

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAREDES DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA

Marcos Martinez Silvano¹, Reila Vargas Velasco², Beatriz Temtemples Carvalho³

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

¹silvano@fau.ufrj.br, ³beatriz.carvalho@fau.ufrj.br

²Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), reila@fau.ufrj.br

Palavras-chave: construção com terra, BTC, resíduo cerâmico, análise experimental, desempenho térmico

Resumo

A arquitetura de terra se destaca pela sua potencialidade em proporcionar maior conforto ambiental e eficiência energética ao ambiente construído. Para a produção de elementos construtivos, tais como os blocos de terra comprimida (BTC), é normalmente necessário realizar sua estabilização utilizando aglomerantes, em geral industrializados, como, por exemplo, o cimento Portland. Tais materiais podem alterar não apenas as propriedades mecânicas como também a propriedades térmicas dos blocos. O objetivo desse trabalho é realizar uma análise experimental comparativa do comportamento térmico de paredes construídas utilizando blocos de terra comprimidos produzidos em prensa manual com diferentes composições de solo-cimento e solo-cal-resíduo cerâmico visando compreender a influência dos diferentes materiais utilizados. Os ensaios experimentais foram realizados através da produção de paredes de dimensões de 0,8 x 0,6 metros, construídas com blocos terra comprimida, produzidos com diferentes composições de materiais (solo, cimento, cal e resíduo cerâmico). O comportamento térmico foi avaliado com a utilização de uma câmara com isolamento térmico, onde uma das faces do painel de alvenaria foi submetida à ação do calor por meio de um módulo de aquecimento. O monitoramento da temperatura foi realizado por meio de sensores fixados na face aquecida e na face oposta das paredes, além de sensores no interior da câmara e no ambiente externo. Os resultados obtidos com as paredes produzidas com blocos de terra comprimida foram comparados com os resultados obtidos com paredes produzidas com tijolos cerâmicos e maciços. Através das curvas de temperatura x tempo foi possível identificar a variação no comportamento térmico com a combinação da terra com materiais variados, bem como a comparação com paredes convencionais.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com os dados apresentados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), no ano de 2022, as emissões de CO₂ relacionadas ao setor da construção civil atingiram o maior nível já registrado na história (UNEP, 2021), tornando-se um dos setores industriais que mais geram impactos negativos ao meio ambiente.

Estima-se que a energia incorporada de edifício, com uma vida útil de 50 anos, construído com técnicas e materiais convencionais, corresponde de 6% a 20% da energia total consumida durante todo o seu ciclo de vida (Mateus et al., 2007). Já com relação aos custos ambientais para a operação do parque edificado, estima-se que esse consumo é da ordem de 35% da energia global. Segundo o balanço energético nacional (EPE, 2021), entre os anos de 2005 e 2018, o consumo de energia elétrica por residência aumentou 1,7% ao ano, sendo que os edifícios residenciais, em 2021, foram responsáveis pelo consumo de 26% de toda a eletricidade brasileira.

O alto consumo de energia elétrica relatado no parágrafo anterior, resulta de um baixo desempenho termo energético das construções que pode ser provocado por fatores, a saber: (a) inadequação do desenho arquitetônico e (b) a escolha de materiais de construção incompatíveis às condições climáticas locais. Com relação ao desenho arquitetônico, segundo Olgay e Olgay (1973), a concepção de um edifício deve estar relacionada diretamente às características locais, buscando alcançar condições de conforto ambiental ideais através da

aplicação de estratégias passivas de condicionamento. Acerca dos materiais de construção, Olgyay e Olgyay (1973) apontam que as propriedades térmicas como, por exemplo, a capacidade de térmica ou condutividade térmica, influenciam diretamente na eficiência energética da edificação e no conforto do ambiente construído, e, portanto, ressalta-se que a escolha adequada dos materiais de construção desempenha um papel fundamental no custo energético das edificações durante sua fase operacional.

