

# **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de resíduos de loiça sanitária: efeito de filler e potencial efeito pozolânico**

Catarina Brazão Farinha<sup>1</sup>, Jorge de Brito<sup>2</sup>

*IST Lisboa, Portugal*

Rosário Veiga<sup>3</sup>

*LNEC Lisboa, Portugal*

## **SUMÁRIO**

Este artigo pretende dar a conhecer os resultados de uma investigação sobre o desempenho de argamassas cimentícias de revestimento com incorporação de finos de loiça sanitária moída. O estudo incide sobre a avaliação de diversas propriedades das argamassas de revestimento em quatro argamassas distintas: uma argamassa sem incorporação de finos (de referência) e outras três com incorporação de finos (partículas inferiores a 149 µm) em percentagens de 10, 15 e 20% do volume de total de areia, todas ao traço volumétrico de 1:4 (cimento: agregados).

## **PALAVRAS-CHAVE**

Resíduos, loiça sanitária, argamassas de revestimento de paredes, construção sustentável.

## **ABSTRACT**

This paper presents the results of a research about the performance of cementitious rendering mortars with an incorporation of grinded sanitary ware waste. In this research four mortars were studied: a reference mortar (without fine sanitary ware incorporation) and three mortars with incorporation of sanitary ware (particles less than 149 µm) with 10, 15 and 20% of sand volume. All mortar have the same volumetric ratio: 1:4 (cement: aggregates).

## **KEYWORDS**

Construction waste, sanitary ware, rendering mortars, sustainable construction.

---

<sup>1</sup> Mestre em Eng<sup>a</sup>. Civil - catarina.brazao.farinha@ist.utl.pt

<sup>2</sup> Professor Catedrático - jb@civil.ist.utl.pt

<sup>3</sup> Investigadora Principal - rveiga@lnec.pt

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais e de energia tem aumentado proporcionalmente ao crescimento da população mundial e ao aumento do seu nível económico. Daqui resulta um exponencial consumo de recursos escassos e um consequente aumento dos danos ambientais.

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o sector da construção civil é responsável por uma parte muito significativa dos resíduos produzidos em Portugal, situação que é comum à generalidade dos demais estados membros da União Europeia (UE), em que se estima uma produção anual global de 100 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) [1].

A indústria cerâmica é uma das que mais contribui para o volume de RCD em Portugal. Apesar de existirem vários elementos considerados como cerâmicos, de acordo com os materiais que lhes dão origem, existem dois grupos básicos de cerâmica: a vermelha e a branca.

Relativamente à indústria de cerâmica branca, a produção de loiça sanitária no âmbito da União Europeia, e de acordo com dados do Eurostat, ascendeu em 2012 a 38,1 milhões de peças. Em Portugal, existem pouco mais de uma dezena de empresas que fabricam e comercializam loiça sanitária. A produção portuguesa anual de loiça sanitária é, em média, de 4,5 milhões de peças, muito acima da média europeia, correspondendo a cerca de 12% das peças produzidas na UE (enquanto que a população portuguesa corresponde a apenas cerca de 2% da população da UE).

Outrora um sector tradicional com produção para consumo interno, esta indústria trabalha actualmente sobretudo para exportação. De acordo com a Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e de Cristalaria (APICER), em 2013 a exportação de Portugal de artigos cerâmicos para usos sanitários dirigiu-se a 97 países. Esta exportação é maioritariamente feita para a UE (cerca de 80%) com 20% de exportações para o mercado extracomunitário. Os principais mercados de destino foram Espanha (38%), França (19%), Angola (8%), Reino Unido (6%), Alemanha (6%) e Itália (5%). Em 2013, as exportações de artigos cerâmicos para usos sanitários representaram 18% da exportação total de cerâmica e 0,23% do total das exportações nacionais. A indústria da cerâmica branca, onde se insere a loiça sanitária, é portanto relevante e com algum peso no sector exportador, uma vez que consegue contribuir com 12% do total de peças da EU, conforme já referido.

Para a produção de 38,1 milhões de peças na UE e 4,5 milhões de peças em Portugal, é necessário utilizar diversos recursos naturais e uma quantidade substancial de energia. A acrescentar ao consumo de recursos e energia, há o facto de existir uma elevada percentagem de desperdício no fabrico, devido a rejeição de peças no controlo de qualidade. De acordo com Alves *et al.* [2], a indústria cerâmica portuguesa produziu em 2012 10 000 toneladas de resíduos de loiça sanitária. Estes resíduos, correspondendo a valores entre 5% e 10% da produção, se não forem reutilizados ou reciclados, têm que ser depositados em aterros.

Estes materiais não são considerados resíduos perigosos porque são inertes quimicamente. A loiça sanitária é classificada como um material não-biodegradável e, como tal, até que hajam soluções de reciclagem deste material, é depositado em aterros sanitários. De acordo com Halika *et al.* [3], a loiça sanitária demora mais de 4 mil anos a decompor-se por um processo natural, pelo que é desejável que sejam estudadas soluções para reciclar este tipo de material cerâmico.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 34/2011 [4], de 17 de Junho, a reciclagem é “qualquer operação de valorização (...) através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins”.

