

Desempenho térmico de blocos de vedação sustentáveis, compostos de argamassa de cimento e areia e insertos de garrafas PET preenchidas com cinza da casca de arroz

Everton L. Bitencourt das Neves^{1*}, Margarete R. Freitas Gonçalves^{1,2}, Eduardo G. da Cunha², Juliana Neumann Seixas²

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas – RS, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas – RS, Brasil.

*e.dasneves@gmail.com

DOI: [10.30609/JETI.2020-11254](https://doi.org/10.30609/JETI.2020-11254)

Abstract. The negative impacts caused by civil construction to the environment are growing concerns. Such facts have led to the development of research that seeks new sources of raw materials from the use of waste from materials discarded in nature. Among the residues, we highlight the rice husk ash (RHA), which is generated after the burning of the rice husk for the production of heat and energy, and PET bottles which, in detriment to their already proven recyclability, are still represent a danger to the environment due to improper disposal. Aiming at solving the environmental problems caused by these residues, this work presents the process of obtaining cement and sand mortar blocks, PET and RHA bottles and their characterization regarding thermal performance, aiming at their use in civil construction. To obtain the blocks, three compositions were analyzed: the first, used as a reference, consisted of cement and sand mortar; the second with cement and sand mortar and the insertion of PET bottles filled with RHA; and the third of cement and sand mortar and the insertion of empty PET bottles. The mortar used was characterized in terms of mechanical resistance to compression and the blocks obtained were characterized in terms of bulk density and thermal conductivity. The determination of thermal conductivity was made in a similar way to the protected hot plates method. The results showed that the cement and sand blocks with PET bottle inserts filled with RHA showed a 28% reduction in thermal conductivity compared to the solid cement and sand mortar block used as a reference.

Keywords: Rice husk ash; PET bottles; cement and sand mortar; sealing blocks; thermal performance

Resumo. Os impactos negativos causados pela construção civil ao meio ambiente são preocupações crescentes. Tais fatos têm levado ao desenvolvimento de pesquisas que buscam novas fontes de matérias-primas a partir do uso de resíduos oriundos de materiais descartados na natureza. Dentre os resíduos, destacam-se a cinza de casca de arroz (CCA), que é gerada após a queima da casca de arroz para a produção de calor e energia, e as garrafas PET que, em detrimento de sua já comprovada reciclabilidade, ainda representam um perigo ao meio ambiente devido o descarte inadequado. Visando solução para os problemas ambientais provocados por esses resíduos, apresenta-se nesse trabalho o processo de obtenção de blocos de argamassa de cimento e areia, garrafas PET e CCA e a sua caracterização quanto ao desempenho térmico, visando a sua utilização na construção civil. Para a obtenção dos blocos, foram analisadas três composições: a primeira, usada como referência, constituiu-se de argamassa de cimento e areia; a segunda de argamassa de cimento e areia e a inserção de garrafas PET preenchidas com CCA; e a terceira de argamassa de cimento e areia e a inserção de garrafas PET vazias. A argamassa utilizada foi caracterizada quanto a resistência mecânica à compressão e os blocos obtidos foram caracterizados quanto a densidade de massa aparente e à condutividade térmica. A determinação da condutividade térmica foi feita de forma análoga ao método das placas quentes protegidas. Os resultados mostraram que os blocos de cimento e areia com insertos de garrafas PET preenchidas com CCA apresentaram redução de 28% na condutividade térmica em comparação ao bloco maciço de argamassa de cimento e areia usado como referência.

Palavras-chaves: Cinza de casca de arroz; garrafas PET; argamassa de cimento e areia; blocos de vedação; desempenho térmico

1. Introduction

Na construção civil, o desenvolvimento e o uso de materiais alternativos tem sido uma tendência crescente devido ao dano ambiental que a geração de seus produtos causa, quer seja durante a extração de matéria-prima ou no descarte em obras. Nas últimas décadas, pesquisas com o emprego de resíduos agrícolas, industriais e de mineração, como fonte alternativa de matéria-prima vem se desenvolvendo e o tema tem sido muito debatido por pesquisadores e pelas indústrias do setor.