Nesse contexto, torna-se relevante a busca por materiais e práticas construtivas que contribuam para o aumento do conforto ambiental e para a elevação dos níveis de eficiência energética das edificações. Segundo Mateus et al. (2007), a escolha de materiais não convencionais, como a terra, bambu e madeira, e a adoção de processos construtivos tradicionais, como alvenarias de adobe, as paredes de taipa de pilão e os painéis de pau a pique, podem reduzir, significativamente a energia incorporada e operacional de um edifício.

A título de esclarecimento, o termo “emissões incorporadas” está relacionado ao impacto ambiental provocado pelas emissões de carbono vinculadas a um determinado material ao longo de seu ciclo de vida, também chamadas de “carbono incorporado”. O carbono incorporado nas edificações é oriundo das fases iniciais do ciclo de vida do produto, tendo em vista o impacto ambiental provocado pela cadeia produtiva dos materiais de construção. As emissões de carbono relativas à fase do produto são consideradas emissões imediatas e irreversíveis pois seus impactos não podem ser mitigados durante a vida dos edifícios (UNEP, 2021). Diferentemente ocorre com o “carbono operacional” que é emitido pelo funcionamento anual do edifício, e está relacionado, principalmente, com o consumo de eletricidade, aquecimento e resfriamento, por exemplo.

De acordo com Minke (2015), a terra possui grande potencial construtivo e oferece inúmeras vantagens comprovadas em relação a outros materiais. Ela apresenta uma boa capacidade de armazenamento térmico e por isso permite o equilíbrio da temperatura interna sendo eficaz tanto em climas quentes como frios contribuindo para a eficácia energética das edificações em todos os climas. Suas propriedades proporcionam a regulação da umidade do ambiente construído por conta da sua capacidade de absorver a umidade em excesso presente no ar. Além disso, a terra é um material que apresenta boa reversibilidade construtiva além de possibilitar a economia de água e energia nos processos construtivos (Minke, 2015).

Investigar sobre a performance termo energética das construções com terra torna-se bastante relevante tendo em vista o contexto de crise ambiental que o mundo vem enfrentando nas últimas décadas. Nos últimos anos, houve um aumento nas investigações acerca do desempenho das construções com terra e de que forma essas construções contribuem para a diminuição dos impactos ambientais.

Teixeira et al. (2020) realizam uma investigação experimental para avaliar a resistência mecânica, durabilidade e desempenho térmico de blocos de terra comprimida (BTC) produzidos em Portugal. Os resultados apontam que a utilização de terra com uma granulometria superior às recomendadas pelas normas internacionais provoca um efeito significativo com relação a porosidade, absorção de água e desempenho térmico, existindo, portanto, uma relação entre o preparo e a compactação da terra com as propriedades dos BTC.

Kyriakidis et al. (2018) avaliaram o desempenho térmico e ambiental de alguns sistemas de vedações verticais. Realizaram, portanto, uma avaliação comparativa entre diferentes sistemas de alvenaria tais como (a) alvenaria autoportante de adobe, (b) painéis de drywall e (c) alvenaria de tijolo furado. Os autores concluem que os painéis de drywall e alvenaria de tijolo furado apresentam um coeficiente de transferência de calor superior às alvenarias de adobe que, por outro lado, apresentam melhor inércia térmica, uma vez que os atrasos térmicos são maiores. Outro ponto relevante é que, apesar de os sistemas de vedação apresentarem um melhor desempenho térmico ao receberem os sistemas de contra parede, esses acabam apresentando os maiores valores de energia incorporada, já que, o sistema recebe, por m², uma maior quantidade de material que apresenta altos valores de carbono incorporado.

Narayanaswamy et al. (2020) além de avaliarem o desempenho mecânico, também optaram por realizar uma avaliação das propriedades térmicas dos materiais, sendo avaliadas a condutividade térmica e a capacidade térmica dos corpos de prova de taipa de pilão e BTC. O programa experimental considerou o estudo prévio do comportamento mecânico dos sistemas a partir da incorporação de rocha granítica moída, escória de alto-forno e resíduo de construção e demolição (RDC) para, então, serem realizadas as análises térmicas. Os autores apontam que, em geral, condutividades térmicas para os corpos de prova de taipa de pilão foram 9% maiores que os de BTC para quase todos os estabilizantes incorporados. Com relação ao desempenho ambiental, os resultados apontam que o solo apresenta um valor de carbono incorporado muito baixo comparado aos outros materiais e sem dúvida, que a fase de queima dos blocos cerâmicos é aquela que apresenta os maiores resultados de energia incorporada nos blocos cerâmicos, pois precisa da queima de combustível para aquecer os fornos de cozimento.