Desta forma, nos últimos anos, têm sido feitos estudos de incorporação de resíduos em elementos da construção, nomeadamente argamassas e betões, com o objectivo de reciclar este

RCD. A loiça sanitária já foi alvo de vários estudos de incorporação em elementos de betão [2, 3, 5, 6, 7] mas o seu desempenho em argamassas não foi ainda testado. O presente trabalho tem por objectivo estudar o desempenho de argamassas de revestimento com incorporação de loiça sanitária moída.

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiais

Neste estudo os materiais utilizados foram: cimento, areia e loiça sanitária. O ligante utilizado foi o cimento CEM II/ B-L 32,5 N da cimenteira *Secil*.

A areia utilizada foi areia lavada e calibrada pela empresa *Areipor*. A distribuição granulométrica da areia (EN 1015-1 [7]) utilizada está apresentada na Figura 1.

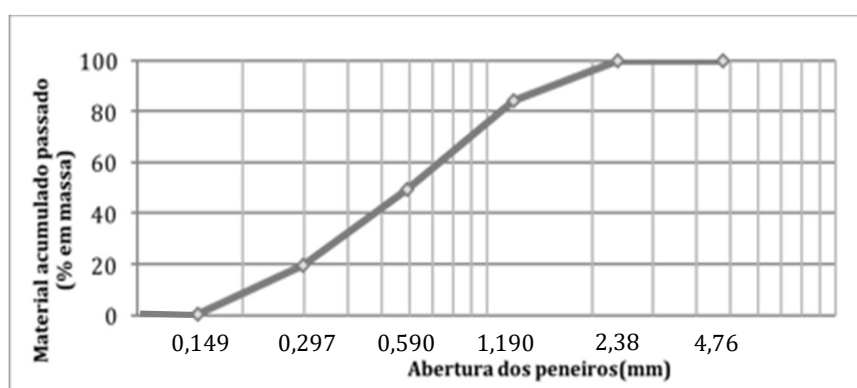


Figura 1 - Análise granulométrica.

A loiça sanitária utilizada foi proveniente de sanitas não usadas, fornecidas pela *Roca*. Este material passou por um processo de moagem antes de ser introduzido como agregado. Em primeiro lugar as sanitas foram partidas manualmente, depois foram moídas por dois equipamentos: britador de maxilas e moinho de rolos. Após a moagem, este resíduo foi peneirado e só as partículas abaixo de 149 µm foram utilizadas.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores da massa volúmica aparente (Cahier 2669-4 [8]) dos constituintes das argamassas em análise. A determinação da massa volúmica aparente é necessária para transformar os traços em volume em traços em massa.

Tabela 1 - Massa volúmica aparente.

Constituinte		Massa volúmica aparente (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Cimento</b>		975,80
<b>Areia</b>	< 0,149 mm	1439,33
	0,149 – 0,297 mm	1418,33
	0,297 – 0,59 mm	1453,47
	0,59 – 1,19 mm	1381,20
	1,19 – 2,38 mm	1412,13
<b>Loiça sanitária</b>		1041,93

### 2.2. Ensaaios

A campanha experimental efectuada é dividida em duas fases. A primeira é uma fase de selecção. Após a primeira fase de ensaios escolhe-se a argamassa com incorporação de loiça

que obtiver melhor desempenho nos ensaios previamente realizados e, em conjunto com a argamassa de referência, são feitos mais ensaios de comportamento (segunda fase experimental).

Na Tabela 2, são apresentados os ensaios realizados para cada fase experimental, bem como o tipo de cura adotado para cada ensaio e o número e tipo de provetes.

Tabela 2 - Ensaios realizados.

Fase experimental	Ensaio	Tipo de ensaio	Tipo de cura	Tipo de provete	Número de provetes
1ª	Consistência por espalhamento	Caracterização	-	Amostra em estado fresco	3
	Massa volúmica aparente	Caracterização	A	Provete prismático (40x40x160 mm)	3
	Porosidade aberta	Comportamento	A	Amostras resultantes da parte não comprimida do ensaio da resistência à compressão	3
	Módulo de elasticidade dinâmico	Comportamento	A	Provete prismático (40x40x160 mm)	3
	Ultra-sons	Comportamento	A	Provete prismático (40x40x160 mm)	3
	Resistência à tracção por flexão	Comportamento	A	Provete prismático (40x40x160 mm)	3
	Resistência à compressão	Comportamento	A	Metades dos provetes resultantes do ensaio de resistência à flexão	6
	Observação binocular	Comportamento	A	Amostras resultantes da parte não comprimida do ensaio da resistência à compressão	3
2ª	Varição dimensional (re-tracção)	Comportamento	B	Provete prismático (40x40x160 mm)	3
	Susceptibilidade à fendilhação	Comportamento	B	Aplicação de 2 cm numa superfície de um tijolo	3
	Aspecto visual	Comportamento	B	Aplicação de 2 cm numa superfície de um tijolo	3
	Aderência ao suporte	Comportamento	A	Aplicação de 2 cm numa superfície de um tijolo	3

