

# RICEHUSK+ COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM CASCA DE ARROZ PARA SOLUÇÕES PRÉ-FABRICADAS DE PAINÉIS MULTICAMADA E BARREIRAS ACÚSTICAS

Micaela Oliveira<sup>1</sup>, Bruno Teixeira<sup>1</sup>, Beatriz Marques<sup>2,3</sup>, Julieta António<sup>3,4</sup>, Ana Raimundo<sup>5</sup> e Inês Flores-Colen<sup>5</sup>

<sup>1</sup> FARCIMAR - Soluções em Pré-fabricados de Betão S.A., Zona Industrial da Farrapa, Apartado 402, 4540-267 Chave Arouca, Portugal

email: [micaela.oliveira@fts.pt](mailto:micaela.oliveira@fts.pt) <http://www.farcimar.pt>

<sup>2</sup> Universidade de Coimbra, CERIS, Coimbra, Portugal

<sup>3</sup> Itecons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, Rua Pedro Hispano s/n, 3030-289 Coimbra, Portugal

<sup>4</sup> Universidade de Coimbra, CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal

<sup>5</sup> CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

---

## Sumário

*Este trabalho tem como objetivo a apresentação dos principais resultados de caracterização acústica e ambiental de soluções pré-fabricadas, nomeadamente barreiras acústicas, desenvolvidas no âmbito do projeto RiceHUSK+. Para a o desenvolvimento destas soluções, foram produzidas composições com cimento, fíler, casca de arroz não tratada e água. Para as soluções finais, foram definidas geometrias que permitem otimizar os compósitos cimentícios desenvolvidos. Os resultados obtidos indicam que estes materiais podem ser utilizados para revestimento de barreiras acústicas e como camada isolante em painéis multicamada para fachadas.*

---

**Palavras-chave:** Casca de arroz; Cimento; Pré-fabricação; Barreiras acústicas; Sustentabilidade.

## 1 INTRODUÇÃO

O betão é um dos materiais mais utilizados em todo o mundo devido à sua durabilidade e características funcionais no estado endurecido. Contudo, a produção de betão tem reconhecidos impactes ambientais relacionados com a extração de matérias-primas para a produção de agregados e com a produção de cimento [1]. Considerando o elevado volume de betão que continua a ser produzido anualmente, têm surgido estudos que procuram atenuar estes impactes através da incorporação de resíduos e do desenvolvimento de soluções pré-fabricadas.

Existem várias vantagens na aplicação da tecnologia de pré-fabricação no desenvolvimento de materiais de construção [2,3]. Para além destas vantagens, antes de endurecidos, os compósitos de base cimentícia podem ser moldados e adaptar-se facilmente a geometrias e configurações complexas, como barreiras acústicas e painéis multicamada. Assim, a utilização de compósitos de base cimentícia com melhor desempenho térmico e acústico em elementos pré-fabricados pode contribuir para responder aos requisitos funcionais das soluções finais [4–6].

Adicionalmente, a substituição integral ou parcial de agregados convencionais por resíduos em misturas cimentícias tem sido utilizada como estratégia para reduzir os impactes ambientais associados aos materiais de construção [7–9]. A integração de resíduos da agroindústria, como é o caso da madeira [10], cortiça [11] e casca de arroz [12], tem sido estudada de forma a reduzir a massa volúmica do betão e melhorar as propriedades térmicas e acústicas, bem como o seu desempenho ambiental. Neste sentido, diversos estudos de avaliação do ciclo de vida de produtos e sistemas da construção [13–16], nomeadamente em argamassas e betões [17,18], isolantes térmicos e acústicos [19] e sistemas construtivos em fachadas [14,20] têm sido desenvolvidos.

Neste contexto, a utilização de casca de arroz, oferece importantes vantagens, tais como a baixa densidade e elevada porosidade, baixo valor comercial e fracas propriedades nutritivas tendo em vista a alimentação animal. Por outro lado, a colocação em aterro e queima destes resíduos pode causar significativos impactos ambientais, devido ao elevado teor em sílica [21,22]. Substituindo os agregados convencionais por casca de arroz, a massa volumica do betão poderá ser reduzida, contribuindo para uma maior economia nos custos de manuseamento e de transporte e um melhor desempenho térmico [23].

