

Argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz. Influência da finura da cinza na reactividade pozolânica

Ana Paula Ferreira Pinto
Prof.^a Auxiliar
(UTL/IST/ICIST)
Portugal
anapinto@civil.ist.utl.pt

Nuno Almeida
Assistente
(UTL/IST/ICIST)
Portugal
nunoal@civil.ist.utl.pt

Augusto Gomes
Prof. Associado
(UTL/IST/ICIST)
Portugal
augusto@civil.ist.utl.pt

João Tiago
(UTL/IST)
Portugal
jcdtiago@gmail.com

Ana Marques
(UTL/IST)
Portugal
rita_mac_marques@hotmail.com

Resumo: O interesse de conferir alguma hidraulicidade a argamassas de cal aérea tem justificado o desenvolvimento de estudos de formulações de argamassas de cal aérea com incorporação de adições pozolânicas. O artigo estuda a influência da finura de uma cinza da casca de arroz na reactividade pozolânica, através da avaliação da resistência mecânica de argamassas de cal aérea com incorporação de cinza com diferentes granulometrias. Os resultados obtidos evidenciaram a reactividade da cinza de casca de arroz estudada, a possibilidade do seu incremento através da redução da dimensão das suas partículas e a influência da granulometria da cinza na consistência das argamassas estudadas.

Palavras-chave: Argamassas de cal aérea; adições pozolânicas; cinza de casca de arroz; finura; reactividade pozolânica.

1. Argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz

A consciência da necessidade de readquirir conhecimentos perdidos relativos à utilização de argamassas de cal aérea e à acção de adições com características pozolânicas em argamassas de cal tem levado nos últimos anos ao incremento de investigação neste domínio. O interesse de conferir alguma hidraulicidade às argamassas formuladas à base de cal aérea associado às preocupações relacionadas com a sustentabilidade da actividade de construção têm justificado o desenvolvimento de estudos de formulações de argamassas de cal aérea com incorporação de subprodutos industriais com características pozolânicas [1][2][3][4], como é o caso da cinza resultante da calcinação da casca de arroz. O interesse na utilização deste subproduto fica a dever-se ao facto de poder incrementar algumas características das argamassas de cal [5][6], permitir a re-utilização de subprodutos industriais [7] e levar à adopção de soluções que podem envolver uma redução do consumo de energia quando comparada com a produção de outros materiais [8]. Face a estas potencialidades, torna-se essencial conhecer os factores condicionantes da reactividade pozolânica das cinzas, de forma a maximizar a sua utilização na formulação de argamassas.

1.1. Reactividade pozolânica da cinza de casca de arroz

A composição química, a estrutura cristalina e mineralógica – características condicionantes da reactividade dos materiais pozolânicos - da cinza dependem de factores como a origem da casca e da metodologia de calcinação: tipo de forno utilizado,

temperatura e tempo de calcinação [9][10]. Assim, a casca de arroz quando devidamente calcinada poderá originar cinza constituída essencialmente por sílica no estado amorfo, a qual, segundo Metha [11], poderá classificar-se como um material pozolânico de elevada reactividade.

Para além destas características, também a superfície específica constitui outro factor com forte influência na reactividade pozolânica, uma vez que a reacção se realiza entre um sólido – a pozolana – e um reagente dissolvido – hidróxido de cálcio [12]. Segundo Coutinho [13], para um mesmo material, a reactividade será tanto maior quanto maior for a sua superfície específica.

Deste modo, com o objectivo de procurar incrementar a superfície específica da cinza tem sido frequente o recurso à sua moagem. Agarwal [14] comparou a resistência mecânica de uma argamassa de cimento com um conjunto de argamassas formuladas com uma mistura constituída por 90% de cimento e 10 % de cinza de casca de arroz, utilizada com diferentes granulometrias. O autor constatou que as argamassas formuladas com cinzas obtidas sem qualquer tipo de moagem ou peneiração apresentavam valores de resistência mecânica inferiores à registada na argamassa com 100% de cimento. No entanto, as argamassas formuladas com cinzas com granulometrias compreendidas entre 150-75µm, 75-45 µm e inferiores a 45µm, registaram incrementos de resistência à compressão da ordem de 10%, 35% e 48%, respectivamente, face à resistência mecânica da argamassa só de cimento.

