ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIURETANO[1]

SENA, P. L. S., Universidade Federal de Sergipe, e-mail: priscila.aju.lopes@gmail.com; TEIXEIRA, C. F. B., Universidade Federal de Sergipe, e-mail: cafbt@ufs.br; LABAKI, L. C., Universidade Estadual de Campinas, e-mail: lucila@fec.unicamp.br

ABSTRACT

In view of the environmental crisis that threatens nature a few years ago, the study of alternatives that enable continuity of progress and human existence is necessary. Among the serious environmental problems, one can mention is the generation of residue. In order to propose a destination for polyurethane residues generated in the manufacture of surfboards, this survey realized the temperature monitoring of mortar plates with different sand substitution proportions by this residue (50%, 75% and 100%) in comparison to a reference mortar without replacement (mortar + lime + sand) subjected to an artificial heat source, comparing the phenomena of thermal exchanges occurring in each of them and consequently the thermal performance capability of the plates. From the comparison of the results obtained can be affirmed the thermal viability of all the substitution levels relative to the reference mortar (AR00), demonstrating that they can isolate the internal environment more efficiently in relation to external temperature. The AR100, mainly, demonstrated very relevant values, and can be used in extreme climates since it obtained temperature differences near 20° C between the faces.

***Keywords**: Temperature. Thermal exchanges. Mortar. Polyurethane residue.*

1 INTRODUÇÃO

Apesar da crescente preocupação de todos os setores de produção com o meio ambiente, com as consequências do uso desordenado de matérias primas não-renováveis e com seu posterior descarte, ainda há muito o que fazer para que realmente se tenha um desenvolvimento sustentável. Já que, mesmo com todo o avanço relativo às discussões sobre sustentabilidade, a cultura presente na maioria dos empresários e colaboradores de diversos ramos continua sendo a do descaso e desperdício.

Segundo Sachs (2007), é um cenário muito perturbador que se forma ano após ano, com o aumento gradativo do consumismo e o descompasso entre fabricação e conservação das fontes de matéria prima. Por outro lado, o aumento do consumismo tem por consequência grande geração de resíduos, tanto durante a fabricação quanto no descarte dos objetos inservíveis.

Nesse contexto, vários estudos buscam analisar a viabilidade construtiva da utilização de resíduos como matéria prima, pois, além de minimizar o impacto causado pelo grande consumo de recursos naturais, essa prática possibilita uma adequada destinação dos rejeitos, assim como uma sensível redução dos custos de produção, o que certamente é fundamental para o setor que atualmente está vivenciando uma retração considerável devido ao momento

[1] SENA, P. L. S., TEIXEIRA, C. F. B., LABAKI, L. C. Estudo do desempenho térmico de argamassa com adição de resíduo de poliuretano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

econômico do país, cujo desemprego atingiu o elevado índice de 13,1% no primeiro trimestre de 2018, segundo Gomes (2018), fazendo com que a queda do poder aquisitivo da população impossibilite a compra de imóveis.

Dentre os resíduos produzidos pelas mais diversas indústrias, que apresentam potencial para serem incorporados à construção civil, tem-se o resíduo proveniente de uma das etapas de produção de pranchas de surfe. Trata-se do poliuretano, que até então tem sido considerado item descartável, mas que pode ser uma solução viável e interessante para a incorporação na produção de argamassas.

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) a espuma de poliuretano apresenta densidade e condutividade térmica muito baixas, se comparadas com as da areia, por isso este resíduo poderá conferir à argamassa pesquisada maior leveza e isolamento térmico. A condutividade térmica segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) é a propriedade física de um material, no qual se verifica um fluxo de calor constante quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme. Quanto maior essa condutividade maior será a facilidade de condução do fluxo de calor no material, por isso isolantes térmicos possuem condutividades térmicas baixas.

Este estudo faz parte de uma pesquisa de mestrado em andamento e visa buscar uma alternativa de destinação para os resíduos gerados a partir da fabricação das pranchas de surfe que proporcione desempenho térmico satisfatório e com baixo custo.

2 TROCAS TÉRMICAS

O experimento realizado tem como base os princípios dos processos de transferência de calor, a saber radiação, convecção e condução, as chamadas trocas térmicas secas, às quais envolvem variações de temperatura.