Existem duas curas diferentes consoante os ensaios realizados (Tabela 2): A ou B. Sendo que:

A: neste tipo de cura, os moldes são colocados numa sala condicionada a uma temperatura de  $20 \pm 2$  °C e uma humidade relativa de  $95 \pm 5\%$ . Este teor de humidade é conseguido através da colocação das amostras num saco de polietileno fechado. Após dois dias de idade, os provetes são desmoldados mas mantidos nos sacos mais cinco dias. Após este período, são retirados dos sacos e condicionados a uma temperatura de  $20 \pm 2$  °C e uma humidade relativa de  $65 \pm 5\%$  até à data de ensaio;

B: neste tipo de cura, os moldes são colocados numa sala condicionada a uma temperatura de  $23 \pm 2$  °C e humidade relativa  $50 \pm 5\%$ . Aos dois dias de idade, são desmoldados e mantidos nas mesmas condições até à data de ensaio.

Todas as argamassas foram sujeitas ao mesmo procedimento de amassadura que foi realizado de acordo com a norma europeia EN 1015-2 [9].

As argamassas analisadas têm as seguintes designações:

- 1:4\_0%: argamassa de referência (sem incorporação de finos);
- 1:4\_10%: argamassa modificada com 10% de substituição do volume de areia por finos de loiça sanitária;
- 1:4\_15%: argamassa modificada com 15% de substituição do volume de areia por finos de loiça sanitária;

- 1:4\_20%: argamassa modificada com 20% de substituição do volume de areia por finos de loiça sanitária.

### 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

De seguida, são apresentados os resultados de todos os ensaios realizados nas duas fases experimentais.

#### 3.1. Primeira fase experimental

##### 3.1.1. Consistência por espalhamento

O ensaio de consistência por espalhamento foi realizado de acordo com o procedimento da norma europeia EN 1015-3 [10]. Esta recomenda espalhamentos entre  $175 \pm 10$  mm. Neste estudo, optou-se por reduzir este intervalo para  $175 \pm 3$  mm, de forma a ter argamassas com uma trabalhabilidade adequada. Os resultados deste ensaio são apresentados na Tabela 3.

Através da tabela é possível verificar que a quantidade de água necessária para se obter argamassas com a mesma trabalhabilidade é reduzida com a crescente incorporação de finos de loiça sanitária. As argamassas analisadas têm todas o mesmo traço volumétrico; assim, a redução da quantidade de água traduz-se numa redução da razão água / cimento das argamassas modificadas. Esta redução de água é devida ao efeito de filer proporcionado pelas partículas de loiça sanitária. As partículas finas de loiça sanitária moída preenchem parte do volume de vazios da argamassa, reduzindo o volume de água necessário para preencher todos os vazios da pasta.

Tabela 3 - Consistência por espalhamento.

Argamassa	Quantidade de água por $\text{dm}^3$ de argamassa (ml)	Média do espalhamento (mm)	Razão água / cimento
1:4_0%	223	174,5	1,14
1:4_10%	197	175,5	1,01
1:4_15%	190	177,5	0,97
1:4_20%	183	175,5	0,94

##### 3.1.2. Massa volúmica aparente em estado endurecido

Na Figura 2, são apresentados os resultados do ensaio de massa volúmica aparente em estado endurecido aos 28 e 90 dias.

Verifica-se com este ensaio que a massa volúmica aumenta com a crescente incorporação de loiça sanitária, para ambas as idades. A justificação deste acréscimo de massa volúmica aparente é o efeito de filer. O efeito de filer é caracterizado pelo preenchimento dos espaços vazios entre os agregados, que se traduz numa diminuição do volume dos poros, numa diminuição da quantidade de água necessária para obter a trabalhabilidade adequada e num aumento de massa dos provetes.

Este aumento de massa volúmica revela que as argamassas com incorporação deste resíduo cerâmico são mais compactas do que a argamassa de referência (1:4\_0%).

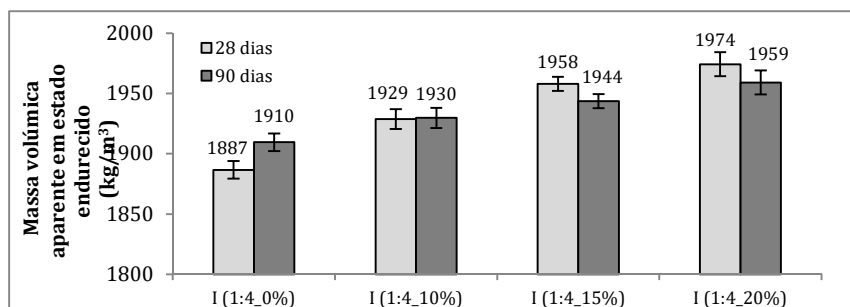


Figura 2 - Massa volúmica em estado endurecido.

