

DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM CORPO DE PROVA DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE ISOPOR

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN MORTAR SPECIMEN WITH ADDITION OF STYROFOAM

GUILHERME RAYAN RIBEIRO SILVA

Discente da Universidade Estadual de Goiás / Curso de Engenharia Civil - Campus Central
Anápolis (GO)
guilherme.rayan@hotmail.com

JOSIEL BATISTA LOPES

Discente da Universidade Estadual de Goiás / Curso de Engenharia Civil - Campus Central
Anápolis (GO)
josielanapolis.com@gmail.com

JOSÉ DE SOUZA SALES

Docente e Pesquisador da Universidade Estadual de Goiás - Campus Central Anápolis (GO)
jose.sales@ueg.br

VINICIUS ELIAN RODRIGUES CUNHA

Discente da Universidade Estadual de Goiás / Curso de Engenharia Civil - Campus Central
Anápolis (GO)
viniuselian56@gmail.com

Resumo: Na engenharia, define-se argamassa como uma mistura homogênea de cimento, agregado miúdo e água, podendo conter ainda adições e aditivos. As propriedades das argamassas devem ser estudadas com a finalidade de compreender melhor seu comportamento e desempenho térmico e mecânico. A propriedade térmica estudada neste trabalho é a difusividade térmica, que indica a taxa de transferência do calor no material. Para medir a difusividade térmica em argamassas, corpos de provas foram confeccionados com e sem a presença de isopor. Os espécimes foram colocados em banho termostático à temperatura pré-fixada com termômetros dispostos em duas posições. As temperaturas foram anotadas até que fosse alcançado o equilíbrio térmico do corpo de prova. Os valores medidos de temperatura foram usados como variável de entrada na solução da equação do calor em coordenadas cilíndricas. Assim, foi possível determinar o valor médio da difusividade térmica em argamassas com e sem a presença de isopor, nos quais os resultados obtidos para as porcentagens de 0, 20 e 30% de EPS foram respectivamente, $\alpha = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$, $\alpha = 2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$ e $\alpha = 1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$. A propriedade mecânica estudada foi a resistência à compressão axial do corpo de prova das argamassas, com e sem adição de isopor onde obteve-se 5,10 Mpa, 3,13 Mpa e 2,73 Mpa, como esperado, como aumento da porcentagem de isopor, a resistência é diminuída.

Palavras-chave: Difusividade térmica. Equação do calor. Propriedade térmica.

Abstract: In engineering, mortar is defined as a homogeneous mixture of cement, fine aggregate and water, which may also contain additions and additives. Mortar properties should be studied in order to better understand their behavior and thermal and mechanical performance. The thermal property studied in this work is the thermal diffusivity, which indicates the rate of heat transfer in the material. To measure the thermal diffusivity in

mortars, specimens were made with and without the presence of styrofoam. The specimens were placed in a thermostatic bath at a pre-set temperature with thermometers arranged in two positions. The temperatures were recorded until the thermal balance of the specimen was reached. The measured temperature values were used as an input variable in the solution of the heat equation in cylindrical coordinates. Thus, it was possible to determine the average value of thermal diffusivity in mortars with and without the presence of styrofoam, in which the results obtained for the percentages of 0, 20 and 30% of EPS were respectively, $\alpha = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{min}$, $\alpha = 2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{min}$ and $\alpha = 1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{min}$. The mechanical property studied was the axial compression strength of the mortar specimen, with and without the addition of styrofoam, where 5.10 Mpa, 3.13 Mpa and 2.73 Mpa were obtained, as expected, with an increase in the percentage of styrofoam, the resistance is decreased.

Keywords: Thermal diffusivity. Heat equation. Thermal property.

INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil tem a necessidade de se reinventar a cada instante, a fim de se ajustar às necessidades da contemporaneidade. Isso significa em síntese o desenvolvimento de novas tecnologias atendendo um quesito muito importante na atualidade: a sustentabilidade.

De acordo com Fonseca (2011), no decorrer dos anos a sustentabilidade, tanto na construção civil como em âmbito geral, está em ascendência. Nunca se falou tanto em sustentabilidade, bem como a sustentabilidade nunca teve um papel tão importante na construção civil.

Entretanto, sabe-se que a redução de impactos ambientais na construção civil é uma tarefa deveras difícil. Kilbert (1994) afirma que é necessário agir em várias frentes de maneira combinada e simultânea: minimizar o consumo e a reutilização de recursos, e usar recursos renováveis ou recicláveis.

