

## Performance evaluation of rendering mortars with artificial and recycled lightweight aggregates

## Avaliação do desempenho de argamassas de revestimento com agregados leves artificiais e reciclados

Paula Alexandra Gil Barroca - barroca\_paula@hotmail.com

Universidade da Beira Interior

Miguel Costa Santos Nepomuceno - mcsn@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

Luiz António Pereira de Oliveira - luiz.oliveira@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

### Abstract

The present article describes the experimental evaluation of rendering mortars with the incorporation of artificial and recycled lightweight aggregates. Artificial aggregates of expanded clay (LS) and aggregates from recycling, namely, natural cork (COR), expanded cork (CEX) and expanded polystyrene (EPS) were used. A typical rendering mortar with Portland cement, hydrated lime and natural aggregates in the proportion of 1:1:5 in dry bulk volume was produced to be used as a reference. To evaluate the influence of the lightweight aggregates in the mortar properties, sixteen mixtures were produced with the same proportion in dry bulk volume of 1:1:5, but replacing the fraction of the natural aggregates by each of the lightweight aggregates (LS, COR, CEX and EPS) with the percentages of replacement of 25%, 50%, 75% and 100%. Dosages of water and superplasticizer were adjusted so that all mortars presented the same consistency in terms of flow table spread, between 160 and 180 mm. The physical and mechanical properties of the mortars were evaluated. The results confirmed the feasibility of using lightweight aggregates as an alternative or complement to natural aggregates. In general, the mortars have shown a good performance in the standpoint of physical and mechanical properties.

### Resumo

O presente artigo descreve a avaliação experimental de argamassas de revestimento com incorporação de agregados leves artificiais e reciclados. Foram utilizados agregados artificiais de argila expandida (LS) e agregados provenientes da reciclagem, nomeadamente, a cortiça natural (COR), a cortiça expandida (CEX) e o poliestireno expandido (EPS). Para servir de referência, produziu-se uma argamassa típica de revestimento com cimento Portland, cal hidratada e agregados naturais ao traço 1:1:5 em volume aparente seco. Para avaliar a influência dos agregados leves nas propriedades das argamassas, foram produzidas dezasseis misturas com o mesmo traço de 1:1:5 em volume aparente seco, mas substituindo a fração dos agregados naturais por cada um dos agregados leves (LS, CR, CEX e EPS) com as percentagens de substituição de 25%, 50%, 75% e 100%. As dosagens de água e de superplastificante foram ajustadas de modo que todas as argamassas apresentassem a mesma consistência no ensaio da mesa de espalhamento, compreendido entre 160 e 180 mm. Foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas das argamassas. Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade da utilização de agregados leves como alternativa ou complementaridade aos agregados naturais. Em geral, as argamassas apresentaram bons desempenhos do ponto de vista físico e mecânico.

### Keywords

Mortars, Lightweight aggregates, Recycled aggregates, Expanded clay, Cork, Expanded polystyrene, Mechanical properties, Physical properties, Workability.

### Palavras-chave

Argamassas, Agregados leves, Agregados reciclados, Argila expandida, Cortiça, Poliestireno expandido, Propriedades mecânicas, Propriedades físicas, Trabalhabilidade.

# Avaliação do desempenho de argamassas de revestimento com agregados leves artificiais e reciclados

## 1. Introdução

Os revestimentos, em especial os rebocos exteriores, possuem um papel fundamental na estanquidade à água dos edifícios e são a primeira barreira física da envolvente exterior responsável por garantir a durabilidade, salubridade e conforto das habitações. Para desempenhar adequadamente as funções que lhes são exigidas os revestimentos devem satisfazer determinados requisitos de qualidade, dos quais se destacam os relacionados com os seguintes aspetos: trabalhabilidade, aderência ao suporte, resistência à fissuração, capacidade de impermeabilização em zona não-fissurada, permeabilidade ao vapor de água, resistência aos choques, durabilidade e aspeto estético.

No sentido de aprimorar a qualidade dos revestimentos tem havido uma aposta crescente na introdução de novos constituintes capazes não só de melhorar o desempenho das argamassas a níveis físicos e mecânicos, mas também em termos energéticos [1]. Para além dos componentes típicos das argamassas, têm sido introduzidos agregados leves em substituição dos agregados naturais, criando um material de revestimento aligeirado e com baixa condutibilidade térmica [2,3]. Em alguns casos de revestimentos interiores, para melhorar a capacidade de armazenamento de energia térmica (inércia térmica) têm sido testadas soluções de agregados leves impregnados com materiais de mudança de fase [4].

