
CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ALVENARIAS DE PEDRA

JOSÉ XIMENES^{1*}, CARLOS DE JESUS², JOSÉ AGUIAR²

1: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Nacional Timor Lorosa'e, Hera, Díli, Timor-Leste
lebenei@yahoo.com

2: CTAC – Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal
cjesus@civil.uminho.pt aguiar@civil.uminho.pt
Código do artigo: CLB 273

RESUMO. Os princípios deste trabalho são o estudo de materiais de alvenaria com vista à conservação e reabilitação dos edifícios. O desenvolvimento e a inovação requerem o conhecimento de características de novos materiais. Com objetivo de avaliar o comportamento de paredes de alvenaria, apresenta-se a campanha de ensaios experimentais. Podem ser identificadas causas conjunturais das patologias que se encontram nas alvenarias de pedra por fotografias apresentadas, mostra uma fissuração horizontal por causa de ações naturais físicas, variações de temperatura e presença da água. A fissuração da alvenaria pode resultar das dilatações e contrações devidas à mudança de temperatura provocadas pela secagem e humidificação. Uma das causas principais das alterações patológicas é a poluição atmosférica. Água e a temperatura são importantes no desenvolvimento das deteriorações. Estes fatores atuam independentemente ou em conjunto e acarretam transformações e tensões físicas e químicas nos processos de degradação. A reabilitação é uma das soluções construtivas em alvenaria e a sua adequação em função dos benefícios económicos, construtivos ou de habitabilidade. Os resultados dos ensaios de laboratório da caracterização e envelhecimento acelerado dos materiais são fundamentais para obter a qualidade e durabilidade dos materiais da pedra calcária moca creme são influenciados pela sua porosidade.

Palavras-chave. Patologia, alvenaria, pedras, qualidade e durabilidade.

Abstract The principles of this work are the study of masonry materials with a view to the conservation and rehabilitation of buildings. Development and innovation require knowledge of characteristics of new materials. In order to evaluate the behavior of masonry walls, the experimental test campaign is presented. Conjunctural causes of the pathologies found in the stone masonry can be identified by the photographs presented, showing a horizontal cracking due to natural physical actions, temperature variations and the presence of water. Masonry cracking can result from expansion and contraction due to temperature changes caused by drying and humidification. One of the main causes of pathological changes is air pollution. Water and temperature are important in the development of spoilage. These factors act independently or together and cause physical and chemical transformations and stresses in the degradation processes. Rehabilitation is one of the constructive solutions in masonry and its adequacy according to the economic, constructive or habitability benefits. The results of laboratory tests of the characterization and accelerated aging of the materials are fundamental to obtain the quality and durability of the materials of the cream mocha limestone are influenced by their porosity.

Keywords. Pathology, masonry, stones, quality and durability.

1. INTRODUÇÃO

A história mostra por sua natural evidência a evolução de cavernas, grutas, calçadas, a consequente construção de edifícios, palácios, catedrais, pontes e viadutos, estando muitas destas obras ainda hoje visíveis e com desempenho estrutural considerado satisfatório. Não existiam escolas de engenharia nem processos de divulgação interativa das inovações e das novas técnicas construtivas que se iam desenvolvendo, adaptando e surgindo [1].

Em Portugal e Timor-Leste apenas recentemente começou a surgir a consciência pública da necessidade de proteger o património arquitetónico e urbano. A combinação do desinteresse da sociedade e do governo com as condições económicas das pessoas que se mantiveram nos centros históricos conduziu a uma situação de degradação profunda de diversas construções antigas. Neste âmbito, o Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios (ICOMOS) já havia redigido a carta internacional para a salvaguarda das cidades históricas em outubro de 1987, procurando promover políticas de preservação de centros e quarteirões históricos, ameaçados pela degradação e mesmo destruição devida ao tipo de urbanização que surgiu na era industrial, pretendendo assim contrariar perdas irreversíveis de carácter cultural, social e económico [2].

Para definir os objetivos deste trabalho, foi necessário avaliar os dados dos ensaios no laboratório sobre os materiais, habitualmente nas construções de alvenarias que estão disponibilizados. O objetivo destes ensaios foi estudar as características, dos materiais constituintes das alvenarias de pedra.

A qualidade, durabilidade e o baixo custo da pedra são principais razões para ser o material de construção mais usado em Timor-Leste nas construções histórica. Pelo facto da pedra ser muito utilizada temos de ter em conta a sua deterioração.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

2.1 Metodologia

A metodologia de avaliação da patologia em alvenaria exterior das construções consta do diagnóstico das anomalias dos seus elementos construtivos. Com base na disciplina da investigação de engenharia (sobre causa e efeito), podemos avaliar as eventuais anomalias que possam ocorrer relacionando-as a uma ou mais características da qualidade não atendidas [3].

Estes aspetos acentuam a importância de uma correta escolha dos elementos, argamassas e acabamentos a usar na execução das alvenarias, sendo óbvio o interesse em ter soluções convenientemente detalhadas e, sempre que possível, simples, menos sujeitas à qualidade da mão-de-obra. Por outro lado o recurso a soluções mais racionais, que reduzam o esforço físico no assentamento, conduzirá a maior produtividade e economia [4].

A marcação CE é uma marca que foi estabelecida pela União Europeia. Esta surgiu da necessidade da criação de um mercado único europeu, que apenas será possível com a livre circulação das mercadorias. Portanto, aos materiais de construção comercializados, é exigido que cumpram uma série de regulamentos e normas [5].