A agroindústria, em especial, é uma fonte geradora de resíduos causadores de grande preocupação ambiental porque todo o volume que é descartado de forma irregular desencadeia diversos problemas no solo, água e ar e, segundo [1], um dos setores mais propícios para aplicação desses resíduos é a construção civil, com aplicações em concretos, argamassas e outras destinações.

Dentre os resíduos poluentes da agroindústria, tem-se a cinza da casca de arroz (CCA),

subproduto gerado quando a casca de arroz é utilizada como fonte de energia no processo de secagem em indústrias de beneficiamento de arroz. De acordo com os pesquisadores [2-3-4], a CCA quando utilizada na produção de cimento, concretos e argamassas resulta em melhorias nas propriedades físicas e mecânicas, devido a presença do elevado teor de sílica e de suas características pozolânicas quando reduzida a um fino pó.

Além da agroindústria, também, a indústria de polímeros é fonte geradora de resíduos poluentes. As garrafas PET, por exemplo, que apesar de serem 100% recicláveis, por terem o seu descarte inadequado na água e no solo representam um enorme perigo ao ambiente e a saúde dos seres humanos. De acordo com [5], o PET pode levar até 400 anos para se degradar por completo e que, por isto, o seu descarte em aterros sanitários é inadequado, visto que prejudica a decomposição da matéria orgânica presente no aterro.

Os problemas ambientais gerados pela CCA e pelas garrafas PET motivaram o desenvolvimento desse trabalho, que buscou uma destinação menos impactante, sem a geração de novos resíduos ambientais. Logo, procurou-se desenvolver blocos para alvenaria de fácil produção, sem que implique na utilização de equipamentos especiais, sendo portanto, acessíveis. Para tanto, pesquisou-se o emprego desses resíduos na produção de blocos de argamassa de cimento e areia, garrafas PET e CCA destinados à execução de paredes de vedação na construção civil, que exigem uma baixa resistência mecânica, assim, a pesquisa focou na determinação da condutividade térmica dos blocos com o intuito de verificar o seu comportamento isolante.

A análise da condutividade térmica foi comparativa entre blocos maciços de argamassa de cimento e areia (usados como referência) e blocos de argamassa de cimento e areia com garrafas PET em seu núcleo preenchidas com CCA e também vazias.

2. Material and Methods

Para a obtenção dos blocos foi utilizado um traço de argamassa de cimento e areia, garrafas PET de 500 ml e CCA obtida por meio de queima em grelha à temperatura não informada pela empresa fornecedora.

No traço de argamassa utilizou-se o cimento Portland CP IV 32, que não foi caracterizado laboratorialmente, e uma areia comercial cuja distribuição granulométrica foi corrigida de acordo com [6]. A figura 1 apresenta a curva granulométrica da areia corrigida caracterizada com tamanhos de grãos variando de 0,25 mm a 1,53 mm.

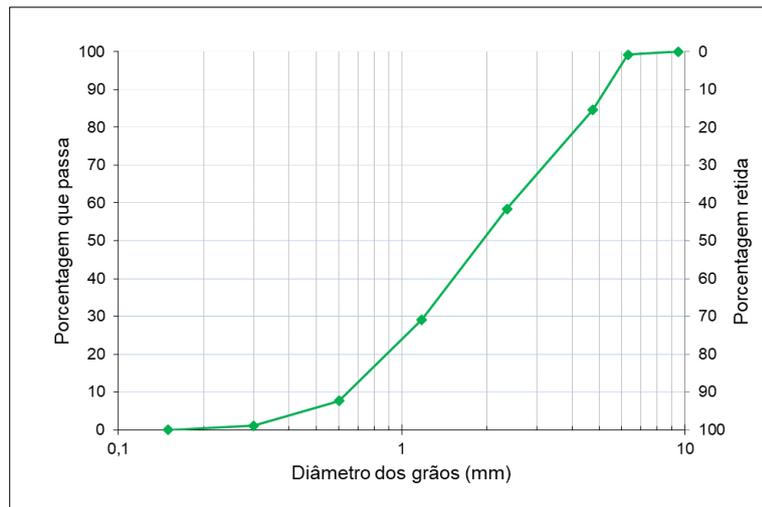


Figura 1 - Distribuição granulométrica da areia utilizada nas argamassas.