Segundo Frota e Schiffer (2003), a radiação ocorre entre dois corpos que se encontrem a temperaturas diferentes e não necessariamente precisa de um meio para a propagação, pode ocorrer até mesmo no vácuo. Ela se deve à natureza eletromagnética da energia, sendo transmitida na forma de ondas.

De acordo com Bezerra (2003), a convecção ocorre com a propagação de calor através de fluidos (líquidos ou gases), quando uma porção do fluído é aquecida, ela diminui a densidade e tende a subir, deixando espaço para que as partes mais frias da região superior, que possuem maior densidade, desçam, formando correntes ascendentes e descendentes, denominadas de correntes de convecção.

Conforme Frota e Schiffer (2003), a troca térmica denominada condução ocorre entre dois corpos que se tocam e se encontrem com temperaturas distintas ou ainda entre partes de um mesmo corpo que também apresentem temperaturas diferentes. Em regime estacionário, o fluxo de calor por condução é diretamente proporcional à área da seção transversal atravessada e à diferença de temperatura entre as faces, e inversamente

proporcional à espessura da camada considerada. Além disso, esse fluxo depende do coeficiente de condutividade térmica, cujo valor é elevado para os bons condutores de calor, como os metais, e baixo para os isolantes térmicos.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

Para a produção das argamassas avaliadas nesta pesquisa foram empregados os seguintes materiais: Cimento Portland CP V-ARI, Cal Hidratada CH-I, Areia lavada, Resíduo de poliuretano[2] (Figura 1)e água potável.

Figura 1 – Resíduo de poliuretano proveniente da confecção de pranchas de surf



Fonte: autoria própria

Primeiramente, foi realizada a caracterização dos materiais através da determinação das massas, específica e unitária, de cada componente da mistura segundo as normas NBR 16605 (ABNT, 2017), NBR NM 45 (ABNT, 2006), NBR 7175 (ABNT, 2003a) e NBR NM 52 (ABNT, 2009), conforme ilustra a Tabela 1. A partir dos resultados obtidos, pode-se perceber que o resíduo de poliuretano apresenta uma massa unitária muito próxima da especificada para a espuma de poliuretano na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) e igualmente muito baixa em relação à areia.

Tabela 1 - Caracterização dos materiais

[2] O resíduo de poliuretano foi obtido na etapa inicial da fabricação da prancha de surfe denominada *shape* ou modelagem, onde o bloco de espuma é cortado e recebe o acabamento gerando pó ou farpa. As demais etapas, tais como laminação (colocação do tecido de fibras de vidro sem emendas sobre a superfície da prancha, seguida da aplicação da resina) e pintura são realizadas em outros ambientes e não representam risco de contaminação para o resíduo coletado.

Item	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)
Cimento Portland CP V-ARI	3,11	1,40
Cal Hidratada CH-I	2,31	0,60
Areia lavada	2,62	1,50
Resíduo de poliuretano	1,22	0,09

Fonte: autoria própria

Posteriormente, analisou-se a granulometria da areia e do resíduo conforme prescrição da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003b). Na Figura 2, tem-se as curvas granulométricas da areia e do resíduo e, no Quadro 1, a granulometria detalhada dos dois materiais respectivamente. Pode-se observar que em relação à granulometria, os dois materiais são muitos parecidos.

De acordo com as definições da NBR NM 248 (ABNT, 2003b), a areia e o resíduo apresentaram um módulo de finura de 2,51 e 2,53 respectivamente, e os dois materiais apresentaram dimensão máxima característica de 2,36 mm.

Figura 2 – Curvas granulométricas da areia e do resíduo de poliuretano



Fonte: autoria própria

Quadro 1 – Granulometria dos materiais

Peneira (mm)	AREIA			RESÍDUO DE POLIURETANO		
	massa retida (g)	% retido	% acumulado	massa retida (g)	% retido	% acumulado
4,75	-	-	-	-	-	-
2,36	22,00	7,34	7,34	3,35	6,66	6,66
1,18	42,70	14,25	21,60	11,38	22,62	29,28
0,6	93,20	31,11	52,70	13,74	27,31	56,59
0,3	70,90	23,66	76,37	8,09	16,08	72,67
0,15	50,30	16,79	93,16	7,70	15,31	87,97
Fundo	20,50	6,84	100,00	6,05	12,03	100,00
Total	299,60	100,00		50,31	100,00	

