

DESENVOLVIMENTO DE NOVO MODELO PARA BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL COM FOCO NO COMPORTAMENTO TÉRMICO

Development of a new model of structural concrete block focusing on thermal behavior

Laura de Castro Rosa¹; Luize França da Rocha²; Rodrigo Spinelli³

¹ Engenheira Civil, Graduada Pela Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), e-mail: laura.rosa@universo.univates.br

² Arquiteta, Graduada Pela Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), e-mail: luize.rocha@universo.univates.br

³ Arquiteto, Doutor em Ciências Ambientais, Docente do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Ambientais Sustentáveis (PPGSAS), e-mail: rspinelli@univates.br

Data do recebimento: 06/10/2022 - Data do aceite: 11/04/2023

RESUMO: Tendo em vista o crescimento na utilização da alvenaria estrutural e o aumento no uso de blocos de concreto estrutural, o presente estudo propõe uma melhoria nas características térmicas a partir do desenvolvimento de um novo modelo de bloco. O *design* proposto leva em conta as normas de desempenho térmico NBR 15575 (ABNT, 2013) e a NBR 15220 (ABNT, 2005), bem como a normativa usada na fabricação de blocos de concreto - NBR 12118 (ABNT, 2013). O programa experimental deste trabalho consistiu na caracterização dos materiais, concretagem dos blocos, análise da resistência mecânica obtida e simulação matemática do produto final, comparando-o com outros materiais que proporcionam melhor isolamento térmico que o concreto. Através do ensaio de resistência à compressão, verificou-se que o modelo de bloco proposto atende às características de resistência mecânica e pode ser classificado como classe A, elemento com função estrutural. Por meio de simulação matemática, concluiu-se que a adição de câmaras de ar contribuiu para uma melhora no isolamento térmico do bloco, melhorando a transmitância térmica em relação ao bloco de concreto convencional.

Palavras-chave: Concreto. Resistência mecânica. Desempenho térmico. Isolamento térmico. Câmaras de ar.

ABSTRACT: Due to the growth of structural masonry usage and the increase in the use of structural concrete blocks, this study proposes a solution to improve the blocks thermal characteristics through a new block model. The proposed design considers the thermal performance standards NBR 15575 (ABNT, 2013) and NBR 15220 (ABNT, 2005) as well as the standards used in the manufacture of concrete blocks - NBR 12118 (ABNT, 2013). The experimental program of this work consists of material characterization, concreting of blocks, analysis of the mechanical resistance obtained and mathematical simulation of the final product comparing it with other materials that provide better thermal insulation than concrete. Through compressive strength test, it was verified that the proposed block model satisfies the characteristics of mechanical strength and can be classified as Class A, which is an element with a structural function. By means of mathematical simulation, it was concluded that adding air chambers contributed to an improvement in the blocks thermal insulation, improving the thermal transmittance of the concrete block model.

Keywords: Concrete. Mechanical resistance. Thermal performance. Thermal insulation. Air chambers.

Introdução

Dentre os materiais mais utilizados na construção civil, destaca-se o concreto. Conforme Isaia (2005), se houver uma boa dosagem, o concreto é um material durável, tem resistência em diferentes ambientes e uma ótima performance quando em contato com o fogo.

O concreto também é um dos materiais adotados na produção de blocos estruturais, elemento-base do método construtivo de alvenaria estrutural (MOHAMAD et al., 2015), sistema construtivo que utiliza elementos unidos com argamassa colante adequada, gerando uma peça vertical coesa. O objetivo desse sistema é vedar os espaços, suportar as cargas de gravidade, resistir ao fogo, contribuir para a manutenção do conforto térmico, entre outros. Em suma, quando bem planeja-

da, uma das maiores vantagens da alvenaria estrutural é promover a racionalização na etapa construtiva (TAUIL; NESE, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 6136 (ABNT, 2016), determina que os blocos de concreto estrutural devem atender a uma das classes de A a C, visto que a classe D aborda apenas blocos sem uso estrutural. De acordo com Mattana e Librelotto (2016), a classe A engloba blocos com função estrutural para uso em alvenaria acima ou abaixo do nível do solo, e resistência maior ou igual a 6 MPa. A classe B, por sua vez, define o bloco com função estrutural para uso em alvenaria acima do nível do solo, e com resistência maior ou igual a 4 MPa. Já a classe C representa o bloco com função estrutural para uso em alvenaria acima do nível do solo e resistência maior ou igual a 3 MPa. Ainda, a classe D define o bloco sem função estrutural para

uso em alvenaria acima do nível do solo e resistência maior ou igual a 2 MPa.

O controle de qualidade dos blocos estruturais deve ser realizado seguindo as premissas da NBR 12118 (ABNT, 2013). Ela determina que após a cura dos blocos de concreto, por 28 dias, seja feito o ensaio de resistência à compressão. Para tal, o bloco deve ser capeado com argamassa de assentamento e ter a espessura média de, no máximo, 3 mm, de forma que a carga da prensa hidráulica seja aplicada uniformemente, conforme sugere a NBR 12118 (ABNT, 2013).