O traço de argamassa de cimento e areia foi produzido em volume, na proporção de 1:3 (cimento:areia, respectivamente) e adotou-se uma argamassa de maior trabalhabilidade com uma relação água/cimento de 0,8, tendo em vista que a moldagem dos blocos ocorreu sem adensamento.

A argamassa foi caracterizada quanto a resistência mecânica à compressão (Tabela 1), utilizando-se cinco corpos de prova moldados conforme [7]. O valor médio obtido foi analisado considerando [8], que determina que a resistência mínima para blocos de vedação deve ser igual ou superior a 2,0 MPa. O emprego da referida norma está relacionado ao interesse de se utilizar os blocos obtidos na execução de paredes de vedação destinadas a construção civil.

Tabela 1 - Resistência mecânica à compressão da argamassa traço 1:3, em volume.

Amostra	(MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Desvio padrão médio
CP01	6,00			
CP02	5,40			
CP03	5,50	5,56	0,4037	0,3120
CP04	5,90			
CP05	5,00			

Analisando-se os resultados da Tabela 1, observa-se que a resistência média à compressão obtida de 5,56 MPa foi muito superior (178%) à mínima exigida por [8], que é de 2,0 MPa, sendo, por isto, utilizada na produção dos blocos para posterior análise da

condutividade térmica. As garrafas PET foram adquiridas comercialmente no tamanho de 500 ml, em função das limitações do equipamento utilizado para a determinação da condutividade térmica dos blocos. Estas foram preenchidas manualmente com 150,0 g de CCA por unidade (Figura 2).



Figura 2 - Garrafa PET de 500 ml, preenchida com CCA.

Na caracterização da CCA determinou-se o teor de carbono por perda ao fogo, sendo obtido o valor de 7,29% e a composição química (Tabela 2), determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) em um espectrômetro da marca SHIMADZU, modelo EDX-720/800HS calibrado.

Tabela 2 - Composição química da CCA

Óxidos	%
SiO ₂	83,61
Al ₂ O ₃	3,45
MgO	1,91
K ₂ O	1,90
CaO	0,78
P ₂ O ₅	0,66
MnO	0,21
Fe ₂ O ₃	0,19

A análise da composição química da cinza mostrou um elevado teor de SiO₂ (83,61%), indicando ser esta altamente isolante devido a propriedade de baixa condutividade da sílica.

Quanto a mineralogia da cinza, determinada por difração de raios-X (DRX) em um equipamento da marca SHIMADZU, modelo XRD 6000 calibrado, com passo de análise de

0,02°, permanecendo em cada intervalo de ângulo por 0,60 segundos, sendo o intervalo de medida utilizado de 20 a 80°, com 30 mV e 30 mA, cujos dados obtidos foram analisados com o auxílio do *software X Pert HighScore 2.0a*, o difratograma obtido (Figura 3) mostrou ser esta predominantemente cristalino, com presença de picos de cristobalita em 2θ° 21,98°; 28,49°; 31,36°; 36,19°; 44,83°; 47,04°; 48,65°; 57,16° e 65,18°, indicando ter sido obtida a temperatura elevada (superior a 800 °C). Este resultado já era esperado tendo em vista o baixo teor de carbono residual (7,29%) identificado.