Todos os produtos que possuam marcação CE têm de respeitar os seis requisitos essenciais, referidos na diretiva 89/106/CE, sendo estes a resistência mecânica e estabilidade; segurança contra incêndios; higiene, saúde e ambiente; segurança na utilização; proteção contra o ruído e economia de energia [6].

2.2 Materiais

Na realização das misturas de assentamento foram utilizados determinados materiais, cimento, agregados finos e água. Os agregados finos foram as areias naturais com função para misturas de assentamento.

Os locais indicados por ordem de referência para a aposição da marca CE são no produto, numa etiqueta fixada ao produto, na embalagem e na documentação comercial de acompanhamento [7].

2.3 Pedra

As pedras utilizadas na construção são: granitos pórfiros, basaltos, calcários, grés, xisto e mármore. Estes materiais têm grande aplicação em construção civil. Exemplos conhecidos são os granitos para alvenarias e as cantarias Figura 1 (a). A alvenaria e a cantaria são aglomerados de pedras umas sobre as outras Figura 1 (b, c, d, e, f) [8].

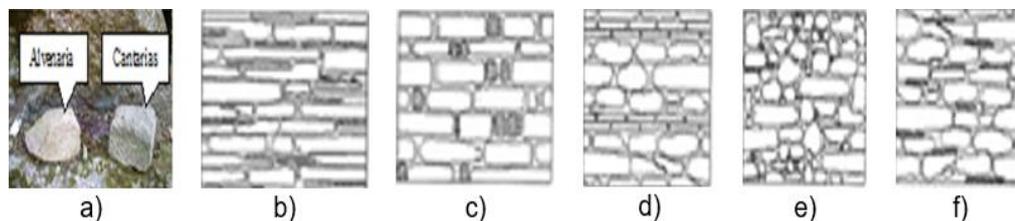


Figura 43. a) Pedras de alvenarias e cantarias, b) c) d) e) f) tipos de construção [8]

A pedra é um produto natural obtido por exploração subterrânea ou em pedreiras a céu aberto e convertido em unidades de alvenaria através de um processo de produção.

Consoante as características das rochas e as condições que presidiram à sua génese, podem distinguir-se três grandes tipos: rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas [9].

As rochas magmáticas formam-se quando o magma em fusão arrefece e solidifica. Se arrefece rapidamente, os minerais não têm tempo de se desenvolverem originando rochas extrusivas ou vulcânicas. Se, pelo contrário, o magma arrefece lentamente, permite a cristalização e crescimento de todos os minerais, formando-se rochas intrusivas ou plutónicas. As rochas magmáticas habitualmente utilizam-se na construção.

As rochas magmáticas podem considerar-se isotrópicas e homogéneas em determinados casos, pois resultam de materiais fundidos. Como exemplo deste tipo de rochas temos o granito, os pórfiros e o basalto. As sedimentares resultam da deposição ou precipitação de substâncias e posterior consolidação dando origem a estratos. São rochas anisotrópicas pois têm propriedades muito diferentes segundo a direção que se considera.

As metamórficas são as que provêm do metamorfismo quer das eruptivas quer das sedimentares. Este metamorfismo efetua-se com a ajuda dos agentes metamórficos: gases, temperatura, etc [10].

Os requisitos e as propriedades especificadas na norma EN 771-6 [11] devem ser definidos em termos dos métodos de ensaio e de outro procedimento nela referidos.

2.4 Argamassas

A argamassa é uma pedra artificial formada pela mistura de ligante, areia e água, com ou sem a incorporação de adjuvantes e adições, que desenvolve as suas propriedades por hidratação ou endurecimento ao ar duma pasta de ligante.

Temos as argamassas para revestimento e as argamassas de montagem. A norma EN 998-1 [11] apresenta as especificações das argamassas de revestimento de alvenarias. Por outro lado a norma EN 998-2 [12] apresenta as especificações das argamassas de montagem.

Os materiais constituintes devem possuir características que permitam que as argamassas se apresentem em conformidade com as normas que lhes são aplicáveis. O fabricante deve manter registros da forma como a conformidade dos constituintes é assegurada [13].

2.5 Ligantes

Para além do cimento Portland (CEM I) a NP EN 197-1 [14] apresenta outros cimentos que podem ser utilizados em construção civil.

O sistema de comprovação da conformidade para todos os cimentos previstos na NP EN 197-1 2001 é o 1 + [15] de acordo com a Decisão da Comissão de 14 de Julho 1997 (97/555/CE), publicada na Jornal Oficial das Comunidades Europeias e indicada no Anexo do mandato para a família do produto “Cimentos” [13].

A NP EN 197-1 [14] inclui os requisitos mecânicos, físicos, químicos e de durabilidade. Relativamente aos requisitos mecânicos estão previstas três classes de resistência de referência: classe 32,5, classe 42,5 e classe 52,5 MPa. A resistência de referência de um cimento é a resistência à compressão aos 28 dias determinada de acordo com a NP EN 196-1 [15].

2.6 Areia

As areias, principalmente as de origem natural podem conter impurezas em quantidades que recomendam a sua não utilização como agregado para argamassas. A NP EN 13139 [16] fixa os limites aceitáveis dessas impurezas que podem ser teor de finos ou teor de enxofre, por exemplo.

As areias artificiais têm, contudo, a vantagem de terem uma maior aderência, devido à sua superfície rugosa. A pasta de cimento envolve e preenche estas saliências e naturalmente os agregados artificiais, devido à maior aderência que proporcionam, permitirão maiores resistências.