Para Buttler (2007), os blocos de alvenaria estrutural são, geralmente, fabricados com os seguintes materiais: cimento Portland de alta resistência inicial, pedrisco (agregado graúdo), areia média (agregado miúdo) e aditivo plastificante. Atualmente, os principais blocos empregados na construção civil têm dimensões de 14 cm x 19 cm x 39 cm e 19 cm x 19 cm x 39 cm, medidas modulares, perfil homogêneo e compacto (TAUIL; NESE, 2010). Tais características podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1 - Blocos de concreto estrutural medindo 19x19x39 cm e 14x19x39 cm, da esquerda para a direita



Fonte: Tauil; Nese (2010)

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), observou-se que o comportamento térmico de paredes feitas a partir de blocos de concreto estrutural não atende à legislação

de desempenho térmico para determinadas regiões climáticas, por ter uma transmitância térmica elevada. Segundo Blasius (2020), uma das técnicas para potencializar o desempenho térmico de fachadas é a utilização de câmaras de ar entre paredes, devido à baixa condutividade térmica do ar quando este está limitado ao processo de condução de calor, antes que haja a convecção por movimento da massa de ar. De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), a condução térmica pura ocorre em espaços com espessura de câmara de ar de até 5 cm.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico e mecânico de um modelo de bloco de concreto estrutural a partir de um desenho interno diferenciado dos blocos existentes no mercado da construção civil, comparando analiticamente a transmitância térmica entre o bloco de concreto estrutural convencional e o novo modelo, por meio de simulação matemática.

Revisão Bibliográfica

Desempenho térmico do concreto

Para o estudo do desempenho térmico dos materiais é fundamental realizar a avaliação da condutividade térmica e da transmitância térmica, sendo que um material considerado isolante térmico deve apresentar um valor menor que 0,07 W/mK (ASDRUBALI; D'ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015). Quanto menor for o valor da condutância térmica, maior será a resistência do sistema à transferência de calor (KIBERT, 2020). Conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), a transmitância térmica pode ser definida como o inverso da resistência térmica total. Segundo Graf (2011), é importante conhecer a transmitância térmica das superfícies a fim de transferir menos calor para o ambiente e gerar eficiência energética, pois uma das for-

mas de se obter um melhor conforto térmico é por meio do isolamento do invólucro de acordo com o clima da região adotada.

Para Kibert (2020), as vedações externas da edificação precisam diminuir a transmissão de energia através da “pele” do prédio, a fim de controlar os ganhos térmicos solares. Isso pode ser obtido por meio de um tratamento estanque e com resistência térmica adequada da parede. Costa (2003) cita que a resistência térmica total é dada pela soma das resistências de cada camada do elemento, adicionando as resistências internas e externas do sistema.

Conforme Primo (2008), um dos tipos de isolamento térmico mais eficiente é a utilização de elementos construtivos (blocos ou painéis) feitos a partir de materiais com baixa condutividade térmica. Os gases, por exemplo, possuem um valor menor de condutividade térmica se comparados aos metais sólidos. A esse respeito, o ar possui uma condutividade térmica de $0,024 \text{ W/mK}$, enquanto a prata conduz o calor no valor de 420 W/mK , de modo que os gases são considerados isolantes térmicos (NETO, 2010).

Conforme Mascaró e Mascaró (1988), o bloco de concreto com dois furos tem condutividade térmica de $1,51 \text{ W/mK}$, densidade de 2.000 kg/m^3 , calor específico de $0,28 \text{ W/Kkg}$, enquanto o tijolo furado cerâmico industrializado com 6 ou 8 grandes furos possui densidade de 1.000 kg/m^3 e condutividade de $0,50 \text{ W/mK}$. A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) apresenta as propriedades térmicas de diferentes materiais, dentre eles, o concreto, classificando-o com uma densidade de 2.400 kg/m^3 e uma condutividade térmica de $1,75 \text{ W/mK}$, ou seja, afirmando que ele é um mau condutor.

Além disso, o zoneamento bioclimático brasileiro foi definido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e é considerado um importante parâmetro para verificação do cálculo de

transmitância térmica. De acordo com Santos et al. (2015), tal zoneamento promove a adoção de medidas diferentes para cada região, levando em consideração as médias mensais de temperatura mínima e máxima, bem como as médias da umidade relativa do ar.

Com relação a essenexo, Santos et al. (2015) concluíram, em seu estudo de caso sobre o comportamento térmico de fachadas utilizando blocos de concreto e blocos cerâmicos, que os dois tipos de blocos obtiveram resultados similares quanto ao atraso térmico para a zona bioclimática 2, sendo que notou-se que o fechamento com bloco cerâmico obteve um valor de atraso superior ao limite de estabelecido pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Já o bloco de concreto ultrapassou o valor máximo de transmitância térmica de $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ estabelecido para a zona bioclimática 2, valor determinado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), apresentando um valor de U de $2,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ para o bloco de concreto e de $2,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ para o bloco cerâmico.

Spinelli et al. (2019), realizaram testes de dois protótipos em escala real para verificar o isolamento térmico de fachadas. O primeiro protótipo não apresentou nenhum material isolante, ao passo que o segundo era constituído por painéis contendo casca de pinheiro. Analisando os resultados para transmitância térmica, o protótipo com material isolante térmico deteve uma redução de 62% se comparado ao protótipo sem qualquer tipo de isolamento.

Oliveira (2019) também realizou uma sequência de testes de caráter térmico entre blocos cerâmicos e blocos de concreto, constatando que o bloco cerâmico é um isolante térmico 31% melhor do que o bloco de concreto, tratando-se do isolamento a quente. Quanto ao isolamento a frio, o resultado foi semelhante: o material cerâmico apresentou-se enquanto um isolante térmico 34% melhor.

A esse respeito, Zhang et al. (2018) propuseram dois modelos de bloco utilizando

concreto PCM: um deles em forma de H e o outro com aparência quadrada. O concreto PCM apresentou uma melhor regulação de temperatura, o que contribuiu para o isolamento térmico e a parede em H demonstrou melhor desempenho em relação ao outro modelo, podendo comportar outros materiais isolantes térmicos. Constatou-se que a forma em H contribuiu para bloquear o calor, resultando em uma diferença térmica notável entre o ambiente exterior e interior.