A acção de cinzas de casca de arroz e a influência da sua granulometria na formulação de argamassas à base de cal aérea foram recentemente abordadas num estudo elaborado por Almeida [5], no qual foram estudadas diversas características de argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz moída e não moída, tendo-se registado o incremento da resistência à compressão das argamassas contendo cinza.

Segundo Metha [11], ao contrário do que se verifica em pozolanas de baixa rugosidade (como por exemplo o caso da sílica de fumo), a superfície específica da casca de arroz depende não só da dimensão das partículas como também da sua rugosidade, dado que ela apresenta estrutura celular e superfície rugosa. A necessidade de incrementar o conhecimento neste domínio tem justificado o desenvolvimento de estudos com o objectivo de relacionar a granulometria da cinza, com a superfície específica e a reactividade pozolânica.

PAYÁ *et al.* [15] estudaram o efeito da granulometria da cinza de casca de arroz na sua actividade pozolânica quando utilizada na formulação de argamassas de cimento. Através da análise dos valores de resistência à compressão, concluíram que o diâmetro médio das partículas de cinza de casca de arroz que maximizava o valor da resistência era de 5µm. Tashima *et al.* [16], com base em valores de resistência à compressão, aos 7 e 28 dias de idade, de argamassas de cimento formuladas com 5% e 10% de cinza com diferentes granulometrias, concluíram que os maiores valores de resistência foram obtidos com a utilização de cinza com um diâmetro médio de 12,38µm, muito embora esta cinza não correspondesse à que apresentava maior superfície específica, determinada pelo método de Blaine.

Deste modo, a reactividade pozolânica da cinza de casca de arroz depende não só da sua composição química e mineralógica como também da sua granulometria.

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A reactividade pozolânica pode ser avaliada através de diferentes técnicas, nomeadamente através da medição do consumo de hidróxido de cálcio que reage com o material

pozolânico [17], da medição da condutividade de uma solução saturada de hidróxido de cálcio e pozolana [18][19] e da avaliação da resistência mecânica de argamassas [20] e pastas [21]. Velosa [3] recorreu aos quatro métodos referidos na avaliação da reactividade pozolânica de diversos materiais e verificou que eles podem levar à obtenção de resultados distintos. Por exemplo, a pozolana de Cabo Verde foi classificada como material de elevada reactividade através da avaliação da resistência mecânica de pastas e como não pozolânico nos restantes ensaios [3].

No presente artigo, o estudo da influência da finura da cinza na reactividade pozolânica é efectuado através da avaliação da resistência mecânica de argamassas [20], formuladas com a mesma cinza de casca de arroz utilizada com diferentes granulometrias, uma vez que se considerou a forma mais directa de avaliar o potencial interesse de utilizar estas cinzas em argamassas à base de cal aérea

O estudo da influência da finura da cinza nas características no estado fresco das argamassas estudadas foi efectuado através da avaliação da consistência por espalhamento e da retenção de água. A influência da finura da cinza na reactividade pozolânica baseou-se na avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons e da resistência à flexão e compressão.

2.1. Materiais utilizados

Para a produção das diferentes argamassas utilizou-se areia de rio, cal aérea hidratada em pó (CL 90) (cal) e cinza de casca de arroz comercial. A cinza de casca de arroz foi sujeita a peneiração e moagem em laboratório.

2.2. Cinza de casca de arroz

Por observação visual da cinza, verificou-se que as partículas de maior dimensão, apresentavam-se em parte mal calcinadas ou com uma tonalidade mais escura face às partículas de menor granulometria. Esta heterogeneidade observada decorre do facto da cinza utilizada, segundo o fornecedor, ser obtida através da calcinação da casca de arroz num forno de cal, processo que não permite a monitorização do gradiente térmico e do fluxo de ar em todo o material.

Segundo vários autores [8][22][23], a cor da cinza e a sua constituição química (após o tratamento térmico da casca) poderão apresentar uma certa correlação, uma vez que a tonalidade negra poderá ser indicadora de uma percentagem elevada de carbono presente na cinza e a tonalidade mais clara estar associada a cinzas com maiores concentrações de sílica.

