica, opacos. A análise química indica a presença majoritária de sílica e cálcio em todas as amostras. As argamassas podem ser divididas em 3 grupos: alto teor de sílica, alto teor de cálcio e teores similares de cálcio e sílica. Esses fatores refletem os resultados do traço, onde se observaram em alguns casos, altos teores de areia, altos teores de cal e em alguns casos, teores similares.

Palavras chave: restauração, argamassa histórica, traço.

Abstract

The characterization of historic mortars is important to assist in choosing the same or substitute materials with the same original characteristics. Because it is a mixture of aggregates and binders, very similar to a sedimentary rock, the transformations of minerals over time helps in understanding the structural deformations of the building. The study site is picturesque, and is located on Boa Viagem Island, at the entrance of Guanabara Bay, in the city of Niterói. The objectives were the characterization of mortars and the identification of other techniques that can be used to determine the trait. The CETEM team collected ten samples, and the work was performed at the formal request of the company responsible for the restoration project. The materials were submitted to macroscopic petrography, x-ray fluorescence chemical analysis, x-ray diffraction mineralogical analysis and trace determination. In petrography it can be observed that the mortars have aggregates of coarse to medium sand, and some have feldspars (altered or not), mica, opaque. Chemical analysis indicates the majority presence of

silica and calcium in all samples. Mortars can be divided into 3 groups: high silica content, high calcium content and similar calcium and silica content. These factors reflect the results of the trace, which were observed in some cases, high levels of sand, high levels of lime and in some cases similar levels.

Keywords: restoration, historical mortar, trace.

1. Introdução

A Ilha da Boa Viagem localiza-se na entrada da Baía de Guanabara, na cidade de Niterói. Durante o século XVII servia como ponto estratégico, que tinha a função de proteger o território da Coroa Portuguesa, com defesas da Baía, além de ser referência para embarcações. O seu sítio é um dos principais monumentos da história de Niterói, por suas edificações e caminhos escavados na pedra. Na ilha existem três edificações de maior relevância, sendo a Igreja, o Fortim, e a Escola de Aprendizes Marinheiros (1840 a 1846). As construções da ilha estão expostas às intempéries há quase 300 anos, cujo estado de degradação foi estudado (Figura 1).

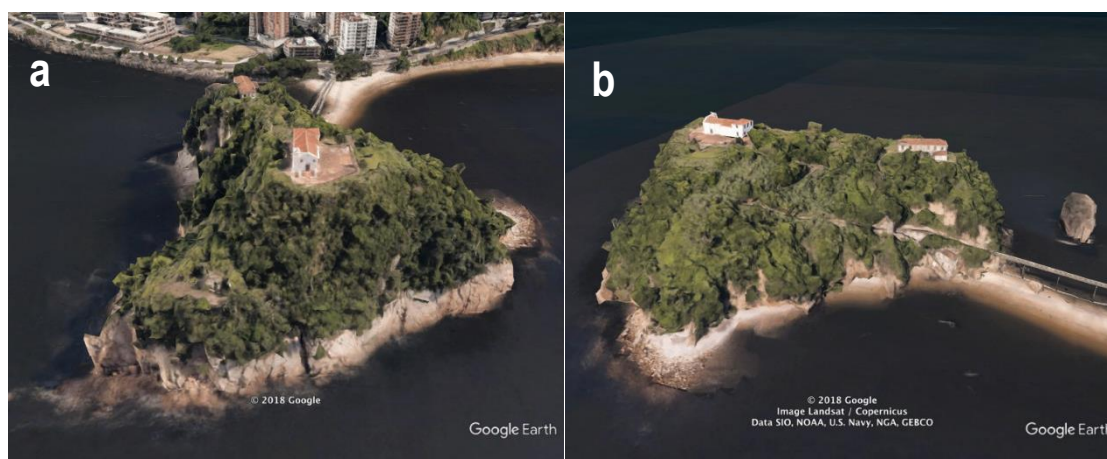


Figura 1. Localização dos imóveis em relação ao entorno. a) Vista frontal da ilha com igreja de Nossa Senhora da Boa Viagem acima e Fortim abaixo. b) Vista lateral com acesso, escadas, palácio e igreja.

Fonte: Google Earth, 2019.

2. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é realizar a caracterização tecnológica das argamassas encontradas nas edificações (fortim, castelo e igreja) localizadas na Ilha da Boa Viagem, na cidade de Niterói – RJ.

