



Efeitos da substituição parcial do cimento Portland por cinza de casca de arroz na condutividade térmica de placas de fibrocimento

Effects of partial replacement of cement Portland with rice husk ash on thermal conductivity of fiber cement boards

Igor Felipe Tatto¹, José Ilo Pereira Filho²

RESUMO

Visando a redução do consumo energético com resfriamento e aquecimento em edificações, a utilização de materiais isolantes nas fachadas tem sido adotada como solução. De acordo com a bibliografia, materiais isolantes, identificados pela baixa condutividade térmica, tendem a apresentar maior porosidade e menor massa específica aparente. Nesse contexto, esse trabalho busca analisar a substituição parcial de cimento por cinza de casca de arroz (CCA) em placas de fibrocimento, observando a relação da condutividade térmica e das propriedades físicas com os teores de CCA em substituições volumétricas de 10, 25 e 50%. Por meio dos ensaios térmicos e físicos, a relação da condutividade térmica com a massa específica e porosidade foi atestada, juntamente do decréscimo da condutividade térmica com teores de substituição elevados. Os melhores resultados de condutividade térmica, para finalidades de isolamento, foram obtidos pelas placas com 50% de substituição volumétrica do cimento por CCA, todavia, se faz necessário analisar as propriedades mecânicas e absorção das placas, devido à alta porosidade encontrada.

PALAVRAS-CHAVES: cinza de casca de arroz; placas cimentícias; propriedades térmicas.

ABSTRACT

In order to reduce energy consumption for cooling and heating in buildings, the use of insulating materials on facades has been adopted as a solution. According to the literature, insulating materials, characterized by low thermal conductivity, tend to have higher porosity and lower bulk density. In this context, this study aims to analyze the partial replacement of cement with rice husk ash (RHA) in fiber cement boards, observing the relationship between thermal conductivity and physical properties with RHA content in volumetric substitutions of 10, 25, and 50%. Through thermal and physical tests, the relationship between thermal conductivity, bulk density and porosity was confirmed, along with a decrease in thermal conductivity with higher substitution levels. The best thermal conductivity results for insulation purposes were achieved with boards containing 50% volumetric substitution of cement with RHA. However, it is necessary to analyze the mechanical properties and absorption of the boards due to the high porosity observed.

KEYWORDS: rice husk ash; cement boards; thermal properties.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, o cimento Portland é o aglomerante mais utilizado no meio da engenharia civil, o que demanda elevada exploração de recursos naturais e resulta na emissão de gás carbônico para sua produção (MARTINS, 2018). Nesse sentido, continuamente são estudadas novas alternativas que visam a diminuição do consumo do cimento Portland, como por exemplo, a sua substituição parcial por outro material.

Seguindo ainda um viés ambiental, agora no tocante do consumo energético das edificações, reitera-se cada vez mais a utilização de materiais que contribuam para o desempenho térmico da mesma. De acordo com Baldin (2019), um dos parâmetros que devem ser analisados em relação ao desempenho térmico é a condutividade térmica.

¹ Bolsista da UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: igortatto@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0192632511872779.

² Docente no Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: ilofilho@yahoo.com.br. ID Lattes: 1941692361552721.



Nesse contexto, a condutividade térmica é um parâmetro diretamente relacionado ao fluxo de calor conduzido por um dado material, sendo função da temperatura atuante no meio (GALVÃO, 2014). Para um objeto sólido, a condutividade térmica também é associada às propriedades físicas do mesmo, onde materiais com menor massa específica e mais porosos tendem a possuir menor condutividade térmica (BALDIN, 2019).

Em suas pesquisas, Baldin (2019) analisou o efeito de substituições de cimento Portland em placas de fibrocimento por resíduo de cerâmica vermelha, material pozolânico que mostrou diminuições na condutividade térmica e massa específica, acompanhado de aumento da porosidade. Resultado esse que pode ser explicado pelo aumento da relação água materiais cimentícios, juntamente da troca parcial do cimento por um material mais leve (CALDAS e SILVA, 2002).

No Brasil, a safra de arroz de 2022/2023 produziu 10,03 milhões de toneladas, com aumento de 1,7% na produtividade no mesmo período (CONAB, 2023). Em adição, são produzidos 0,28 kg de casca de arroz para cada 1 kg de arroz processado (IRRI, 2016). O que cria um interesse na valorização da cinza de casca de arroz (CCA) como um material pozolânico, assim como análise do seu uso para fins de desempenho térmico.

Deste modo, o presente trabalho detalha o procedimento de confecção de placas de fibrocimento em laboratório e análise do coeficiente de condutividade térmica, com substituições parciais do cimento por CCA de 10% (CCA10), 25% (CCA25) e 50% (CCA50), quando comparadas a uma placa de referência (CCA0).

MATERIAIS E MÉTODOS

As placas de fibrocimento confeccionadas comercialmente são compostas por cimento Portland, fibras, pozolânas e filler calcário (DIAS, 2011). A utilização do filler calcário visa reduzir o custo da composição das placas, uma vez que se observa redução do consumo de cimento quando utilizada de maneira correta.