Deste modo, com o intuito de minimizar a utilização das cinzas de tonalidade mais escura (ou seja, com base na bibliografia consultada, minimizar a utilização de cinza com teores de carbono elevados), numa primeira fase procedeu-se à peneiração mecânica da cinza de casca de arroz comercial (C) através do peneiro de abertura 500µm, por um período de 10 minutos. No total das peneirações efectuadas, obteve-se aproximadamente 10 % da cinza (C) retida no peneiro de abertura 500µm. A cinza passada no peneiro de abertura 500µm foi designada por CP. A Figura 1 apresenta a granulometria de (C) e (CP).

Com o objectivo de incrementar a finura da cinza, e consequentemente a sua superfície específica, procedeu-se à moagem da cinza CP por recurso à máquina de desgaste de Los Angeles, dado que este tipo de moagem tem sido a mais utilizada no âmbito de trabalhos de investigação em betões e argamassas, [16][24][25]. O recurso à moagem reduz o desperdício resultante da utilização de fracções granulométricas obtidas por peneiração da

cinza comercial, dado que permite reduzir a dimensão das partículas, nomeadamente a obtenção de cinza com maior percentagem de partículas inferiores a $75\mu\text{m}$. O processo de moagem da cinza peneirada (CP) foi realizado no interior do tambor de uma máquina de Los Angeles por um período total de 75 minutos. Com o objectivo de controlar o processo de moagem, procedeu-se à determinação da análise granulométrica do material ao fim de cada período de 15 minutos de moagem. A Figura 2 apresenta a análise granulométrica da cinza utilizada antes da moagem (CP) e as análises granulométricas obtidas ao fim de 15, 30, 60 e 75 minutos de moagem, respectivamente, CPm15, CPm30, CPm60 e CPm75.

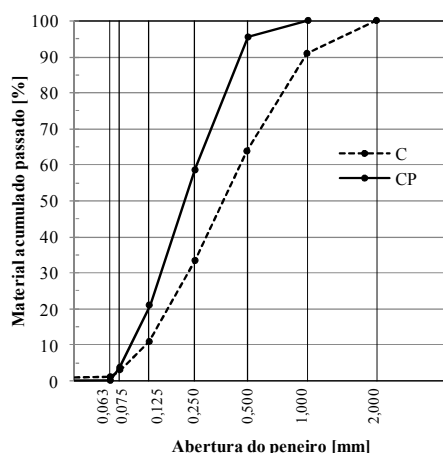


Figura 1 - Curvas granulométricas da cinza de casca de arroz comercial (C) e da cinza passada em $500\mu\text{m}$ (CP)

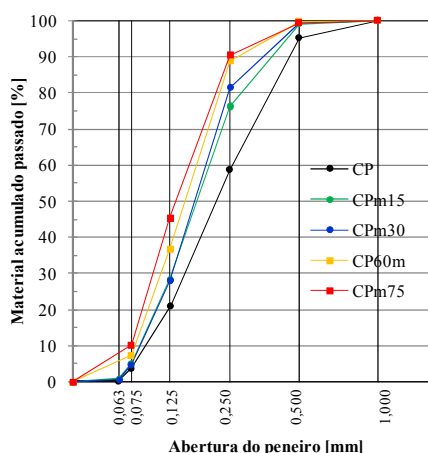


Figura 2 - Curvas granulométricas de CP antes e após várias fases do processo de moagem (CPm15, CPm30, CPm60 e CPm75)

Na primeira fase, dos 0 aos 45 minutos (CPm15, CPm30, CPm45), a moagem foi efectuada com recurso a 6 esferas de aço ($\approx 400\text{g/esfera}$) e na fase seguinte, dos 45 aos 75 minutos, por recurso a 10 esferas. Por observação das curvas granulométricas de CP, CPm15 e CPm30 é possível verificar que os primeiros 15 minutos são responsáveis pela maior redução da granulometria, sobretudo para as dimensões compreendidas entre $125\mu\text{m}$ a $500\mu\text{m}$, uma vez que obtiveram-se, respectivamente, incrementos da ordem de 34% e 30 % na percentagem de material acumulado passado nestas aberturas de peneiro. Dos 15 para os 30 minutos as alterações registadas na granulometria foram pouco significativas, particularmente nas dimensões inferiores a $250\mu\text{m}$. Os 15 minutos de moagem que se seguiram (CPm45) não produziram alterações na granulometria de CPm30, facto que justificou a opção de continuar o processo de moagem recorrendo a 10 esferas. Deste modo, a moagem que levou à obtenção de CPm60 e CPm75 foi obtida por recurso a períodos de moagem de 15 minutos e à utilização de 10 esferas para o efeito. O processo de moagem correspondente ao período de 45-60 minutos (CPm60) foi responsável pelo incremento de material acumulado passado na generalidade dos peneiros, mesmo nos peneiros de menores dimensões, facto que até este período não se tinha observado. A moagem realizada nos últimos 15 minutos do processo (CPm75)

originou essencialmente o incremento da percentagem de material passado através do peneiro 125 μ m.