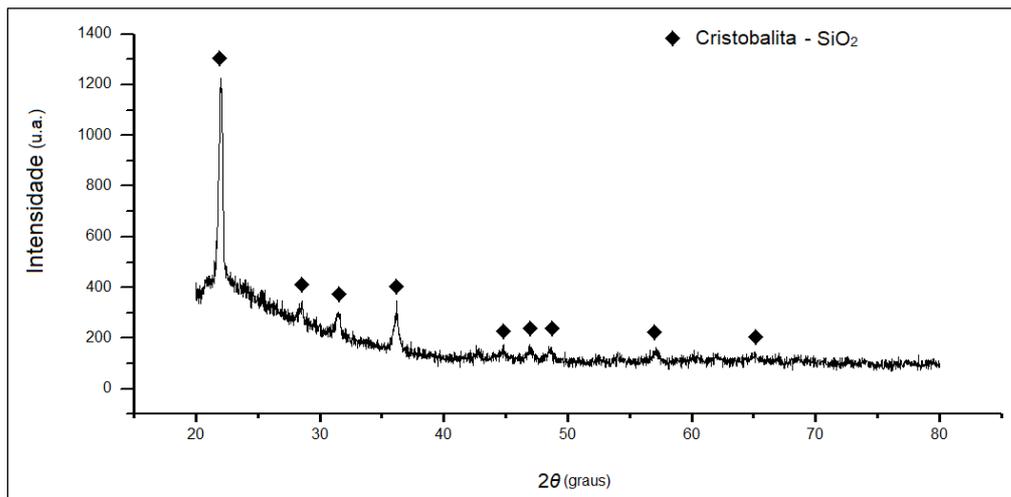


Figura 3 - Difratograma da CCA.

No tocante a distribuição granulométrica da CCA (Figura 4), obtida por difração a laser com o emprego de um analisador de tamanho de partícula da marca CILAS, modelo 1064 calibrado, identificou-se uma distribuição granulométrica homogênea com diâmetros de partículas variando de 0,013 mm a 0,837 mm.

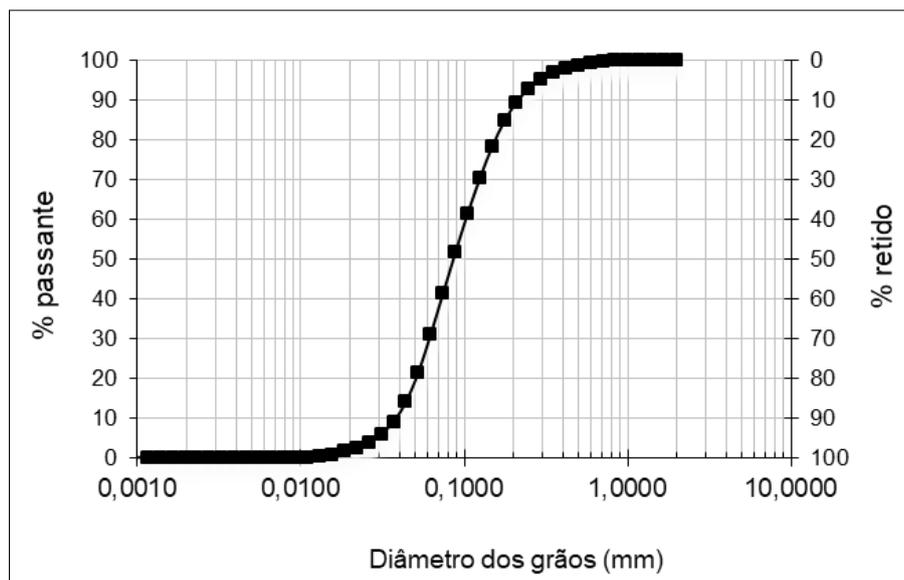


Figura 4 - Distribuição granulométrica da CCA.

Para a obtenção dos blocos de argamassa de cimento e areia com garrafas PET com e sem CCA, inicialmente, definiu-se as suas dimensões em função do equipamento usado para a determinação da condutividade térmica, sendo este da marca LaserComp, modelo FOX 304 calibrado. Este equipamento determina a condutividade térmica de acordo com [9], sendo análogo ao método de placa quente protegida, conforme preconiza [10], e permite ao usuário determinar a temperatura das placas para a realização do ensaio.