De modo geral, propõe-se que a seleção de materiais na construção civil deixe de ser feita apenas com base em aspectos estéticos, econômicos e mecânicos, mas condicionados também a impactos ambientais e a possibilidade de reciclagem.

Um estudo desta magnitude, interagindo construção civil e reciclagem para reduzir impactos ambientais faz-se necessário, pois o macro complexo da construção civil é o maior responsável pela reciclagem no Brasil e na maioria dos países (BRUM et al., 2001).

Ainda segundo Brum, Carneiro e Cassa (2001) se na ponta geradora do resíduo, a reciclagem significa redução de custos e até mesmo novas oportunidades de negócio, na outra

ponta do processo, a cadeia produtiva que recicla reduz o volume de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados.

O reaproveitamento de resíduos na construção civil é uma atividade que já vem sendo desenvolvida há algum tempo. Subprodutos de carvão e cinzas volantes têm sido utilizados há aproximadamente cinco décadas, em concretos de cimento Portland. Contudo, a reciclagem de resíduos para a produção de materiais de construção civil começa a despertar interesse no Brasil apenas na década de 1980, com estudos iniciais realizados por Pinto (1986).

Uma das diversas maneiras de reaproveitar materiais na construção civil é incorporá-lo na argamassa (mistura de areia, água e um ou mais aglutinantes como cimento ou cal), seja como adição ou agregado. Esse método de reaproveitamento não é uma tecnologia nova, visto que argamassas com materiais reciclados vêm sendo utilizadas nas últimas décadas em diversas obras de vários países, entre os quais se encontram Israel, Argentina e Brasil. Em São Paulo são encontradas obras concluídas nas décadas de 80 e 90, onde foi usado esse tipo de argamassa, sem apresentar manifestações patológicas (LEVY, 1997).

Dessa forma, podem ser definidas as proporções de materiais para argamassas com agregado reciclado, as quais, além de apresentarem desempenho adequado, promovem sensível redução no preço final do produto. Essa redução pode ser obtida tanto pelo baixo custo do agregado como pela redução do consumo de cimento e cal (PINTO, 1999).

Logo, neste contexto um material que vem ganhando cada vez mais estudos avaliativos de sua aplicabilidade na construção civil: o poliestireno expandido (EPS), mais conhecido como Isopor (marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda.). Segundo Abiquim (2019), o Brasil recicla cerca de 35 mil toneladas de poliestireno expandido anualmente, embora não seja biodegradável, após o produto ser utilizado pode ser 100% reciclado.

São variadas as vantagens do EPS na construção civil, tais como sua durabilidade, dilatação térmica, isolamento térmico e sonoro, capacidade em absorver impactos, praticidade de manuseio, leveza e impermeabilidade, assim, um material composto basicamente por ‘vazios’, contendo ar fisicamente estável podendo suportar variações de temperaturas de -50° a +80° Celsius (ABIQUIM, 2019).

O EPS já é utilizado na constituição do concreto leve, lajes, piso radiante, paredes de pequenas moradias a grandes edifícios, viadutos, estradas, como sistemas de isolamento de

coberturas e na constituição de aterros leves de Geofóam, atuando também, na constituição da argamassa de acabamento e reforço de solo (SANT'HELENA, 2009).

De acordo com Pedro (2011), apesar deste tema já ter vindo a ser estudado nos últimos anos por investigadores internacionais, ainda não foram abordadas muitas das propriedades necessárias a um bom desempenho da argamassa em obra, nomeadamente como revestimento de parede.

O estudo de novos materiais na utilização direta em construção é de suma importância, quando analisada a questão de inovação tecnológica. O ramo de materiais de construção sempre deve se adequar às necessidades atuais como a sustentabilidade, mas sempre respeitando e atendendo às normas construtivas já vigentes. Logo, este trabalho quantizado mostra a importância de se conhecer e entender certos comportamentos da argamassa quando se utiliza agregado, neste caso o isopor. O estudo das propriedades físicas quando inserido no material pode, então, permitir uma comparação com argamassa comum e avaliar se é benéfico o uso de determinado material.

Objetivo principal deste é avaliar o desempenho da argamassa com adição de isopor através da análise de alguns parâmetros físicos (resistência à compressão e difusividade térmica). Como também, obter a distribuição da temperatura em função do tempo da argamassa com e sem adição de isopor.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O traço expressa as quantidades relativas de adições, de agregados, água e aditivos em relação à quantidade de cimento.

Cimento

Segundo Bauer (2000) cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de Clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio com certa proporção de sulfato de cálcio natural.

O mercado nacional dispõe de oito opções, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. O cimento Portland (CPI) é referência por suas características e propriedades (ABCP, 2017).