Este artigo apresenta os resultados da caracterização acústica e ambiental de soluções pré-fabricadas produzidas a partir de compósitos cimentícios com casca de arroz, desenvolvidas no âmbito do projeto RiceHUSK+. Este projeto tem por objetivo desenvolver compósitos cimentícios em que, pelo menos, 50% dos agregados sejam substituídos por casca de arroz e, a partir destas composições, desenvolver soluções pré-fabricadas com elevado desempenho térmico e acústico, reduzido impacto ambiental e com níveis de durabilidade adequados às aplicações previstas, garantindo a manutenção das suas propriedades ao longo do tempo de vida do produto.

## **2 PRODUTOS DESENVOLVIDOS**

As soluções desenvolvidas centraram-se em produtos semelhantes a outros já desenvolvidos pela Farcimar: painéis para barreira acústica e painéis de revestimento multicamada. Estas soluções de pré-fabricados são frequentemente utilizadas para melhoria do conforto acústico, nomeadamente na mitigação do ruído gerado pela passagem dos veículos no caso das barreiras acústicas.

Numa fase inicial, foi estudada a compatibilidade entre os diferentes constituintes dos compósitos cimentícios (ligante, água, casca de arroz, adjuvantes/adições). Seguidamente, foram desenvolvidas diferentes formulações das misturas cimentícias com casca de arroz com o objetivo de, numa fase posterior, otimizar aquelas que apresentassem propriedades mais adequadas à funcionalidade dos produtos a desenvolver e apresentassem menor impacto ambiental. Como materiais utilizou-se casca de arroz, que representa cerca de 20% do grão de arroz colhido [24], que é um dos cereais mundialmente mais produzidos e que apresenta baixa densidade e a elevada porosidade como características principais [25, 26]; cimento do tipo CEM II/A-L 42,5 R; filer calcário e água corrente.

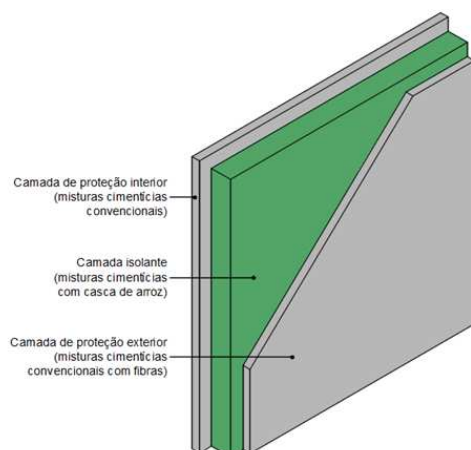
Verificou-se que as misturas beneficiam da introdução de filer calcário em substituição do cimento, em volume, e do aumento de casca de arroz, melhorando o comportamento acústico. A partir dessas formulações, os produtos finais foram desenvolvidos e otimizados, tendo sido concebidos painéis de barreira acústica com parte absorvente em betão com casca de arroz e, ainda, painéis de revestimento multicamada, com substituição do isolante térmico convencional, em poliestireno expandido, por compósito com incorporação de casca de arroz.

De seguida, apresentam-se os principais produtos resultantes do projeto RiceHUSK+ (painéis multicamada e barreiras acústicas). No entanto, no âmbito deste artigo, serão apenas apresentados os resultados de caracterização de barreiras acústicas.

### **2.1 Painéis multicamada**

No âmbito da definição das soluções de painéis multicamada, foi concebida uma solução de painel para ser utilizada em fachadas de edifícios. O painel proposto possui três camadas distintas, uma camada de betão estrutural, a camada do compósito desenvolvido no âmbito do projeto e uma camada de betão exterior com fibras. Adicionalmente, foram definidas as ligações entre camadas de betão e os acessórios necessários ao transporte, manuseamento e montagem dos painéis.