Relativamente ao teor de finos a NP EN 13139 [16] estabelece os requisitos de conformidade de acordo com a dimensão do agregado e com a categoria selecionada. A categoria adequada deverá ser escolhida em função da utilização.

2.7 Outros constituintes

As funções da água no betão são reagir quimicamente com o cimento, hidratando-o, de modo a este ganhar presa e endurecer aglomerando os agregados, e assegurar a trabalhabilidade do betão, isto é, assegurar que a mistura seja amassada facilmente e colocada em obra sem eminência de segregação.

A NP EN 934-3 [17] apresenta as definições, requisitos, conformidade, marcação e rotulagem dos adjuvantes para argamassas de alvenaria à base de cimentos. A norma aplica-se a plastificantes/introdutores de ar e fortes retardadores de presa. Os adjuvantes referidos na norma devem satisfazer os requisitos gerais. Cada tipo de adjuvante deve ainda satisfazer aos correspondentes requisitos adicionais específicos.

2.8 processo construtivo, patologia e reabilitação de paredes de alvenaria

No caso das paredes, entenda-se, pois, por agora, como patologia não estrutural aquela que corresponde a paredes das quais não depende diretamente a estabilidade de outros elementos construtivos. Esta opção resulta menos clara, do ponto de vista da designação, para as situações em que os defeitos das paredes não estruturais resultam do deficiente desempenho ou interação dos elementos estruturais confinantes ou de suporte e para as ações mecânicas externas ou internas, a que está sujeita a parede, e que põem em causa a sua própria estabilidade, sem que da sua eventual ruína resultem consequências para outros elementos construtivos.

2.9 Processo construtivo das alvenarias

Com a entrada em vigor dos Euro códigos para o dimensionamento de edifícios o desenvolvimento de novos materiais para a construção e a implementação de novas soluções parece ser inquestionável. Soluções em alvenaria simples e confinada, e até mesmo armada, serão opções a ter em conta para a construção em Portugal [8].

Apesar deste facto, a tradicional técnica de construção em alvenaria não foi tratada como uma solução estrutural e mesmo como sistema construtivo foi relegada para funções de fechamento e compartimentação das estruturas praticadas executadas com os materiais mais modernos. Mesmo em edifícios de pequeno porte, a sua aplicação com função estrutural foi esquecida da importância e da evidência que lhes era dada nos tempos anteriores [8].

2.10 Patologias nas paredes de alvenaria

As principais causas de alteração das pedras são a ação de agentes químicos da atmosfera (dióxido de carbono e dióxido de enxofre) dos próprios materiais e do solo, agentes físicos (a água, a temperatura, o vento e os organismos vivos).

Tratamentos para impedir a alteração das pedras são a pinturas e hidrofugação. As rochas formadas num determinado ambiente permanecem estáveis e refletem as características desse mesmo ambiente. Ao mudar de local as rochas podem sofrer transformações. Assim, as rochas formadas em profundidade alteram-se quando afloram à superfície, dando origem a materiais que vão participar na formação das rochas sedimentares. Estas ao atingirem zonas profundas sofrem novas modificações, podendo originar rochas metamórficas e mesmo rochas magmáticas [8].

As anomalias podem ocorrer de diversas formas, consoante a parte atingida, as funções que são afetadas, bem como a natureza dos materiais e técnicas de construção utilizadas, causas e períodos de ocorrência. Por outro lado, as anomalias que afetam o revestimento traduzem-se em degradações inconvenientes e inestéticas no aspeto, perda de coesão e aderência do revestimento em relação aos suportes e pelo desgaste anormal dos mesmos [8]. Os danos mais comuns nas paredes de pedra são a fissuração e a degradação.

3. TRABALHOS EXPERIMENTAIS EM LABORATÓRIO

Nos trabalhos experimentais em laboratório a limitação do tempo foi um fator para a conclusão dos ensaios de caracterização e o envelhecimento acelerado, para os materiais de alvenaria, daí decidir-se pelos materiais indicados no Quadro 1.

Os materiais indicados no Quadro 1 foram previamente preparados para a realização de diversos ensaios, esta preparação inclui o corte de alguns provetes, retificação, e regularização das faces com uma argamassa similar à resistência desses materiais, foi necessário assim proceder à análise mecânica dessa argamassa. As dimensões dos provetes seguem a norma EN 771-5. Após a

preparação finalizada de todos os provetes, submeteram-se estes ensaios, que contemplaram ensaios de resistência mecânica das argamassas (compressão, flexão), absorção de água por capilaridade e por imersão, executados ambos com sulfato sódico e cloreto de sódio. Além destes ensaios realizou-se para estes provetes a determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino para os três materiais relacionados

Quadro 1. Provetes para as realizações dos ensaios

Material	Tipo de Ensaio	Provetes	Dimensões (cm)		
			Comp. x Larg. x Alt.		
Pedra calcária moca creme	Absorção de Água por Capilaridade	A	15	15	5,7
		B	10	10	5,7
	Resistência à Compressão	A	5,7	5,7	5,7
		A	5	5	5
Argamassas	Absorção de água e Resistência à Compressão	A	10	10	10
		B	4	4	16

3.1 Determinação das características da pedra calcária moca creme

3.1.1 Determinação da resistência à compressão da pedra calcária

A determinação das resistências à compressão da pedra calcária moca creme para alvenaria foi efetuado de acordo com a NP EN 772-1 [18], esta tem como objetivo especificar um método para a determinação da resistência à compressão da pedra natural.