### 3.1.3. Porosidade aberta

O ensaio da porosidade aberta mede, em percentagem, a quantidade de vazios interconectáveis presentes na argamassa. O ensaio foi realizado de acordo com o procedimento da norma europeia NP EN 1936 [11].

Constatou-se que a incorporação de loiça sanitária teve como consequência uma diminuição da porosidade aberta das argamassas (Figura 3). Esta redução de porosidade é devida à menor quantidade de água de amassadura. Uma menor porosidade resulta num elemento mais compacto, o que está associado a melhores resistências e comportamentos hídricos. O comportamento hídrico destas argamassas está fora do âmbito deste artigo mas a melhoria de resistências é descrita adiante.

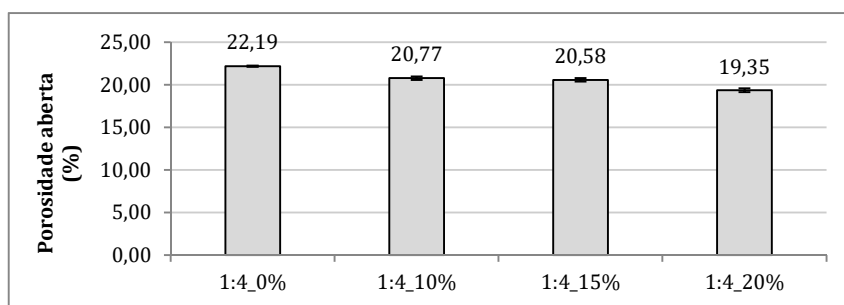


Figura 3 - Porosidade aberta.

### 3.1.4. Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado de acordo com a norma europeia NP EN 14146 [12], aos 28 e aos 90 dias.

Em ambas as idades analisadas, verificou-se que o módulo de elasticidade cresce com o aumento do teor de loiça incorporado, em ambas as idades analisadas (Figura 4). Aos 28 dias, a argamassa com 10% de incorporação de loiça tem um módulo de elasticidade superior em 34% ao da argamassa de referência, a argamassa de 15% de incorporação de loiça tem um aumento, em relação à argamassa de referência de 49% e a argamassa com 20% de finos tem um aumento de 59%. Este aumento do módulo de elasticidade é devido ao efeito de filler das partículas de loiça sanitária moída. As partículas preenchem parte dos vazios da argamassa aumentando a sua compactidade, como foi verificado no ensaio de porosidade aberta. Aos 90 dias de idade verificou-se um decréscimo do módulo de elasticidade de todas as argamassas, por comparação com os resultados obtidos aos 28 dias. Este decréscimo é consequência da microfissuração interna dos provetes que será abordada em 3.1.6.

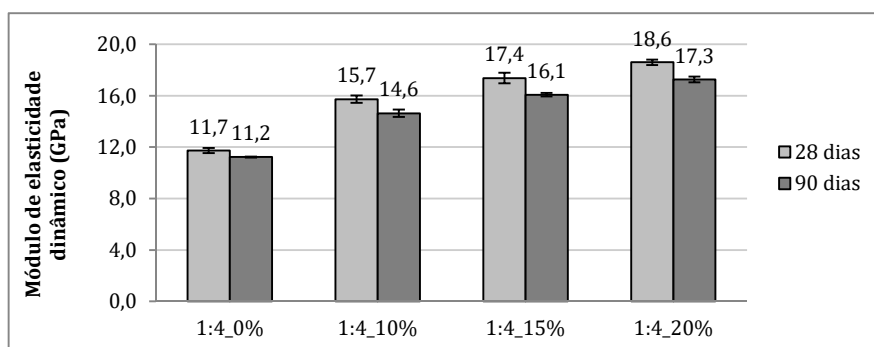


Figura 4 - Módulo de elasticidade dinâmico.

### 3.1.5. Ultra-sons

A velocidade de propagação de ondas ultra-sónicas foi avaliada por **dois métodos: método directo e método indirecto**, ambos realizados de acordo com a ficha de ensaio Fe Pa 43 [13] do LNEC.

Tanto pelo método directo como pelo método indirecto, constatou-se que a velocidade das ondas ultra-sónicas aumentava com o incremento do teor de loiça sanitária (Figura 5). Estes resultados eram esperados uma vez que, tal como a porosidade aberta e o ensaio do módulo de elasticidade, este ensaio mede a compacidade das argamassas.

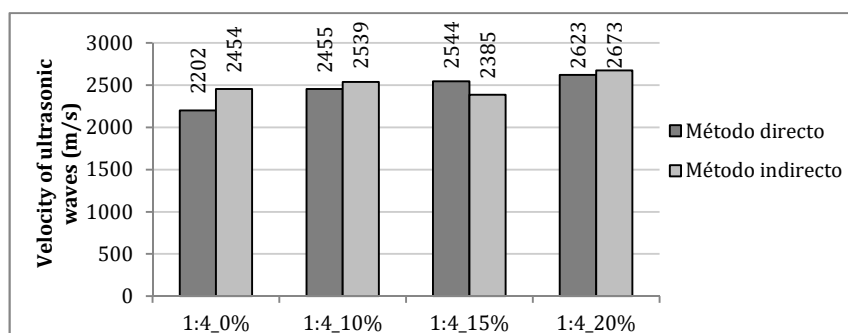


Figura 5 - Ultra-sons.