O processo de moagem revelou-se eficaz na redução da dimensão da cinza CP. Os resultados obtidos apontam para que o recurso a um maior número de esferas no processo de moagem permitirá a obtenção de maior percentagem de material com dimensão inferior a 75 μ m.

Após a prévia preparação da cinza através do processo de moagem descrito, procedeu-se ao fraccionamento de CPm75 por peneiração através dos peneiros 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 75 μ m. Este processo levou à obtenção de CM500, CM250, CM125 e CM75 constituídas por material de CPm75 passado, respectivamente, nos peneiros 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 75 μ m, Figura 3.

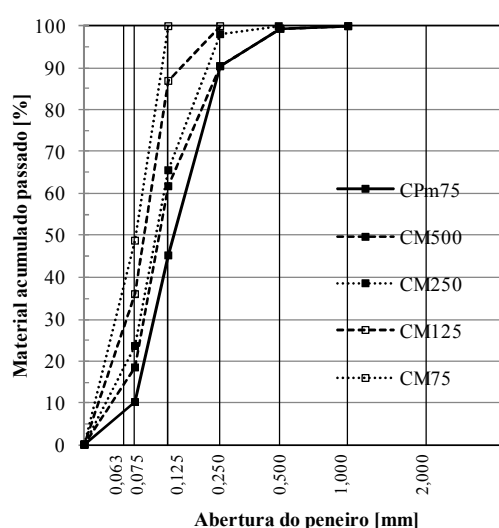


Figura 3 – Curvas granulométricas de CM500, CM250, CM125 e CM75

2.3. Argamassas estudadas e sua caracterização no estado fresco

O estudo da influência da finura na reactividade da cinza de casca de arroz consistiu na avaliação da resistência à compressão e flexão de argamassas de cal aérea formuladas com CM500, CM250, CM125 e CM75, aos 14 e 28 dias de idade, e baseou-se em algumas das disposições estabelecidas na ASTM C593-06 [20], nomeadamente no que se refere à formulação das argamassas adoptadas.

As formulações estudadas são constituídas por uma mistura de 180g de cal aérea hidratada, 360g de cinza de casca de arroz e 1480g de areia de rio (traço ponderal da ordem de 1:2:8), Tabela 1. Além destas formulações, foi também estudada uma argamassa de cal área com o traço ponderal de 1:8 que foi tomada como referência na avaliação da acção pozolânica desencadeada pela presença de cinza de casca de arroz nas argamassas com ela formuladas, Tabela 1.

A quantidade de água utilizada na formulação das diversas argamassas estudadas (água/mistura ligante) foi estabelecida com o objectivo de produzir argamassas com uma consistência da ordem de 165 \pm 5mm, avaliada de acordo com EN 1015:3 [26]. A Tabela 1

apresenta as razões água/mistura ligante adoptadas, bem como os valores de espalhamento obtidos.

Todas as argamassas foram produzidas com areia previamente seca em estufa a 105°C.

A avaliação das características no estado endurecido foi efectuada em provetes prismáticos (40x40x160[mm]) preparados de acordo com a NP EN 196:1 [27].

Tabela 1 - Formulações de argamassa estudadas

Argamassa Designação	Traço ponderal					Água/mistura ligante* *(cal+ cinza)	Espalhamento [mm]	
	Cal	Cinza de casca de arroz						Areia de rio
		CM 500	CM 250	CM 125	CM 75			
Cal	1					8	1,83	162
A500	1	2				8	1,15	162
A250	1		2			8	1,15	163
A125	1			2		8	1,14	162
A75	1				2	8	1,09	167

A ASTM 593-06 [20] estabelece que os provetes devem permanecer nos moldes durante 7 dias e ser conservados numa câmara com vapor de água a 54±2°C, ao que se deve seguir a sua desmoldagem e manutenção até à data de ensaio num ambiente à temperatura de 23±2°C e com uma humidade relativa de 95 a 100%.