Os agregados leves utilizados na produção de argamassas de baixa condutibilidade térmica podem ser provenientes da reciclagem ou produzidos industrialmente. A granulometria e o volume destes agregados desempenham um papel preponderante nas propriedades da microestrutura morfológica da argamassa, nomeadamente na dimensão, quantidade e forma dos poros, fazendo com que em argamassas leves o papel da estrutura porosa seja fundamental. A formação de poros é essencialmente influenciada pelo excesso de água, em relação ao necessário para o processo de hidratação. Esta quantidade de água ao evaporar-se dá lugar a vazios. Se estes vazios (poros) se formarem na zona de ligação entre a pasta do aglomerado e as partículas do agregado denomina-se de porosidade de interface. Por outro lado, se os poros forem de menores dimensões e resultantes do endurecimento do aglomerante, esta é denominada de porosidade de matriz [5].

Várias investigações sobre o assunto sugerem que o agregado leve, devido à sua porosidade, absorve água da matriz do aglomerante envolvente, levando a uma redução da porosidade na zona de transição de interface (ITZ) [6]. Estes estudos não identificaram variações significativas na ITZ em argamassas com agregados leves saturados, comparativamente a agregados leves secos e agregados normais, possivelmente devido à remoção de água dos poros pelas forças exercidas durante o processo de mistura. Estes estudos evidenciam ainda uma absorção por capilaridade mais elevada em argamassas com agregados normais, do que em argamassas com agregados leves. O resultado destes valores reduzidos de transporte parecem ser atribuídos à densidade da pasta existente na superfície dos agregados leves, fazendo com que a elevada porosidade do agregado leve não possua influência nesta questão, uma vez que este se encontra selado por uma zona de transição bastante densa [6].

Avaliar a qualidade das argamassas de revestimento com incorporação de agregados leves constitui o principal objetivo deste trabalho. Para a concretização deste estudo foram utilizados agregados artificiais de argila expandida com designação de Leca S (LS), e materiais provenientes da reciclagem como sejam a cortiça natural (COR), a cortiça expandida (CEX) e o poliestireno expandido (EPS).

## 2. Descrição do programa experimental

### 2.1 Caracterização dos materiais utilizados

Os materiais utilizados no presente estudo incluíram: ligantes, adjuvantes, agregados naturais, agregados leves e água. Os ligantes utilizados foram o cimento Portland (CEM I 42,5R), com uma massa volúmica de  $3100 \text{ kg/m}^3$  e uma baridade não compactada de  $1073 \text{ kg/m}^3$  e a cal hidratada (CL80), com uma massa volúmica de  $2310 \text{ kg/m}^3$  e uma baridade não compactada de  $380 \text{ kg/m}^3$ . O adjuvante selecionado foi um superplastificante (SP) de última geração, com designação comercial Sika® ViscoCrete® 3005 e uma massa volúmica média de  $1050 \text{ kg/m}^3$ . Quanto aos agregados naturais, Tabela 1, optou-se por uma areia natural rolada fina (areia amarela) designada de Areia 0/2, com uma areia natural rolada de grão médio designada de Areia 0/4, ambas de origem fluvial.

Tabela 1 - Características físicas dos agregados naturais

	Baridade [ $\text{kg/m}^3$ ]	Massa volúmica [ $\text{kg/m}^3$ ]	Absorção de água [%]	Módulo de Finura
Areia 0/2	1293,2	2559	0,78	2,202
Areia 0/4	1425,0	2586	0,68	2,853

A escolha dos agregados leves, Tabela 2, incidiu principalmente no pressuposto de estes serem materiais provenientes da reciclagem. Os materiais provenientes da reciclagem de resíduos urbanos e industriais incluíram: a cortiça natural (COR), a cortiça expandida (CEX) e o poliestireno expandido (EPS). Como material de origem industrial foi selecionada a argila expandida (LS). Os agregados leves usados no presente estudo são ilustrados na Fig. 1.

