

Camada de regularização com agregado de granulado de caroço da espiga de milho

J. Pinto
UTAD/I3N
Portugal
tiago@utad.pt

H. Pereira
UTAD
Portugal
hfpereira@portugalmail.pt

P. Vilela
UTAD
Portugal
paulojcvilela@gmail.com

C. Jacinto
UTAD
Portugal
cjmirandela@hotmail.com

J. Vieira
UTAD
Portugal
jbvieira@utad.pt

A. Paiva
UTAD/C-MADE
Portugal
apaiva@utad.pt

S. Pereira
UTAD/C-MADE
Portugal
spereira@utad.pt

J. Ferreira
IPV
Portugal
jvf@demad.estv.ipv.pt

V. Cunha
UTAD/ISISE
Portugal
vcunha@utad.pt

H. Varum
UA
Portugal
hvarum@ua.pt

Resumo: Um conjunto de construções antigas localizadas na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, apresentam caroços de espiga de milho incorporados na camada de enchimento de paredes exteriores de tabique. Esta descoberta tem vindo a estimular o estudo do potencial da aplicação na construção civil deste resíduo agrícola. Um trabalho de investigação preliminar permitiu concluir que este produto natural apresenta uma microestrutura e uma condutibilidade térmica que lhe conferem um interesse de aplicação no contexto do isolamento térmico. Este trabalho de investigação está centrado no estudo do potencial da aplicação de granulado de caroço de espiga de milho como agregado para argamassa ou betão leve de camada de regularização / enchimento. Para o efeito, um trabalho experimental foi desenvolvido de forma a aferir algumas propriedades físicas, mecânicas e de comportamento térmico deste material compósito. Amostras com agregado de argila expandida também foram fabricadas e ensaiadas de forma a funcionarem como referência. Com este trabalho de investigação pretende-se contribuir para uma construção mais sustentável e amiga do ambiente.

Palavras-chave: Caroço da espiga de milho, agregado leve, camada de regularização, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Os conceitos de sustentabilidade, de reciclagem, de reinvenção, de adaptabilidade e de economia estão interiorizados na sociedade. A indústria da construção civil também se tem vindo a adaptar a esta realidade e a dar o seu importante contributo no sentido de caminharmos para um mundo mais sustentável. Optar por materiais de construção e por técnicas construtivas que resultem em menores emissões de gases poluentes para a atmosfera, num consumo mais reduzido de energia e num consumo mais eficiente da água têm sido soluções construtivas que têm dado bons resultados neste contexto.

A madeira, a palha e a cortiça são talvez os materiais de construção orgânicos tradicionalmente mais aplicados no mundo ocidental. Contudo, a aplicação de bambu, de papel e de folhas de palmeira são técnicas construtivas também frequentemente adoptadas em diversos países.

Por sua vez, muitos investigadores [1-7] têm concentrado esforços no sentido de estudar o potencial da aplicação de outros materiais orgânicos no âmbito da construção civil. Esses materiais podem ser aplicados de forma natural ou serem utilizados como matéria-prima no fabrico de produtos tais como painéis sandwich, painéis de partículas, entre outras alternativas. Tem-se verificado que as soluções resultantes têm permitido o equilíbrio desejável em termos de qualidade técnica, de custo e de sustentabilidade. Desses materiais orgânicos, o caroço da espiga de milho destaca-se pelo facto de ser considerado um resíduo agrícola e que necessita de ser queimado.

O cultivo do milho faz parte da actividade agrícola Portuguesa. Esta actividade embora seja processada em quase todo o território Português (i.e. continente e arquipélagos) é mais intensificada no norte do país. Segundo dados recentes da ANPROMIS [8], o cultivo do milho em Portugal tem mostrado uma tendência regressiva. Em contraste, esta actividade tem se mostrado em ascensão nos principais produtores de milho mundiais e que são os USA, a China e o Brasil, [9]. Esta informação é reveladora de que este material orgânico é abundante, o que lhe confere um interesse adicional. Paralelamente, a busca de possíveis aplicações do caroço da espiga de milho poderá despertar para a criação de pequenas e médias empresas em regiões populacionalmente e economicamente desfavorecidas, combatendo deste modo a desertificação e invertendo a tendência de decréscimo da área de cultivo de milho que tem vindo a ocorrer em Portugal nos últimos anos.