Segundo o “Caderno de Encargos para o Fornecimento e Recepção de Pozolanas” [21], os provetes são conservados nos moldes durante 24 a 72h, num ambiente com 20°C±1°C e 95% de humidade relativa, sendo os moldes cobertos por uma chapa metálica. Findo este período, os provetes são desmoldados e conservados em água a 20°C±1°C até à data de ensaio.

No presente estudo, imediatamente após a moldagem, os provetes de argamassas com cinza de casca de arroz foram conservados num ambiente à temperatura de 20±2°C e com uma humidade relativa de 95 a 100% até à data de ensaio.

O endurecimento de argamassas formuladas exclusivamente à base de cal aérea processa-se apenas por carbonatação, processo para o qual é fundamental a presença de dióxido de carbono. Uma vez que a difusão do CO₂ é bastante lenta em ambientes saturados [28], o processo de carbonatação, para as condições de cura referidas, seria inexistente ou de reduzida expressão. Deste modo, a cura da argamassa formulada exclusivamente à base cal (Cal) foi efectuada num ambiente com uma humidade relativa e temperatura de, respectivamente, 50%±5% e 23°C±2°C.

Todos os provetes foram retirados dos moldes decorridos 7 dias da sua moldagem.

A Figura 4 apresenta os valores da razão água/mistura ligante das argamassas AM500, AM250, AM125 e AM75 que permitiram a obtenção de valores de espalhamento da ordem de 165±5mm nas argamassas formuladas com cinza. Esta Figura permite verificar que o incremento da finura da cinza foi responsável pela menor necessidade de água para obtenção de argamassas de consistência semelhante. Tal tendência é corroborada por Júnior *et. al.* [29], segundo os quais a necessidade de água nas argamassas diminui com o aumento do grau de moagem devido à destruição progressiva da estrutura esponjosa da cinza.

Quando comparados os valores de espalhamento e das razões água/(mistura ligante) associados às argamassas formuladas com cinza e à argamassa de cal, Tabela 1, verifica-

se que a incorporação da cinza desencadeou uma redução da quantidade de água, independentemente da sua granulometria.

No estado fresco, procedeu-se à avaliação da retenção de água das argamassas estudadas de acordo com a EN 1015 - 8 [30], Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização no estado fresco das diferentes argamassas

Argamassa Designação	Água/mistura ligante* *(cal+ cinza)	Espalhamento [mm]	Retenção de água [%]
Cal	1,83	162	90,0
A500	1,15	162	90,0
A250	1,15	163	87,7
A125	1,14	162	88,3
A75	1,09	167	89,1

Muito embora os resultados obtidos apontem para que o incremento da finura da cinza possa ser responsável pela redução da retenção de água das argamassas, as alterações registadas não foram muito significativas, Figura 5.

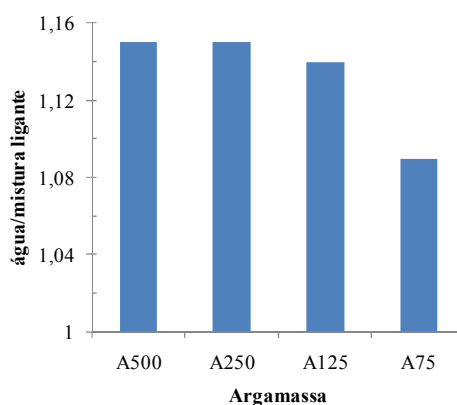


Figura 4 – Relação água/mistura ligante para a obtenção de um espalhamento de 165±5mm

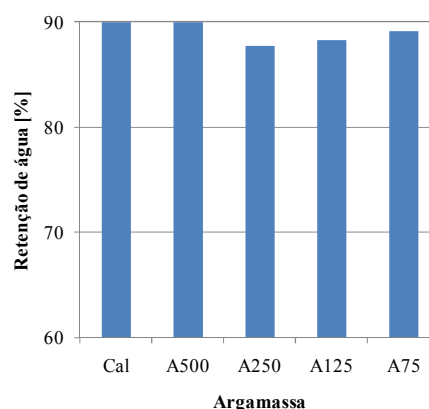


Figura 5 – Retenção de água registada nas argamassas estudadas

3. INFLUÊNCIA DA FINURA NA REACTIVIDADE POZOLÂNICA

A avaliação da influência da finura na reactividade da cinza de casca de arroz foi efectuada através da determinação da resistência à compressão e flexão das argamassas Cal, A500, A250, A125 e A75, aos 14 e 28 dias de idade, Tabela 3. Previamente à avaliação da resistência aos 28 dias, procedeu-se também à avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons, Tabela 3.