Tabela 2 - Características físicas dos agregados leves

	Baridade [ $\text{kg/m}^3$ ]	Massa volúmica [ $\text{kg/m}^3$ ]	Absorção de água [%]	Módulo de Finura
LS	420,0	929,6	26,2	4,922
COR	95,7	511,4	244,3	4,606
CEX	86,7	560,1	123,4	2,366
EPS	12,2	114,6	193,0	4,678

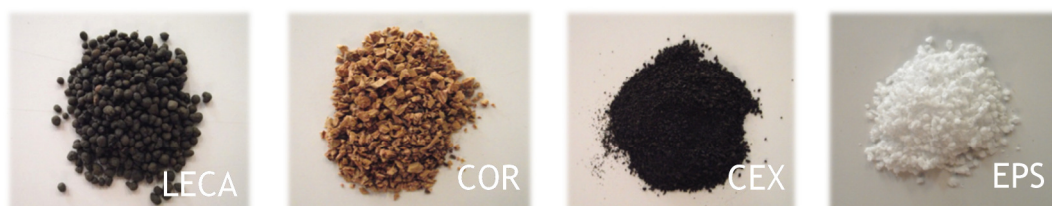


Figura 1 - Materiais utilizados na composição das argamassas com agregados leves

### 2.2 Argamassas estudadas

Para o presente estudo experimental foi produzida uma argamassa típica de revestimento, de referência, a um traço em volume aparente de 1:1:5, constituída por CEM I 42,5R, CL80, Areia 0/2 e Areia 0/4, SP e água. Para além da argamassa de referência, foram ainda produzidas outras 16 argamassas, combinando o tipo de agregado leve utilizado (LS, COR, CEX e EPS) com a percentagem de substituição do agregado natural por agregados leves de 25%, 50%, 75% e 100%. Todas as argamassas foram fabricadas com a mesma proporção de volume aparente seco 1:1:5, sendo que a parcela de agregados naturais foi sempre usada na proporção de 2/3 de Areia 0/4 e 1/3 de Areia 0/2, independentemente da percentagem de substituição de agregados naturais por agregados leves.

Como se pretendia que todas as argamassas tivessem a mesma trabalhabilidade, foi estabelecido um intervalo de valores na mesa de espalhamento, compreendido entre 160 e 180 mm. Essas propriedades foram obtidas através do ajuste das dosagens de água e, em alguns casos, pelo ligeiro ajuste da dosagem de superplastificante, face aos valores obtidos na argamassa de referência. A Tabela 3 apresenta os traços das argamassas após o acerto. Na Tabela 3, as argamassas assinaladas como inviáveis foram aquelas em que os acertos da água e do superplastificante não foram suficientes para garantir adequadas propriedades reológicas e de estabilidade (segregação e exsudação). As argamassas consideradas inviáveis não foram avaliadas neste estudo. A Tabela 4 apresenta as quantidades obtidas após o acerto de cada uma das argamassas consideradas viáveis do ponto de vista das propriedades no estado fresco.

Tabela 3 - Misturas produzidas após o acerto das argamassas

	Ref.	LS 25	COR 25	CEX 25	EPS 25	LS 50	COR 50	CEX 50	EPS 50	LS 75	COR 75	CEX 75	EPS 75	LS 100	COR 100	CEX 100	EPS 100
CEM I 42,5R	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	*	*	*	1,00	*
CL80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	*	*	*	1,00	*
Areia 0/2	1,67	1,25	1,25	1,25	1,25	0,83	0,83	0,83	0,83	0,42	0,42	0,42	*	*	*	-	*
Areia 0/4	3,33	2,50	2,50	2,50	2,50	1,67	1,67	1,67	1,67	0,83	0,83	0,83	*	*	*	-	*
LS	-	1,25	-	-	-	2,5	-	-	-	3,75	-	-	*	*	*	-	*
COR	-	-	1,25	-	-	-	2,5	-	-	-	3,75	-	*	*	*	-	*
CEX	-	-	-	1,25	-	-	-	2,5	-	-	-	3,75	*	*	*	5,0	*
EPS	-	-	-	-	1,25	-	-	-	2,5	-	-	-	*	*	*	-	*
Água (%)	16,8	14,0	14,2	18,3	14,9	11,8	13,9	23,2	14,0	10,4	17,2	26,3	*	*	*	28,8	*
SP[ml/kg <sub>ciment.</sub> ]	8	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	0	*	*	*	0	*