A camada de regularização de pavimentos é geralmente concebida com recurso a uma argamassa ou a um betão leve. A camada de regularização tem como principal objectivo criar pente ou ganhar cota. Uma camada de regularização pode ser aplicada num pavimento térreo, num pavimento intermédio ou num pavimento de cobertura (i.e. terraço). Associado a este elemento construtivo também se pode aplicar uma camada de isolamento térmico e/ou acústico, e/ou uma camada de impermeabilização. Estes elementos construtivos formam então um sistema construtivo de acabamento de um pavimento. Aspectos de leveza, de economia e de durabilidade são requisitos expectáveis aquando da concepção e da execução de uma camada de regularização. De forma a se alcançar estes requisitos, a incorporação de agregados leves é uma opção amplamente adoptada. A argila expandida, o granulado de cortiça e o granulado de esferovite são alguns dos agregados leves frequentemente escolhidos.

Este trabalho de investigação está centrado no estudo do potencial da utilização do caroço da espiga de milho em aplicações de engenharia civil e, em particular, na sua utilização como agregado de betão leve. Este documento encontra-se estruturado da seguinte forma: numa primeira fase, será feita uma breve reflexão sobre o material caroço da espiga de

milho; numa segunda fase, uma breve descrição da preparação das amostras de betão leve será processada; numa terceira fase, os resultados obtidos no ensaio à compressão serão apresentados e analisados; numa quarta fase, o ensaio adoptado de avaliação do desempenho térmico do betão leve será descrito e os resultados obtidos também serão apresentados e analisados; finalmente, numa quinta fase, as principais conclusões serão tecidas.

2. CAROÇO DA ESPIGA DE MILHO

O caroço da espiga de milho é um material orgânico. Atendendo a este facto, é de esperar uma relevante variabilidade material. Contudo, em termos de macroestrutura, o caroço da espiga de milho é formado por três camadas bem diferenciadas entre si. A camada interior é esponjosa e apresenta uma densidade baixa. A camada intermédia apresenta uma macroestrutura e uma densidade similares às de uma madeira leve. A camada exterior é muito heterogénea e apresenta também uma baixa densidade. Em termos de microestrutura, verifica-se que a camada interior apresenta uma microestrutura alveolar bem definida mas que tende a dissipar-se no sentido interior/exterior [6]. Em termos de composição química elementar também se verificou em [6] que para além do oxigénio, os elementos químicos mais predominantes são o silício, o alumínio, o potássio e o cálcio. Por sua vez, em [10] concluiu-se que este material possa apresentar uma densidade de valor aproximado a 200 kg/m^3 , uma absorção de 300% em que o processo de saturação decorre de uma forma lenta (i.e. ultrapassando os 15 dias) e que é combustível mas de forma gradual e progressiva. A Figura 1 pretende ilustrar este material orgânico.



Figura 1: Espiga de milho

3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE BETÃO LEVE

Um artigo publicado recentemente [11] aborda o interesse da aplicação de cinzas de caroço de espiga de milho. Contudo, desconhece-se a publicação de trabalhos de investigação antecedentes que sejam focados no estudo da aplicabilidade do caroço da espiga de milho como agregado de betão leve. Por isso, muitas incógnitas estão subjacentes à preparação das amostras de betão leve a ensaiar mecanicamente e termicamente, e que se pretende abordar nesta secção. A granulometria do agregado, o traço, o tipo de constituintes, o teor de água da mistura, o processo de mistura, o tipo de amostras, o processo de enchimento dos moldes, o tempo de cura e as condições de cura foram alguns aspectos técnicos de preparação das amostras que suscitaram apreensão.

3.1 Amostras para o ensaio à compressão

Provetes cúbicos de dimensão $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ foram fabricados segundo o traço 6:1 (i.e. agregado de caroço da espiga de milho:cimento Portland do tipo II classe 32.5).