A Fig. 1 apresenta o desenho tipo do painel multicamada desenvolvido em projeto, que em função das espessuras das diferentes camadas, assume diferentes espessuras totais.



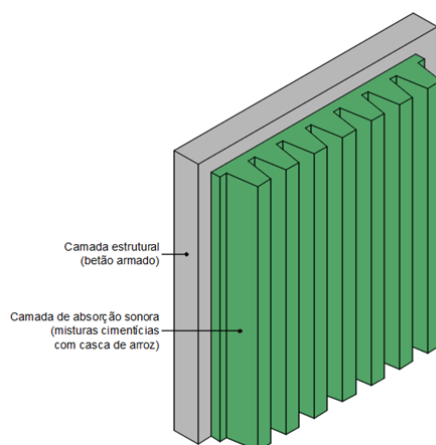
**Fig. 1. Desenho tipo do painel multicamada.**

Para analisar a viabilidade de fabrico das soluções propostas foram produzidos diferentes protótipos à escala real e foram realizados vários ensaios de caracterização do desempenho higrotérmico, acústico, mecânico, ambiental e de durabilidade.

## 2.2 Barreiras acústicas

As características geométricas das barreiras acústicas foram definidas tendo em conta os seus requisitos funcionais e as características de absorção sonora dos compostos cimentícios em desenvolvimento. Adicionalmente, foram definidas as ligações entre camadas de betão e os acessórios necessários ao transporte, manuseamento e montagem das barreiras acústicas.

Todas as barreiras acústicas possuem uma camada estrutural de betão de espessura constante, seguida por uma camada de aglomerado cimentício com casca de arroz e nervuras de secção transversal trapezoidal, do mesmo aglomerado. Na Fig. 2 apresenta-se o desenho tipo das barreiras acústicas concebidas no âmbito do projeto e, na Fig. 3, o corte tipo de duas das geometrias de barreiras estudadas, que incluem composições semelhantes entre si.



**Fig. 2. Desenho tipo das barreiras acústicas.**

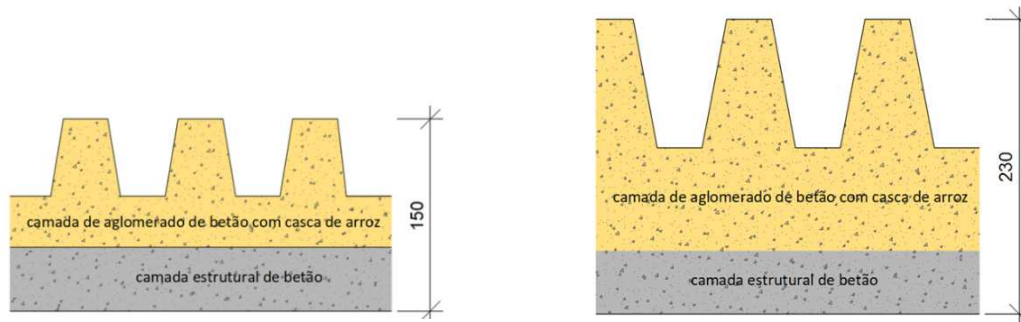


Fig. 3. Cortes tipo das barreiras acústicas.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS

No âmbito dos trabalhos de caracterização das barreiras acústicas, neste artigo, apresentam-se resultados do desempenho acústico (absorção sonora) e do desempenho ambiental.

#### 3.1 Desempenho acústico

O desempenho acústico das barreiras foi avaliado em provetes à escala real através da realização de ensaios de absorção sonora, de acordo com as normas ISO 354 [27], EN 1793-1 [28] e EN 16272-1 [29]. Este ensaio foi realizado em câmara reverberante nas instalações do Itecons, em Coimbra.

O provete foi montado sobre o pavimento da câmara reverberante, segundo uma montagem do tipo "A" para o cálculo da absorção sonora, pela norma ISO 354 [27] (Fig. 4).