As restrições do equipamento possibilitaram a conformação de blocos nas dimensões de 95 mm x 285 mm x 285 mm (altura, largura e comprimento, respectivamente). A figura 5 mostra as dimensões do bloco e o posicionamento das garrafas PET.

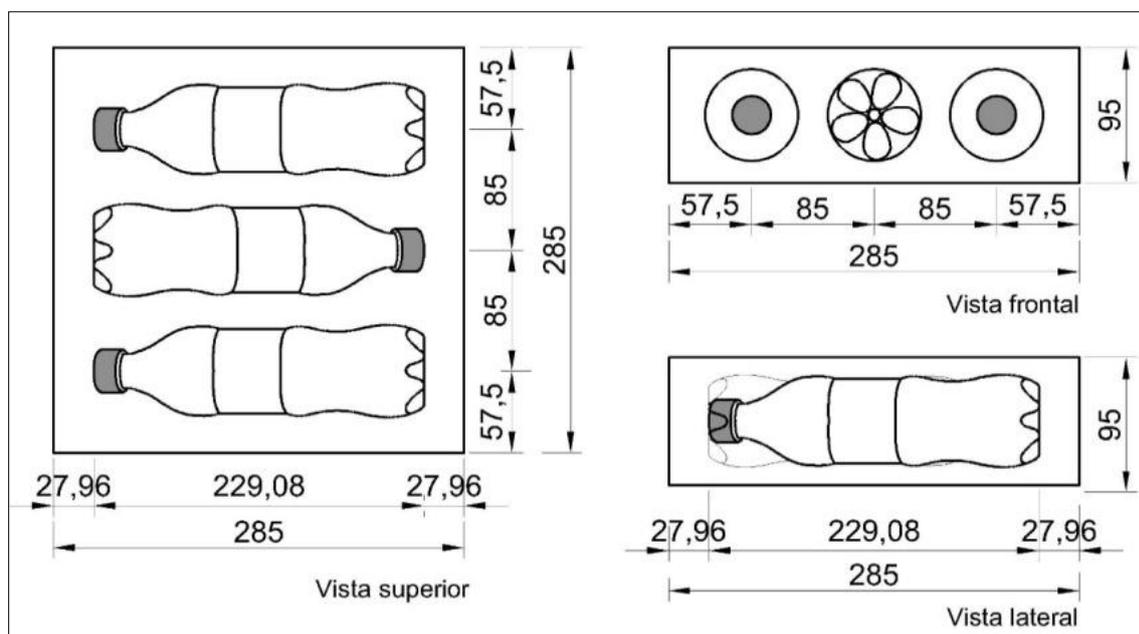


Figura 5 - Representação esquemática das dimensões do bloco e da disposição das garrafas PET.

Para a produção dos blocos confeccionou-se uma forma de madeira capaz de produzir cinco unidades por moldagem. As garrafas PET foram posicionadas com espaçadores removíveis e tiveram recobrimento mínimo de 15 mm.

Foram produzidas três famílias de blocos, assim identificadas: i) **ARG**, blocos maciços de argamassa de cimento e areia, ii) **ARG+PET+CCA**, blocos de argamassa de cimento e areia com garrafas PET preenchidas com CCA e iii) **ARG+PET**, blocos de argamassa de cimento e areia com garrafas PET vazias, sem CCA.

Os blocos foram caracterizados quanto à densidade aparente e a condutividade térmica, utilizando-se para cada ensaio cinco blocos por família.

A densidade aparente foi calculada utilizando-se a equação 1 e a condutividade térmica utilizando-se a equação 2.

$$\gamma_{ap} = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Onde: γ_{ap} – Densidade aparente em kg/m³; M – Massa em kg e V – Volume do corpo de prova em m³.

$$\lambda = \frac{q_d L}{A \Delta T} \quad (2)$$

Onde: λ - Condutividade térmica (W/m°C); q_d - Potência dissipada pela placa quente (W); L - Espessuras das amostras (m); A - Área de geração de fluxo de calor (m²) e ΔT - Diferença de temperatura entre as faces das amostras (°C).