\*Argamassas inviáveis

Tabela 4 - Dosagens das misturas avaliadas no presente estudo

Argamassas		W (%)	SP (ml/kg)	CEM I (kg)	CL 80 (kg)	W (l)	W/MC	W/C	
% de Substituição	0	Ref.	16,8	8	238,0	84,3	260,8	0,809	1,096
	25	LS25	14,0	8	246,6	87,3	225,2	0,674	0,913
		COR25	14,2	8	240,5	85,2	222,8	0,684	0,926
		CEX25	18,3	8	245,4	86,9	292,9	0,881	1,194
		EPS25	14,9	8	262,8	93,0	255,4	0,718	0,972
	50	LS50	11,8	8	253,3	89,7	195,0	0,568	0,770
		COR50	13,9	8	234,3	83,0	212,4	0,670	0,907
		CEX50	23,2	0	240,0	85,0	363,1	1,117	1,513
		EPS50	14,0	8	287,7	101,9	262,5	0,674	0,913
	75	LS75	10,4	8	256,8	90,9	174,2	0,501	0,678
		COR75	17,2	8	216,5	76,6	242,8	0,828	1,122
		CEX75nova	26,3	0	225,5	79,8	386,8	1,267	1,715
	100	CEX100nova	28,8	0	223,7	79,2	420,2	1,387	1,878

W - água de amassadura; W/MC - Razão em massa entre as quantidades de água e de materiais cimentícios da mistura;  
W/C - Razão em massa entre as quantidades de água e de cimento da mistura.

## 2.3 Ensaios realizados

### 2.3.1 Ensaios no estado fresco

No estado fresco, para além da consistência, determinou-se a massa volúmica aparente da argamassa de acordo com a norma EN 1015-6:1999 [7], a retenção de água segundo a norma EN 1015-8:1999 [8] e os parâmetros reológicos (tensão de cedência e viscosidade plástica relativos) medidos com recurso ao reómetro Viskomat NT. No entanto, os parâmetros reológicos não serão discutidos no âmbito deste artigo. Alguns resultados já publicados, relativos ao comportamento reológicos destas argamassas com incorporação de cortiça, podem ser consultados na referência [9,10].

### 2.3.2 Ensaios no estado endurecido

No estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à flexão e compressão de acordo com a norma EN 1015-11:1999 [11], de absorção de água por capilaridade segundo a norma EN 1015-18:2002 [12], da massa volúmica de acordo com a norma EN 1015-10:1999 [13] e de retração segundo o prEN 1015-13:1995 [14]. Efetuou-se ainda o ensaio de aderência ao substrato segundo a norma EN 1015-12:2000 [15], recorrendo a carotagem parcial utilizando o equipamento e o procedimento de ensaio descritos por Nepomuceno no âmbito dos ensaios não destrutivos “pull-off” aplicados em betões [16,17].

## 3. Apresentação e discussão dos resultados

### 3.1 Caracterização das argamassas no estado fresco

A Tabela 5 apresenta os valores dos diâmetros de espalhamento das argamassas medidos na mesa de espalhamento. Todos os valores se situaram no intervalo estabelecido como alvo, ou seja, entre 160 e 180 mm. Os valores da massa volúmica das argamassas no estado fresco ( $\rho_m$ ) são apresentados graficamente na Fig. 2, mostrando uma redução lógica dos valores com o aumento do teor de substituição do agregado natural pelo agregado leve. Esta diminuição ocorre em todas as argamassas, sendo mais significativa nas argamassas com COR.

Tabela 5 - Valores do espalhamento obtido na mesa de espalhamento (“Flow-Table”)

Argamassas		Espalhamento [mm]	Desvio padrão, Sd [mm]	
% de Substituição	0	Ref.	175	4,3
	25	LS25	162	1,1
		COR25	175	0,0
		CEX25	164	0,3
		EPS25	168	2,8
	50	LS50	174	3,5
		COR50	174	0,8
		CEX50	169	5,8
		EPS50	171	0,5
	75	LS75	161	0,8
		COR75	163	2,5
		CEX75nova	173	2,0
	100	CEX100nova	166	2,3