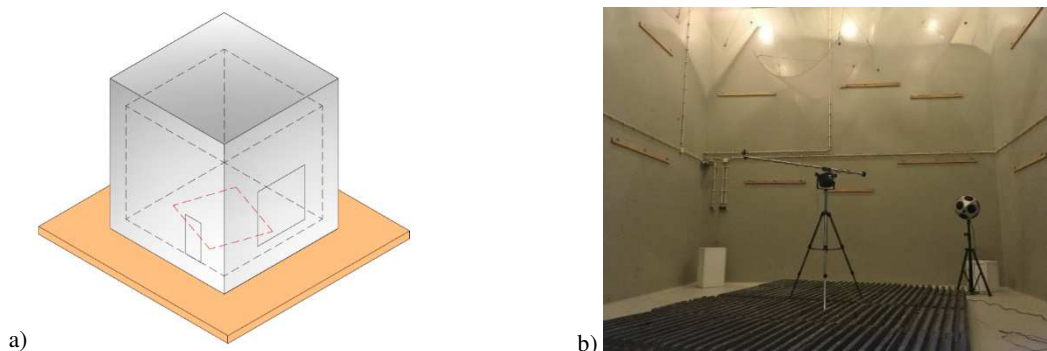
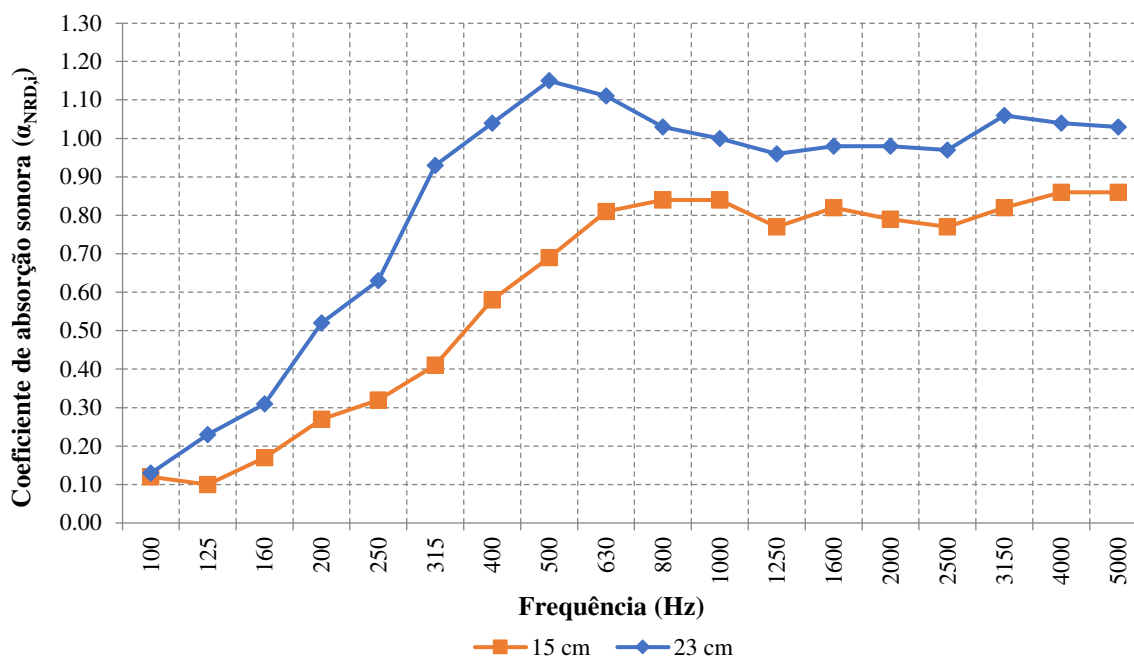


Fig. 4. Ensaios acústicos em câmara reverberante: a) esquema da posição do provete de ensaio na câmara; b) provete de ensaio no interior da câmara.

Os resultados do ensaio de absorção sonora em câmara reverberante para os painéis de barreira acústica de 15 cm e 23 cm, em bandas de terços de oitava para as frequências entre 100 e 5000 Hz, estão apresentadas na Fig. 5.