A presente pesquisa é focada em uma investigação experimental para avaliar a condutividade térmica em alvenarias com diferentes tipos de blocos, a saber: (a) blocos de terra comprimida industrializado, (b) blocos de terra comprimida produzidos em laboratório e (c) blocos de cerâmica industrializado. Este estudo tem como objetivo analisar o desempenho termo energético dos sistemas de paredes citados e avaliar o seu potencial para ser usado na construção de edifícios tendo em vista a necessidade de minimização dos impactos ambientais.

2 MÉTODO DA ANÁLISE EXPERIMENTAL

2.1 Painéis de alvenaria

Foram avaliados três tipos de paredes de alvenaria denominadas como alvenaria de blocos de terra comprimida industrializado com cimento Portland (BTC_Ind), alvenaria de blocos de terra comprimida produzidos em laboratório com cal e resíduo cerâmico (BTC_Lab) e alvenaria de blocos industrializados de cerâmica (BC_Ind).

Para a realização dos ensaios experimentais, cada parede foi montada em plataforma móvel rolante, com rodízios, conforme ilustram as figuras 1 e 2. A figura 1a ilustra o início com o assentamento da primeira fiada de BTCs e a figura 1 b, a parede concluída, ainda sem o posicionamento dos sensores. A figura 2a ilustra, a parede BTC_Ind com a visualização dos sensores em uma das faces e a figura 2b, a parede BC_Ind no interior da câmara de ensaio, com os sensores localizados em uma das faces.

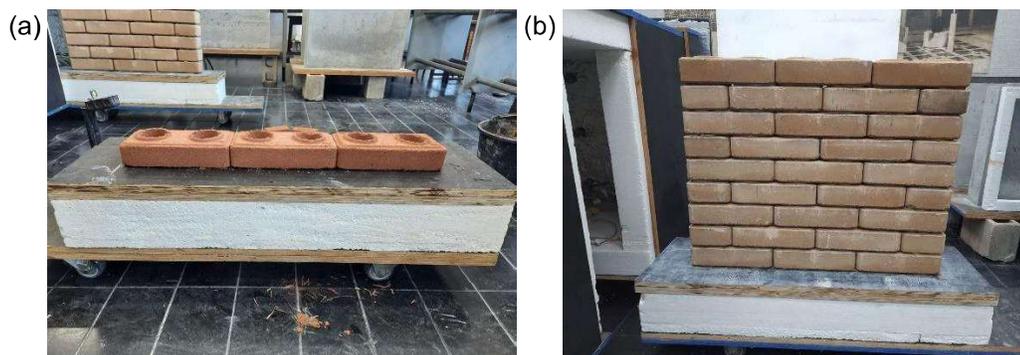


Figura 1 – Parede experimental de BTC: (a) produção da primeira fiada; (b) parede concluída