No ensaio de condutividade térmica (Figura 6a) os blocos foram inseridos entre as placas térmicas do equipamento e aplicou-se um gradiente de temperatura de 30°C, utilizando-se 20°C na placa superior (próximo a temperatura ambiente) e 50°C na placa inferior, extrapolando assim as temperaturas na pior situação de aplicação típica do produto. Um algoritmo de controle de temperatura monitorou as temperaturas das placas até que o sistema encontrasse o equilíbrio. Os dados foram coletados, armazenados e tratados com o auxílio do *software Wintherm32v3 Version 3.31.97* que acompanha o equipamento (Figura 6b).

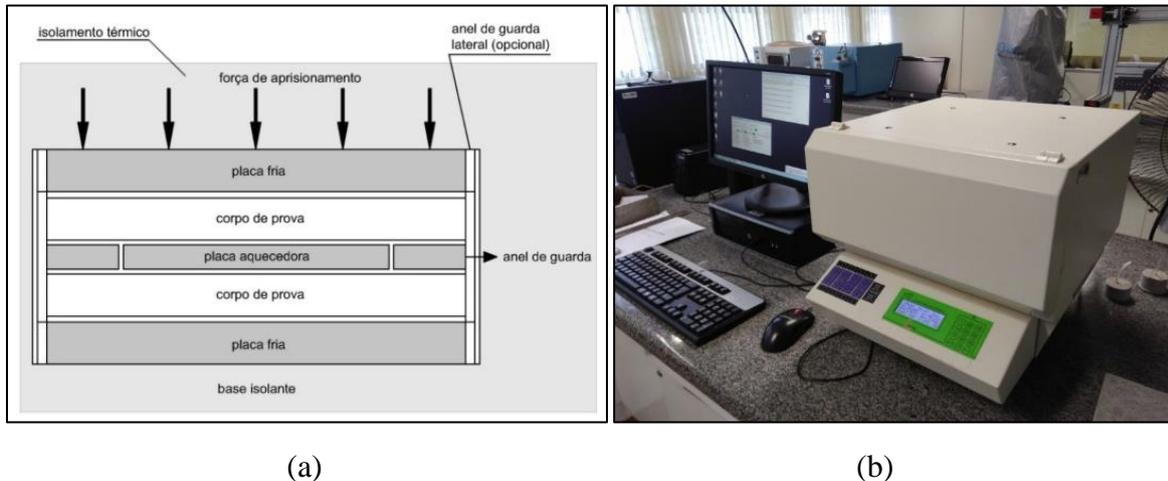


Figura 6 – (a) posicionamento dos corpos de prova; (b) ensaio de condutividade térmica em andamento.

3. Results and discussion

Os resultados obtidos para a densidade aparente e para a condutividade térmica das três famílias de blocos testados encontram-se nas tabelas 3 e 4, respectivamente. A figura 7 ilustra comparativamente a diferença entre as condutividades térmicas obtidas.

Tabela 3: Densidade aparente dos blocos

Família de blocos	Amostras	Dimensões (cm)			Volume (cm ³)	Massa (kg)	Densidade ρ (Kg/m ³)
		A	B	C			
ARG	1	9,45	28,30	28,60	7.648,64	15,450	2,019,97
	2	9,70	28,60	28,40	7.878,73	15,800	2.005,40
	3	9,80	28,40	28,60	7.959,95	15,980	2.007,55
	4	9,75	28,40	28,50	7.891,65	15,850	2.008,45
	5	9,65	28,60	28,45	7.851,92	15,788	2.010,72
						Valor médio	2.010,42
						Desvio padrão	5,67
ARG + PET + CCA	6	9,60	28,65	28,50	7.838,64	13,920	1.675,82
	7	9,65	28,30	28,50	7.783,21	12,890	1.656,13
	8	9,75	28,40	28,65	7.933,19	13,200	1.663,90
	9	9,80	28,30	28,50	7.904,19	12,770	1.615,60
	10	9,65	28,50	28,40	7.810,71	12,540	1.605,49
						Valor médio	1.663,39
						Desvio padrão	30,99
ARG + PET	11	9,60	28,45	28,50	7.783,92	12,500	1.605,87
	12	9,90	28,40	28,50	8.013,06	12,880	1.607,38
	13	9,95	28,45	28,55	8.081,86	12,940	1.601,12
	14	9,75	28,45	28,50	7.905,54	12,750	1.612,79
	15	9,70	28,45	28,50	7.865,00	12,590	1.600,76
						Valor médio	1.605,58
						Desvio padrão	4,96