**Fig. 5. Resultados do ensaio de absorção sonora em câmara reverberante em bandas de terços de oitava.**

A partir destes resultados, e de acordo com a norma EN 1793-1 [28], obtém-se, para o espectro rodoviário, um índice único de classificação da absorção sonora ( $DL_{\alpha, NRD}$ ) de 6 dB e de 15 dB, para as barreiras acústicas de 15 cm e de 23 cm, respetivamente.

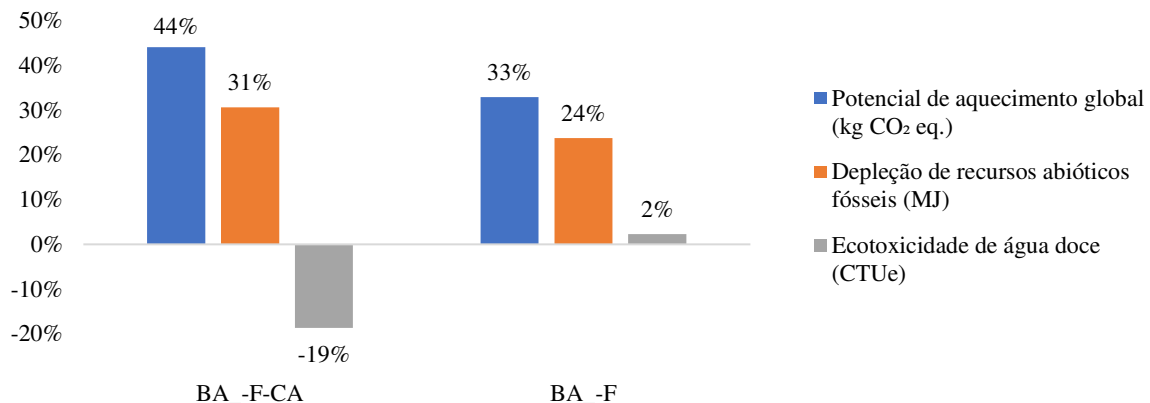
Para o espectro ferroviário, e de acordo com a norma EN 16272-1 [29], obtém-se um índice único de classificação da absorção sonora ( $DL_{\alpha, NRD}$ ) de 8 dB e de 20 dB, para as barreiras acústicas de 15 cm e de 23 cm, respetivamente.

Os resultados apresentados permitem confirmar o efeito da geometria da camada absorvente no desempenho acústico das soluções, para todas as bandas de frequência.

### 3.2 Desempenho ambiental

Devido à necessidade de produzir um produto competitivo, a nível funcional, económico e ambiental, efetuou-se uma análise do desempenho do ciclo de vida do compósito da barreira acústica tendo em conta a sua composição. Foi considerado  $1 \text{ m}^3$  para a unidade declarada e analisadas as categorias dos impactes ambientais preconizadas na norma EN 15804+A2 [20], nomeadamente o potencial de aquecimento global ( $\text{kg CO}_2 \text{ eq.}$ ), depleção de recursos abióticos fósseis (MJ) e ecotoxicidade de água doce (CTUe), através do software *SimaPro 9.1.1.7*.

Comparou-se a composição da barreira acústica com a composição sem introdução de fíler e com uma menor quantidade de casca de arroz (CA), com ambas as supressões na mesma ordem de grandeza percentual, nomeadamente: i) compósito cimentício sem fíler e com menor dosagem de casca de arroz - *BA\_-F-CA*; ii) compósito cimentício sem fíler e com dosagem de casca de arroz de referência - *BA\_-F* e iii) compósito cimentício com fíler e com a dosagem de casca de arroz utilizada na composição da barreira acústica - *BA*. Os aumentos da quantidade de casca de arroz e de fíler têm como intenção a produção de misturas mais sustentáveis, pela conseqüente redução de cimento, além da melhoria das propriedades acústicas conferida pela casca de arroz. Este aumento é realizado, tendo em consideração requisitos mínimos de desempenho mecânico, visto que prejudicam a resistência mecânica. Na Fig. 6, são apresentadas as variações percentuais de cada categoria de impactes ambientais em relação à composição da barreira acústica, para cada composição analisada.