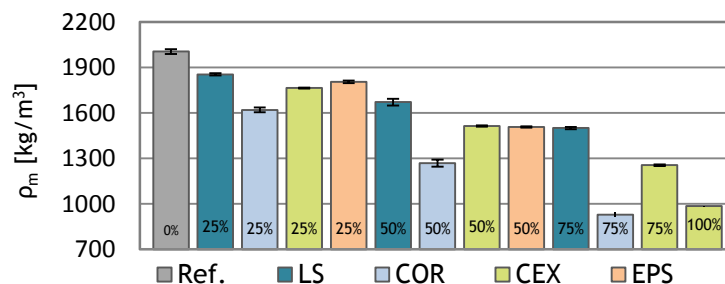


Figura 2 - Massa volúmica das argamassas no estado fresco

Os valores de retenção de água (WRV) ilustrados na Fig. 3, verificam o adequado desempenho destas argamassas. Uma elevada retenção de água é um indicador de um bom comportamento das argamassas. A água em demasia constitui um problema, no entanto quando na medida adequada é um fator importante na hidratação dos seus compostos. Este desempenho pode ainda ser confirmado por comparação com as recomendações do “Centre Scientifique et Technique du Bâtiment”, nomeadamente a classificação de MERUC [18]. Analisando a referida classificação, verifica-se que as argamassas desenvolvidas se enquadram nas classes 3 e 4 desta classificação que é um ponto de referência no controlo de produção de argamassas.

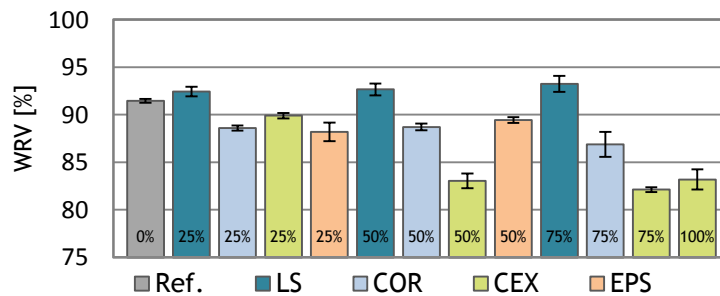


Figura 3 - Retenção de água das argamassas no estado fresco

### 3.2 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Para melhor entender o comportamento das diversas argamassas avaliaram-se diversas propriedades no estado endurecido. Uma dessas propriedades foi a massa volúmica dos provetes no estado seco e saturado. Como se pode observar através da Tabela 6, a massa volúmica dos provetes secos ( $\gamma_{seca}$ ) é sempre inferior, em aproximadamente 15%, relativamente à massa volúmica dos provetes saturados ( $\gamma_{saturada}$ ), podendo esta diferença de massas ser um indicador da quantidade de água absorvida pelos agregados e dar uma estimativa do volume de vazios existente na argamassa. Verifica-se ainda, uma diminuição da massa volúmica com o aumento da percentagem de substituição e do tipo de agregado. Segundo a classificação de MERUC [18], as argamassas produzidas pertencem às classes 1, 2 e 3, tendo como referência a massa volúmica. Este parâmetro foi ainda analisado com base na norma EN 998-1 [19]. Verifica-se no entanto, segundo esta norma, que apenas são consideradas argamassas leves aquelas cuja sua massa volúmica seja inferior a  $1300 \text{ kg/m}^3$ , pelo que apesar de todas as argamassas serem constituídas por agregados leves, nem todas poderão ser consideradas argamassas leves. Na Tabela 6, a sigla “Sd” refere-se ao desvio padrão.

Tabela 6 - Massa volúmica seca e saturada dos provetes no estado endurecido

Argamassas		$\gamma_{seca} [\text{kg/m}^3]$	Sd $[\text{kg/m}^3]$	$\gamma_{saturada} [\text{kg/m}^3]$	Sd $[\text{kg/m}^3]$	
% de Substituição	0	Ref.	1843,9	5,0	2042,1	4,8
	25	LS25	1716,9	9,0	1899,0	8,7
		COR25	1565,2	8,8	1722,4	8,1
		CEX25	1621,7	5,6	1858,6	3,5
		EPS25	1653,1	18,6	1848,9	19,4
	50	LS50	1541,8	44,9	1701,6	12,4
		COR50	1259,4	30,4	1403,4	28,4
		CEX50	1315,8	43,1	1635,5	5,0
		EPS50	1408,6	26,7	1605,2	27,8
	75	LS75	1304,2	34,5	1472,0	36,1
		COR75	753,7	23,0	960,2	36,9
		CEX75nova	999,6	10,5	1365,1	11,2
	100	CEX100nova	660,1	3,4	1098,1	3,2

Com base no ensaio de resistência à flexão (Fig. 4), verificou-se que as argamassas com baixas percentagens de EPS e de Leca (até 50%), não apresentaram uma redução significativa comparativamente aos resultados obtidos para a argamassa de referência. Verificou-se ainda uma diminuição da resistência à flexão com o aumento da percentagem de substituição, assim como uma distribuição dos valores obtidos enquadrados pelas diferentes classes da classificação de MERUC [18].