Agregados

Bauer (2000) define agregado como material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

Os agregados podem ser classificados quanto a sua origem (naturais ou industrializados), as dimensões das partículas (miúdo ou graúdo) e o peso específico aparente (leve, médio ou pesado).

Processo de cura

O processo de cura se caracteriza pelo tempo em que as reações químicas levam para atingir seu ápice. A título de exemplo, as argamassas em seu estado inicial se apresentam de forma plástica. Com o tempo as mesmas endurecem ganhando resistência e durabilidade. Este processo é determinado como a cura da argamassa e o término das reações químicas não são fáceis de determinar.

Existem vários tipos de cura, entre estes tipos de cura podem-se citar dois: a cura por submersão em água e a cura ao ar livre.

A cura por submersão se caracteriza em imergir o corpo de prova a um recipiente cheio de água, cobrindo toda a superfície do corpo permitindo que o mesmo use toda a água existente em seu interior para as reações químicas, não havendo perda de água do corpo de prova para o meio.

A cura ao ar livre se caracteriza por não haver interferência no processo de cura do corpo de prova, deixando-o exposto à intempérie do ambiente. Esse tipo de cura é um processo mais propício a interferências do ambiente, como perda de água para o meio através

do calor, vento e outros. Esse tipo de abordagem pode gerar algumas falhas no resultado, como não ganho da resistência total esperada, trincas entre outras.

Argamassa

De acordo com a ABNT NBR 7200 (1998), as argamassas são uma mistura homogênea, constituídas de aglomerante, agregado miúdo e água, podendo conter aditivos ou adições, que possuem capacidade de endurecimento e aderência.

Silva (2008) define as principais funções da argamassa como: unir componentes de alvenaria, regularizar a absorção da base ou melhorar a aderência, corrigir imperfeições da base, cobrir e regularizar a superfície da base, unir componentes do acabamento decorativo e dar acabamento final à superfície. Para o autor, as argamassas ainda possuem outras funções e especificações como: aspecto estético, dificultar a infiltração de água na edificação e impedir o crescimento de micro-organismos.

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), a argamassa para revestimento é “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. De acordo com Carasek (2007), as argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros. Entre as propriedades essenciais ao bom desempenho das argamassas de revestimento, estão: trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidade e adesão inicial; retração; aderência; permeabilidade; resistência mecânica, principalmente a superficial; capacidade de absorver deformações.

Sobre a utilização de resíduos em materiais, Souza (2008) salienta que o produto com uso de material reciclado necessita satisfazer às solicitações a que será submetido e as recomendações previstas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), devendo ser funcional para o usuário e para indústria da construção civil.

Propriedades mecânicas

De acordo com Silva Filho (2013) para caracterizar um material, sendo argamassa ou concreto, é necessário quantificar suas propriedades mecânicas por meio de ensaios mecânicos. Deste modo, tais materiais devem ser submetidos a ensaios de resistência à compressão e de tração (direta ou por compressão diametral).

Na mecânica dos sólidos deformáveis, tensão é uma medida da magnitude das forças internas agindo entre as partículas de uma seção transversal imaginária de um corpo de material. Essas forças internas são forças de reação contra as forças externas aplicadas no corpo.

Propriedades térmicas

Os revestimentos de alvenaria exteriores e as suas várias camadas são elementos importantes da estrutura edificada, não só devido a questões técnicas, como também estéticas e de conforto ambiental. Por isto, estes revestimentos devem abranger conceitos básicos de qualidade e desempenho, seja no que se refere à resistência e também ao conforto térmico.

Condutividade térmica

“A condutividade térmica (k) e o calor específico(c), junto com as características da superfície dos revestimentos de vedação, determinam o ganho de calor dentro do recinto” (GONZÁLEZ CRUZ, 2002). Segundo Halliday e Resnick (2012) a condutividade térmica é a capacidade de um material em conduzir calor.

Logo, um material que transfere facilmente energia por condução é um bom condutor de calor e por consequência apresenta um valor alto para este parâmetro físico.

Calor específico

Calor específico é uma grandeza física que define a variação térmica de determinado material ao receber certa quantidade de calor. Logo, este parâmetro físico, expressa também a capacidade de um material de armazenar calor.

Difusividade térmica

Difusividade térmica mede a capacidade de um material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la. Logo, ela mostra como o calor se difunde através de um material. Matematicamente, ela se expressa da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (1)$$

Onde:

k é a condutividade térmica, ρ é massa específica do material, e c_p é o calor específico.