Este traço é correntemente utilizado na indústria da construção civil aquando da execução de camada de regularização com incorporação de argila expandida. Foram contempladas três tipos de granulometria de agregado de caroço da espiga de milho e que são designadas de granulado crivado, granulado não crivado e fatiado. O granulado de caroço da espiga de milho foi obtido através do recurso a uma malhadeira ou moinho de martelos que é um dispositivo mecânico agrícola. Por sua vez, o fatiado de caroço da espiga de milho foi conseguido através da utilização de uma tesoura da poda. O primeiro processo é mecânico e o segundo é manual. Nesta fase deste trabalho e em ambos os casos, obtiveram-se partículas de grandes dimensões (i.e. 2 cm a 3 cm de comprimento) propositadamente. O granulado não crivado foi aquele que apresentou uma granulometria mais extensa. O processo de enchimento dos moldes foi processado gradualmente e com recurso a uma compactação manual. O processo de secagem das amostras decorreu em ambiente de laboratório com temperatura e humidade relativa controlada. A Figura 2 ilustra os tipos de granulometria de agregado de caroço da espiga de milho considerados e, por sua vez, a Figura 3 mostra as amostras de betão leve fabricadas para o ensaio de compressão.



a) Granulado



b) Fatiado

Figura 2: Tipos de granulometria de agregado de caroço da espiga de milho considerados



a) Granulado



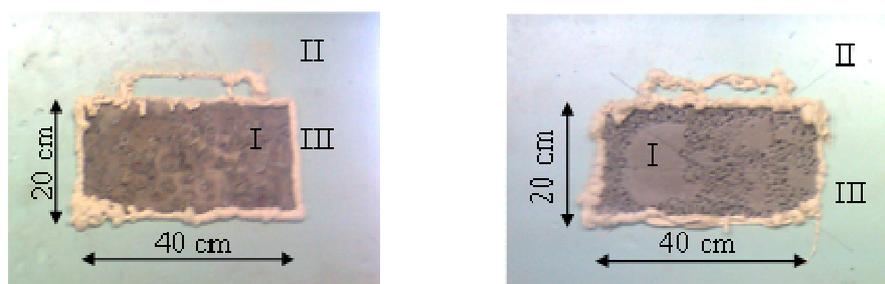
b) Fatiado

Figura 3: Tipos de amostras de betão leve

3.2 Amostras para o ensaio térmico

Nesta fase deste trabalho de investigação e por simplificação apenas foi fabricada uma amostra de betão leve à base de fatiado de caroço da espiga de milho para a realização do ensaio térmico. Esta amostra apresenta as dimensões de 5 cm x 20 cm x 40 cm (espessura x altura x comprimento) e que serão justificadas na secção 5. Foi fabricada com a granulometria de agregado de caroço da espiga de milho do tipo fatiado e segundo o traço

indicado anteriormente. A amostra foi moldada numa placa de 5 cm de espessura de poliestireno extrudido. Paralelamente, também foi fabricada uma amostra de betão leve à base de argila expandida com as características indicadas anteriormente e para ser simultaneamente ensaiada termicamente. Estas amostras estão apresentadas na Figura 4.



Legenda: I – amostra de betão leve; II – placa de 5 cm de poliestireno extrudido; III – espuma de poliuretano

a) Agregado de fatiado

b) Agregado de argila expandida

Figura 4: Amostras de betão leve para o ensaio térmico

4. ENSAIO À COMPRESSÃO

A massa (M), a densidade (ρ), a força de rotura à compressão (F_{max}) e a tensão de rotura à compressão (σ_c) foram as grandezas físicas e mecânicas do betão leve à base de agregado de caroço da espiga de milho avaliadas através do ensaio à compressão das amostras ensaiadas. Para o efeito, uma balança digital HP-20K e uma prensa de compressão tipo ALPHA 3-3000D de capacidade máxima de 3000 kN foram os principais equipamentos utilizados. Os resultados experimentais obtidos para as amostras fabricadas com granulado crivado (i.e. série 1), com granulado não crivado (i.e. série 2) e com fatiado (i.e. série 3) estão apresentados nas Tabelas de 1 a 3, respectivamente. Por razões de logística não foi possível ensaiar à compressão todas as amostras à idade de 28 dias. Usaram-se quatro amostras por série. Apenas foi exceção a série 2, em que foram ensaiadas três amostras. Face a estas condicionantes, pensa-se que não se dispõe de informação suficiente para se estabelecer uma análise comparativa rigorosa em termos de desempenho à compressão de betões leves fabricados com os agregados relativos às três séries estudadas. Tendo em conta que um betão leve à base de argila expandida e fabricado com o traço 6:1, poderá apresentar valores de ρ e de σ_c da ordem dos 580 kg/m³ e dos 1400 kN/m² à idade de 28 dias, respectivamente, verifica-se que os betões leves à base de caroço da espiga de milho estudados são significativamente menos resistentes à compressão. Um aspecto que é importante referir nesta análise prende-se com o facto de todas as amostras ensaiadas não estarem totalmente secas na data da realização do ensaio. Esta informação pode justificar a susceptibilidade detectada.