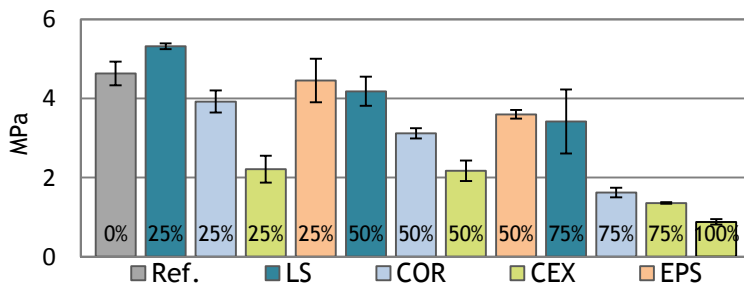


Figura 4 - Resistência à flexão das argamassas

Os resultados do ensaio de resistência à compressão são apresentados na Fig. 5. Observou-se que, independentemente da percentagem de substituição, a argamassa com Leca apresenta sempre resistências iguais ou superiores à de referência. Evidencia-se aqui o efeito da menor razão água/ligante destas argamassas e ainda a redução da água intergranular devido à absorção de água pelo agregado, reduzindo a relação água/ligante efetiva da argamassa. Todas as restantes argamassas evidenciam o comportamento mecânico esperado, ou seja, uma redução da resistência à compressão com o aumento da percentagem de substituição do agregado natural pelo agregado leve. A norma EN 998-1 [19], especifica que as argamassas leves devem ter uma resistência à compressão compreendida entre as classes CS I e CS III, cuja resistência varia entre 0,4 MPa e 7,5 MPa, e que a resistência das monomassas e argamassas de uso geral, deve estar compreendida entre as classes CS I e CS IV, o que nos permite obter resistências à compressão superiores a 6 MPa, pelo que os valores obtidos se encontram em conformidade com o especificado.

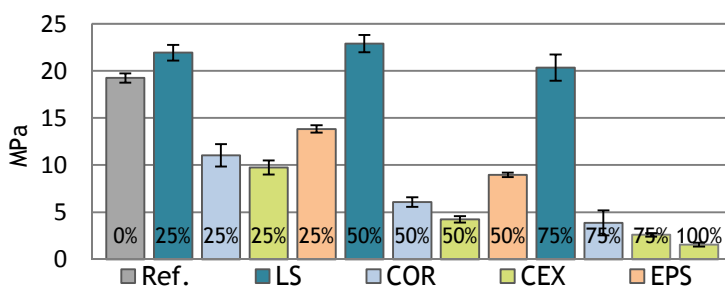


Figura 5 - Resistência à compressão das argamassas

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados do ensaio de aderência por tração. Com base neste ensaio pretendeu-se entender de que forma os agregados leves influenciam a ligação a um substrato constituído por blocos de alvenaria de betão (Fig. 6). Verificou-se que quando a argamassa LS50 foi aplicada gerou-se uma zona de “ancoragem” coesa entre os dois materiais devido à entrada da pasta de cimento nos poros dos blocos de betão, originando uma excelente resistência na interface argamassa-bloco. A rotura pela ligação argamassa-substrato deu-se em especial para as argamassas com menor percentagem de substituição, de referência e para a argamassa LS75, cujo comportamento mecânico já tinha apresentado bons resultados à compressão e flexão. Nestas argamassas verificou-se uma rotura perfeita e lisa na ligação, tendo a argamassa se desprendido dos poros do substrato uniformemente. A rotura pela argamassa deu-se nas misturas com CEX e para aquelas cuja percentagem de substituição foi superior ou igual a 50%. Para este tipo de rotura destaca-se a elevada resistência à tração da argamassa com EPS50. Verificou-se ainda pelas correlações entre a razão W/C e a tensão de aderência, que quanto menor esta razão, maiores as resistências obtidas.

