

O FORTE DE NOSSA SRA. DA GRAÇA (ELVAS)

Bases para uma intervenção - A caracterização dos materiais

António Santos Silva¹
ssilva@nec.pt

Ana Rita Santos²
arsantos@nec.pt

Maria Rosário Veiga³
rveiga@nec.pt

Resumo

O Forte de Nossa Senhora da Graça, também denominado como Forte Conde de Lippe, é considerado uma obra única e uma obra-prima da arquitetura militar europeia do século XVIII. Classificado como Património Nacional e como Património Mundial, pela UNESCO desde 2012, situa-se a norte da cidade de Elvas.

No âmbito da sua nomeação pela UNESCO, em conjunto com as restantes fortificações de Elvas, como Património Mundial, foi implementado um plano de conservação e restauro do Forte para o desenvolvimento de atividades culturais, que envolve, entre outras ações, uma caracterização detalhada dos materiais empregues na sua construção, nomeadamente argamassas e estuques.

Na presente comunicação refere-se a metodologia adotada para a caracterização e avaliação do estado de conservação das argamassas de reboco, apresentam-se os ensaios efetuados e interpretam-se os seus resultados. Com base nesses resultados e respetiva análise, concluiu-se que as argamassas são na sua grande maioria de cal aérea dolomítica. Este facto, aliado à natureza mineralógica da areia, proveniente essencialmente de xistos (abundantes na zona), traduz o emprego de materiais de origem local. As argamassas encontram-se, no geral, em bom estado de conservação, o que evidencia o cuidado na boa escolha de materiais e de execução na construção do Forte.

Palavras-chave: Fortificações históricas, argamassas antigas, caracterização.

¹ Investigador Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DM/NMM.

² Bolseira de Investigação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DED/NRI.

³ Investigadora Principal com Habilitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DED/NRI.

1 Introdução

O Forte de Nossa Senhora da Graça, também conhecido como Forte Conde de Lippe, classificado como Património Nacional em 1910 e como Património Mundial, pela UNESCO, em 2012, localiza-se no Monte de Nossa Senhora da Graça, a norte da cidade de Elvas (figuras 1 e 2) [1][2].

O Monte de Nossa Senhora da Graça é um dos pontos mais altos da região, constituindo um local de grande importância estratégica. Em finais do século XVIII, e no local onde já se encontrava a antiga capela de Nossa Senhora da Graça, D. José I manda construir uma fortaleza para completar o circuito defensivo da cidade de Elvas. Para o seu planeamento foi encarregue o Marechal Schaumburg-Lippe, mais conhecido como Conde de Lippe.



Figura 1: Vista aérea do Forte de Nossa Senhora da Graça [3]



Figura 2: Portal de entrada do Forte

Na construção do forte utilizaram-se pedras e terras sobrantes das minas abertas no maciço rochoso do monte, assim como outros materiais existentes nas proximidades do local da construção, tal como areia e material cerâmico [1][2].

No âmbito da sua nomeação pela UNESCO, em 2012, em conjunto com as restantes fortificações de Elvas, como Património Mundial, foi implementado um plano de conservação e restauro do Forte que envolve, entre outras atividades, uma caracterização detalhada dos materiais empregues na sua construção.

2 Metodologia adotada

Tendo como objetivo caracterizar globalmente os materiais utilizados, foram selecionadas e recolhidas amostras em locais distintos do Forte, que foram consideradas representativas de tipos de revestimentos.

A metodologia para recolha e caracterização de argamassas antigas foi desenvolvida no LNEC [4][5][6] e compreende uma vasta gama de técnicas de ensaio que se complementam, para que seja possível determinar, tão aproximadamente quanto possível, a constituição e composição atual; e avaliar a eventual presença de compostos de degradação e a relação destes com as características físicas e mecânicas, de modo a fornecer indicações sobre o seu estado de conservação.

3 Programa laboratorial

3.1 Caracterização das amostras de argamassas

Para esta comunicação foram selecionadas 13 amostras: 11 amostras de argamassas de revestimento (R); 1 amostra de argamassa de junta (J) e 1 amostra do formigão (F). Da observação à vista desarmada e ao microscópio ótico resultou a identificação de diversos detalhes que seguidamente se descrevem.