Os ensaios de determinação da tensão de rotura à compressão e flexão foram efectuados segundo procedimentos baseados na NP EN 1015-11 [31]. A velocidade de ultra-sons foi

determinada com recurso a equipamento específico (CNS FARNELL, PUNDIT 6, equipado com dois transdutores de 54 kHz com 5cm de diâmetro).

Tabela 3 – Caracterização no estado endurecido

Argamassa Designação	Tensão de rotura à compressão [MPa]		Tensão de rotura à flexão [MPa]		Velocidade de ultra-sons [m/s] (28 dias)
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	
Cal	0,3	0,5	0,2	0,2	1510
A500	2,7	4,7	1,0	2,2	2635
A250	3,4	5,6	1,4	2,3	2675
A125	3,6	5,7	1,4	2,5	2700
A75	3,5	6,2	1,5	2,6	n.d.*

n.d.* - não determinado

Os valores médios das tensões de rotura à compressão e flexão, Tabela 3 e Figura 6, evidenciam a influência da finura da cinza utilizada, dado que se registou o incremento de resistência mecânica com o aumento da finura da cinza. A velocidade de ultra-sons revelou-se sensível ao incremento da reactividade pozolânica manifestada pela cinza com o aumento da sua finura, Tabela 3.

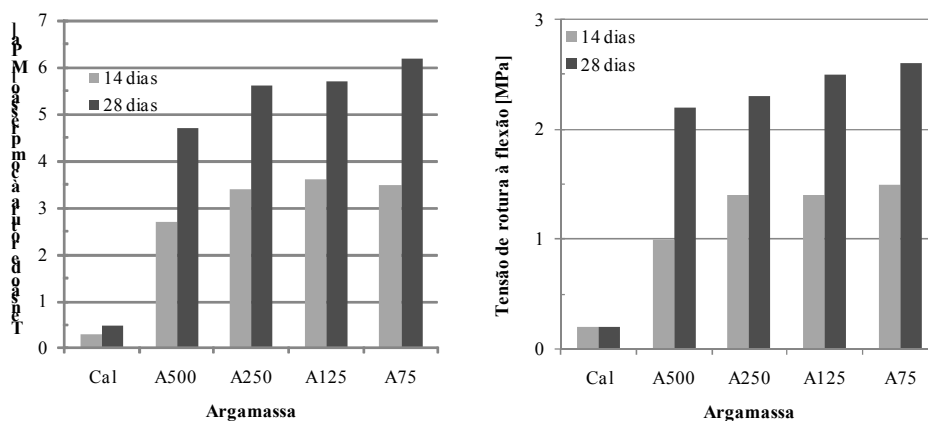


Figura 6 – Valores médios das tensões de rotura à compressão e flexão

Nas Figuras 7 e 8, os valores de resistência mecânica e da velocidade de propagação de ultra-sons estão representados gráficamente em função da máxima dimensão da cinza, tendo-se considerado como máxima dimensão da cinza a abertura de malha do peneiro através do qual se procedeu ao fraccionamento de CPm75 para a obtenção de CM500, CM250, CM125 e CM75, respectivamente 500µm, 250µm, 125µm e 75µm. Estas Figuras permitem verificar que se registou incremento da reactividade pozolânica com o aumento da finura da cinza.