Os objetivos secundários serão indicar outras metodologias que podem ser aplicadas na caracterização das argamassas, usando os dados da Ilha da Boa Viagem, e comparando-os com as metodologias tradicionais.

3. Material e Métodos

3.1. Amostragem e preparação

Foram coletadas dez diferentes argamassas de partes externas e internas das edificações nos pontos de A à J.

Em alguns casos, as argamassas apresentavam duas camadas, reboco e emboço, que foram separados manualmente e avaliados separadamente, conforme a listagem a seguir.

- a) Adorno externo da porta do auditório do palácio. A1) Reboco. A2) Emboço.
- b) Porta de entrada do auditório do palácio. B1) Reboco. B2) Emboço.
- c) Escada externa do palácio (lado leste). C1) Reboco. C2) Emboço
- d) Quarto do segundo pavimento vista NW do palácio. D1) Reboco. D2) Emboço.
- e) Frente norte primeiro pavimento do palácio. E1) Reboco. E2) Emboço.
- f) Porta lateral oeste da igreja (quina abaixo da torre do sino no térreo).
- g) Viga do segundo pavimento dos fundos da igreja.
- h) Parte interna da torre do sino da igreja.
- i) Parte externa da torre do sino da igreja. I1) Reboco. I2) Emboço.
- j) Argamassa do fortim. J1) Reboco. J2) Emboço.

3.2. Determinação da mineralogia e tamanho de partículas

A avaliação das fases minerais e o tamanho dos grãos das argamassas foi feita com lupa binocular.

3.3. Caracterização química por fluorescência de raios-X

A Fluorescência de Raios-X foi realizada por espectrômetro por dispersão por comprimento de onda (WD-XRF, abreviação de Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence), baseado na lei de Bragg, o qual necessita de um movimento sincronizado e preciso entre o cristal difrator e o detector. Essa análise foi feita no laboratório de Análises Químicas e Mineralógicas do CETEM.

3.4. Caracterização mineralógica por difração de raios-X

Para a caracterização mineralógica as amostras foram pulverizadas abaixo de 0,105 mm, e analisadas por meio do equipamento da marca Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 por passo com tempo de contagem de 1s por passo e coletados de 5° a 80° 2θ. As interpretações qualitativas das fases minerais presentes nas amostras foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 em software BrukerDiffracPlus e foram reportadas em formato de difratogramas.

3.5. Determinação do traço

Para determinação do traço, um fragmento da amostra foi encapsulado em resina epoxídica, formando-se uma pastilha que foi avaliada por meio de microscopia eletrônica de varredura associada com energia de dispersão – MEV/EDS com verificação quantitativa e mapeamento do silício presente exclusivamente na areia, do silício exclusivo do cimento, além da presença de cálcio associado à cal, permitindo-se assim a determinação do traço.

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização química por fluorescência de raios-X

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química realizada com as amostras em estudo. Verifica-se que o teor de sílica (SiO_2), em boa parte das amostras, sendo superior a 50% nas amostras A1, B1, C1, C2, E1, F, G, H, I2, J1, J2, L e M, indicando alto teor de areia e/ou cimento nessas amostras se comparado ao teor de cal. O alto teor de alumina (Al_2O_3), chegando a 20% em algumas amostras, indica a presença de argilominerais utilizados na argamassa, possivelmente relacionado com barro ou até mesmo presente no cimento. Em alguns casos, observa-se alto percentual de CaO e, conseqüentemente, aumento no valor de perda por calcinação (PPC), este último relacionado com a presença de carbonatos associados ao cálcio. Tanto o CaO quanto o PPC estão relacionados com a presença de cal presente na amostra. Pode-se verificar que as amostras A2, D1, E2 e I1, apresentam os mais altos teores de CaO e PPC, chegando-se em média a representar 50%, em massa, nessas argamassas, com exceção da amostra D1, que apresenta 36% de CaO e 35% de PPC, indicando que está argamassa PE praticamente constituída de cal (70%, em massa).

Os teores de ferro variam de 1 a 3%, podendo fazer parte da própria composição da areia ou barro ou até mesmo por estarem próximas às áreas de ferragens como vergalhões.