Tabela 1: Identificação e observação macroscópica das amostras do Forte.










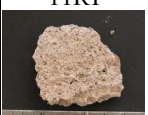
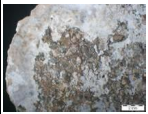
Amostra	Localização	Descrição
1R 	Reduto Central (2.º fosso) Fachada exterior	Amostra de revestimento constituída por uma única camada de argamassa contaminada por colonização biológica. Os agregados, de cor clara, aparentam ser do tipo silicioso, de forma sub-rolada; são visíveis, em menor quantidade, agregados de cor escura (xisto), nódulos de cal, agregados de tijolo, carvão e fibras naturais.
2J 		Argamassa de assentamento de cor creme, apresenta-se contaminada por colonização biológica. Os agregados, de cor clara, aparentam ser do tipo silicioso, de forma sub-rolada; mais à superfície são visíveis agregados de cor escura (xisto) e de morfologias mais angulosas. É muito rica em agregados finos, contudo são também visíveis agregados de elevada dimensão (superiores a 5 mm), nódulos de cal e carvão.
3RE 	Paióis (2.º fosso) Fachada exterior	Amostra de revestimento (camada mais externa) composta por uma camada de argamassa de cor castanho claro e por um revestimento por pintura com várias camadas. Os agregados são maioritariamente siliciosos, de forma sub-rolada; são igualmente visíveis agregados de cor escura, de forma mais angular, nódulos de cal e de carvão.
8RE 	Túnel entre o fosso principal e o 2.º fosso	Amostra de revestimento (camada mais externa), constituída por uma camada de argamassa de tonalidade creme e várias películas de pintura de tonalidades cinza, roxo, creme e castanho-ocre. Os agregados são maioritariamente siliciosos; são visíveis agregados de grandes dimensões e agregados de tonalidade escura e de forma mais angular, nódulos de cal, fibras naturais e agregados de carvão e tijolo.
8RI 		Amostra de revestimento (camada mais interna), constituída por uma camada de argamassa de tonalidade creme muito resistente. Os agregados são maioritariamente siliciosos, de forma sub-rolada a angulosa; são visíveis agregados de tonalidade verde escura, que aparentam ser xistos, nódulos de cal, fibras naturais e agregados de tijolo.

Tabela 1: Identificação e observação macroscópica das amostras do Forte (cont.).

Amostra	Localização	Descrição
<p>9R</p> 	Contra Escarpa -Junto ao Revelim de Santo Amaro	Amostra de revestimento constituída por uma única argamassa com muita colonização biológica. Os agregados são maioritariamente siliciosos, de morfologia sub-rolada a angulosa; são visíveis agregados de tonalidade escura que aparentam ser xistos, muitos nódulos de cal de diferentes tamanhos, fibras naturais e agregados de carvão e tijolo.
<p>10RE</p> 	Galerias	Amostra de revestimento (camada mais externa) composta, aparentemente, por uma camada de argamassa de tonalidade bege e várias camadas de pintura. A película de tinta mais externa apresenta cor branca e a segunda cor ocre; são visíveis fibras, nódulos de cal e agregados de tijolo, carvão, xisto verde e quartzo.
<p>10RI</p> 		Amostra de revestimento (camada mais interna) composta por camadas de argamassa de tonalidade bege clara e duas camadas de pintura: camada mais externa de cor branca e a segunda com tonalidade bege; são visíveis fibras, nódulos de cal de grandes dimensões, agregados de dimensões médias (aproximadamente 0,5 cm), alguns agregados de cor castanha, agregados de tijolo, carvão e xisto verde.
<p>11RE</p> 		Amostra de revestimento (camada mais externa) constituída por camadas de argamassa de tonalidade bege e duas camadas de pintura: película mais externa de tonalidade branca e a mais interna de tonalidade igual à da argamassa (bege); são visíveis fibras, nódulos de cal, agregados de grandes dimensões subangulares, alguns agregados de cor escura e de cor rosa, agregados de tijolo, xisto verde, calcários e basaltos.
<p>11RI</p> 		Amostra de revestimento (camada mais interna) composta por uma argamassa de tonalidade bege. São visíveis na amostra fibras, nódulos de cal pequenos, agregados fino anguloso, agregados de tijolo e xisto, assim como a presença de alguns agregados siliciosos de pequenas dimensões.
<p>17R</p> 	Interior da Cisterna	Amostra de revestimento constituída por uma argamassa de tonalidade bege, um barramento cor de tijolo e uma película de pintura de cor branca; o agregado aparenta ser muito fino; são visíveis nódulos de cal de grandes dimensões, agregado escuro (talvez carvão) e bastante xisto verde.