Fonte: autoria própria

3.2 Produção das argamassas e monitoramento das temperaturas

Segundo Carasek (2010), não existe método racional de dosagem para as argamassas totalmente consagrado no Brasil. Assim, foi utilizada uma proporção baseada em traços usuais de fabricação de argamassas, em volume de 1:1:8 (cimento:cal:areia) para a mistura de referência. Em relação aos teores de substituição da areia pelo resíduo de poliuretano adotaram-se os percentuais de 0%, 50%, 75% e 100%, identificando as argamassas como AR00, AR50, AR75 e AR100 respectivamente. A Tabela 2 apresenta todos os dados relativos à dosagem. As relações a/c (água/cimento) e a/ms (água/materiais secos) foram ajustadas, levando-se em consideração a consistência desejada para a mistura, espalhamento de 230mm ± 20mm, obtida através do ensaio de determinação do índice de consistência (IC), apresentado na NBR 13276 (ABNT, 2016). Após a definição dos traços e teores de substituição, foi utilizado um misturador mecânico para a preparação das argamassas.

Tabela 2 – Dosagem das argamassas AR00, AR50, AR75 e AR100

ARGAMASSA	IC (cm)	a/c	a/ms	TRAÇO (cim./cal/areia/res.)		CONSUMO (kg/m³)			
				Volume	Massa	cimento	cal	areia	resíduo
AR00	24,69	1,30	0,13	1:1:8:0	1:0,43:8,57:0	196,91	84,39	1.687,75	-
AR50	21,03	1,55	0,26	1:1:4:4	1:0,43:4,29:0,26	273,70	117,30	1.173,01	70,38
AR75	22,86	1,95	0,49	1:1:2:6	1:0,43:2,14:0,39	328,82	140,93	704,62	126,84
AR100	21,00	2,40	1,24	1:1:0:8	1:0,43:0:0,51	429,44	184,05	-	220,85

Fonte: autoria própria

Foram produzidas quatro placas de dimensões 20x20cm, em fôrmas de madeira, com espessura de 3cm, uma para cada teor de substituição. As placas permaneceram por 7 dias em sacos plásticos na cura úmida, e depois foram mantidas em temperatura ambiente. Depois de 28 dias da moldagem das placas, iniciou-se o monitoramento das temperaturas nas faces das mesmas, sendo que uma face foi submetida a uma fonte de calor composta por 4 lâmpadas incandescentes, de 100W cada, e a outra face não.

O monitoramento de temperatura (Figura 3) foi realizado em cada placa de argamassa, AR00, AR50, AR75 e AR100, através de registradores de temperatura Testo Modelo 175T2 e sensores de temperatura superficial Testo Modelo 06287507, que foram programados para realização de leituras a cada 30 segundos nas duas faces (exposta e não exposta à fonte de calor), bem como da temperatura ambiente, durante 1h e 30 minutos. Em seguida, desligou-se a fonte de calor e prosseguiu-se com o monitoramento no mesmo intervalo, durante 1h. Portanto, foi possível analisar tanto a curva de aquecimento, quanto a de resfriamento, para um ensaio com duração total de 2h e 30 minutos.

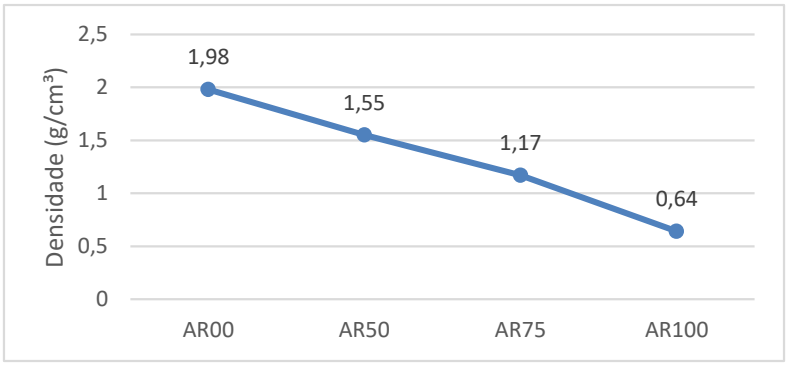
Figura 3 – Sistema de aquecimento e medição com lâmpadas e localização do sensor na placa respectivamente



Fonte: autoria própria

Antes da realização das medições de temperatura, foi determinada a densidade de cada argamassa (AR00, AR50, AR75 e AR100) (Figura 4).