Os teores de enxofre (SO_3) estão relacionados com a poluição emanada pelos veículos e, na maior parte das amostras são baixos, chegando-se a valores máximos de 2,5%, indicando que as edificações não sofrem com tanta intensidade desse tipo de poluição, uma vez que não há circulação de veículos na ilha. No entanto, valores entre 4,5 e 7,5% foram observados na região do sino da igreja, local de maior concentração desse poluente, evidenciado pela presença de crostas negras na região do sino, indicando a ação do enxofre sob o magnésio, que também apresenta os maiores teores nessas amostras, formando sulfato de magnésio, que é o mineral gipsita, observado na avaliação mineralógica.

Tabela 1. Resultados (%) das análises químicas das argamassas.

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F	H	I2	J1	J2
SiO_2	50,1	38,6	58,2	35,2	50,4	54,1	12,7	36,8	51,6	36,7	58,3	53,0	56,0	56,5	56,0
CaO	16,2	26,9	5,4	14,2	22,2	13,4	36,1	13,3	9,7	29,7	16,8	13,8	21,2	10,5	16,6
Fe_2O_3	2,9	0,85	2,6	3,5	1,2	1,9	0,89	2,9	3,2	1,3	1,4	1,1	1,0	1,9	1,4
K_2O	2,6	1,4	2,6	1,8	2,4	3,4	0,78	2,7	2,6	2,2	0,33	0,39	0,27	2,9	1,9
MgO	1,2	2,2	0,37	0,63	0,66	0,53	8,2	0,81	0,59	1,1	3,9	2,4	1,8	0,45	0,36
Na_2O	1,7	0,63	0,41	0,59	0,35	0,49	0,41	0,41	0,70	0,48	0,22	0,39	0,15	0,26	0,36
P_2O_5	0,17	0,10	<0,1	ND	<0,1	ND	<0,1	0,10	ND	0,10	ND	0,1	0,14	ND	0,11
Al_2O_3	12,4	4,8	20,4	20,2	8,1	14,0	3,4	19,8	18,7	7,1	5,2	7,5	3,0	15,0	9,0
Cl	ND	ND	<0,1	0,38	<0,1	<0,1	0,11	<0,1	<0,1	ND	0,11	0,19	ND	<0,1	ND
SO_3	0,62	2,0	0,17	1,7	0,28	0,26	2,4	1,7	0,41	0,22	2,5	7,4	2,1	0,26	0,20
TiO_2	0,33	1,0	0,34	0,32	0,18	0,19	0,72	0,34	0,34	0,76	0,21	0,22	0,12	0,23	0,19
*PPC	11,8	20,7	9,5	21,4	14,3	11,8	34,4	21,1	12,1	20,3	10,8	13,5	14,1	12,0	13,9

A Tabela 2 apresenta o traço das argamassas utilizando o cimento como base. Observando-se os teores de SiO₂, componente da areia e o CaO, componente da cal, obtidos na análise química, pode-se fazer uma relação para determinação do traço das argamassas. Na maior parte dos casos o teor de areia é bem maior e por isso o traço apresenta uma variação entre 3 e 5, em relação à cal.

Há, no entanto, amostras constituídas essencialmente de areia, com quantidades insignificantes de CaO, indicando a possibilidade de não haver cal nesses traços, sendo talvez natas de cimento com areia, como as amostras B1, G e M.

A amostra D1 apresenta um teor superior de CaO em relação ao SiO₂, indicando se tratara basicamente de cal. As amostras A2, E2 e I1 apresentam altos teores de CaO que se equiparam ao teor de SiO₂, configurando traços com relação 1:1, em termos de areia e cal.

4.2. Avaliações macroscópica e microscópica, caracterização mineralógica por difração de raios-X e traço calculado pela análise química

A Tabela 2 apresenta os aspectos macro e microscópicos das amostras, além de observações gerais e relacionadas ao tamanho das partículas, com base na classificação granulométrica de acordo com a norma ABNT NBR 6502/1995: areia grossa: 2,0 e 0,6 mm, areia média: 0,6 e 0,2 mm, areia fina: 0,2 e 0,06 mm, silte: 0,06 a 0,002 mm e argila: ≤ 0,002 mm.

Na caracterização mineralógica por difração de raios-x das amostras em questão foram observados picos de quartzo (relacionado com areia/cimento) em todas as amostras, com maior intensidade nas amostras A1, B1, C1, C2, E1, F, G, H, I2, J1 e J2. Observam-se picos de calcita (relacionado com a cal) na maior parte das amostras, porém as amostras A2, D1, E2 e I1 apresentam-no com maior intensidade. Há picos de caolinita, muscovita, microclina e albita, relacionado com a presença de argila em boa parte das amostras e observam-se picos de gipsita, (trata-se da presença de gesso, que pode ter sido colocado em algum reparo ou ser uma alteração causada pela poluição de enxofre sobre o magnésio) nas amostras B2, D1, D2, F, G, H e I2.