**Fig. 6. Desempenho ambiental: comparação com a composição da barreira acústica.**

Verifica-se que a composição da barreira acústica (BA) tem menores impactos ambientais nas categorias analisadas, devido à menor quantidade de cimento utilizada, exceto na ecotoxicidade de água doce. Tal justifica-se pela quantidade de água de imersão da casca de arroz prévia à sua incorporação na mistura, que é menor quanto menor a quantidade de casca de arroz. Contudo, esta água de imersão, não utilizada no processo de mistura, satisfaz os valores limite de emissão de parâmetros característicos das águas residuais (VLE), com base na sua análise química a alguns destes parâmetros (pH, CQO, fósforo total). Confirma-se assim que a introdução de fíler calcário e de casca de arroz melhora o desempenho ambiental dos compósitos, demonstrando ser uma solução alternativa mais viável, com menor aumento global dos parâmetros em análise quando a incorporação contempla maior quantidade de CA.

## 4 CONCLUSÕES

Este artigo descreve os principais desenvolvimentos do projeto RiceHUSK+. Foram apresentados resultados do desempenho acústico e ambiental de barreiras acústicas pré-fabricadas que incorporam soluções inovadoras e sustentáveis à base de compósitos cimentícios com casca de arroz. Os resultados apresentados permitem concluir que as soluções construtivas pré-fabricadas com a incorporação de compósitos cimentícios com casca de arroz, apresentam bom desempenho acústico e ambiental. A incorporação de casca de arroz em materiais compósitos cimentícios, permite o desenvolvimento de produtos de construção tecnicamente viáveis e de baixo impacto ambiental.

## 5 AGRADECIMENTOS

O projeto RiceHUSK+ “Compósitos cimentícios com casca de arroz para soluções pré-fabricadas de painéis multicamada e barreiras acústicas” (POCI-01-0247-FEDER-039577; LISBOA-01-0247-FEDER-039577) é financiado no âmbito do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020), pelo Programa Operacional Temático Competitividade e Internacionalização (POCI) do Portugal 2020 e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Este projeto está a ser executado em consórcio pela Farcimar (promotor), pelo CERIS/ Instituto Superior Técnico e pelo Itecons.

## 6 REFERÊNCIAS

- [1] International Energy Agency (IEA), 2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, 2018.
- [2] C. Baglivo, P.M. Congedo, High performance precast external walls for cold climate by a multi-criteria methodology, Energy. (2016). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.018>.
- [3] Y. Chen, G.E. Okudan, D.R. Riley, Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings, Automation in Construction. 19 (2010) 235–244.