Figura 4 – Densidade das argamassas AR00, AR50, AR75 e AR100



Fonte: autoria própria

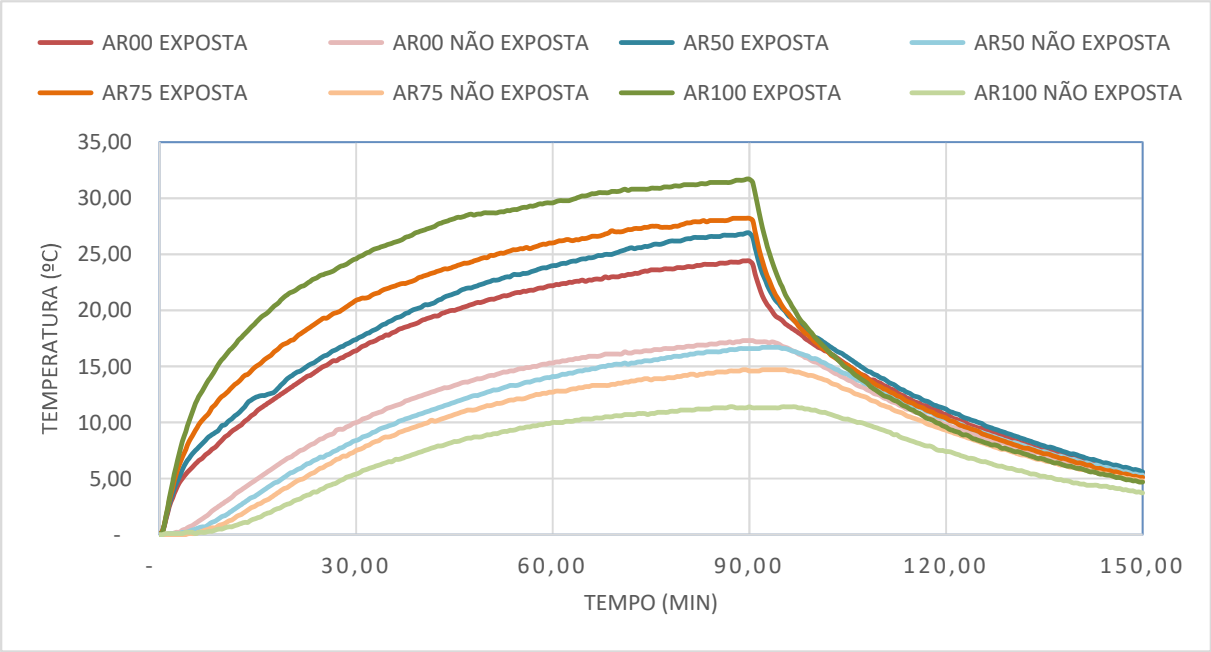
4 RESULTADOS

4.1 Monitoramento da temperatura

A partir do monitoramento das temperaturas, os dados obtidos são apresentados na Figura 5, que representa as diferenças entre a temperatura ambiente e as temperaturas das faces da argamassa (expostas e não expostas à fonte de calor). Observam-se que as placas com maiores teores de resíduo apresentaram uma variação maior entre as faces provocando grande aumento de temperatura na face exposta em detrimento à face não-exposta, demonstrando que a condutividade térmica das argamassas diminuiu à medida que se aumentou a quantidade de resíduo.

Assim, ao se expor uma das faces da AR100 à fonte de calor, esta apresentou um grande aumento de temperatura (em torno de 30ºC em relação à temperatura ambiente), considerando a dificuldade da transferência de calor de uma face para a outra.