Características do bloco de concreto

Segundo Barros Junior (2017), a principal vantagem do bloco de concreto (elemento de alvenaria estrutural) é sua função estrutural e de vedação, contudo, algumas vezes, devido à falta de conhecimento sobre as vantagens e as desvantagens, esse sistema construtivo não é utilizado. O concreto para blocos estruturais tem a consistência seca e passa por um processo em que máquinas retiram dele o ar aprisionado. Isso confere maior compacidade ao elemento e ajuda a aumentar a resistência mecânica (BUTTLER, 2007).

Segundo a normativa NBR 6136 (ABNT, 2016), um bloco vazado de concreto simples é o componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida (área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios) é igual ou inferior a 75% da área bruta (área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios). Para a NBR 12118 (ABNT, 2013), os ensaios que precisam ser efetuados para qualificar o bloco de concreto estrutural são: resistência à compressão, análise dimensional, absorção, área líquida e retração linear por secagem.

A resistência mecânica de blocos estruturais de concreto é determinada pela NBR 6136 (ABNT, 2016) que trata dos parâmetros para a produção de blocos, tais como dimen-

sões e desvio-padrão, considerando o valor mínimo esperado de resistência característica à compressão para as classes de A até C em megapascal, a absorção (%) e a retração (%).

Conforme Mehta e Monteiro (2014), um dos objetivos da dosagem do concreto é atender à trabalhabilidade do concreto fresco e à resistência do concreto no estado endurecido. Os dados necessários antes de iniciar os cálculos de dosagem são: granulometria dos agregados miúdos e graúdos; massa unitária do agregado graúdo; massa específica dos materiais; capacidade de absorção do agregado; teste de abatimento, entre outros (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A resistência mecânica é a propriedade mais importante do concreto e depende de algumas particularidades: dentre elas, destaca-se a relação água/cimento. Essa propriedade do concreto é uma relação estabelecida inversamente ao valor entre água/cimento (AMBROZEWICZ, 2012).

Parsekian et al. (2021) argumentam que a umidade interfere no ensaio de resistência à compressão. A esse respeito, testes realizados por Busnello (2011) comprovam que resistências maiores são conferidas aos blocos de menor umidade. Os ensaios realizados em corpos de prova retificados e 24 horas na estufa em 110°C têm um acréscimo de resistência, quando comparados com os blocos secos ao ar, executados em conformidade com a NBR 12118 (ABNT, 2013).

Nessa direção, Almeida (2009) desenvolveu um estudo em que 40 blocos prismáticos com carepa de aço foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial e obtiveram um valor de = 6,10 MPa, enquanto outros 40 blocos sem a carepa de aço, apresentaram um resultado de = 5,20 MPa, considerando uma melhora na resistência mecânica do elemento quando adicionou-se a carepa de aço. Silva (2007) realizou ensaios de resistência à compressão axial com blocos

de concreto, isoladamente, e obteve resultados de resistência de 11,8 MPa para o bloco 1 e 22 MPa para o bloco 2. A autora infere que há dificuldade para as empresas produzirem os blocos dentro da faixa nominal de resistência, havendo uma variação de cerca de 137% no modelo 1 e 184% no modelo 2.

Metodologia

Design adotado

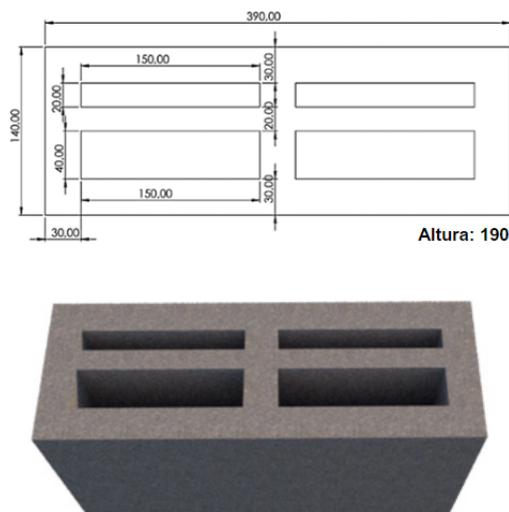
O bloco projetado justifica-se pela busca constante de novos modelos de aplicação de blocos de concreto, os quais devem possuir aprimoramentos técnicos que os permitam resistir a maiores tensões, bem como possuir um melhor desempenho térmico. Esses fatores são primordiais nas construções modernas, em que se busca a otimização energética e a minimização de elementos estruturais.

O molde para os blocos prismáticos foi construído em madeira de eucalipto e o design do modelo foi elaborado de forma a facilitar a execução da concretagem, devido às espessuras das bordas serem de 3 cm, semelhante ao bloco tradicional. Os espaços presentes no interior do bloco com desenho convencional não podem ser definidos como câmaras de ar, pois apresentam um vão maior que 5 cm, que é a medida máxima determinada para cavidades não ventiladas que contêm ar, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Para a criação das câmaras de ar, as espessuras adotadas no interior do bloco foram de 15 cm (centímetros) de comprimento e 2 cm de espessura (2 câmaras de ar) e 15 cm de comprimento por 4 cm de espessura (2 câmaras de ar), gerando 4 câmaras de ar com altura de 19 cm (todas as dimensões podem ser visualizadas na Figura 2). As medidas estão na unidade de milímetros, conforme demonstra a Figura 2.a). Para melhor visualização do modelo do bloco, a Figura 2.b)

apresenta a materialidade do concreto e as cavidades de ar.