Para o cálculo do traço por outros métodos as principais argamassas foram encapsuladas em resina epoxídica, formando-se uma pastilha para avaliação por meio de microscopia eletrônica de varredura associada com energia de dispersão – MEV/EDS com verificação quantitativa e mapeamento da sílica presente exclusivamente na areia e no cimento, permitindo-se assim a determinação do traço. Entretanto, a técnica das argamassas encapsuladas apresentou alguns problemas, e não pode ser feita dentro do prazo esperado.

Optou-se então pelo programa Rhinocerus, um software para designers de joias, com interface amigável, que se adaptou perfeitamente ao tipo de trabalho, uma vez que trabalha com centímetros e milímetros, conforme a ordem de grandeza das pastilhas (2 cm).

De posse das capsulas, foram feitas imagens na lupa binocular (Figura 2), que depois de montadas em um mosaico forneceram uma imagem completa, com agregados e matriz.

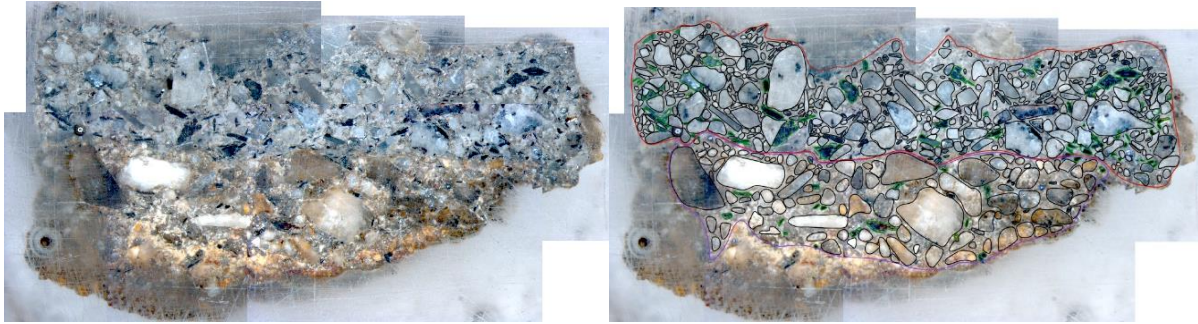


Figura 2. Exemplo de uma pastilha com reboco e emboço, para cálculo das áreas.

O programa permite que se coloque a imagem por baixo de uma grade pré-definida em milímetros, e que se desenhe rapidamente os grãos do agregado. Depois o programa permite que se selecione apenas os desenhos, e calcule a área somando-os. Uma nova camada com a área da argamassa na pastilha foi calculada a parte, assim como buracos e bolhas.

Tabela 2. Caracterização mineralógica e cálculo do traço das argamassas.