Tabela 7 - Ensaio de aderência, resultados e tipos de rotura obtidos

Argamassas		Resistência à tração, $f_u$ [MPa]	Desvio padrão, $S_d$ [MPa]	Tipo de Rotura	
% de Substituição	0	Ref.	0,12	0,00	Rotura ligação argamassa- substrato
	25	LS25	0,24	0,05	Rotura pelo substrato
		COR25	0,11	0,03	Rotura pela argamassa
		CEX25	0,07	0,01	Rotura ligação argamassa- substrato
		EPS25	0,14	0,02	Rotura ligação argamassa- substrato
	50	LS50	0,26	0,01	Rotura pelo substrato
		COR50	0,10	0,00	Rotura pela argamassa
		CEX50	0,10	0,01	Rotura pela argamassa
		EPS50	0,17	0,01	Rotura pela argamassa
	75	LS75	0,13	0,04	Rotura ligação argamassa- substrato
		COR75	0,07	0,00	Rotura pela argamassa
		CEX75nova	0,06	0,01	Rotura pela argamassa
	100	CEX100nova	0,04	0,01	Rotura pela argamassa



Figura 6 - Ensaio de aderência nas argamassas LS50, EPS50, COR75 e CEX100, respetivamente

Os resultados do ensaio de capilaridade aos 28 dias são apresentados na Fig. 7. Exceto para a argamassa com CEX, observou-se uma ligeira redução do coeficiente de capilaridade com o aumento da percentagem de substituição. Este fenómeno pode ser explicado através dos estudos realizados sobre a estrutura porosa das argamassas, apresentados anteriormente. Segundo alguns autores [6], existe vantagem em utilizar agregados leves secos, ao invés de saturados. Quando estes agregados são utilizados secos, estes têm tendência a absorver uma determinada quantidade de pasta para o interior dos seus poros. Durante o processo de hidratação gera-se uma zona mais densa na zona de interface entre a argamassa e o agregado, criando-se uma impermeabilização destes poros. Assim, a água não poderá ocupar os poros já que estes se encontram preenchidos com argamassa, verificando-se assim uma redução da capilaridade. Verifica-se ainda que estes valores vão ao encontro da norma EN 998-1 [19], dado que os valores obtidos são maioritariamente inferiores a  $0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ , cumprindo com os requisitos normativos para argamassas de revestimento.

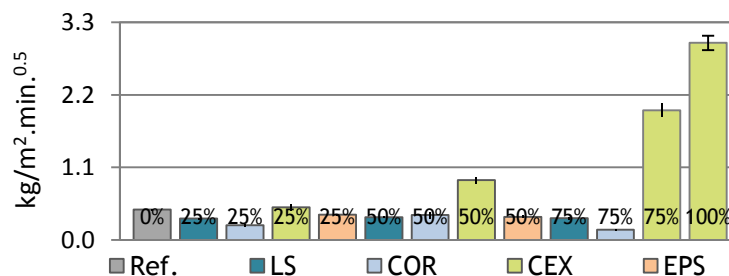


Figura 7 - Coeficiente de capilaridade aos 28 dias

Por fim, foi analisada a retração das argamassas durante 28 dias (Fig. 8). Como se pode observar, no caso das argamassas com Leca e EPS a retração manteve-se aproximadamente constante para as diversas percentagens de substituição, similares aos valores observados para a argamassa de referência. Observa-se ainda um comportamento diferente, no caso das cortiças, em especial a CEX, aparentemente por instabilização da retração desta cortiça, possivelmente devido à elevada quantidade de água utilizada na sua formulação.