Materiais com a difusividade térmica elevada respondem rapidamente a mudanças nas condições térmicas a ela imposta, na mesma medida que materiais com pequenos valores demoram mais a responder, pois levam mais tempo para atingir uma nova condição de equilíbrio.

Equação do calor

Segundo Bergman, et al (2014) a equação do calor é um modelo matemático para a transmissão de calor em sólidos. Este modelo consiste em uma equação de derivadas parciais conhecida também como equação da difusão térmica.

Para um fenômeno físico de complexa análise matemática, pode-se esperar a sua diversidade no que tange à descrição matemática resultando em uma equação. Na sua forma

mais clássica, ela descreve a condução de calor em um material homogêneo, isotrópico e que não possua fontes de calor, e é expressa da seguinte maneira:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

sendo: $u = u(x, y, z, t)$ é o campo de temperatura e é uma função da posição e do tempo; $\frac{\partial u}{\partial t}$ é a taxa de variação da temperatura em relação ao tempo; α é o coeficiente de difusão térmica.

Desta equação, as hipóteses básicas para sua resolução consideraram-se o corpo de prova de argamassa como um meio isotrópico e homogêneo; o meio não possui fonte interna de calor, e a propagação do calor ocorre de forma radial do meio externo para o interno. Desta forma, a equação do calor em coordenadas cilíndricas reduz em:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \quad (3)$$

Há alguns métodos convencionais para a resolução de equações diferenciais parciais como o método de separação de variáveis que é o método sistemático mais antigo, usado por D'Alembert, Daniel Bernoulli e Euler, em torno de 1750.

Contudo, na formulação do problema proposto, a solução baseia-se nas funções de Bessel proposta por Rodrigues (2016). De acordo com a mesma, uma solução da equação do calor é:

$$U(r, t) = T_a + 2(T_m - T_a) \sum_{i=0}^{\infty} \frac{j_0\left(\frac{x_i}{a} r\right) e^{-\lambda_i^2 a t}}{\lambda_i a j_1(\lambda_i a)} \quad (4)$$

Esta solução fornece a previsão da distribuição de temperatura em um corpo de prova cilíndrico com temperatura inicial T_m , de raio a e no instante t imerso em uma fonte termostaticada à temperatura T_a na posição radial r . Onde, J_0 é a função de Bessel de primeira espécie de índice zero e J_1 é a função de Bessel de primeira espécie de índice um. O parâmetro $\lambda_i = x_i a$ é obtido através das raízes de Bessel J_0 . Esta solução da equação do calor foi usada numericamente na obtenção da difusividade térmica α .

MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir a metodologia usada para a confecção dos corpos de prova da argamassa, que foram usadas para a obtenção das resistências características à compressão, as distribuições de temperaturas e a difusividade com e sem adição de isopor.

Confecção dos corpos de prova

A confecção dos corpos de prova baseou-se conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003). Assim, o prospecto experimental baseou-se em corpo de prova de argamassa padrão de 5,0 cm de diâmetro e 10,0 cm de altura. As amostras correspondem sem a adição de isopor e com porcentagem de isopor em relação ao agregado miúdo total (20% e 30%). Utilizou-se argamassa de cimento Portland CP II - 32 e agregado miúdo na proporção, respectivamente, de 1:5 e uma relação água/cimento *a/c* fixa de 0,5.

Após esta etapa, houve a separação dos materiais necessários para confecção das argamassas. A quantidade foi previamente calculada a fim de se evitar o desperdício.

Foram confeccionados quatro corpos de prova para cada amostra, de forma que dois foram utilizados para o ensaio de compressão, a fim de verificar se atende à resistência mínima da argamassa. E mais dois corpos de prova para o ensaio térmico, entretanto, foi utilizado apenas o melhor corpo de prova de cada amostra para o ensaio térmico, antecipando perdas de desforma. Todos os corpos de prova foram confeccionados no mesmo dia, em um espaço de tempo de 1 h e sob as mesmas condições climáticas, conforme figura 1.



Figura 1: Moldagem dos corpos de prova.

Fonte: Autores, 2020.

Argamassa base

Primeiramente, confeccionou-se a argamassa comum (1:5) que serviu como controle para uma posterior comparação com as outras de argamassas.

Respeitando o traço apresentado, os materiais foram adicionados ao misturador mecânico e posteriormente moldados nos corpos de prova, já untados com óleo e com o auxílio de um soquete a amostra foi adensada.