Figura 2 - a) Dimensões do design interno proposto para o bloco de concreto estrutural em milímetros b) Vista 3D do modelo de bloco



Todos os ensaios realizados no concreto foram executados no Laboratório de Tecnologias de Construção (LATEC), localizado no prédio 17 da Universidade do Vale do Taquari - Univates, em Lajeado/RS.

Materiais utilizados

Inicialmente, realizou-se a escolha dos materiais que compõem o concreto e, posteriormente, foi feita a caracterização desses materiais. Para a fabricação do concreto optou-se por pedrisco, areia média, cimento Portland CPV e água. O pedrisco, também conhecido como brita 0, apresentou uma massa unitária de 1,42 g/cm³ e massa específica de 2,97 g/cm³; o cimento Portland CPV, por sua vez, apresentou uma massa específica de 2,81 g/cm³. Já o pó de pedra apresentou massa específica de 2,63 g/cm³ e a areia média uma massa específica de 2,89 g/cm³.

Após a execução das formas de madeira para os blocos, efetuou-se a confecção do concreto a fim de preencher 12 blocos com as dimensões: 14 cm de espessura, 39 cm de comprimento e 19 cm de altura, deixando vazios os quatro vãos internos, dois deles tendo 2 cm de espessura, 15 cm de comprimento e 19 cm de altura e mais dois contendo 4 cm de espessura, 15 cm de comprimento e 19 cm de altura. Cada bloco continha um volume de $0,006954 \text{ m}^3$, gerando um total de $0,083448 \text{ m}^3$ de concreto. Além disso, foram moldados 27 corpos de prova cilíndricos de concreto. Os corpos de prova possuíam as seguintes dimensões: 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, produzindo o volume de $0,00157 \text{ m}^3$ por unidade, o que constituiu $0,04239 \text{ m}^3$ no total. Para atender à demanda de material, gerou-se a quantia de 125 litros de concreto.

O traço adotado para a confecção do concreto foi desenvolvido experimentalmente, havendo um abatimento de 30 milímetros. Foi executado em betoneira com capacidade de 50L e mesa vibratória, devido à falta da máquina vibro-prensa, popularmente utilizada para a fabricação de blocos de concreto. A quantidade total de cada material utilizado está presente na Tabela I.

Execução dos blocos

O primeiro procedimento adotado foi a criação das formas de madeira e, posteriormente, realizou-se a concretagem. Os 12 blocos e 9 corpos de prova permaneceram em cura na câmara úmida, sob temperatura controlada, sendo que os 9 corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial aos 7 dias, 9 foram ensaiados com 14

dias de idade e mais 9 foram testados com 28 dias. Já os blocos de concreto foram ensaiados com 28 dias.

A Figura 3 demonstra os procedimentos adotados para obter os resultados de resistência à compressão axial. Na Figura 3.a) pode-se observar a aparência do concreto ainda úmido. A Figura 3.b) exhibe os blocos de concreto passando pelo processo de nivelamento e a Figura 3.c) demonstra a peça de concreto sendo submetida ao ensaio de resistência à compressão axial. Já a Figura 3.d) apresenta os blocos após o ensaio de resistência mecânica.

Figura 3 - Etapas para o desenvolvimento das peças de concreto: a) Blocos e corpos de prova com o concreto fresco; b) Bloco sendo retificado em equipamento com lâmina; c) Bloco de concreto sendo submetido ao ensaio de compressão axial; d) Blocos rompidos após o ensaio de resistência à compressão axial



Os blocos obtiveram um peso médio de 15 kg. De acordo com o catálogo comercial da Pré-Moldados (2010), empresa fabrican-

Tabela I - Quantitativo em massa dos materiais utilizados no concreto

Material	Areia média	Pedrisco	Pó de pedra	Cimento CPV	Água	A/C
Quantidade	45 kg	135 kg	180 kg	60 kg	36 kg	0,6

te de blocos localizada em Limeira/SP, foi determinado para blocos de concreto com dimensões semelhantes, de modelo BE1439, o valor de peso médio de 12,5 kg e diferentes resistências mecânicas que variam de 4,5 MPa até 16 MPa. O bloco desenvolvido pela Pré-Moldados (2010) apresentou um peso médio mais baixo que o bloco desenvolvido neste trabalho.

Parâmetros para simulação matemática de desempenho térmico

O presente estudo considerou a premissa dos autores Asdrubali, D’Alessandro e Schiavoni (2015), que indicam que o material isolante térmico deve possuir um valor de condutividade térmica menor que 0,07 W/m.K. Para a obtenção de uma análise comparativa realizou-se uma simulação matemática com materiais de baixa condutividade térmica, com a câmara de ar e com o concreto. Preliminarmente, são necessários os valores de condutividade térmica dos materiais testados para serem aplicados no cálculo de resistência térmica. A Tabela II expõe as variáveis de condutividade térmica utilizadas de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

O Anexo B da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) expõe os valores de câmaras de ar não ventiladas, caracterizadas por terem a largura maior que a espessura. Para este trabalho

foi utilizado o valor de 0,16 m².K/W para câmaras de ar com espessura maior que 2 cm e menor ou igual a 5 cm, sendo esta a resistência térmica no sentido horizontal de uma superfície de alta emissividade.