Tabela 1: Série 1 – granulado crivado (28 dias)

Amostra	M (kg)	ρ (kg/m ³)	F_{max} (kN)	σ_c (kN/m ²)
---------	--------	-----------------------------	----------------	---------------------------------

1	2.02	598.52	4.6	204.44
2	1.97	583.70	1.6	71.11
3	1.63	482.96	1.7	75.56
4	1.70	503.70	1.8	80.00
Média	1.83	542.22	2.43	107.78

Tabela 2: Série 2 – granulado não crivado (20 dias)

Amostra	M (kg)	ρ (kg/m ³)	Fmax (kN)	σ_c (kN/m ²)
1	1.21	358.52	2.3	102.22
2	1.34	397.04	1.3	57.78
3	1.25	370.37	0.8	35.56
Média	1.27	375.31	1.5	65.19

Tabela 3: Série 3 – fatiado (29 dias)

Amostra	M (kg)	ρ (kg/m ³)	Fmax (kN)	σ_c (kN/m ²)
1	1.21	358.10	2.0	88.89
2	1.46	432.59	5.1	226.67
3	1.22	361.48	1.9	84.44
4	1.27	376.30	1.8	80.00
Média	1.29	382.12	2.7	120.00

5. ENSAIO TÉRMICO

Um compartimento estanque foi utilizado na realização do ensaio térmico da amostra de betão leve de fatiado de caroço da espiga de milho. Este compartimento dispõe de janelas. A amostra de betão leve à base de fatiado e o seu molde (de acordo com a Figura 4.a) substituíram uma janela. Este sistema foi devidamente selado com espuma de poliuretano. A temperatura interior do compartimento manteve-se aproximadamente constante em 20°C e com recurso a um aquecedor. O ensaio térmico foi realizado em Fevereiro de 2011. O ensaio térmico foi realizado alguns dias após a data de montagem da amostra de betão leve e de forma a ter sido possível haver uma estabilização térmica do sistema. Esta estabilização térmica consiste na adaptação material às condições térmicas a que está sujeito. Neste caso, a face interior da amostra esteve sujeita a uma temperatura constante de 20°C e a face exterior esteve sujeita a uma temperatura inferior e variável, que foi a temperatura exterior ocorrida nesse período do ano na cidade de Vila Real. O gradiente térmico resultante do diferencial de temperaturas interior e exterior gera um fluxo de calor através da amostra. Quanto maior for a condutibilidade térmica de um material maior será esse fluxo de calor. Este processo de adaptação térmica é função da inércia térmica da amostra a ensaiar. A amostra de betão leve à base de fatiado de caroço da espiga de milho foi ensaiada termicamente à idade de 60 dias e apresentava um teor de humidade significativamente inferior em relação ao respectivo teor apresentado pelas amostras ensaiadas à compressão à idade de cerca de 28 dias, secção 4. Optou-se por se efectuar o ensaio de termografia que é um ensaio expedito e que permite avaliar de forma automática a temperatura superficial de um corpo. Por exemplo, este ensaio térmico foi adoptado em [6] no contexto da avaliação do desempenho térmico do caroço da espiga de milho. Em

paralelo, uma amostra de referência de betão leve à base de argila expandida foi fabricada de forma análoga (secção 3) e também foi ensaiada termicamente de forma similar. A Figura 5 mostra os termogramas resultantes para ambas as amostras de betão leve estudadas. A cada cor do mapa de cores que traduz um termograma está atribuída uma temperatura superficial do corpo. É possível observar que existe uma certa analogia entre os termogramas obtidos para as amostras de betão leve à base de fatiado de caroço da espiga de milho (Figura 5.a) e à base de argila expandida (Figura 5.b).