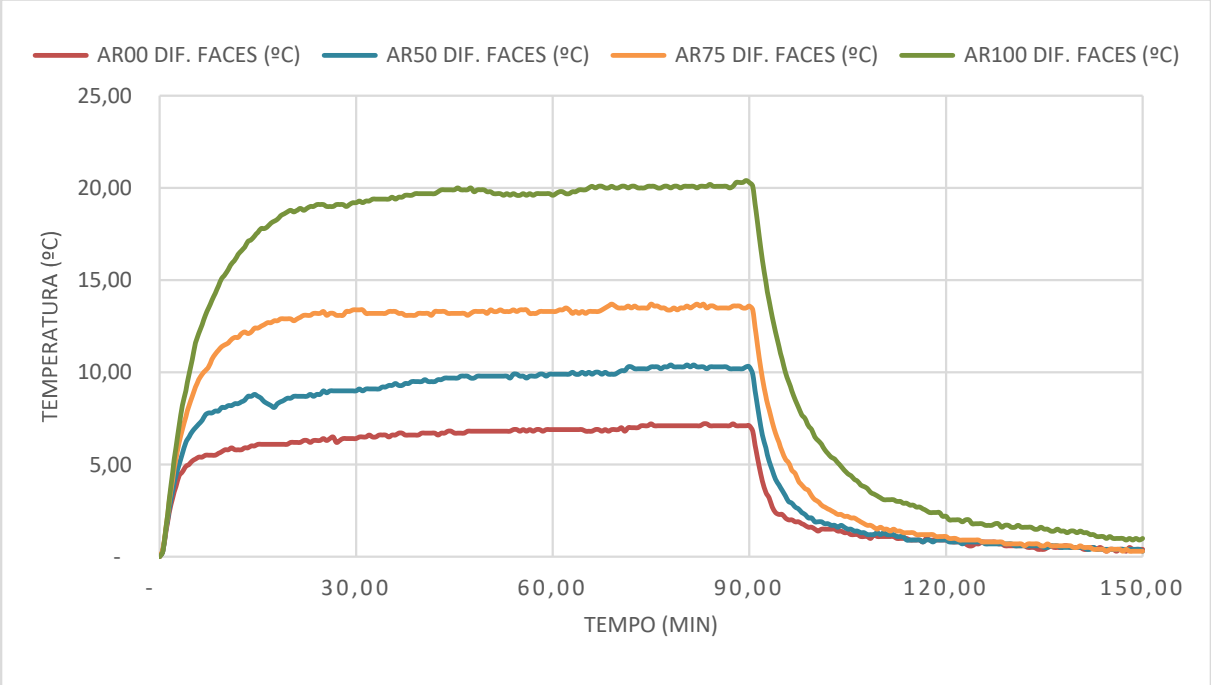
Figura 5 – Diferença entre a temperatura ambiente e as temperaturas de cada face das placas



Fonte: autoria própria

A Figura 6 apresenta as diferenças de temperaturas entre as faces de cada argamassa, na qual pode-se verificar que a argamassa AR100 obteve uma diferença máxima de temperatura entre as faces de 20,4ºC enquanto que a AR75 obteve 13,7ºC, a AR50, 10,4ºC e a AR00, 7,2ºC. Esses dados confirmam que quanto menor a densidade do material exposto à variação de temperatura, maior será sua resistência térmica, isto é, menor será a propagação de calor por condução entre as superfícies do material.

Figura 6 – Diferenças de temperaturas entre as faces de cada placa



Fonte: autoria própria

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade térmica de todas as proporções de substituição estudadas em relação à argamassa AR00, que é a sem substituição. Infere-se que se essas placas fossem utilizadas em tetos ou paredes, internamente o ambiente estaria mais isolado em relação à temperatura externa. A AR100, principalmente, apresentou valores bastante relevantes, com a possibilidade de emprego em climas extremos, já que obteve diferenças de temperatura próximas de 20°C entre as faces.

Para determinar a aplicabilidade dessas argamassas, faz-se necessária a continuidade dos experimentos com relação à resistência, especialmente no que diz respeito à resistência de aderência à tração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à "Pranchas TBC", pelo material fornecido, imprescindível à realização desse trabalho, além de toda boa vontade e disposição do seu fundador e *shaper*, Thiago Bastos Cunha, que se mostrou muito preocupado com a questão ambiental e da disposição dos resíduos gerados em seu ramo industrial.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas: Requisitos. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações **–** Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações **–** Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR NM 45**: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2010. Cap. 28, p. 885-934.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8ª. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GOMES, I. **PNAD Contínua:** taxa de desocupação é de 13,1% no trimestre encerrado em março. Rio de Janeiro: Agência IBGE Notícias, 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20994-pnad-continua-taxa-de-desocupacao-e-de-13-1-no-trimestre-encerrado-em-marco.html>. Acesso em: 27 jun. 2018.

SACHS, I.; VIEIRA, P. F. **Rumo à ecossocioeconomia:** teoria e prática do desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 2007.