Foi adotada como critério a variável de transmitância térmica (U) da zona bioclimática 2, pois o local em que o estudo foi desenvolvido – Lajeado/RS – está entre a zona 1 e 2, conforme mapa apresentado no Anexo A da NBR 15575-1 (ABNT, 2013). De forma a proporcionar um melhor conforto térmico, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) adotou o valor máximo admissível de transmitância térmica (U) para paredes externas na zona bioclimática 2: um valor menor ou igual a 2,50 W/m².K. Em concordância com a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), algumas estratégias que podem ser adotadas para melhorar o desempenho térmico nesta região dizem respeito à vedação externa de parede, que deve ser leve. No verão é adequado haver ventilação cruzada e, no inverno, é útil o uso de vedações internas pesadas.

Para iniciar a simulação matemática, realiza-se o cálculo de resistência térmica e, para tal, é necessário dividir a parede em seções. Neste estudo, considerou-se uma parede formada por bloco de concreto sem considerar o reboco e a argamassa, adotando-se duas seções. A primeira seção é constituída apenas pela parede de concreto com espessura

Tabela II - Condutividade térmica dos materiais adotados (W/(m.K))

Material	Concreto	Espuma rígida de poliuretano	Aglomerado de fibras de madeira (leve)	Lã de rocha	Lã de vidro	Poliestireno expandido (EPS)	Poliestireno Extrudado (XPS)
Condutividade térmica (W/(m.K))	1,75	0,030	0,058	0,045	0,045	0,040	0,035
Densidade (kg/m ³)	2.200-2.400	30-40	200-250	20-200	10-100	15-35	25-40

Fonte: Formato de NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

de 14 cm, enquanto na segunda, o cálculo foi desenvolvido para uma das laterais do bloco contabilizando suas camadas internas. As espessuras (e) do bloco desenvolvido e utilizadas no cálculo de resistência térmica foram: 3 cm de concreto, 2 cm de camada de ar, 2 cm de concreto, 4 cm de camada de ar e 3 cm de concreto. No bloco desenvolvido com adição de material isolante térmico, utilizaram-se as espessuras: 3 cm de concreto, 2 cm de isolante térmico, 2 cm de concreto, 4 cm de isolante térmico e 3 cm de concreto.

As variáveis mais importantes para o cálculo de transmitância térmica é a resistência térmica, obtida a partir do somatório de cada dimensão da peça dividida pela condutividade térmica dessa materialidade. Todos os cálculos foram desenvolvidos a partir da utilização de *software* de planilha eletrônica.

Resultados

Absorção

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), os blocos que apresentarem uma resistência à compressão axial (f_c) maior que 8 MPa, sendo

compostos por agregado normal, deverão deter uma absorção individual menor ou igual a 9% e uma absorção média de até 8%. A absorção individual (%) obtida nos blocos de concreto pode ser visualizada na Figura 4.

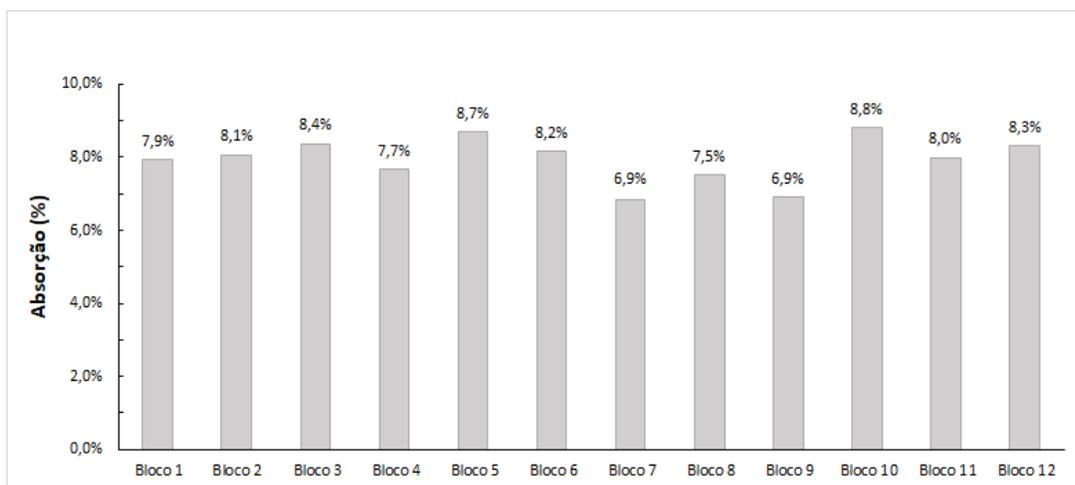
O ensaio de absorção resultou em uma média de 7,9% e o limite individual de absorção foi de 8,8%, sendo o limite admitido 9%. Esse resultado classifica, preliminarmente, a absorção dos blocos como Classe A, dependendo ainda dos valores obtidos no ensaio de resistência à compressão axial para tal classificação.

Resistência à compressão axial dos blocos de concreto

Os corpos de prova cilíndricos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias. A mediana dos resultados pode ser visualizada na Figura 5.

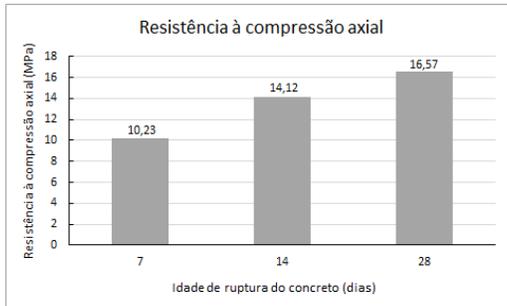
Estes corpos de prova apresentaram uma resistência crescente, sendo que a resistência mecânica já havia ultrapassado 10 MPa aos 7 dias. Este resultado é satisfatório, visto que o mesmo concreto foi utilizado para a fabricação dos blocos e o valor esperado de

Figura 4 - Gráfico comparativo do ensaio de absorção em 12 blocos de concreto



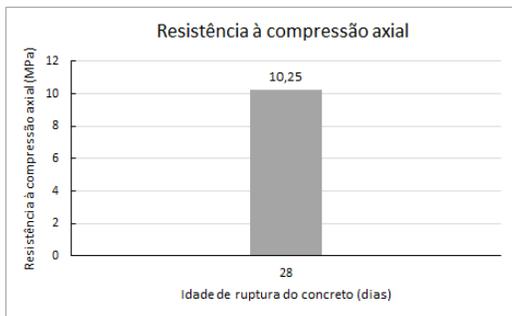
resistência mecânica para a peça de concreto era de, pelo menos, 4,5 MPa, considerando funcionalidade estrutural.