Argamassa com adição

Para esta argamassa, além dos materiais e processos já utilizados na argamassa citada acima, houve o acréscimo gradativo de isopor. Antes de ser utilizada, este material foi passado na peneira de 4,8 mm a fim de garantir que todas as partículas do isopor possam ser caracterizadas como agregado miúdo. Após, foi feita a substituição de areia por isopor em uma taxa de 20% e 30 % em relação ao total de agregado miúdo e os materiais foram levados ao misturador mecânico respeitando a mesma relação de água e cimento. Ressalta-se que foram adicionados 30 ml de cola PVA, uma recomendação do fabricante do EPS, pois melhora a aderência e coesão da mistura, como também, para uma maior proximidade do método à utilização de argamassa com isopor realizada em obras.

Preparação dos corpos de prova para a cura

Após um período de 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram identificados e levados para desenformar, com finalidade de serem realocados para a cura ao ar livre de 14 dias.

Ensaio à compressão axial

Após um período de 14 dias, dois dos corpos de provas por amostra foram levados para o ensaio de determinação da resistência à compressão. Seguindo a NBR 5739 (ABNT,

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 13, n. 1, jun. 2020. ISSN 1981-4089

2003), os corpos de prova foram levados à máquina de ensaio de compressão axial da fabricante “EMIC” que possui uma carga máxima de 200 toneladas.

O ensaio à compressão foi realizado no mesmo dia e em um intervalo de 30 minutos entre a primeira e a última amostra. Primeiramente, as dimensões do corpo de prova de cada amostra foram adicionadas ao computador da máquina, tais valores são necessários para calcular a resistência automaticamente pelo software da máquina. Feito isso, colocou-se cortiça sob as extremidades do corpo de prova, zerou-se a máquina, e o ensaio foi iniciado e finalizado com o rompimento da amostra, como ilustrado pela figura 2.



Figura 2: Ensaio de compressão axial.
Fonte: Autores, 2020.

Distribuição da temperatura nos corpos de prova

Tendo em vista um dos objetivos propostos, na confecção dos corpos de prova, uma parte dos corpos de prova destinou-se à análise da distribuição da temperatura.

É de suma importância ressaltar que os corpos de prova destinados à análise térmica tiveram um tratamento diferente. Pregos foram utilizados para simular o tamanho do termômetro, servindo como molde na sua fabricação, como pode ser visto na figura 1. Para isolar termicamente o corpo de prova, utilizou-se isopor na superfície, e tecido isolante térmico nas laterais não imersas no banho termostatizado, conforme figura 3.



Figura 3: Corpos de prova.

Fonte: Autores, 2020.

Um termômetro foi inserido na posição central do corpo de prova e outros dois termômetros na posição 1,5cm do centro, com aproximadamente 7,0 cm de profundidade. Logo, tais corpos de prova foram destinados a ficar em banho termostatizado à temperatura aproximadamente constante de 50°C.

Em seguida, com auxílio de três termômetros digitais fixados nas posições já descritas, como mostrado na figura 4, foi possível obter as medidas das temperaturas em um intervalo de tempo até atingir o equilíbrio térmico.



Figura 4: Ensaio térmico.

Fonte: Autores, 2020.

No método, para encontrar a difusividade, selecionou-se um instante com os valores da temperatura ambiente T_m , que é a mesma do corpo de prova da argamassa e a temperatura do banho termostatizado T_a . Fixou-se a posição r no corpo de prova na posição que se

encontrava um termômetro, com o uso da solução da Equação do calor dada pela Eq.(4), encontrou-se numericamente a difusividade do corpo de prova da argamassa uma vez que previamente a temperatura para estas condições era conhecida.

Nesta mesma posição, mudando apenas o instante e de novo com o uso da Eq.(4) encontrou-se a difusividade térmica numericamente do corpo de prova da argamassa. Isto foi realizado para vários instantes uma vez que para cada instante a temperatura era previamente conhecida.

O método foi repetido para a outra posição com o outro termômetro. E simplesmente foi feita a média da difusividade térmica do corpo de prova da argamassa, tanto para o corpo de prova da argamassa sem adição de isopor quanto para o corpo de prova da argamassa com adição de isopor de 20% e 30% em relação à areia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de Compressão Axial

Realizado o ensaio de compressão axial, obtiveram-se os seguintes valores de resistências características à compressão das amostras com 14 dias de cura ao ar livre que estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1: Resultados do ensaio à compressão axial.

Amostra	0 % de Isopor	20 % de Isopor	30 % de Isopor
Tensão Máxima	5,10 MPa	3,13 MPa	2,73 MPa
Força Máxima	10022,27 N	6152,28 N	5358,44 N
Deformação Máxima	4,60 %	3,69 %	3,90 %

Fonte: Autores, 2020.