3.2 Análise química, mineralógica e microestrutural

Os ensaios químicos, mineralógicos e microestruturais destinam-se a determinar a constituição e composição atual das amostras. Antes de ensaio, as amostras são secas, separadas e preparadas de acordo com requisitos próprios.

Para difração de raios X (DRX) prepararam-se, em geral, dois tipos de amostras ou frações. Uma das frações, correspondente à argamassa moída, foi

denominada de global, e a outra fração, separada por peneiração e mais concentrada no ligante, foi denominada de fração fina. Para a análise termogravimétrica e térmica diferencial (ATG/ATD) e análise química (AQ) foi utilizada a fração global da DRX. Para análise microestrutural os provetes são previamente impregnados com uma resina epoxídica em câmara de vácuo, para que todo o espaço poroso fique preenchido. Após a impregnação, as amostras são cortadas para a obtenção de superfícies planas, seguida de desbaste e polimento da superfície com abrasivos específicos até à obtenção de uma superfície polida.

3.3 Análise física e mecânica

Para avaliar as características e o estado de conservação das argamassas, foram efetuados ensaios de caracterização física e mecânica sobre as amostras extraídas: absorção de água por capilaridade e secagem, porosidade aberta e resistência à compressão.

As amostras de argamassa extraídas de obra têm em geral dimensões e formas não diretamente ajustáveis aos ensaios normalizados de absorção e de resistência mecânica. Assim, foi necessário desenvolver métodos de ensaio apropriados para esse tipo de amostras e validá-los através de ensaios comparativos prévios [7][8][9]. O ensaio de porosidade aberta baseia-se na norma NP EN 1936 [10] e em recomendações da RILEM [11][12]. Com este ensaio pretende-se avaliar o grau de compacidade das amostras.

4 Resultados obtidos e sua apreciação

Face aos resultados obtidos de caracterização pode concluir-se o seguinte:

- As argamassas de reboco apresentam, em geral, boas características mecânicas e boa compacidade. São constituídas por areias, provenientes de rochas de natureza ígnea (quartzo, feldspato e mica) e metamórfica (essencialmente xisto), e cal aérea. A cal é maioritariamente de natureza dolomítica, embora no caso das argamassas 10RE, 10RI, seja diferente, isto é, de natureza calcítica.
- A amostra de formigão (12F) – taipa militar – é essencialmente constituída por areia de natureza ígnea, cal aérea dolomítica e terra argilosa. Apresenta valores de resistência mecânica muito elevados e coeficiente de capilaridade muito baixo, o que revela ter sido executada cuidadosamente e com qualidade técnica elevadas.
- Dado que o tipo de cal predominantemente utilizada foi de origem dolomítica, não é possível com rigor determinar a relação ponderal atual ligante:agregado das argamassas, uma vez que se desconhece a relação

Ca/Mg desses calcários. No entanto, tomando como aproximação que cerca de 95% do carbonato de cálcio provirá de carbonato de magnésio obtiveram-se as relações cal dolomítica hidratada:areia, em massa, indicadas na tabela 2.

- À exceção da amostra 11R, constatou-se que as camadas de argamassa mais internas (I) apresentam um maior teor de ligante na sua composição, quando comparadas com as camadas de argamassa mais externas (E), tal pode dever-se à composição original ou então a alguma lavagem do ligante ao longo do tempo.
- À exceção das amostras 2J, 8RE e 11RI, que apresentam coeficientes de capilaridade relativamente elevados, as restantes argamassas apresentam valores baixos de coeficiente de capilaridade, compatíveis com argamassas antigas de cal em bom estado de conservação [7], apenas com vestígios de colonizações biológicas.