### 3.1.6. Resistência à tracção por flexão e à compressão

Os ensaios de resistência à tracção por flexão e à compressão foram realizados segundo o procedimento da norma europeia EN 1015-11 [14].

Através destes dois ensaios verificou-se que, à medida que se aumenta a incorporação de finos de loiça sanitária, a resistência à tracção por flexão e a resistência à compressão, para qualquer argamassa e qualquer idade, aumenta (Figura 6 e 7). A única excepção verificada foi na argamassa com 10% de incorporação de loiça aos 90 dias de idade, no ensaio da resistência à compressão. Considera-se que este aumento, relativamente aos anteriores, é anormal, uma vez que aumenta significativamente em relação aos 28 dias e aos 120 dias diminui ainda com mais intensidade.

O aumento das resistências é devido ao efeito de filer, comprovado em vários ensaios, como no ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, ultra-sons e porosidade aberta. Para além do efeito de filer o incremento de resistência das argamassas modificadas por comparação com a da argamassa de referência pode ser devido a um eventual efeito pozolânico. Se assim for, parte da loiça sanitária funciona como ligante tornando as argamassas mais resistentes.

Aos 90 dias de idade, verificou-se um decréscimo das resistências das argamassas em relação aos 28 dias de idade e, por este motivo, realizou-se um novo ensaio das argamassas à compressão aos 120 dias de idade com os semi-prismas do ensaio da absorção de água por capilaridade, para se verificar esta tendência decrescente.

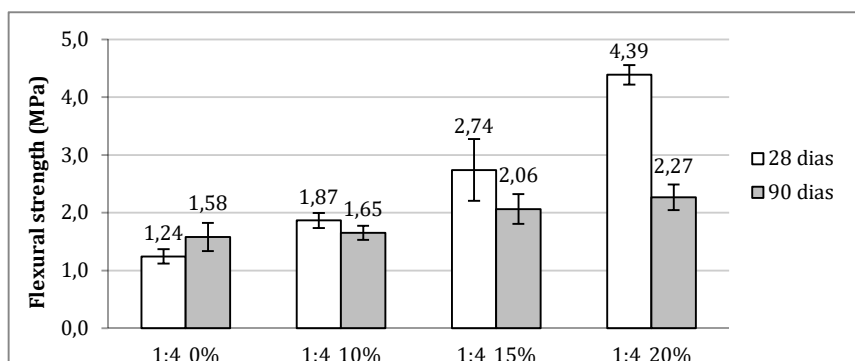


Figura 6 - Resistência à flexão.

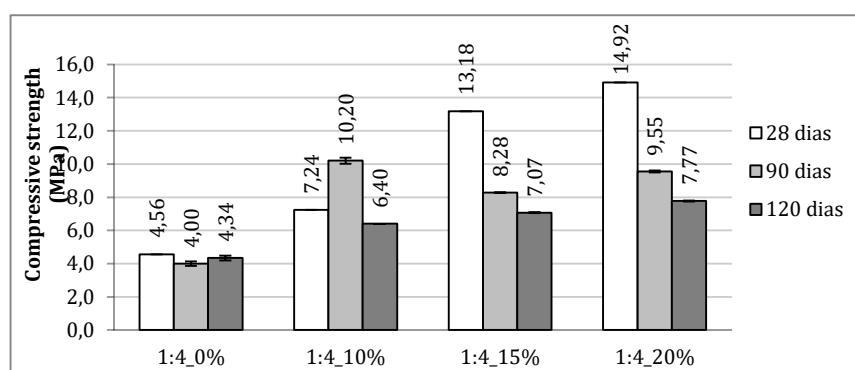


Figura 7 - Resistência à compressão.

Aos 120 dias, nas argamassas modificadas, também se verificou uma redução da resistência à compressão das argamassas. Este resultado não era expectável uma vez que, em geral, as argamassas têm um aumento de resistência ao longo do tempo, devido à hidratação tardia de compostos do cimento quando, em contacto com a argamassa, existe algum teor de humidade. Por outro lado, também se constatou que, quanto maior o teor de incorporação de loiça sanitária, maior era a redução de resistência, tanto na tracção por flexão como na compressão. Este decréscimo de resistência é devido a uma microfissuração das argamassas observada numa lupa binocular electrónica. Através da observação binocular, verificou-se que, efectivamente, as argamassas com incorporação de loiça sanitária apresentavam um padrão de microfissuras aos 120 dias de idade.