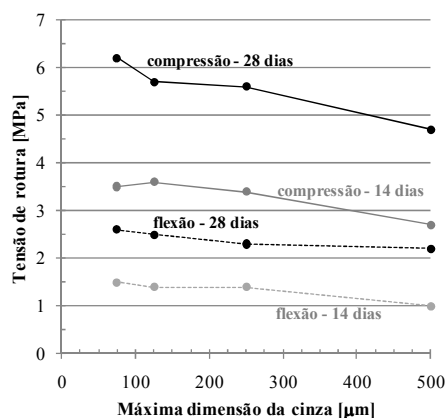


Figura 7 – Variação dos valores de resistência mecânica, aos 14 e 28 dias de idade, com a máxima dimensão da cinza

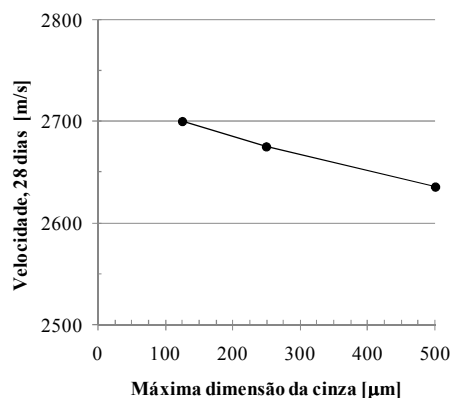


Figura 8 – Variação dos valores de velocidade de propagação de ultra-sons com a máxima dimensão da cinza

4. CONCLUSÕES

A cinza de casca de arroz, directamente sob a forma como foi comercializada, revelou-se visualmente heterogénea, devido ao facto das partículas de maior dimensão possuírem uma tonalidade mais escura, o que indicia a possibilidade destas partículas se encontrarem mal calcinadas. Este facto levou à necessidade de procurar reduzir esta heterogeneidade e eliminar a presença das partículas de maior dimensão por peneiração.

O estudo da influência da finura da cinza de casca de arroz foi efectuado através da avaliação da resistência mecânica de argamassas de cal aérea com incorporação de cinza com diferentes granulometrias obtidas por recurso à moagem e peneiração da cinza comercial, após remoção das partículas de maior dimensão que se encontravam mal calcinadas. O processo de moagem, efectuado na máquina de Los Angeles, revelou-se eficaz na redução da dimensão das partículas da cinza e os resultados obtidos apontam para que o recurso a um maior número de esferas no processo de moagem permitirá aumentar a eficácia do processo. A peneiração da cinza após a sua moagem permitiu reduzir a dimensão das partículas da cinza utilizada, nomeadamente a obtenção de maior percentagem de partículas inferiores a 75μm.

O incremento da finura da cinza reduziu a quantidade de água necessária para atingir a consistência desejada e os resultados obtidos apontam para que o incremento da finura da cinza possa ser responsável pela redução da retenção de água das argamassas.

Os valores da tensão de rotura à compressão e flexão, bem como da velocidade de propagação de ultra-sons, evidenciaram a influência da finura da cinza, dado que se registou o incremento de resistência mecânica com o aumento da finura da cinza. A velocidade de ultra-sons revelou-se sensível ao incremento da reactividade pozolânica manifestada pela cinza com o aumento da sua finura.

Em resumo, o estudo apresentado evidenciou a reactividade da cinza de casca de arroz estudada, a possibilidade do seu incremento através da redução da dimensão das suas partículas, a influência da granulometria da cinza na consistência das argamassas estudadas e o interesse da continuação do estudo da sua utilização como adição pozolânica em argamassas de cal aérea.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação para a Ciência e Tecnologia através do financiamento atribuído ao ICIST, Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção.