Na realização do ensaio são necessários alguns preparativos na sua execução, as colocações dos provetes sobre o prato de máquina devem estar centradas para que a aplicação da carga seja uniformemente distribuída. Assim desta forma inicia-se o ensaio no qual é incrementada uma força com uma velocidade constante até à rotura.

Para obtenção de resultados com uma amostragem significativa, o número mínimo dos provetes deve ser seis tal como indica a norma. Isto não acontece quando a especificação do produto indicar um número superior.

No caso da pedra calcária foi necessário proceder ao corte para adequar os provetes ao equipamento, neste caso foram dimensões com porções representativas. (por exemplo, cubos), obtidas por corte em diferentes posições, conforme estabelecido na EN 771-5 [19].

3.1.2 Determinação da absorção da água por capilaridade de pedra calcária

A determinação da absorção da água por capilaridade de pedra calcária moça creme para alvenaria efetuou-se de acordo com NP EN 772 – 1 [18].

O objetivo e o campo de trabalho especificam o método de determinação do coeficiente de absorção da água por capilaridade para pedra de alvenaria face à vista, e a taxa de absorção inicial de água da pedra.

Secou-se os provetes de ensaio até massa constante numa estufa ventilada a uma temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para os blocos de pedra calcária. A massa constante atingiu-se quando a perda de massa entre as duas determinações não excedeu 0,1 % da massa total. Isto durante o processo de secagem em duas pesagens consecutivas com 24 horas de intervalo.

O procedimento do ensaio consistiu em deixar os provetes arrefecer à temperatura ambiente, medir as dimensões das faces a imergir de acordo com os princípios apresentado na NP EN772-16 [5] e calcular a sua área bruta (A_s).

O ensaio tem como objetivo colocar os provetes com as faces sobre os dispositivos de suporte para que não haja contacto com o fundo da tina, e fiquem imersos na água a uma profundidade de 5 mm \pm 1 mm durante o ensaio.

Quadro 2. Resultado de absorção de água por capilaridade das pedras 10x10x5,7 cm

Referência	A	B	C			
Massa Constante (g)	1411,70	1373,10	1389,00			
Tempo de imersão (min) - t_{s0}	Peso após o tempo de imersão (g)			($\sqrt{t_{s0}}$)	($m_{s0,s} - m_{dry,s}$)/A_s Média (A,B,C)	$C_{w,s}$
1	1416,00	1377,60	1391,90	7,75	390,00	
3	1419,10	1381,80	1396,50	13,42	786,67	
5	1422,90	1386,30	1401,00	17,32	1213,33	
10	1426,20	1390,20	1404,90	24,49	1583,33	61,73
15	1430,20	1395,10	1409,80	30,00	2043,33	
30	1437,60	1403,50	1418,50	42,43	2860,00	
60	1443,60	1410,90	1426,20	60,00	3563,33	
180	1448,60	1416,90	1432,50	103,92	4140,00	-
480	1465,30	1431,50	1450,40	169,71	5780,00	-
1440	1467,20	1431,70	1451,20	293,94	5876,67	-
2880	1467,70	1432,30	1451,50	415,69	5923,33	-

4320	1467,80	1432,40	1451,70	509,12	5936,67	-
------	---------	---------	---------	--------	---------	---

Os resultados das massas após o tempo de imersão para as pedras calcárias moca creme são apresentados nos Quadro 2 e compilados graficamente para se fazer uma breve análise dos comportamentos da absorção, relativamente este tipo de material em estudo, podemos observar essas curvas na Figura 44 e utiliza-se a seguinte equação 1:

$$C_{wls} = \frac{m_{sos} - m_{dryS}}{A_s} \quad (1)$$

Em que: C_{wls} =Taxa de absorção inicial de água dos blocos (kg/(m²xmin))

m_{dry} =massa do provete

m_{sos} = massa do provete apos imersão durante um tempo t, (g)

A_s =área bruta da face do provete imersa em água (mm²)

$C_{w,s}$ = Coeficiente de absorção de água por capilaridade de pedra natural e das argamassas (g/(m²xS^{0,5})).

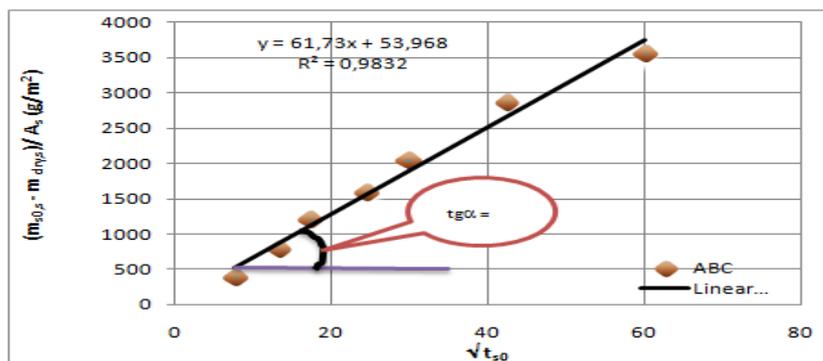


Figura 44. Resultado de absorção de água por capilaridade da pedra calcária moca creme 10x10x5,7 cm com determinação do gradiente da parte linear

3.1.3 Determinação da absorção de água por imersão

A determinação da absorção de água por imersão realizou-se conforme a norma NP EN 1097-6 [20]. O seu objetivo é estabelecer um processo para determinar a absorção do provete da pedra por imersão em água potável.