Fez-se uso do cimento CP V - ARI-RS, por possui pureza relativamente elevada quando comparado aos outros cimentos, no que diz respeito adições minerais. Além disso, foram utilizadas fibras de celulose, as mesmas empregadas por Baldin (2019), obtidas por meio de moagem a seco de material reciclado.

Neste trabalho, a cinza de casca de arroz foi disponibilizada pela Empresa Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., de Alegrete – RS, sendo essa o mesmo material utilizado por autores como Nascimento (2023) e Zaparte (2020). Vale constar que a cinza empregada não possuiu controle de temperatura na queima, porém, passou por processo de moagem a fim de homogeneizar a geometria dos grãos.

A caracterização do material constituiu-se da definição da massa específica. Foram tomadas como base os valores de BALDIN (2019), quanto a massa específica da fibra de celulose, e a NBR 16605 (ABNT, 2017), para determinar a massa específica do cimento, da cinza de casca de arroz e do filler calcário. Os valores obtidos estão expressos na tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica dos materiais

Material	Massa específica (g/cm ³)
CP V - ARI-RS	3,02
CCA	2,17
Filler calcário	2,76
Fibra de celulose	0,5

Fonte: Autoria própria (2023).

A proporção de materiais secos foi adotada a partir dos estudos de Baldin (2019), e mantendo uma relação água materiais secos constantes para todas as misturas, igual a 70%, como indicado por Caldas e Silva (2002). Assim, segue na tabela 2 as porcentagens relacionadas aos materiais secos de cada mistura.

Tabela 2 – Proporção dos materiais secos de cada mistura (%)

Mistura	Cimento	CCA	Filler calcário	Fibra
CCA0	68,50	0,00	27,00	4,50
CCA10	62,86	5,02	27,53	4,59
CCA25	53,98	12,93	28,37	4,73
CCA50	37,90	27,24	29,88	4,98

Fonte: Autoria própria (2023).

Para produção das placas de fibrocimento, foram adotados os métodos utilizados por autores como Baldin (2019), Betioli; John; Pileggi (2011), e Caldas e Silva (2002). Tal metodologia adapta o processo de confecção de placas conhecido como *Hatschek*, com emprego de uma bomba a vácuo, para retirar o excesso de água, e prensagem.

Para a mistura, fez-se uso de uma argamassadeira, com potência de 830 rpm, de eixo vertical com duas velocidades de rotação, junto de um misturador adaptado. A drenagem da água foi feita utilizando um molde acoplado a uma base conectada a uma bomba a vácuo, com dimensões de 200 mm x 200 mm x 10 mm. Já a prensagem, foi feita utilizando a máquina EMIC DL 30000. De modo geral, os procedimentos descritos podem ser vistos na figura 1.

Figura 1 – Procedimentos para confecção das placas



Fonte: Autoria própria (2023).

Após a confecção, as placas ficaram 7 dias em cura submersa, e em seguida, mantidas em câmara úmida até a data dos ensaios, aos 35 dias de idade.

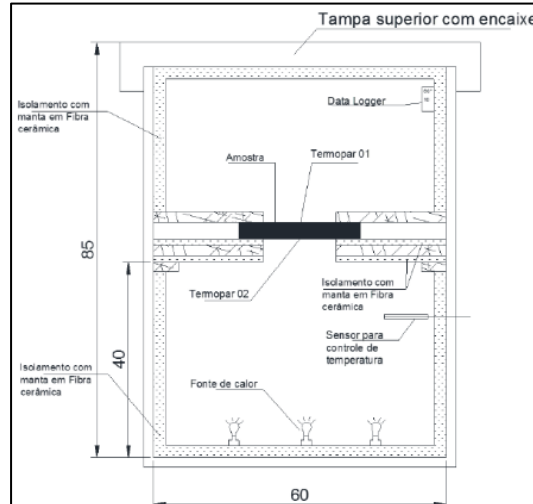
Para realizar os ensaios de condutividade térmica, foi utilizado o protótipo desenvolvido por Baldin (2019). Consistindo em uma câmara com dimensões de 80 cm x 60 cm X 60 cm, revestida internamente por manta cerâmica, é operável em temperaturas entorno de 40 °C.

Internamente, a placa é posicionada em um orifício que liga duas subcâmaras, simulando um ambiente externo, com uma fonte de calor com lâmpadas incandescentes (inferior), e um interno (superior). Com isso, são posicionados termopares tipo K nas superfícies inferior e superior, com o intuito de medir a variação de temperatura entre as faces.

Para medição das temperaturas, fez-se uso de dois multímetros ICEL MD-6510, com exatidão de $3\% \pm 30d$, para as temperaturas nas superfícies das placas, e um *datalogger*

de temperatura AKSO AK174, com precisão de $\pm 0,5$ °C, para medir a temperatura em um ponto distante à superfície superior da placa. Desta forma, é mostrado na figura 2 uma representação da câmara.