- <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.10.004>.
- [4] V. Vacek, J. Kolísko, J. Tichý, R. Cvancigerová, Concrete Precast Panel for Noise Barrier of New Generation, *Advanced Materials Research*. (2015). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1106.114>.
- [5] P. Rajagopalan, A. Krezel, Sound absorption characteristics of a precast panel system made from environmentally sustainable concrete, *Building Acoustics*. (2010). <https://doi.org/10.1260/1351-010X.17.3.221>.
- [6] G. Vasconcelos, P.B. Lourenço, P. Mendonça, A. Camões, R. Mateus, L. Bragança, A.G. Brito, E. Poletti, Proposal of an innovative solution for partition walls: Mechanical, thermal and acoustic validation, *Construction and Building Materials*. 48 (2013) 961–979. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.079>.
- [7] M. Bravo, J. de Brito, J. Pontes, L. Evangelista, Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants, *Journal of Cleaner Production*. 99 (2015) 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012>.
- [8] R. Cardoso, R.V. Silva, J. de Brito, R. Dhir, J. de Brito, R. Dhir, Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: a literature review, *Waste Management*. (2015) 1–25. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.021>.
- [9] J. Silva, J. de Brito, R. Veiga, Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production, *Journal of Materials in Civil Engineering*. (2008) 1–41.
- [10] P. Walker, A. Thomson, D. Maskell, Straw Bale Construction, in: K.A. Harries, B. Sharma (Eds.), *Nonconventional and Vernacular Construction Materials*, Woodhead Publishing Ltd., 2016: pp. 127–155.
- [11] A. Moreira, J. António, A. Tadeu, Lightweight screed containing cork granules: Mechanical and hygrothermal characterization, *Cement and Concrete Composites*. 49 (2014) 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.01.012>.
- [12] M. Chabannes, J.-C. Bénézet, L. Clerc, E. Garcia-Diaz, Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application, *Construction and Building Materials*. 70 (2014) 428–438. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.07.025>.
- [13] J.D. Silvestre, J. de Brito, M.D. Pinheiro, Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials – calculation rules, results and contribution to a “cradle to cradle” life cycle, *Journal of Cleaner Production*. 66 (2014) 37–45. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.10.028>.
- [14] J.D. Silvestre, J. de Brito, M.D. Pinheiro, From the new European Standards to an environmental, energy and economic assessment of building assemblies from cradle-to-cradle (3E-C2C), *Energy and Buildings*. 64 (2013) 199–208. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2013.05.001>.
- [15] J.D. Silvestre, S. Lasvaux, J. Hodková, J. de Brito, NativeLCA - a systematic approach for the selection of environmental datasets as generic data: application to construction products in a national context, *International Journal of Life Cycle Assessment*. (2015) 731–750. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0885-8>.
- [16] P. Rodrigues, J.D. Silvestre, I. Flores-Colen, C.A. Viegas, J. de Brito, R. Kurad, M. Demertzi, Methodology for the assessment of the ecotoxicological potential of construction materials, *Materials*. 10 (2017). <https://doi.org/10.3390/ma10060649>.
- [17] R. Garrido, J.D. Silvestre, I. Flores-Colen, Economic and Energy Life Cycle Assessment of aerogel-based thermal renders, *Journal of Cleaner Production*. 151 (2017) 537–545. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.02.194>.
- [18] A.M. Braga, J.D. Silvestre, J. de Brito, Compared environmental and economic impact from cradle to gate of concrete with natural and recycled coarse aggregates, *Journal of Cleaner Production*. 162 (2017) 529–543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.057>.
- [19] M. Pedroso, J. de Brito, J.D. Silvestre, Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials

- (traditional and innovative), *Construction and Building Materials*. 140 (2017) 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.132>.
- [20] CEN - European Committee for Standardization, EN 15804 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products, (2019).
- [21] H. Zhang, X. Ding, X. Chen, Y. Ma, Z. Wang, X. Zhao, A new method of utilizing rice husk: consecutively preparing D-xylose, organosolv lignin, ethanol and amorphous superfine silica., *Journal of Hazardous Materials*. 291 (2015) 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.03.003>.
- [22] E.R. Abaide, M. V. Tres, G.L. Zobot, M.A. Mazutti, Reasons for processing of rice coproducts: Reality and expectations, *Biomass and Bioenergy*. 120 (2019) 240–256. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.032>.
- [23] L.C. Da Rosa, C.G. Santor, A. Lovato, C.S. Da Rosa, S. Güths, Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector, *Journal of Cleaner Production*. 104 (2015) 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.127>.
- [24] B.A. Tayeh, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, A. Alaskar, Recycling of rice husk waste for a sustainable concrete: A critical review, *Journal of Cleaner Production*. 312 (2021) 127734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127734>.
- [25] I.J. Fernandes, D. Calheiro, A.G. Kieling, C.A.M. Moraes, T.L.A.C. Rocha, F.A. Brehm, R.C.E. Modolo, Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy, *Fuel*. 165 (2016) 351–359. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2015.10.086>.
- [26] B. Marques, A. Tadeu, J. António, J. Almeida, J. de Brito, Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products, *Construction and Building Materials*. 239 (2020) 117851. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117851>.
- [27] ISO - International Organization for Standardization, ISO 354 - Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room, (2003).
- [28] CEN - European Committee for Standardization, EN 1793-1 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption under diffuse sound field conditions, (2017).
- [29] CEN - European Committee for Standardization, EN 16272-1 – Railway applications – Track – Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics - Sound absorption in the laboratory under diffuse sound field conditions, (2012).