Figura 5 - Gráfico de resistência à compressão axial nos corpos de prova cilíndricos



Após o período de 28 dias em câmara úmida sob temperatura controlada, os 12 blocos de concreto foram aplainados na retífica e realizou-se o ensaio de resistência à compressão axial, obtendo o resultado exposto na Figura 6.

Figura 6 - Gráfico de resistência à compressão axial nos blocos de concreto estrutural



Realizou-se a mediana dos resultados do ensaio de cada bloco, de modo que a média destes classificou-os como Classe A, pois deteve-se uma resistência característica à compressão axial () maior ou igual a 8 MPa. Em uma análise comparativa com os resultados obtidos por Almeida (2009) e Silva (2007), observa-se que as tensões médias se assemelham mais com os valores encon-

trados por esta segunda autora. Além disso, Silva (2007) obteve resultados de 11,8 MPa, sendo 1,8 MPa mais resistente que os blocos do presente estudo. Esses resultados podem estar relacionados à baixa relação água/cimento que, conforme Ambrozewicz (2012), é um dos fatores que confere resistência ao bloco de concreto. Também, estima-se que as diferentes características de agregados preencheram adequadamente os espaços vazios no interior do bloco, não havendo porosidade em grande escala, o que confere um maior nível de coesão ao elemento estrutural.

Calculando-se o valor estimado de resistência característica à compressão do bloco (), para um lote de 28 dias, com 12 corpos de prova, obteve-se o resultado de 13,95 MPa. Observa-se que os resultados estão de acordo com a norma, considerando que o valor encontrado é maior que 7,27 MPa, conforme cálculo estabelecido pela NBR 6136 (ABNT, 2016), que relaciona a quantidade de blocos da amostra.

Simulação de desempenho térmico

A simulação matemática para os cálculos de resistência térmica do elemento, de resistência térmica total e de transmitância térmica foi realizada conforme indica a NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Os resultados encontrados podem ser visualizados na Tabela III e também estão de acordo com a referida NBR.

Os resultados atingidos na Tabela III demonstram que a propriedade de condutividade térmica dos materiais, apresentada na Tabela II, é extremamente importante, pois interfere, de forma expressiva, nos valores de transmitância térmica, sendo definida como a propriedade de transferência de energia térmica dos materiais (BERGMAN et al., 2016).

Comparando esses resultados com a resolução obtida por Santos et al. (2015) em estudo realizado na mesma região – zona

Tabela III - Desempenho térmico do bloco de concreto

Material	Resistência térmica do elemento ($m^2.K/W$)	Resistência térmica total ($m^2.K/W$)	Transmitância térmica U $W/(m^2.K)$
Bloco de concreto convencional	0,1481	0,3181	3,1438
Bloco de concreto com câmaras de ar	0,2005	0,3705	2,6992
Bloco com preenchimento de aglomerado de fibras de madeira	0,2780	0,4480	2,2320
Bloco com preenchimento de lã de rocha/lã de vidro	0,2905	0,4605	2,1716
Bloco com preenchimento de EPS	0,2957	0,4657	2,1475
Bloco com preenchimento de XPS	0,3011	0,4711	2,1229
Bloco com espuma rígida de poliuretano	0,3067	0,4767	2,0978

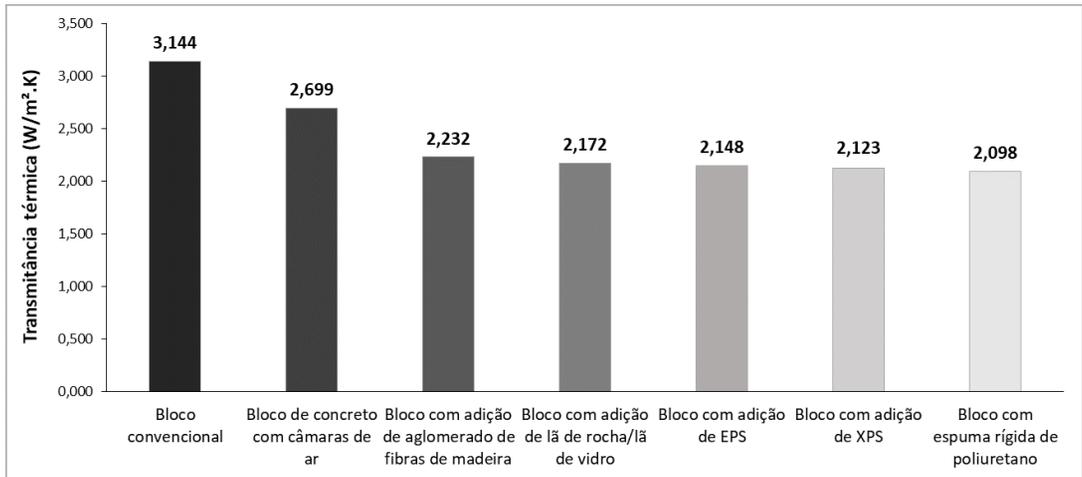
bioclimática 2 – onde situa-se a cidade de Lajeado/RS, os autores apresentaram um valor de $2,88 W/m^2.K$, para blocos de concreto, enquanto o presente estudo obteve o valor de $3,14 W/m^2.K$, resultando em uma taxa de $0,26 W/m^2.K$ menor quando comparado a um bloco de concreto com espessuras externas de 3 cm e *design* interno sem a presença de câmaras de ar. Considera-se que o motivo para essa diferença esteja baseado nas diferentes dimensões de um bloco para outro.