Como esperado, quanto maior a adição de isopor menor a resistência característica à compressão da amostra.

Ensaio térmico

A figura 6 mostra a distribuição da temperatura do corpo de prova da argamassa em 14 dias de cura sem adição de isopor, com a temperatura do ambiente T_m de aproximadamente 30°C, a temperatura do banho termostaticado T_a aproximadamente 50°C e o raio igual a 5,0 cm para a posição $r = 0,0$ cm (azul-quadrículada) e para a posição $r = 1,5$ cm (vermelha-esfera).

Para encontrar, exemplificando, a difusividade térmica do corpo de prova da argamassa em 14 dias de cura sem adição de isopor, com a temperatura do ambiente T_m aproximadamente 30°C, a temperatura do banho termostaticado T_a aproximadamente 50°C, o raio igual a 2,5 cm, e fixando a posição $r = 0,0$ cm, e com o uso da solução da Equação do calor, dada pela Eq. (4), encontrou-se na Figura 5, a Temperatura em função da difusividade térmica onde obteve-se numericamente a difusividade térmica $\alpha = 3.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$ para o instante $t = 1,0$ min (curva vermelha). Para o instante $t = 2,0$ min (curva azul), obteve-se numericamente a difusividade térmica $\alpha = 3.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$; para o instante $t = 3,0$ min (curva preta), obteve-se a difusividade térmica $\alpha = 3.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$; e para o instante $t = 7,0$ min (curva verde), obteve-se a difusividade térmica $\alpha = 3.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$, resultando numa média parcial da difusividade térmica $\alpha = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$.

Repetiu-se o procedimento para encontrar a difusividade térmica do corpo de prova da argamassa, em 14 dias de cura sem adição de isopor, com a temperatura do ambiente T_m aproximadamente 30°C, a temperatura do banho termostaticado T_a aproximadamente 50°C e o raio igual a 2.5 cm, com uso da Eq. (4) fixando a posição $r = 1,5$ cm, resultando em outra média parcial da difusividade térmica $\alpha = 2.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$. Cujas médias da difusividade térmica é de $\alpha = 3.02 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$.

Dessa forma, a tabela 2 apresenta a média da difusividade térmica:

Tabela 2: Resultados do ensaio térmico – difusividade térmica.

0 % de Isopor	20 % de Isopor	30 % de Isopor
$3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$	$2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$	$1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$

Fonte: Autores, 2020.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 13, n. 1, jun. 2020. ISSN 1981-4089

A figura 6 mostra as curvas teóricas do corpo de prova da argamassa sem adição em 14 dias de cura sem adição de isopor, com a temperatura do ambiente T_m aproximadamente 30°C , a temperatura do banho termostatzado T_a aproximadamente 50°C e o raio igual a 5,0 cm para a posição $r = 0,0$ cm (curva azul) e para a posição $r = 1,5$ cm (curva vermelha).

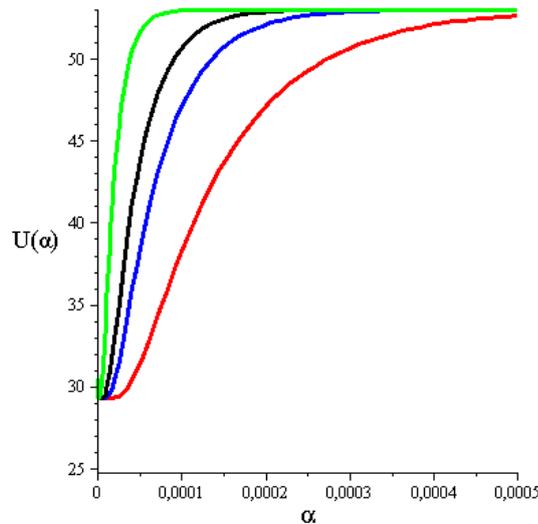


Figura 5: Temperatura em função da difusividade térmica da argamassa sem adição, com $r = 0,0$ cm, para $t = 1,0$ min (vermelha), $t = 2,0$ min (azul), $t = 3,0$ min (preta) e $t = 7,0$ min (verde).

Fonte: Autores, 2020.