Resultado da absorção de água por imersão é (A), calculou-se em percentagem através no Quadro 3 da equação 2:

$$A = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100 \quad (2)$$

Quadro 3. Resultado de absorção de água por imersão da pedra calcária moca creme

Número dos provetes	Tipo de material	Massa constante m_1 (g)	Massa dentro da água m_2 (g)	Massa seca dos provetes m_3 (g)	A (%)	Média (%)
Pedra Calcário Moca creme de 15 x 15 x 5,7 cm						
1	15x15x5,7	3192,1	1915,9	3066,1	9,9	9,8
2	15x15x5,7	3252,6	1946,5	3124,4	9,8	
3	15x15x5,7	3281,6	1965,4	3150,6	10,0	
4	15x15x5,7	3191,3	1914,8	3069,8	9,5	
Pedra Calcário Moca creme de 10 x 10 x 5,7 cm						
1	10x10x5,7	1439,0	859,9	1377,8	10,6	10,2
2	10x10x5,7	1431,7	856,3	1375,6	9,8	

3.1.4 Ensaios de alteração pelo sulfato de sódio para a pedra calcária

O ensaio de alteração pelo sulfato de sódio aos materiais de alvenaria de pedra calcária moca creme efetuou-se segundo a NP EN 1378 [21] com adaptações.

Para este ensaio foi utilizado uma solução saturada de sulfatos de sódio. Esta solução foi a mistura do sulfato sódio de (NaSO_4) com água potável, para a sua realização foi utilizado um misturador mecânico para ajudar na dissolução do sulfato de sódio, esta mistura foi feita a uma temperatura a 20 °C. As concentrações das misturas foram de 190 g/l (norma específica: 350 g/l ou 750 g/l de água a 20°C), esta foi mantida em água a uma temperatura de 25°C-30°C e agitada regularmente, até se atingir a saturação revelada pela permanência de cristais não dissolvidos.

O volume da solução de sulfato utilizado foi igual a 5x o volume dos provetes imersos, estes ficaram cobertos de solução saturado pelo menos 2,5 cm. O recipiente esteve sempre tapado para evitar a evaporação da solução e a entrada de impurezas. No decorrer do ensaio a densidade permaneceu entre 1,15 e 1,17 a uma temperatura de 21°C \pm 1°C.

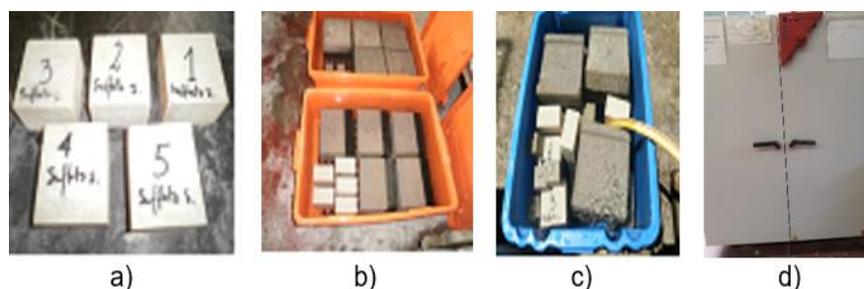


Figura 45. a) Preparação dos provetes, b) imersão, c) lavagem, d) secagem na estufa, é um ciclo durante o ensaio

Durante o ensaio a temperatura foi mantida a cerca de 19 a 22 °C para evitar a cristalização do sulfato de sódio.

Depois de preparação da solução, os provetes foram colocados dentro do tanque com solução saturada, isto durante 24 horas (a norma prevê 16 a 18 horas), para acelerar a degradação.

Decorrido este tempo os provetes foram retirados do tanque, deixados a escorrer durante 20 a 25 minutos e colocados na estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ para todos os provetes.

No final de cada cinco ciclos os provetes foram lavados com água potável e permaneceram na estufa durante 5 dias para obter a massa constante, esta massa é obtida após o arrefecimento dos provetes á temperatura ambiente (Figura 45).

Após cada período (cinco ciclos) de imersão observou-se os provetes, a fim de se verificar fissuração, esfoliação, fragmentação, esfarelamento ou qualquer outro tipo de alteração. No final da última imersão, anotaram-se as alterações que sofreram os provetes.

Os ensaios fornecem resultados quantitativos (perda de massa em percentagem) e qualitativas alterações verificadas) no

Quadro 4 e Figura 46.

Sendo:

pi - As perdas dos provetes expressas em percentagem ;

mi - as massas iniciais dos provetes;

m'i - as massas dos provetes após a peneiração fina

$$pi = \frac{mi - m'i}{mi} \times 100 \quad (3)$$

Quadro 4. Resultado de alteração por absorção de sulfato de sódio por imersão

Provetes	No dos provetes	Massa seca constante (g)	Massa imerso (g)	Massa seca constante (g)	pi (%)	Média (%)
Quinto ciclos						
Pedra calcário moca creme	1	1366,4	1431	1369,9	-0,3	
	2	1371,4	1435,6	1375,2	-0,3	
	3	1397,5	1458,9	1400,6	-0,2	-0,3
	4	1384,4	1444,9	1387,7	-0,2	
	5	1362,8	1428,2	1366,5	-0,3	
Décimo ciclo						
	1	1369,9	0	0	100,0	91,3

	2	1375,2	175,3	110,5	92,0
Pedra calcária moca creme	3	1400,6	153,4	124,8	91,1
	4	1387,7	435,9	371,7	73,2
	5	1366,5	0	0	100,0

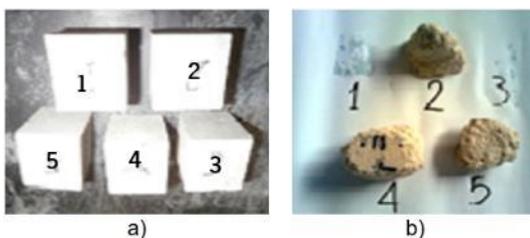


Figura 46. a) Provetes no início, b) Resultado visual de décimo ciclo pelo sulfato de sódio por imersão

3.1.5 Alteração por absorção de sulfato de sódio por capilaridade da pedra calcária

A utilização das soluções saturadas de sulfato de sódio realizou-se com as duas normas NP EN 1378 [21], e NP EN 772 – 11 [22].