É de referir que, embora as argamassas modificadas tenham um decréscimo de resistência mecânica até aos 120 dias, a sua resistência continua a ser superior à da argamassa de referência. No ensaio da tracção por flexão, a argamassa com incorporação de 20% de loiça sanitária moída apresenta, aos 28 dias, um valor superior em 250% ao da argamassa de referência e, aos 90 dias, um valor superior em cerca de 44%. Por outro lado, no ensaio de resistência à compressão, nas três idades avaliadas, o aumento de resistência à compressão é de 230, 140 e 80%, respectivamente aos 28, 90 e 120 dias, em relação à argamassa de referência.



### 3.1.7. Observação binocular

O ensaio de observação binocular foi realizado de acordo com o procedimento usualmente utilizado no Laboratório de Unidade de Revestimento de Paredes (URPa) do LNEC. Consiste na observação de amostras provenientes do ensaio da resistência à compressão através de uma lupa binocular electrónica. A máxima aproximação deste equipamento é de 700%. Nas Figuras 8 a 11 estão apresentadas as microfissuras observadas em todas as argamassas analisadas.

As descontinuidades, observadas nas amostras de argamassas com incorporação de finos, aumentam de expressão à medida que a aumenta a incorporação de finos. A abertura de microfissuras, tendo em conta as imagens obtidas, na argamassa com 10% de incorporação de finos é de cerca de 30  $\mu\text{m}$ , na argamassa de 15% aproximadamente 40  $\mu\text{m}$ , ligeiramente superior à anterior, e na argamassa com maior incorporação de finos (20%) aumenta tomando valores de 120  $\mu\text{m}$ . Também na argamassa de referência foi observada uma microfissura com uma dimensão de 50  $\mu\text{m}$ . Contudo, ao contrário das argamassas com incorporação de loiça esta argamassa de referência não apresenta um padrão de microfissuras, tendo apenas uma única microfissura sido observada.

O ensaio de observação binocular foi realizado aos 120 dias com o intuito de justificar o decréscimo de resistências mecânicas e módulo de elasticidade, após os 28 dias. De facto, o aparecimento destas descontinuidades justificam a alteração dos ensaios de resistência mecânica e de módulo de elasticidade. O aparecimento destas microfissuras é, provavelmente, devido ao elevado módulo de elasticidade conjugado com uma grande variação dimensional (ver § 3.1.4 e § 3.2.1).

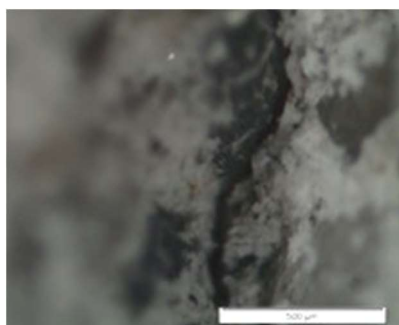


Figura 8 - Observação binocular da argamassa 1:4\_0%.

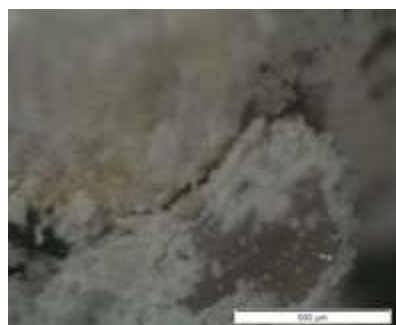


Figura 9 - Observação binocular da argamassa 1:4\_10%.

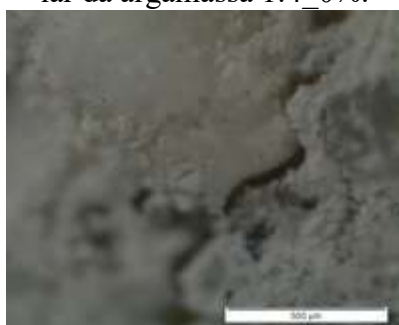


Figura 10 - Observação binocular da argamassa 1:4\_15%.

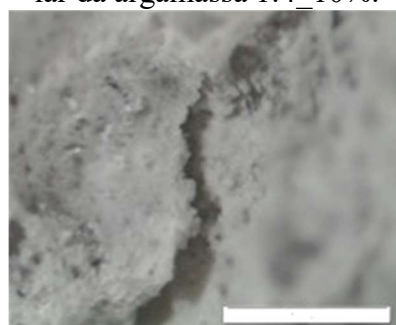


Figura 11 - Observação binocular da argamassa 1:4\_20%.

### 3.1.8. Escolha da argamassa para segunda fase

Na primeira fase experimental, verificou-se que a crescente incorporação de loiça sanitária moída tinha como consequências:

- menor quantidade de água de amassadura (e como consequência uma menor razão a/c);
- menor porosidade aberta;
- maiores módulos de elasticidade;
- maiores velocidades de ultra-sons;
- maiores resistências;
- maiores aberturas de microfissuras.

De facto, a incorporação deste tipo de resíduos potencia argamassas mais compactas, devido ao efeito de filler e a um eventual efeito pozolânico. Para segunda fase experimental optou-se por escolher a argamassa com maior teor de loiça incorporado (20%) por ser aquela que melhor desempenho apresentou nesta fase experimental.