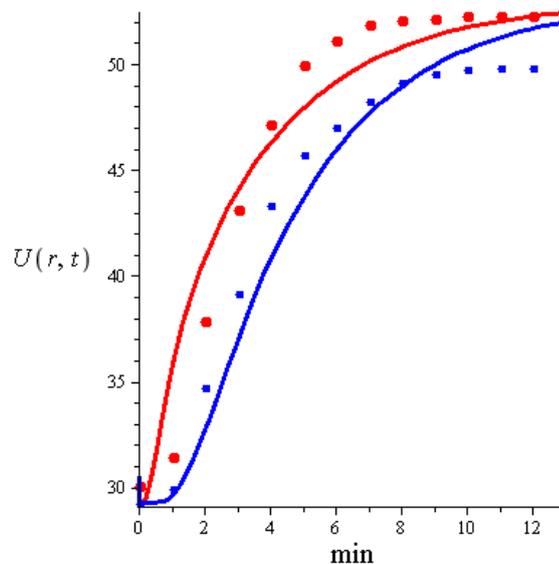


Figura 6: Distribuição da temperatura da argamassa sem adição, e a respectiva curva teórica, para $r = 0,0$ cm (azul-quadrícula) e $r = 1,5$ cm (vermelha-esfera).

Fonte: Autores, 2020.

Optou-se em não mostrar as curvas da Temperatura em função da difusividade térmica para os corpos de provas da argamassa com adição de 20 % e 30% de isopor em relação areia porque os comportamentos das curvas são idênticos às curvas da Figura 5. O valor da média da difusividade térmica foi de $\alpha = 2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$ e $\alpha = 1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$ respectivamente para os corpos de provas da argamassa com adição de 20% e 30% de isopor em relação.

A figura 7 mostra a distribuição da temperatura da argamassa com 20% de adição de isopor para a posição $r = 0,0 \text{ cm}$ (azul-quadriculada) e para a posição $r = 1,5 \text{ cm}$ (vermelha-esfera), a figura também mostra as curvas sólidas teóricas para $r = 0,0 \text{ cm}$ (azul) e para a posição $r = 1,5 \text{ cm}$ (vermelha).

De forma geral, percebeu-se, tanto na figura 6 quanto na figura 7, que os pequenos volumes cilíndricos de argamassa, como esperado e previsto na solução teórica, o ponto na posição $0,0 \text{ cm}$ (centro) leva mais tempo em relação ao ponto, na posição $r = 1,5 \text{ cm}$, para atingir o equilíbrio térmico. Na argamassa sem adição de isopor, figura 6, o equilíbrio térmico é alcançado em um menor tempo em relação à argamassa com adição de isopor de 20%, mostrado na figura 7.

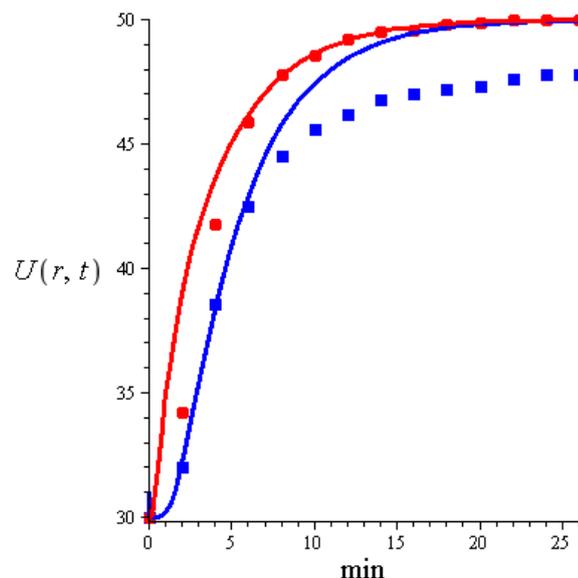


Figura 7: Distribuição da temperatura da argamassa com 20% de isopor, e a respectiva curva teórica, para $r = 0,0 \text{ cm}$ (azul-quadriculada) e $r = 1,5 \text{ cm}$ (vermelha-esfera).

Fonte: Autores, 2020.

Este comportamento também foi verificado no corpo de prova da argamassa com 30% de isopor, ou seja, para argamassas sem adição de EPS, o equilíbrio térmico leva um menor tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo do corpo de prova da argamassa sem adição de isopor e com adição de 20% e 30% de isopor em relação à areia, quantificou-se a resistência característica à compressão respectivamente de 5,10 MPa, 3,13 MPa e 2,73 MPa, mostrando com o aumento da quantidade de isopor, em relação à areia, a resistência característica à compressão na argamassa diminuiu, mas com desempenho satisfatório de resistência mecânica. A diminuição da resistência à compressão com o aumento da quantidade de isopor, como esperado, é devido ao isopor ser um material de baixa resistência à compressão e o consequente aumento do índice de vazios no corpo de prova da argamassa.