Os ensaios de absorção de sulfato de sódio por capilaridade da pedra calcária foram efetuados pelo mesmo método de ensaio de capilaridade. Os resultados foram calculados quantitativamente e qualitativamente pela mesma regra da equação (3) do ensaio da imersão de sulfato sódio na página anterior (Quadro 5).

Na Figura 47 apresenta-se o aspeto dos provetes após o quinto ciclos do ensaio de sulfato de sódio por capilaridade.

Quadro 5. Resultado de alteração por absorção de sulfato de sódio por capilaridade

Nome dos provetes	No dos provetes	Massa seca constante (g)	Massa imerso (g)	Massa seca constante (g)	pi (%)	Média (%)
Pedra calcário 10x10x5,7 (cm)	1	1377,8	1417,3	1353,0	1,8	2,0
	2	1375,7	1405,7	1344,8	2,2	
	3	1387,9	1376,6	1314,0	5,3	
	4	1288,0	1339,7	1306,3	-1,4	

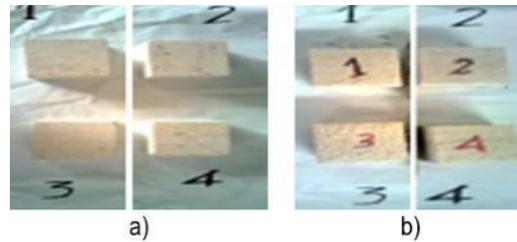


Figura 47. a) provetes no início, b) Resultado da resistência de sulfato de sódio por capilaridade da pedra calcária

3.1.6 Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino para as pedras calcárias

O ensaio de determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino para as pedras calcárias moça creme efetuou-se de acordo com a NP EN 14147 [23].

O objetivo específico é o método para avaliação da resistência das pedras calcária ao envelhecimento por ação de nevoeiro salino.

O princípio do ensaio consiste em colocar os provetes numa câmara com temperatura e humidade relativa condicionada, executando ao longo de 4 horas do ensaio uma nebulização com uma solução salina e de seguida durante 8 horas ficam submetidos a um período de secagem, este ciclo é repetido sucessivamente.

A preparação dos provetes contempla no mínimo 6 amostras, isto para que seja representativa da pedra a ensaiar, quanto às dimensões dos provetes, devem ser cúbicos com (50 ± 1) mm de aresta.

Na preparação das amostras deve-se ter o cuidado de lavar a superfície do provete, utilizando uma água desionizada para remoção de todo e qualquer material solto.

Para facilitar na observação visual a perda de material nas arestas dos provetes, estas devem encontrar-se pintadas com um marcador de tinta indelével, tal como se fez neste estudo.

Antes de se utilizar a câmara deve ser executado um ensaio preliminar de funcionamento do equipamento, colocando os dois coletores de névoa na câmara (um deles perto dos bicos atomizadores e o outro afastado deles) e nebulizar a solução salina durante pelo menos 16 h. No final verificar se cada um deles recolheu 1,0 ml a 2,0 ml de solução por hora.

Na preparação dos provetes, estes devem ser colocados previamente numa estufa com uma temperatura de (70 ± 5) °C até massa constante. Considera-se que a massa constante é atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas realizadas num intervalo de (24 ± 2) h não for superior a, 0.1 %. O peso dos provetes secos e considerado como o valor inicial (M_0).

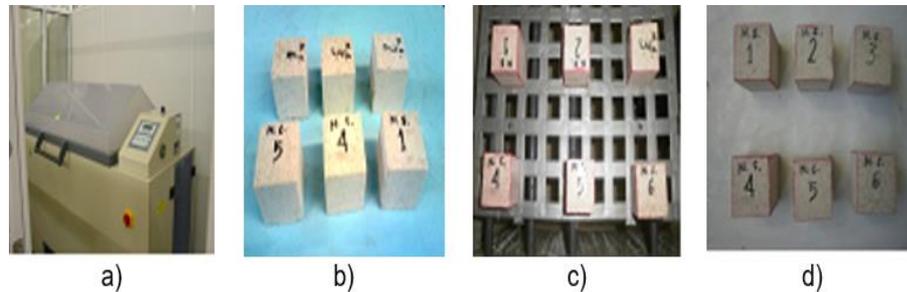


Figura 48. a) Câmara, b) provete início, c) resultados de ensaios de 60º ciclos, d) resultados de 75ºciclos de nevoeiro salino

Após a preparação dos provetes e para iniciar o ensaio, as amostras devem ser colocadas na câmara sobre suportes não corrosivos (vidro, plástico etc) e afastados uns dos outros. Deve ser cumprido o afastamento para que as faces do provete estejam submetidas ao nevoeiro salino.

Durante o ciclo do ensaio a temperatura da câmara do nevoeiro salino deve estar a uma temperatura de 35 ± 5 °C. O ensaio consiste em 60 ciclos, embora possa ser dado por concluído mais cedo se por inspeção visual se verificar que pelo menos dois dos provetes racharam ou desintegraram completamente (Figura 48).