### 3.2. Segunda fase experimental

#### 3.2.1. Variação dimensional

O ensaio de variação dimensional foi realizado, de acordo com a norma Cahier 2669-4 [8] à argamassa de referência e à argamassa com incorporação de 20% de finos de loiça sanitária. Através deste ensaio verificou-se que logo nos primeiros dias de ensaio a argamassa com incorporação de loiça apresenta uma retracção superior à argamassa convencional (Figura 12). Aos 16 dias de idade o contraste entre a retracção das duas argamassas acentua-se. No fim do ensaio a argamassa com incorporação de loiça apresenta uma retracção 33% superior àquela apresentada pela argamassa convencional.

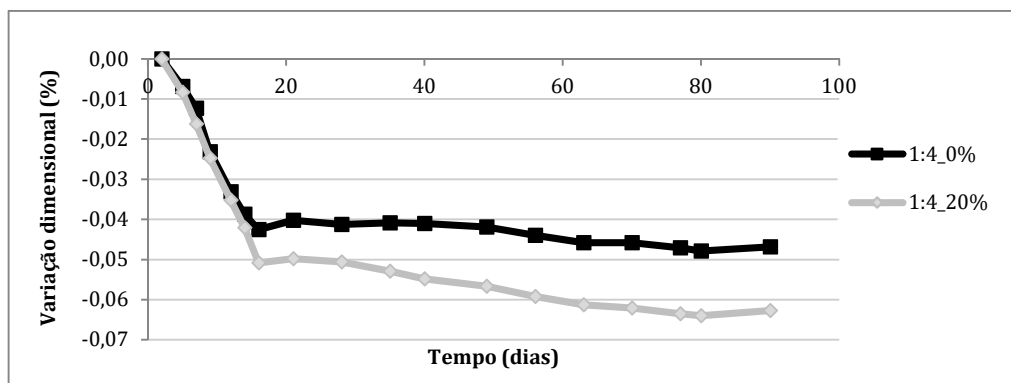


Figura 12 - Variação dimensional.

#### 3.2.2. Susceptibilidade à fendilhação

A adição de finos gera, por vezes, microfendilhação da argamassa. Com o intuito de analisar uma eventual microfendilhação superficial, foi feito o ensaio de susceptibilidade à fendilhação, ensaio de carácter empírico usado no URPa do LNEC. O ensaio consiste na aplicação de uma camada de argamassa de 2 cm numa das faces de um tijolo e posterior observação ocular do aparecimento de fissuras.

Para este ensaio, foram rebocados três tijolos por argamassa, como amostragem, e a observação foi feita durante 5 meses. Durante este período, não foi observada qualquer fissura superficial em nenhuma das argamassas estudadas. Pelo que, foi possível concluir que a incorporação de 20% de loiça sanitária não potencia a fendilhação.

#### 3.2.3. Avaliação da durabilidade através do envelhecimento acelerado

A avaliação da durabilidade foi feita através de dois ensaios em duas idades distintas: aos 28 dias e após um envelhecimento artificial acelerado.

O envelhecimento artificial acelerado é composto por oito ciclos de calor-gelo e oito ciclos de humedecimento-gelo. Cada ciclo consiste na aplicação de infravermelhos ou água (caso seja o ciclo de calor ou humedecimento) durante  $8\text{ h} \pm 15\text{ minutos}$  seguido de  $15\text{ h} \pm 15\text{ minutos}$  numa arca frigorífica.

De seguida são apresentados os dois ensaios realizados bem como os seus resultados.

#### A) ASPECTO VISUAL

Após o envelhecimento artificial acelerado, não foi detectada qualquer fissura nem desagregação dos provetes. Apenas se notou uma leve lixiviação da camada superior do revestimento, que é devida, provavelmente, aos ciclos de humidade - gelo.

#### B) ADERÊNCIA AO SUPORTE

O ensaio de aderência ao suporte foi realizado de acordo com o procedimento da norma europeia EN 1015-12 [15], antes e após o envelhecimento artificial acelerado.

Constatou-se que a incorporação de loiça, em argamassas de revestimento até uma percentagem de 20%, incrementa a aderência ao suporte. Isto acontece, provavelmente, porque os finos de loiça sanitária, misturados com a água de amassadura, penetraram nos poros capilares do suporte e formaram uma interface mais resistente (Figura 13).

Por outro lado, constatou-se que a resistência de aderência sofreu um aumento dos 28 dias para após o envelhecimento acelerado. Nas reacções de hidratação do cimento, é difícil atingir a hidratação completa do ligante e, portanto, este incremento de resistência (13% na argamassa de referência e 8% na argamassa modificada), após o envelhecimento acelerado, é devido à hidratação tardia do cimento nos ciclos de humedecimento – gelo. A hidratação do cimento vai diminuir os espaços vazios da argamassa tornando a argamassa mais compacta e, desta forma, mais resistente.