Realizando o comparativo deste trabalho com a pesquisa de Zhang et al. (2018), os autores também concluíram, a partir cálculos de desempenho térmico, que após alterações no desenho interno do bloco de concreto, modificando este para o formato H, o material conseguiu resistir às mudanças de temperatura melhor que o bloco sem alterações. Com isso, considera-se que as mudanças são necessárias e benéficas quando se trata de conforto térmico em paredes externas.

De forma a proporcionar uma melhor visualização dos resultados, a Figura 7 demonstra um gráfico com a comparação entre o que se encontrou para cada transmitância térmica (U).

O novo modelo de bloco de concreto obteve um valor 14% mais baixo de transmitância térmica se comparado ao bloco de concreto convencional, comprovando que a inclusão de camadas compostas por elementos com baixa condutividade térmica provoca um melhor desempenho térmico. Ao adicionar outros materiais no lugar das cavidades de ar, obtiveram-se resultados mais satisfatórios de transmitância térmica, sendo que com o emprego de placas aglomeradas de fibras de madeira, houve uma diminuição de 29% na transmitância térmica em relação ao bloco convencional. No teste de acrescentar lã de rocha ou lã de vidro, que possuem o mesmo valor de condutividade térmica, a variável encontrada para transmitância térmica é

Figura 7 - Gráfico comparativo entre as transmitâncias térmicas (U) encontradas para isolamentos térmicos diferentes no mesmo modelo de bloco de concreto



31% menor em comparação com o modelo tradicional.

Considerando a zona bioclimática 2, o modelo de bloco desenvolvido ultrapassou o valor máximo de transmitância térmica recomendado para paredes externas que, em Lajeado/RS, é de 2,5 W/m².K. Portanto, entende-se que o resultado não está dentro do valor determinado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). As demais simulações matemáticas expõem um resultado positivo para a aplicação de outros isolantes térmicos, sendo eles naturais ou sintéticos. Os resultados realizados com os demais materiais empregados nos vãos livres do bloco classificam o modelo desenvolvido como apto para ser empregado na zona bioclimática 2.

Conclusões

Dado o exposto, cabe destacar que se desenvolveu este estudo porque acredita-se que a necessidade do estudo do bloco de concreto justifica-se por seu largo uso, que vem crescendo no Brasil. Constatou-se que houve benefício térmico no elemento pesquisado

com a criação de câmaras de ar, considerando essa como uma alternativa de baixo custo, que proporcionou uma melhora de 14% na transmitância térmica em relação ao bloco de concreto tradicional. Tendo em vista o índice de transmitância térmica preconizado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para a zona bioclimática 2, que orienta utilizar em paredes externas o valor máximo admissível de 2,5 W/m².K, o resultado analisado sugere que o bloco desenvolvido ainda não é apropriado, uma vez que ultrapassa em 8% o adequado, enquanto o bloco tradicional com as mesmas medidas externas excede em 26% o valor máximo estipulado pela norma.

Através de simulações matemáticas com materialidades de resistências térmicas maiores que a resistência térmica do ar, os valores de transmitância térmica tornaram o bloco desenvolvido adequado para uso na zona bioclimática 2, devido aos resultados serem menores que 2,5 W/m².K, valor máximo admissível conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Portanto, o bloco estaria apto para utilização, caso houvesse o emprego de material isolante térmico em seu interior, mais especificamente em substituição às câmaras

de ar, mantendo o concreto como material predominante.

Os resultados obtidos a partir do ensaio de resistência à compressão axial nos corpos de prova de concreto apresentaram resultados apropriados, tanto para os blocos quanto para os elementos cilíndricos, caracterizando os blocos prismáticos como estrutural de classe A, podendo ser utilizado inclusive sob o nível do solo e, o mais importante, provando que é possível obter uma peça resistente, coesa e com melhoria em termos de comportamento térmico quando comparado ao bloco de concreto convencional.

A principal contribuição deste trabalho para a área da construção civil foi a constatação de que o emprego de câmaras de ar, confere o melhoramento da transmitância térmica (U) em blocos de concreto, sendo que a propriedade de resistência mecânica pode ser adquirida conforme uma dosagem correta dos materiais que constituem esses elementos.

Para facilitar a desforma dos blocos, eles devem ser moldados em superfícies metáli-

cas, pois a água presente no interior da madeira pode apresentar um inchaço que acaba dificultando a desmoldagem, principalmente dos vãos internos. Além disso, sugere-se adaptar o maquinário pré-existente utilizado para a fabricação do bloco tradicional, no desenvolvimento de maquinário baseado na modificação proposta neste trabalho.