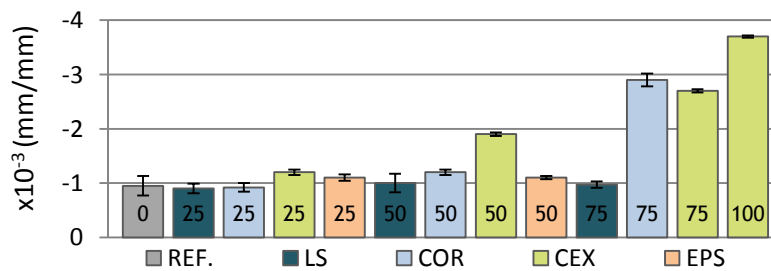


Figura 8 - Retração aos 28 dias

#### 4. Conclusões

De uma forma geral, pode-se indicar que a maioria das argamassas com incorporação parcial de agregados leves teve um comportamento adequado, apresentando uma adequada trabalhabilidade no seu estado fresco. Verificou-se de forma bastante significativa a influência dos agregados leves nas mais diversas propriedades das argamassas, tendo cada uma delas um comportamento distinto consoante o tipo de agregado e percentagem de substituição. Constatou-se ainda a influência da dosagem de água e de superplastificante nas argamassas, sendo que estas se apresentam com uma melhor trabalhabilidade, para baixas razões W/C e na presença de superplastificante. Esta trabalhabilidade foi definida através de um intervalo de valores na mesa de espalhamento compreendido entre 160 e 180 mm. Para este intervalo as argamassas apresentavam-se coesas, consistentes e com uma adequada plasticidade, fatores importantes na definição da trabalhabilidade de uma argamassa. No estado fresco estas argamassas possuem ainda uma retenção de água elevada, propriedade bastante favorável, nomeadamente quando se tratam de agregados leves, materiais com elevada absorção de água. No entanto, caso se pretenda industrializar estas argamassas deverá ser definido um tempo de trabalhabilidade que não comprometa as suas características, sendo que a absorção de água do agregado é uma dificuldade que precisará de ser averiguada.

No estado endurecido a maioria destas argamassas alcançou valores de resistência à compressão, flexão e de aderência por tração, bastante elevados, e combinados com baixos valores de capilaridade e retração, pelo que os valores alcançados podem ser um indicador de um adequado desempenho deste tipo de argamassas. Salienta-se ainda que a maioria das argamassas em estudo se encontra em conformidade com as normas vigentes, tendo cumprindo genericamente os resultados especificados para as argamassas de revestimento.

#### Referências

- [1] Frade D., Tadeu A., Torres I., Mendes P., Simões N., Matias G., Neves A. - Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça, 4º Congresso Português de argamassas, APFAC, Coimbra, 2012.
- [2] Ferrándiz-Mas, V. *et al.* - Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash, *Construction and Building Materials*, 61, Elsevier Ltd, 2014, pp. 285-292.
- [3] Palomar, I.; Barluenga, G.; Puentes J. - Lime-cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance, *Construction and Building Materials*, 75, Elsevier Ltd, 2015, pp. 306-314.
- [4] Nepomuceno, M.C.S.; Silva, P.D. - Experimental evaluation of cement mortars with phase change material incorporated via lightweight expanded clay aggregate, in «*Construction and Building Materials*», 63, 2014, p. 89-96.

- [5] Sousa A. - Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento de alvenarias, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2010.
- [6] Elsharief A., Cohen M.D., Olek J. - Influence of lightweight aggregate on the microstructure and durability of mortar, Cement and Concrete Research 35, Elsevier Ltd, 2005, pp. 1368-1376.
- [7] European Committee of Standardization EN 1015-6 - Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar, Brussels, Oct., 1999.
- [8] European Committee of Standardization prEN 1015-8 - Methods of test for mortar for masonry. Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar, Brussels, Sept., 1999.
- [9] Pereira-de-Oliveira, L.A.; Barroca P.A.G.; Nepomuceno, M.C.S. - Comportamento reológico de argamassas com agregados leves reciclados de cortiça, I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Coimbra, junho de 2014.
- [10] Barroca, P. - Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, UBI, Covilhã, 2013.
- [11] European Committee of Standardization EN 1015-11 - Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Brussels, Aug., 1999.
- [12] European Committee of Standardization EN 1015-18 - Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, Brussels, Dec., 2002.
- [13] European Committee of Standardization EN 1015-10 - Methods of test for mortar for masonry. Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar, Brussels, Aug., 1999.
- [14] European Committee of Standardization prEN 1015-13 - Methods of test for mortar for masonry. Part 13: Determination of dimensional stability of hardened mortars, Brussels, Sept., 1995.
- [15] European Committee of Standardization EN 1015-12 - Methods of test for mortar for masonry. Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates, Brussels, Feb., 2000.
- [16] Nepomuceno, M.C.S. - Ensaio Não Destrutivo em Betão, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Covilhã, UBI, Julho, 1999
- [17] Nepomuceno, M.C.S.; Lopes, S.M.R. - Non-destructive Tests on Concrete, Concrete Technology Today, Trade Link Media Pte Ltd, Singapore, 2002.
- [18] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation: Classification MERUC, Livraison 341, cahier 2669-3, Paris, juillet-août 1993.
- [19] European Committee for Standardization EN 998-1- Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar, Brussels, 2003.