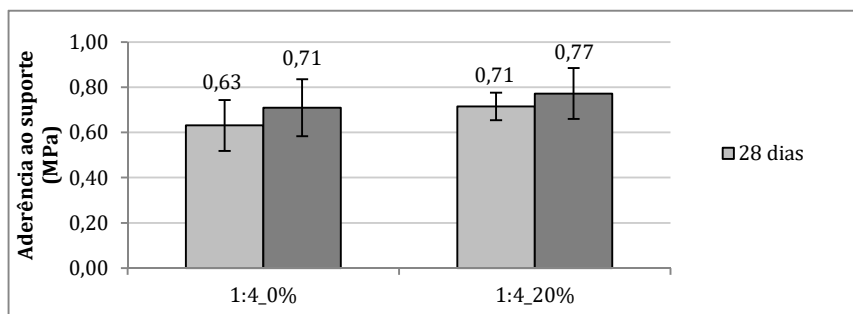


Figura 13 - Aderência ao suporte.

## 4. CONCLUSÕES

Através dos vários ensaios realizados em ambas as fases experimentais, foram tiradas as seguintes conclusões:

- a resistência à compressão e à tracção por flexão aumenta com a percentagem de incorporação destes resíduos. Aos 28 dias, a argamassa com 20% de loiça apresenta resistências cerca de 250% superiores à argamassa convencional. Percentualmente este incremento de resistência é muito elevado. Para além do efeito de filler (efeito físico) pensa-se que estes resíduos, embora cozidos a temperaturas muito elevadas, contenham algumas partículas amorfas que, em conjunto com o hidróxido de cálcio e com água, à temperatura ambiente, se tenham combinado originando um eventual efeito pozolânico.

Estes dois efeitos, em conjunto, terão sido os responsáveis por este incremento de resistência. Assim, esta argamassa é indicada para aplicações onde a resistência mecânica seja importante;

- a argamassa com 20% de incorporação de loiça sanitária apresenta aos 90 dias de idade uma retracção 33% superior à argamassa de referência. Esta retracção em conjunto com um módulo de elasticidade alto dão origem a microfissuras internas nos provetes, que potenciaram a diminuição de resistência ao longo do tempo destas argamassas. Desta forma, desaconselha-se a utilização desta argamassa em aplicações com grandes espessuras e/ou extensões, em que este aspecto possa ser relevante;
- não foi verificada fendilhação superficial da argamassa com adição de loiça;
- a aderência ao suporte também foi melhorada na argamassa com 20% de adição de finos.

A incorporação de loiça sanitária apresenta melhores desempenhos do que a argamassa convencional. Este resíduo da construção e demolição tem sido pouco estudado mas as suas características são notórias. Com este estudo científico foram cumpridos todos os objectivos delineados, uma vez que se provou que a incorporação de loiça tem benefícios, em argamassas, e se encontrou uma solução viável para a incorporação de um resíduo que ainda não tem uma solução de reciclagem. Há no então que continuar o estudo de aplicação deste resíduo através de outras formulações de argamassas ou mesmo na sua incorporação no processo de fabrico do cimento.

## 5. REFERÊNCIAS

- APA; Resíduos da Construção e demolição, Agência Portuguesa do Ambiente, 2011. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197&sub3ref=283>. [consultado em Novembro 2014];
- Alves, A.; *Betões com incorporação de agregados finos reciclados cerâmicos – Desempenho em termos mecânicos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Março 2013;
- Halika, A.; Ogrodnik, P.; Zegardlo, B.; *Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate*; Construction and Building Materials, V. 48, 2013, pp. 295-305;
- Decreto-Lei n.º 34/2011, de 17 de Junho, Diário da República, 1.ª série - N.º 116 - 17 de Junho de 2011;
- Alves, A.; Vieira, T.; Brito, J.; Correia, J.; *Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates*; Construction and Building Materials, V.64, 2014, pp. 103-113;
- Vieira, T.; Alves, A.; de Brito, J.; Correia, J.; Silva, R.; *Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware*; Materials and Design, V. 90, 2016, pp. 767-776;
- Senthamarai, R.M.; Manoharan, P. Devadas; *Concrete with ceramic waste aggregate*; Cement and Concrete Composites, V. 27, pp. 910-913;
- EN 1015-1, European Standard, *Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)*, European Committee for Standardization (CEN), October 1998;
- Cahier 2669-4, Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation, *Modalités d'essais*, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Juillet-Août 1993;
- EN 1015-2, European Standard, *Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*, European Committee for Standardization (CEN), October 1998;

EN 1015-3, European Standard, *Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*, European Committee for Standardization (CEN), February 1999;

NP EN 1936, European Standard, Métodos de ensaio para pedra natural: Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta, Instituto Português da Qualidade, 2008;

NP EN 14146, European Standard, Métodos de ensaio para pedra natural: Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental), Instituto Português da Qualidade, 2006;

FE Pa 43, Ficha de ensaio, Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrasons, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2010;

EN 1015-11, European Standard, *Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*, European Committee for Standardization (CEN), August 1999;

EN 1015-12, European Standard, *Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*, European Committee for Standardization (CEN), February 2000.