Amostra	Granulometria	Caracterização Mineralógica por Difração de Raios-X	Traço calculado pela análise química			Traço a partir do programa Rhinocerus Agregado/Aglomerante	
			SiO ₂	CaO	SiO ₂ /CaO	Relação (areia:cal)	
A1	A granulometria é classificada como areia muito grossa a grossa. A composição do agregado é de grãos de quartzo, granada, feldspato e biotita.	Quartzo, calcita, microclina, albita, mica, caulinita	50,1	16,2	3,1	3:1	1,5:1
A2	A granulometria do emboço é fina, por isso, classificada como silte/argila.	Quartzo, calcita, microclina, albita, mica, caulinita	38,6	26,9	1,4	1,5:1	2:1
B1	Areia média a grossa, composta por quartzo e feldspato.	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita, albita	58,2	5,4	10,7	10:1	
B2	Areia grossa a muito grossa, composta por quartzo e feldspato.	Quartzo, calcita, microclina, albita, mica, caulinita, gipso	35,2	14,2	2,5	2,5:1	2:1
C1	Areia	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita	50,4	22,2	2,3	2:1	
C2	Areia grossa, composta por quartzo e feldspato, caolinizado ou não.	Quartzo, calcita, microclina, albita, mica, caulinita	54,1	13,4	4,1	4:1	1:1
D1	Areia média à grossa, composta por quartzo e feldspato.	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita, gipso, chalozita e albita	12,7	36,1	0,35	1:3	1:1
D2	Areia grossa, composta por cristais de quartzo, feldspato (alguns completamente caolinizados) e mica.	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita, gipso	36,8	13,3	2,77	3:1	
E1	Areia média, composta por quartzo e feldspato caolinizados.	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita, albita	51,6	9,7	5,3	5:1	1:1
E2	Areia grossa, composta por quartzo e feldspato caolinizados.	Quartzo, calcita, microclina, albita, mica, caulinita	36,7	29,7	1,23	1:1	1:1
F	Areia grossa, composta por grãos de quartzo mais arredondados que as demais.	Quartzo, calcita, microclina, mica, gipso	58,3	16,8	3,47	3:1	1:1,5
G	Argamassa diferente das demais, alaranjada, composta por areia grossa, média e fina misturadas, compostas por quartzo, feldspato, pedaços de cerâmica vermelha e madeira.	Quartzo, calcita, microclina, albita, mica, caulinita, gipso	54,8	7,9	6,93	7:1	
H	Areia grossa, composta por grãos de quartzo arredondados e ovais perfeitos, e feldspato caolinizado de até 6 mm.	Quartzo, calcita, microclina, caulinita, gipso	53	13,8	3,84	4:1	1:1,5
I1	Areia grossa, composta por grãos de quartzo.	Quartzo e calcita	37,5	29,4	1,27	1:1	
I2	Areia de granulometria grossa, composta por quartzo.	Quartzo, calcita, microclina, gipso, albita	56	21,2	2,64	3:1	1:1,5
J1	Areia média a grossa, composta por cristais de quartzo, feldspato caolinizado, mica.	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita, albita	56,5	10,5	5,38	5:1	1:2
J2	Areia grossa, composta por cristais de quartzo, feldspato caolinizado, mica.	Quartzo, calcita, microclina, mica, caulinita	56	16,6	3,37	3:1	1:1

De posse de todos os resultados, obtivemos a área do agregado e a área da matriz, possibilitando fazer o cálculo da relação agregado: ligante. Associando esse resultado a difração e fluorescência de raios x, obtivemos uma margem segura para o traço.

5. Conclusão

Pode-se concluir que as argamassas A1, B1, C1, C2, E1, F, G, H, I1, J1 e J2 apresentam teores de SiO₂ superiores a 50%, indicando maior teor de areia/cimento nessas argamassas. Tais fatos foram corroborados com a presença de picos de quartzo (referente a areia) e picos de caolinita, albita e muscovita (referente a argila/cimento).

Em todas as argamassas observam-se picos de calcita, referente a presença de cal, porém, as amostras A2, D1, E2 e I1 apresentam teores de CaO e perda por calcinação (relacionado com os carbonatos), altos, ultrapassando 50%, em massa.

6. Agradecimento

Ao CETEM pela infraestrutura, ao CNPq pelo apoio financeiro. Agradecimento especial ao supervisor Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Nuria Fernandez Castro e Michelle Teixeira C.C. dos Santos.

7. Referências Bibliográficas

BOTAS, J.L. M. Determinação do teor de ligante em argamassas antigas por diversas técnicas. Páginas. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <<http://repositorio.ul.pt/handle/10451/1297>>. Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2008. Acesso em: 12 de abril de 2019.

GENESTAR, C.; PONS, C., MÁZ, A. Analytical characterisation of ancient mortars from the archaeological Roman city of Pollentia (Balearic Islands, Spain), *Analytica Chimica Acta*, Volume 557, Issues 1–2, 31 January 2006, Pages 373-379, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267005017927>>. Acesso em: 30 de março de 2019.

GOOGLE. Google Earth. 2019. < <https://maps.google.com>>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., BISBIKOU, K. Investigation of the technology of historic mortars, *Journal of Cultural Heritage*, v 1, Issue 1, January 2000, Pages 45-58, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207499001181>>. Acesso em: 14 de abril de 2019.

NASCIMENTO C.B. DO; OLIVEIRA, M.C.B. DE; QUARCIONI, V.A.; KATINSKY, J.R.; SILVA, H.A.A., 2009. **Método de Caracterização de Argamassas Históricas: Proposição e Estudos de Caso**. 1er. Congreso Iberoamericano y VIII Jornada “Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio” 10 y 11 de Septiembre de 2009 – La Plata, Buenos Aires, Argentina.