Na análise comparativa entre os valores médios de densidade aparente encontrados para as três famílias de blocos (Tabela 3), observou-se que a família **ARG + PET + CCA** apresentou redução da densidade se comparada a família **ARG**, sendo que a família **ARG + PET** apresentou um valor menor ainda (1,60 kg/m³).

Na comparação entre as duas famílias com resíduos o resultado mostrou que **ARG + PET + CCA** apresentou maior densidade (1,66 kg/m³) que **ARG + PET** (1,60 kg/m³). Este resultado já era esperado devido a densidade da CCA (2,10 g/cm³) ser maior que a do ar (1,22×10⁻³ g/cm³).

Tabela 4: Condutividade térmica das três famílias de blocos

	Amostra	Cond. térmica λ (W/(m.K))	Número de observações	Cond. térmica média λ (W/(m.K))	Desvio padrão
ARG	1	0,7679	5	0,7109	0,0714
	2	0,7120			
	3	0,6336			
	4	0,6463			
	5	0,7946			
ARG + PET + CCA	6	0,5428	5	0,5100	0,0477
	7	0,5401			
	8	0,5510			
	9	0,4546			
	10	0,4613			
ARG + PET	11	0,4790	5	0,5694	0,0875
	12	0,5113			
	13	0,6398			
	14	0,5342			
	15	0,6829			

A figura 7 apresenta o comportamento da condutividade térmica das três famílias de blocos através da compilação dos dados da tabela 4.

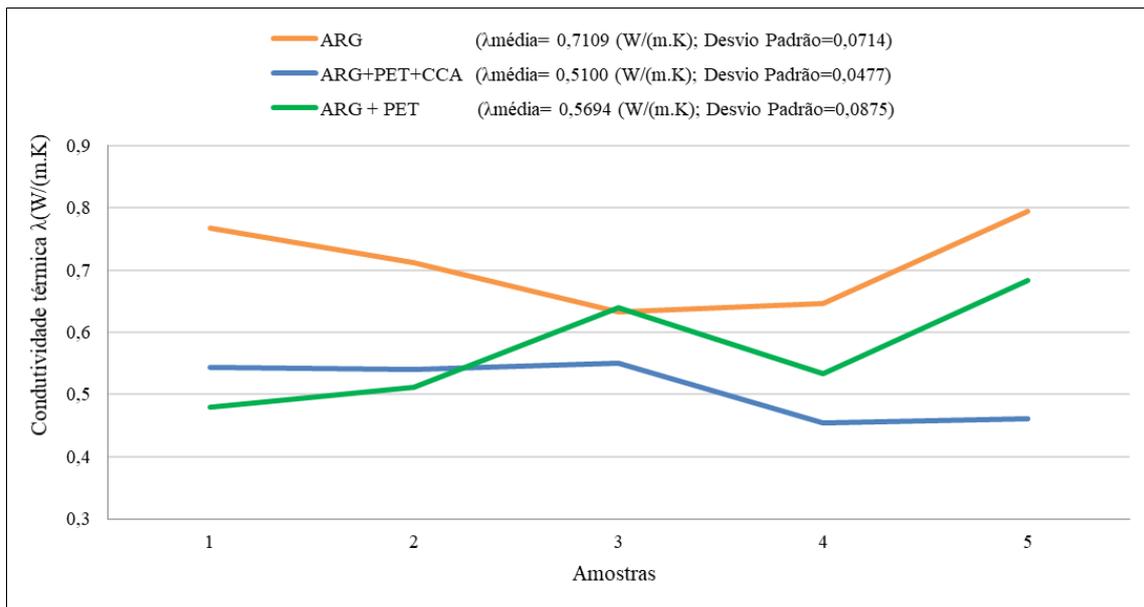


Figura 7 – Comportamento da condutividade térmica das três famílias de blocos.