O estudo do modelo de bloco de concreto estrutural desenvolvido pode significar um avanço e uma promoção da eficiência energética, assim como outros trabalhos existentes relacionados à área de desempenho térmico. Como incentivo para futuros estudos, propõe-se o desenvolvimento de testes em protótipos em escala real em relação ao seu comportamento térmico, à aplicação de diferentes materiais no interior dos blocos e à realização de testes de aderência de reboco nos blocos de concreto, de forma a obter uma peça coesa e resistente. Além do desempenho térmico, pode-se realizar a estimativa de custos de cada sistema e suas vantagens para, assim, verificar sua viabilidade de aplicação no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. De. **Potencial de utilização do resíduo “Carepa de Aço” na fabricação de blocos de concreto**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 02 abr. 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/83>. Acesso em: 18 set. 2021.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: PINI, 2012.
- ASDRUBALI, F. D’ALESSANDRO, F. SCHIAVONI, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, jun. 2015. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068. Acesso em: 13 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Requisitos. 5. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Métodos de ensaio. 6. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - Desempenho: Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BARROS JUNIOR, A. R. Alvenaria estrutural e alvenaria tradicional – vantagens e desvantagens no empreendimento. **Revista Especialize**, v. 01, n. 14, 2017. ISSN 2179-5568. Disponível em: <https://docplayer.com.br/68370336-Alvenaria-estrutural-e-alvenaria-tradicional-vantagens-e-desvantagens-no-empreendimento.html>. Acesso em: 17 out. 2021.
- BERGMAN, T. L. LAVINE, A. S. INCROPERA, F. P. DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- BLASIUS, J. F. dos S. **Avaliação do desempenho térmico de sistemas de envoltórias acopladas a trocador de calor subterrâneo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2020, 109 p. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/70768>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- BUSNELLO, E. C. Aprimoramento tecnológico e contribuições na execução de ensaios de bloco de concreto para redução da dispersão de resultados. *In*: SEMINÁRIO DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO, 2011, São Paulo, **Apresentação** [...]. São Paulo, SP. Disponível em: <https://www.blocobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-Emerson-Cremm-Busnello.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.
- BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de concentração em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-16102007_111106/publico/2007DO_AlexandreMButtler.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.
- COSTA, E. C. **Física aplicada à construção civil**: conforto térmico. 4. ed., São Paulo, 2003.
- GRAF, H. F. **Transmitância térmica [e] energia incorporada na arquitetura**: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma da NBR 12721. 2011. Dissertação (Mestrado - Setor de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. 160 p. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/28001>. Acesso em: 14 out. 2021.
- ISAIA, G. C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.
- KIBERT, C. J. **Edificações sustentáveis**: projeto, construção e operação. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2020.
- MASCARÓ, J. L. MASCARÓ, L. **Uso racional de energia em edificações**: Isolamento térmico. São Paulo: Agência para Aplicação de Energia, 1988.
- MATTANA, L.; LIBRELOTTO, L. I. Comparação entre os processos de produção de blocos de concreto convencionais e de blocos de concreto com adição de resíduos, através da Análise do Ciclo de Vida Energético. *In*: IV Encontro de Sustentabilidade em Projeto. 2016, Florianópolis, SC. **Anais**

- [...]. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. p. 727-738. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/222465/ANAIS-ENSUS-COMPLETO%202016-727-738.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 set. 2021.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- MOHAMAD, G.; BAVASTRI, E. Y. N.; KIRCHHOF, L. D.; RIZZATTI, E.; JANTSCH, A. C. A. Desenvolvimento de uma nova concepção geométrica para os blocos de concretos não modulares para alvenaria estrutural. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 127-152, 2015. ISSN 1678-8621. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/dVdvBD463MwxyySvGwZJsf/?lang=pt>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- NETO, C. B. **Transferência de Calor (TCL)**. Volume 1. São José, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. Apostila. Disponível em: https://wiki.sj.ufsc.edu.br/wiki/images/d/d7/Apostila_TCL_2010_Parte_2.pdf. Acesso em: 25 out. 2021.
- OLIVEIRA, K. E. C. **Estudo Comparativo de desempenho mecânico e térmico entre Bloco Cerâmico e Bloco de Concreto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, 2019. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/6450>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- PARSEKIAN, G. A.; CHRISTOFORO, A. L.; MAZZÚ, A. D. E.; DALFRÉ, G. M. Humidity and specimen preparation procedure: influence on compressive strength of concrete blocks. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000200010>. Acesso em: 15 maio 2021.
- PRÉ-MOLDADOS, T. **Blocos de concreto**. Limeira, Tatu Pré-Moldados Ltda, 2010.
- PRIMO, A. D. O. **Estudo da durabilidade de materiais e sistemas construtivos**: Sistema ETICS. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, jul. 2008. Disponível em: <https://repositorio.aberto.up.pt/handle/10216/59584/>. Acesso em: 05 ago. 2021.
- SANTOS, J. C. P. dos; KOTHE, K. K.; MOHAMAD, G.; VAGUETTI, M. A. o.; RIZZATTI, E. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1030-1047, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150004.0106>. Acesso em: 20 out. 2021.
- SILVA, A. Flávia da. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural**. Ilha Solteira, 2007. 109 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Estruturas. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91473/silva_af_me_ilha.pdf?sequence=1. Acesso em: 18 out. 2021.
- SPINELLI, R.; CARNEIRO, L.; PASQUALI, P. H. D.A.; PITOL, A. F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Isolamento Térmico de Fachadas com Utilização de Elemento Vegetal. **Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge**. Florianópolis, 2019.
- TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Editora Pini, 2010. 183 p.
- ZHANG, C.; QIU, J.; GUAN, X.; HOU, P.; HUANG, W. Research on thermal performance of external thermal insulation composite concrete wall block. **International Journal of Heat and Technology**, v. 36, n. 1, p. 277-281. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18280/ijht.360137>. Acesso em: 04 nov. 2021.