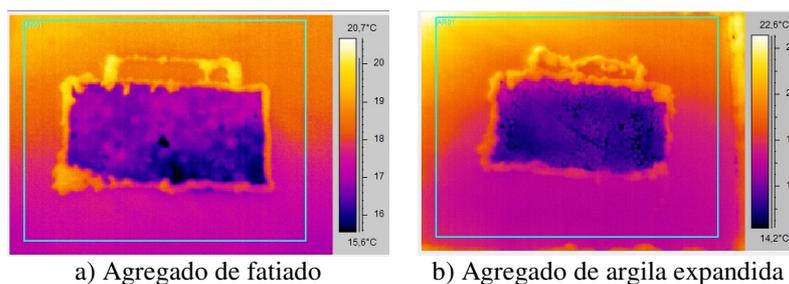


Figura 5: Termogramas das amostras de betão leve

6. CONCLUSÕES

O cenário construtivo de aplicação de caroço da espiga de milho como agregado de um betão leve foi proposto neste trabalho de investigação. O facto de este material ser simultaneamente um resíduo agrícola e abundante confere-lhe um interesse especial em termos de aplicação na indústria da construção civil. A sua aplicação poderá ser economicamente e tecnicamente competitiva. Por sua vez, a variabilidade intrínseca de um material natural e orgânico aumenta a complexidade da sua aplicação. Numa perspectiva de utilização deste tipo de betão leve na execução de camada de regularização de pavimentos a densidade, a resistência à compressão e o desempenho térmico poderão ser algumas propriedades importantes a determinar. Deste modo, amostras de betão leve à base de agregados dos tipos granulado e fatiado de caroço da espiga de milho foram estudadas experimentalmente. Os resultados obtidos revelam que em termos de densidade e de desempenho térmico este betão leve apresenta algumas similaridades com um betão recíproco à base de argila expandida. No entanto, também foi evidenciado a existência de uma certa debilidade em termos de resistência à compressão. Outro aspecto técnico identificado sobre este tipo de betão leve prende-se com o facto do processo de secagem ser lento. Um trabalho de investigação adicional será necessário desenvolver de forma a ser possível encontrar respostas para as dúvidas identificadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Younquist, B. English, H. Spelter, P. Chow, Agricultural fibers in composition panels, Proceedings of the 27th International particleboard/composite materials symposium, 1993 March 30-31, Pullman, WA. Pullman, WA: Washington State University, 1993: 133-152.
- [2] P. Chow, 1974, Dry formed composite board from selected agricultural residues. World consultation on wood based panels. Food and Agriculture Organization of the

United Nations. New Delhi. India.

[3] P. Lertsutthiwong, S. Khunthon, K. Siralermukul, K. Noomun, S. Chandkrachang, New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel, *Bioresource Technology* 99 (2008) 4841-4845.

[4] J. Khedari, N. Nankongnab, S. Fotios, Agricultural waste materials as thermal insulation for dwellings in Thailand: preliminary results, in: *PLEA 2008: 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Dublin, 22nd to 24th October 2008, 2008.

[5] N. Stone, Thermal performance of straw bale wall systems, *Ecological Building Network (EBNet)* (2003) 1-7.

[6] J. Pinto, A. Paiva, H. Varum, A. Costa, D. Cruz, S. Pereira, L. Fernandes, P. Tavares, J. Agarwal, Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material, *Energy and Buildings* 43 (2011) 1985-1990.

[7] A. Paiva, S. Pereira, A. Sá, D. Cruz, H. Varum, J. Pinto, A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards, *Energy and Buildings* (2010), doi:10.1016/j.enbuild.2011.11.019.

[8] ANPROMIS - Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo [on-line], Disponível: <http://www.anpromis.pt/>

[9] CIMilho – Centro de inteligência do milho, available at: <http://www.anpromis.pt/http://cimilho.cnpms.embrapa.br/estatisticas/estatisticas.php?tabela=013>

[10] Daniel Barbosa da Cruz. Desenvolvimento de um material de isolamento térmico e acústico à base de caroços da espiga de milho. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UTAD. Vila Real. 2011.

[11] D.A. Adesanya, A.A. Raheem, Development of corn cob ash blended cement, *Construction and Building Materials*:23 (2009) 347-352