A cada 15 ciclos são retirados da câmara para inspeção visual.

No final do ensaio, os provetes são cuidadosamente removidos da câmara e imersos em água desionizada para que todo o sal depositado seja removido. O volume da água de lavagem contida pelo recipiente deve estar compreendido entre duas e três vezes o volume total dos provetes. Este processo é muito lento devendo a água ser diariamente substituída até que a remoção do sal seja completa. A remoção é considerada concluída quando a condutividade da água onde se encontram mergulhados os provetes não excedam duas vezes o valor característico da água original.

Em seguida, os provetes são secos à temperatura de (70 ± 5) °C até massa constante, deixados a arrefecer até a temperatura ambiente pesados (M_n) e inspecionados visualmente.

Os resultados são expressos em termos da perda de massa e dos resultados da inspeção visual relativamente ao aspeto dos provetes, à existência de fissuras ou de outros sinais relevantes de degradação. As modificações ocorrentes nas marcas efetuadas com tinta indelével podem ajudar nesta inspeção.

Para cada provete, a perda de massa é calculada em percentagem, do modo seguinte:

$$(\Delta M\%) = \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100 \quad (4)$$

Onde: M_o = Massa do provete seco, em gramas

M_n = Massa do provete seco após n ciclos de ensaio, em gramas

ΔM = Perda da massa em percentagem.

Também se calcula a média dos resultados obtida para o conjunto de 6 provetes de pedra calcária da medida de 5,7 x 5,7 x 5,7 cm, valor média é de -0,1 % por ensaio de nevoeiro salino de 75 ciclos.

3.1.7 Resistência ao cloreto de sódio por capilaridade das pedras calcárias

Este ensaio efetuou-se com a adaptação das duas normas de neveiro salino NP EN – 14147 [23] e absorção de água por capilaridade NP EN 772 – 1 [18].

O princípio do ensaio consiste em colocar os provetes numa tina e executar o ensaio por capilaridade com uma solução de cloreto de sódio durante 24 horas, em seguida todos os provetes serão submetidos a secagem durante 24 horas. Este ciclo é repetido sucessivamente até 15 ciclos

Para cada ensaio de degradação pelo cloreto de sódio a utilização das fórmulas é a mesma para todos os resultados da perda de massa.

No ensaio de resistência ao cloreto de sódio por capilaridade, todos os resultados serão calculados quantitativamente pela mesma equação (4) para as pedras calcárias moça creme e efetuado pelo mesmo método de ensaio.

Na Figura 49 encontra-se visualmente a degradação das pedras calcárias, podemos observar um pouco da degradação das partes das arestas, começando-se por degradar por volta do 15º até 25º ciclo, embora ainda não sejam mudanças significativas.

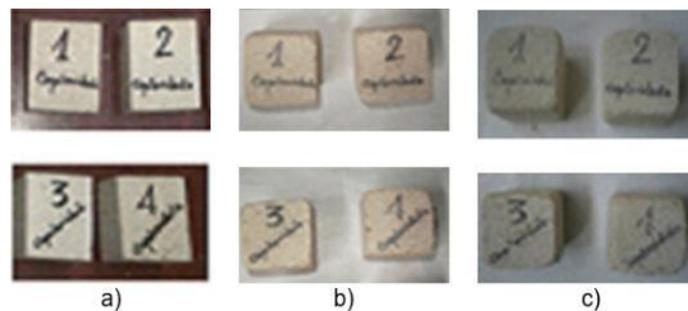


Figura 49. a) Proвете no início, b) resultados de 15º ciclos, c) resultados de 25º ciclos de cloreto de sódio por capilaridade

3.1.8 Resistência ao cloreto de sódio por imersão para as pedras calcárias

Ensaio da resistência ao cloreto de sódio por imersão os resultados são calculados pela equação (4) para as pedras calcárias moça creme, e utilizando o mesmo método de ensaio (Quadro 6).

Os resultados obtidos neste ensaio de imersão em cloreto de sódio, até 25º ciclo apresentam defeitos de degradação nas arestas e mudança de cor, mas não fissurações como mostram na Figura 8.

Quadro 6. Resultado de 10º, 20º e 25º ciclos por imersão de cloreto de sódio

Nº dos provetes	Massa seca constante	Massa seca 10 ciclo	Δ M (%)	Média (%)	Massa seca 20 ciclo			Massa seca 25 ciclo		
					Δ M (%)	Média (%)	Δ M (%)	Média (%)	Δ M (%)	Média (%)
1	693,7	702,6	-1,3		697,7	-0,6		684,5	1,3	
2	691,9	700,0	-1,2	-1,2	695,0	-0,4	-0,4	678,8	1,9	1,7
3	702,7	710,7	-1,1		705,1	-0,3		691,7	1,6	

4	700,2	708,9	-1,2	701,4	-0,2	686,1	2,0
---	-------	-------	------	-------	------	-------	-----



Figura 50. Resultado visual a) provete no início b) 25ºciclos por imersão de cloreto de sódio

4. CONCLUSÕES

A pedra natural, como elemento de alvenaria e decoração, pode ser utilizada em muitas áreas de aplicação. Está quase sempre ao nosso redor em áreas comerciais, nas fachadas e também em ambientes particulares. Infelizmente, tem-se dado pouca atenção à melhor estratégia para fixar pedras naturais sem risco de reclamações embaraçosas.