Tabela 2: Resultados dos ensaios físicos e mecânicos efetuados nas amostras de argamassas de revestimento e formigão

Amostra		MV (kg/m ³)	CCC ₅ (kg/(m ² .min ^{1/2}))	Sec. (dias)	Pa %	Rc (MPa)	Traço Ponderal cal:areia	
Argamassas	1R	1750	0,3	≈ 3	29	1,6	1:4	
	2J	1810	2,9 ⁺	≈ 1	28	-	1:10	
	3R	3Re	1870	0,9	≈ 3	25	4,0	1:6
		3Ri	-	-	-	-	-	1:2
	8R	8Re	1960	2,2 ⁺	≈ 2	19	-	1:5
		8Ri	1930	5,5 ⁺	≈ 1	28	-	1:2
	9Re	1590	1,3	> 15	32	1,1	1:6	
	10R	10Re	1860	-	-	28	-	1:2
		10Ri	1910	-	-	26	-	1:2
	11R	11R	1800	0,5	≈ 2	29	0,8	1:3
		11Ri	1770	3,6 ⁺	≈ 1	27	-	1:4
		17R	1700	1,6 ⁺	≈ 10	35	1,1	1:6
	Formigão	12F	2090	1,0	> 10	20	8,3	1:7

MV: Massa volúmica aparente; CCC₅: Coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos; Sec.: Tempo de secagem; Pa: Porosidade aberta; Rc: Resistência à compressão

⁺ Valor determinado aos 2 minutos

5 Conclusões

O Forte de Nossa Senhora da Graça, também denominado Forte Conde de Lippe, é considerada uma obra única e uma obra-prima da arquitetura militar europeia do século XVIII. Encontra-se atualmente classificado pela UNESCO como Património Mundial.

Os resultados dos ensaios realizados sobre as argamassas mostram que estas apresentam composições muito idênticas em termos do tipo de ligante. As amostras de revestimentos são na sua grande maioria de cal dolomítica (apesar de apresentarem traços diferentes), à exceção das amostras 10RE e 10RI, extraídas das galerias, que aparentam ser de natureza cálcica. Os agregados são proveniente essencialmente de rochas ígneas e metamórficas, abundantes na zona, traduzindo o emprego de materiais de origem local. No formigão (12F) o agregado é essencialmente ígneo.

Apesar de existir alguma colonização biológica não se detetaram teores significativos de produtos de degradação química. Por outro lado, os resultados dos ensaios físicos e mecânicos realizados comprovam que as argamassas estão em bom estado de conservação, o que atesta o cuidado colocado na boa escolha de materiais e de execução na construção do Forte.

As pinturas mais antigas dos revestimentos (primeiras camadas de pintura junto ao reboco) são, em geral, caiações de cor creme ou ocre amarelo. Estas cores, por razões defensivas, facilitavam a dissimulação pretendida dos Fortes militares.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa IN SITU, Conservação de Bens Culturais, Lda. por toda a informação disponibilizada.

7 Bibliografia

- [1] Guerra, S. O Forte de Nossa Senhora da Graça. Monumentos, 28, 2008: pp. 44-51.
- [2] Bucho, D. Forte de Nossa Senhora da Graça/Forte de Lippe. 1997. http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=3771 (maio de 2014).
- [3] Ladeira, R.; Bucho, D. Fort of Graça. Aerial view. 2006. <http://whc.unesco.org/en/list/1367/gallery/> (maio de 2014).
- [4] Veiga, R., Aguiar, J., Santos Silva, A., Carvalho, F., Methodologies for Characterization and Repair of Mortars of Ancient Buildings. 3rd International Seminar Historical Constructions, Guimarães 2001: pp. 353-362.
- [5] Santos Silva, A. Caracterização de Argamassas Antigas: Casos Paradigmáticos. Caderno de Edifícios nº2: Revestimentos de paredes em edifícios antigos, 2002: pp. 87-101.
- [6] Santos Silva, A., Paiva, M.J. Aplicação da Caracterização Mineralógica no estudo da Degradação de Argamassas Antigas. Relatório LNEC, 196. 2004.