Figura 2 – Câmara de ensaio de condutividade térmica



Fonte: Baldin (2019).

De forma geral, para cálculo do coeficiente de condutividade utilizou-se a equação (1), sendo a mesma utilizada por Oliveira, et. al. (2015) e Baldin (2019).

$$k = \frac{h_e \cdot L(T_1 - T_E)}{(T_2 - T_2)} \quad (1)$$

onde k é coeficiente de condutividade térmica (W/(m.K)), h_e é o coeficiente de convecção, adotando 8,1 W/(m².K) (BALDIN, 2019), L é a espessura da placa (m), T_1 é a temperatura na superfície superior da placa (K), T_2 é temperatura na superfície inferior da placa (K) e T_E é a temperatura externa, em um ponto afastado da superfície da placa (K).

A porosidade aparente e a massa específica aparente foram determinadas com as instruções da C 948-81 (ASTM, 2009). Utilizando 6 corpos de provas, cortados das placas, aos 35 dias de hidratação.

RESULTADOS

Observou-se uma diminuição da massa específica aparente seca das placas de fibrocimento, conforme aumentavam-se as substituições do cimento por CCA. Por outro lado, é notória a relação inversa das substituições com a porosidade. Tal comportamento é explicado pela utilização de um material com menor massa específica quando comparado ao cimento, seguindo da elevação do teor de água após o procedimento de drenagem.

Já em relação a condutividade térmica, percebemos diminuição significativa na placa com 50% de substituição, com cerca de 40% na redução da condutividade com relação a placa de referência. Assim, os resultados estão de acordo com as relações descritas entre a porosidade e a condutividade térmica.



Segue abaixo a tabela 3 com os valores encontrados das propriedades físicas e da condutividade térmica.

Tabela 3 – Propriedades físicas das placas de fibrocimento e condutividade térmica

	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	Porosidade aparente (%)	Condutividade Térmica (W/(m.K))
CCA0	1,45	36,3	0,15
CCA10	1,44	35,6	0,13
CCA25	1,42	37,2	0,16
CCA50	1,32	41,8	0,09

Fonte: Autoria própria (2023).

CONCLUSÃO

Por fim, os experimentos mostraram que a substituição do cimento pela cinza de casca de arroz diminuiu a massa específica das peças e aumentou a sua porosidade. Uma vez que o material substituído possuía densidade relativamente maior que a CCA, houve uma redução da massa seca de cada placa e elevação da relação água materiais cimentícios, o que leva a um acréscimo da porosidade.

Do mesmo modo, também se comprovou as relações da condutividade térmica com massa específica e a porosidade. Sendo, diretamente proporcional a massa específica, e inversamente à porosidade, onde a placa com maior índice de substituição apresentou menor condutividade térmica, indicando a viabilidade do uso da CCA como substituinte parcial do cimento, seguindo finalidades de desempenho térmico.

Verificou-se também, que o aumento da porosidade pode provocar redução das capacidades mecânicas das placas. Uma vez que o aumento da porosidade acompanha a substituição do cimento por CCA, deve-se avaliar a queda da resistência, ajustando a dosagem das placas caso necessário.

Agradecimentos

À UTFPR, por disponibilização da bolsa e apoio a pesquisa, aos professores e aos demais colegas do laboratório de materiais do departamento de engenharia civil da UTFPR-PB.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **C 948-81: Test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete**. West Conshohocken (PA, USA); 2009.



BALDIN, C. R. B. **Estudo da influência da substituição parcial do cimento por resíduos de cerâmica vermelha na transferência de calor em placas de fibrocimento.** 2019. p. 116. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

BETIOLI, A. M.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Equipamento para produção de placas de fibrocimento em laboratório.** 1º Seminário de Pesquisa, Extensão e Inovação do IF-SC, v. 1, p. 64–66, 2011.

CALDAS E SILVA, A. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim de safra de grãos.** 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

DIAS, C. M. R. **Fibrocimentos com gradação funcional.** 2011. 173 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). **Rice knowledge bank: rice husk.** Disponível em: <<http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-husk>>.

MARTINS, J. F. A. **Análise do desempenho térmico de placas à base de óxido de magnésio aplicadas no sistema Light Steel Frame.** 2018. p. 157. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2018.

NASCIMENTO, A. C. K. **Avaliação do uso da cinza de casca de arroz residual no tratamento do agregado reciclado de concreto.** 2023. p. 144. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, PR, 2023.

OLIVEIRA, W. L. *et al.* **Determinação do coeficiente de condutividade térmica de compósitos constituídos a partir da fibra de coco.** VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre, p. 1–10, 2015.

ZAPARTE, T. **Análise global da influência da finura da cinza de casca de arroz como substituição parcial ao cimento portland nas propriedades da argamassa de revestimento.** 2020. p. 129. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, PR, 2020.