Em grande parte das falhas a água, o clima e o ambiente representam um papel importante: como meio de transporte para colorantes originando manchas, sais ou simplesmente como responsável de danos. Mas tais problemas são definitivamente evitáveis: selecionando as pedras corretas para determinadas aplicações e os produtos certos para as fixar.

A fissuração da pedra calcária moca creme pode resultar das dilatações e contrações devidas à mudança de temperatura provocadas pela secagem e humedecimento dos elementos submetidos a carga e umidade, que podem ainda acelerar reações expansivas. Uma das causas principais das alterações patológicas é a poluição atmosférica, mas a água e a temperatura desempenham igualmente um papel muito importante no desenvolvimento das deteriorações. Estes fatores atuam independentemente ou em conjunto e acarretam transformações e tensões físicas e químicas que desencadearam os processos de degradação.

Ao nível do ataque químico, observou-se que os provetes que não tiveram qualquer tipo de pintura apresentavam, desde logo a partir do 3º ciclo alguma degradação e fissuras dos materiais como pedras, e argamassas. Para os ensaios de absorção de sulfato de sódio por imersão os resultados indicam degradação a partir do 10º ciclo. Quanto a absorção de sulfato de sódio por capilaridade a degradação aparece a partir do 5º ciclo. Relativamente ao cloreto de sódio a degradação apenas se nota a partir do 25º ciclo. O nevoeiro salino apenas mostrou degradação a partir do 25º ciclo.

A utilização de materiais de qualidade para alvenaria mais duráveis significa uma vida útil maior e um menor consumo de recursos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Adenda nº 20 ao Protocolo de Cooperação Cultural, Científica, Pedagógica e Institucional entre a Universidade do Minho e a Universidade Nacional de Timor Lorosa'e. O primeiro autor deseja expressar a sua gratidão pelo apoio da Universidade Nacional de Timor Lorosa'e.

REFERÊNCIAS

-
- [1] J. (Coimbra U. Gouveia, P. (Minho U. Lourenço, and G. (Minho U. Vasconcelos, “Soluções construtivas em alvenaria,” *Congr. Construção 2007*, pp. 1–12, 2007.
- [2] P. B. (UM) Lourenço, F. (DEC-U. Pagaimo, and E. (DEC-U. Júlio, “Caracterização das paredes de alvenaria da vila de Tentúgal,” *Rev. Port. Eng. Estruturas*, vol. 54, pp. 35–42, 2005.
- [3] M. M. Araújo, “Métodos de Investigação em Engenharia’, Acetatos das aulas da Unidade Curricular de Metodologias de Investigação .,” p. Universidade do Minho, Guimarães Portugal, 2010.
- [4] M. F. P. Pereira, “Anomalias Em Paredes De Alvenaria Sem Função Estrutural,” p. 489, 2005.
- [5] N. E. 772-16-2002, “Determinação das dimensões dos blocos de alvenaria.” .
- [6] Reis Miguel, “A Marcação CE nos Produtos da Construção,” 2009.
- [7] E. LNEC, “Boletim Informativo 8,” 2004.
- [8] J. C. A. Roque and P. B. Lourenço, “Caracterização Mecânica de Paredes Antigas de Alvenaria. Um Caso de Estudo no Centro Histórico de Bragança,” *Número 17*, pp. 31–42, 2003.
- [9] J. M. Pereira, J. Brilha, and M. Gomes, “Proposta para a promoção do património geológico e da geoconservação na Conservação da Natureza de Cabo Verde,” vol. 3, no. 1, pp. 3195–3210, 1975.
- [10] A. Araújo, J. Brito, and E. Júlio, “Manual de Inspeção de Patologia Exterior de Construções Edificadas em Portugal no Período de 1970 a 1995,” *Relatório ICIST, DTC*, 2008.
- [11] NP EN 998-1 Standard, “Specification for masonry units- Natural stone masonry,” 2000.
- [12] CEN - EN 998-2 Standard, “Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar,” p. European Committee for Standardization, Caparica, 2001.
- [13] J. L. B. de Aguiar, *Materiais de construção I sobre Pedras, Ligantes, argamassas, madeiras e Metais*. Universidade do Minho, Guimarães Portugal, 2007.
- [14] BS-EN197-1:, “Cement Part 1: Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements,” *Br. Stand.*, no. November, p. 50, 2011.
- [15] I. P. da Q. IPQ, “NP EN 196-1. Métodos de ensaio de cimentos. Parte 3: Determinação das resistencias mecânicas.,” *Norma Port.*, p. 37, 2006.
- [16] IPQ - NP EN 13139/AC, “Agregados para Argamassas,” p. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Lisboa, 2010.
- [17] NP EN 934 -3. 2006. Ajuvantes para argamassa de alvenaia. Caparica : s.n., 2006.
- [18] NP EN 772-1. 2002. Métodos de ensaio de blocos para alvenaria, parte 1: Determinação da resistência à compressão. Caparica : s.n., 2002.
- [19] 771-5 European Norm NP EN, “Specification for stone masonry units,” 2003.
- [20] NP EN 1097-6 Standard, “Norma Europeia - Tests for mechanical and physical properties of aggregates,” CEN - Comité Europeu de Normalização. p. 28, 2000.

-
- [21] NP 1378_1976 Standard, “Ensaio de alteração pelo sulfato de sódio e magnésio.” .
- [22] NP EN 772-11-2002 Standard European, “Determinação da absorção de água por capilaridade de blocos para alvenaria.” .
- [23] .NP EN. 14147. 2007., “Métodos de ensaio para pedra natural, Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Caparica : s.n.,” 2007.