Medindo as temperaturas em vários instantes, numa determinada posição radial dos pequenos volumes cilíndricos da argamassa no colocados num banho termostatizado, encontrou-se as distribuições das temperaturas em relação ao tempo. Notou-se um tempo maior para o equilíbrio térmico, visto na menor elevação adiabática da temperatura na Figura 6, sem adição de isopor, comparada com elevação de temperatura, na Figura 7, com adição de 20% de isopor. Com o aumento da adição de isopor, que é um isolante térmico, como já dito, há um aumento no índice de vazio, no corpo de prova, a capacidade térmica da argamassa eleva-se. Esta mesma conclusão vale para a adição de isopor de 30%.

Com o aumento da capacidade térmica do corpo de prova da argamassa a difusividade térmica diminuiu, quantificado neste trabalho, $\alpha = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$, $\alpha = 2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$ e $\alpha = 1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min}$, respectivamente para o corpo de prova da argamassa sem adição, com adição de 20% e 30% de isopor.

Portanto, de maneira simples, com medidas das temperaturas em posições radiais em um corpo de prova da argamassa, com o auxílio da solução da Equação do calor em coordenadas cilíndricas, foi possível estimar numericamente uma importante propriedade térmica, a difusividade térmica.

A necessidade do desenvolvimento sustentável dentro da construção civil, no que refere às pequenas habitações aos grandes edifícios, tem levado profissionais da engenharia civil ao estudo sistemático do isopor como ferramenta para a elaboração de produtos ecologicamente viáveis e funcionais dentro da construção. Na busca pela produção de edificações com baixo impacto ambiental, praticidade de manuseio, impermeabilidade e com um melhor desempenho térmico a presente pesquisa utilizou-se do EPS na composição argamassa, já que tal material por natureza cumprir com tais necessidades. A partir dos estudos foi possível identificar as vantagens do EPS como agregado na argamassa, bem como as porcentagens onde as resistências se alinham às estabelecidas por norma, as quais foram 0%, 20% e 30% de adição de isopor em relação à areia.

Outrossim, a resistência mais baixa encontrada foi para a adição de 30% de EPS na argamassa, obtendo uma resistência de 2,73MPa, o que concilia com a argamassa a ser utilizada como revestimento conforme a NBR 13281(ABNT,2005). Pode-se concluir também que o EPS conferiu características de argamassa leve, com baixa taxa de absorção de água e como um bom isolante térmico, podendo ser bem aproveitado pela construção civil.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM, **Aplicações**. São Paulo-SP: Associação Brasileira da Indústria, 2019. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/aplicacoes.html>. Acesso em: 21 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP / 2017**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281/ 2005**. Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos– Requisitos, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200/ 1998**. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529/ 2013**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 / 2003**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 13, n. 1, jun. 2020. ISSN 1981-4089

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 / 2007**. Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC – v.1 - 2000.

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CARASEK, H. Argamassas. In: G. C. Isaias. (Org.). **Materiais de Construção Civil**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto -IBRACON, 2007.

BRUM et al. Características do entulho e do agregado reciclado. In: BRUM, I. A. S.; CARNEIRO, A. P.; CASSA, J. C. S. (Org). Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, cap.5, 144-187, (2001).

FONSECA, Gealva. Sustentabilidade na construção civil. Disponível em: <<http://www.syene.com.br/blog/index.php/2011/05/23/sustentabilidade-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 25 de abril 2020.

GONZÁLEZ CRUZ, Eduardo Manuel. **Selección de material e sem La concepción arquitectónica bioclimática**. Estudios de Arquitectura Bioclimática. México: Anuário 2002.
HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**, vol. 2, 9 ed. LTC, 2012.

KILBERT, C. Establishing principles and a model for sustainable construction. In: CIB TG16 Sustainable Construction. Proceedings. Tampa. Florida. November, 6-9, 1994.

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997a. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 1997.

PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa 2011.

PINTO, T.P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. São Carlos, 1986. Dissertação (Mestrado) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1986.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

RODRIGUES, I. E. Estudo da difusividade térmica do concreto em corpo de prova. Anápolis: UEG, 2016.

SANT'HELENA, Maiko. **Estudo para aplicação de Poliestireno Expandido (EPS) em concretos e argamassas**. 2009. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

SILVA, A. S. R. da. **Argamassas: conceitos, tipos e funções**. Comunidade da construção. Salvador, 2008. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/24767831/11/ARGAMASSASClassificacao#logout> > Acesso em: 28 de abril de 2020.

SILVA FILHO, J. R. **Estudo da resistência mecânica de argamassas utilizadas para recuperação de estruturas de concreto**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Coordenação de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.