Analisando-se comparativamente os blocos das três famílias (Figura 7), verificou-se que em relação aos blocos da família **ARG** (referência), os blocos com resíduos apresentaram redução na condutividade térmica, sendo a maior redução (28,25%) para a família **ARG+PET+CCA**, podendo ser considerada significativa através do teste *T* de *Student*, com $t_{calc}=5,230$ e ($t_{critico}=2,306$; $p<0,005$). A família **ARG+PET** apresentou uma menor redução (19,90%), porém, ainda significativa segundo o teste *T* de *Student*, com $t_{calc} = 2,800$ e ($t_{critico}=2,306$; $p<0,005$). A maior redução da condutividade térmica nos blocos com garrafa PET preenchida com CCA já era esperada devido a elevada presença de sílica na composição da cinza (Tabela 2) que é um óxido de baixa condutividade térmica.

4. Conclusion

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que os blocos com garrafas PET preenchidas com CCA apresentaram redução da densidade aparente (1.663,39 kg/m³ e 1.605,58 Kg/m³) em relação a densidade do bloco referência de argamassa de cimento e areia (2.010, 42 Kg/m³), aspecto favorável ao seu uso na execução de paredes de blocos de vedação devido à redução de peso por metro quadrado de parede, bem como, desempenho térmico superior ao bloco referência, com redução na condutividade térmica de até 28,25%.

Os resultados obtidos no trabalho são relevantes porque demonstram a possibilidade de utilização de resíduos na produção de insumos de construção civil de fácil fabricação, que não exigem equipamentos especiais e que ainda podem promover maior conforto térmico às edificações, bem como, a redução das problemáticas ambientais causadas por estes resíduos.

5. Acknowledgment

Os autores agradecem ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico e a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas – RS, Brasil.

6. Bibliography

- [1] TASHIMA, M. M.; Silva, C. A. R. L.; Akasaki, J. L. “Concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA) obtida através de um processo de combustão não controlada”. In: Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural, v. 31, Mendoza, Argentina, 2004.
- [2] ABBAS, S.; kazmi, S.M.S.; Munir, M.J. “Potential of rice husk ash for mitigating the alkali-silica reaction in mortar bars incorporating reactive aggregates”. Construction and Building Materials. v. 132, n. 1, pp. 61-70. Feb. 2017.
- [3] HUSNI, H., Nazari, M.R., Yee, H.M., Rohim, R., Yusuff, A., Ariff, M. A. M., Ahmad, N.N.R., Leo, C.P., Junaidi, M.U.M.. “Superhydrophobic rice husk ash coating on concrete”. Construction and Building Materials. vol.144, n. 1, p.385-391, Jul. 2017.
- [4] SINYOUNG, S.; kunchariyakun, K.; Asavapisit, S.; Mackenzie, K.J.D. “Synthesis of belite cement from nano-silica extracted from two rice husk ashes”. Journal of Environmental Management. V. 190, n. 1, pp. 53-60. Apr. 2017.
- [5] FORMIGONI, Alexandre. Reciclagem de PET no Brasil, Dissertação de M.Sc., Universidade Paulista, São Paulo, SP, 2006.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248:2003; Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-5739: 2018; Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018, 9 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 6136: 2016. Versão corrigida: 2016 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisito. Rio de Janeiro, 2016, 10 p.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C518-15: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, West Conshohocken, PA, 2015.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005d, 4 p.