REFERÊNCIAS

- [1] FARIA-RODRIGUES, P. *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo de influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2004.
- [2] MOROPOULOU, A. et. al. Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries. *Cement and Concrete Composites*, Elsevier, 27, 2005, 289-294.
- [3] VELOSA, Ana L. *Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas*. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade de Aveiro. Coleção Teses de Doutoramento, Lisboa, LNEC, 2006.
- [4] FRAGATA, A.; et. al. *Incorporação de resíduos de vidro em argamassas de revestimento – avaliação da sua influência nas características da argamassa*. 2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, Novembro de 2007 (CD-ROM).
- [5] ALMEIDA, Nuno. *Argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz para alvenarias antigas*. Tese Mestrado em Recuperação e Conservação do Património Construído, IST, 2008.
- [6] ALMEIDA, N.; FARIA, P.; FERREIRA PINTO, A. P. *Argamassas com Base em Cal Aérea e Cinzas de Casca de Arroz para Conservação do Património Construído*. 2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Novembro de 2007, (disponível em CD-Rom).
- [7] BRONZEOAK LTD. *Rice husk market study*. © Crown copyright 2003.
- [8] CHANDRASEKHAR, S.; et al. *Review. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk – an overview*. *Journal of Materials Science*, 38, 2003, 3159-3168.
- [9] NAIR, D.G., et al. *A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes*, *Cement and Concrete Research* (2007), doi:10.1016/j.cemconres.2007.10.004
- [10] NEHDI, M, et al. *Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete*. *Cement and Concrete Research*, 33, 2003, 1203-1210.
- [11] METHA, P.K. *Pozzolanic and Cementitious byproducts as mineral admixtures for concrete – A critical Review*. Proc. First Int. Conf. on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-products in Concrete. Montebello, Canada, 1983, 1-46.
- [12] JAMES, J., RAO, M. Subba. *Reaction product of lime and silica from rice husk ash*. *Cement and Concrete Research*, 16, 1986, 67-73.
- [13] COUTINHO, A. S. *Fabrico e propriedades do betão*. Volumes I e II, 4ª edição. Lisboa, LNEC, 2006.
- [14] AGARWAL, S.K.; *Pozzolanic activity of various siliceous materials*. *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1735– 1739
- [15] PAYÁ, J.; et. al. *Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method*. *Cement and Concrete Research*, Preagamon, 31, 2001, 227-231.

- [16]TASHIMA, M. M.; Silva, Carlos A. R.; Akasaki, Jorge L. *Estudo da Influência da CCA em Argamassas e Concretos* (<http://www.ppgec.feis.unesp.br/producao2004/Estudo%20da%20influ%EAncia%20da%20CCA%20em%20argamassas%20e%20concretos.pdf>). 29/10/2009
- [17]INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ).. *Métodos de ensaio de cimentos. Parte 5: Ensaio de pozolanicidade dos cimentos pozolânicos* NP EN 196-5.
- [18]FENG, Qingge; YAMAMICHI, H.; SHOYA, M.; SUGITA, S. *Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment*. Cement and Concrete Research, Pergamon, 34, 2004, 521-526.
- [19]SINTHAWORN, S., Nimityongskul, P., *Quick monitoring of pozzolanic reactivity of waste ashes*, Waste Management (2009), doi:10.1016/j.wasman.2008.11.010
- [20]AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) C 593-06. *Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime for Soil Stabilization*, 2006.
- [21]Caderno de Encargos para o Fornecimento e Recepção de Pozolanas, Decreto de Lei n.º 42999 de 1 de Junho de 1960
- [22]DELLA, Viviana Possomai; KUHN, Ingeborg; HOTZA, Dechamir. *Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refractários de sílica*. Departamento de Engenharia Mecânica/Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina; Química Nova, Vol.24, n.º 6, 2001, 778-782.
- [23]ZHANG, M. H.; LASTRA, R.; MALHOTRA, V.M. *Rice husk ash paste and concrete: some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste*. Cement and Concrete Research, Pergamon, 1996, Vol. 26, N.º 6, 963-977.
- [24]SAMPAIO, J.; COUTINHO, J.; SAMPAIO, M.N. *Portuguese rice husk ash as partial cement replacement*. Proceeding of the International Conference: Sustainable Construction into the next Millennium: Environmentally friendly and innovate cement based materials. Ed. N.P. Barbosa, R.N. Swamy andb C. Lynsdale, Brasil, João Pessoa, Novembro de 2000. 125-137.
- [25]SOUSA, S. B. *Betões eco-eficientes com cinza de casca de arroz*. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para obtenção do grau de mestre em Estruturas de Engenharia Civil, 2005.
- [26]EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) – *Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. EN 1015-3:1999.
- [27]INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ). *Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*. NP EN 196-1:1996.
- [28]BALEN, K. Van. *Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature*. Cement and Concrete Research, Elsevier, 35, 2005, 647-657.
- [29]JUNIOR, L.; SANTOS, S.; DAFICO, D.; *Utilização de resíduos na construção habitacional*; capítulo 8 – cinza de casca de arroz. Colectânea Habitare ANTAC Porto Alegre, vol. 4, 2003, pp.241-261.
- [30]EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar*. prEN 1015-8:1999.
- [31]EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. EN 1015-11:1999