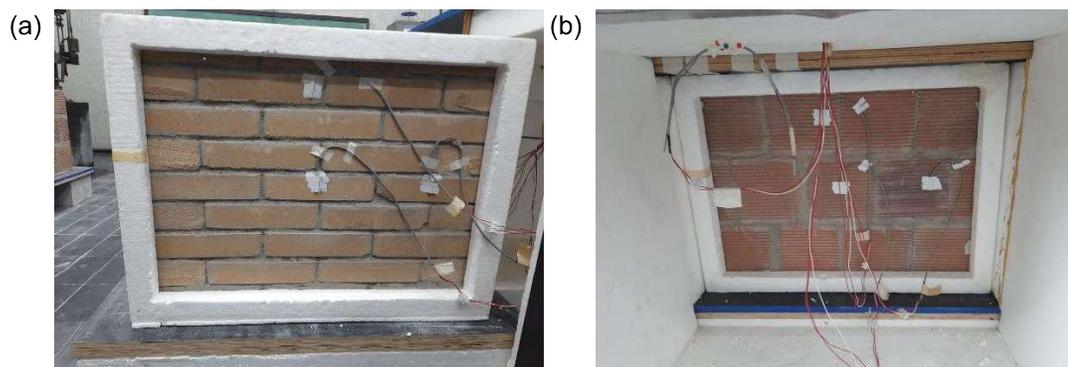


Figura 2 – Paredes com sensores: a) BTC_Ind; b) BC_Ind

2.2 Descrição da câmara térmica

Os ensaios previstos nessa etapa foram realizados em uma câmara térmica projetada e construída para o desenvolvimento do trabalho de Almeida (2019). A câmara, de possui dimensões iguais a 1,42x1,04x0,90m. Foi fabricada com placas de compensado naval e isolada com placas de poliestireno expandido (EPS) de alta densidade, com 10cm de espessura. A câmara é dividida em três partes (figura 3): o suporte com rodízio dos painéis (figura 3-a); diferentes compartimentos da câmara (figura 3-b); e o módulo de aquecimento (figura 3-c), que é acoplado lateralmente à câmara. Neste módulo podem ser acopladas até 12 lâmpadas. Para o ensaio, foram utilizadas duas lâmpadas halógenas de 40W. A fonte de calor encontra-se a uma distância de 65 cm em relação as paredes utilizadas nos ensaios.

Em relação ao suporte com rodízio, o mesmo é inserido, internamente, na região central da câmara (figura 4), funcionando como uma divisória, separando assim a câmara em dois ambientes, sendo um deles para simulação do meio externo, onde está localizado o módulo de aquecimento, e o outro simulando o ambiente interno de uma edificação. A base do suporte com rodízio é composta por placas de compensado naval, placa de EPS e rodízios para que se mantenha a altura relativa entre aos demais compartimentos da câmara. Os setores da câmara são apresentados na figura 5.

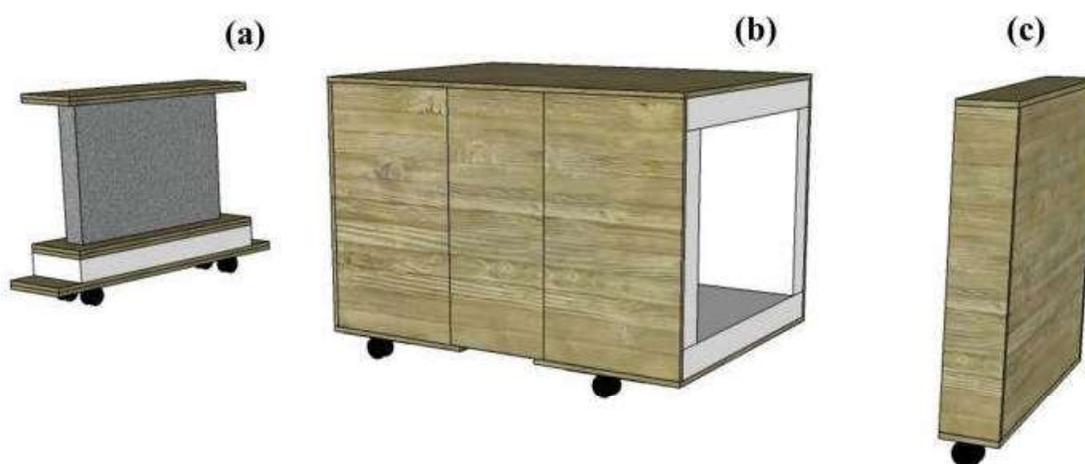


Figura 3 - Câmara térmica: (a) Carrinho para suporte dos Painéis; (b) Câmara; (c) Módulo de aquecimento (Almeida, 2019)



Figura 4 – Câmara completa (Almeida, 2019)

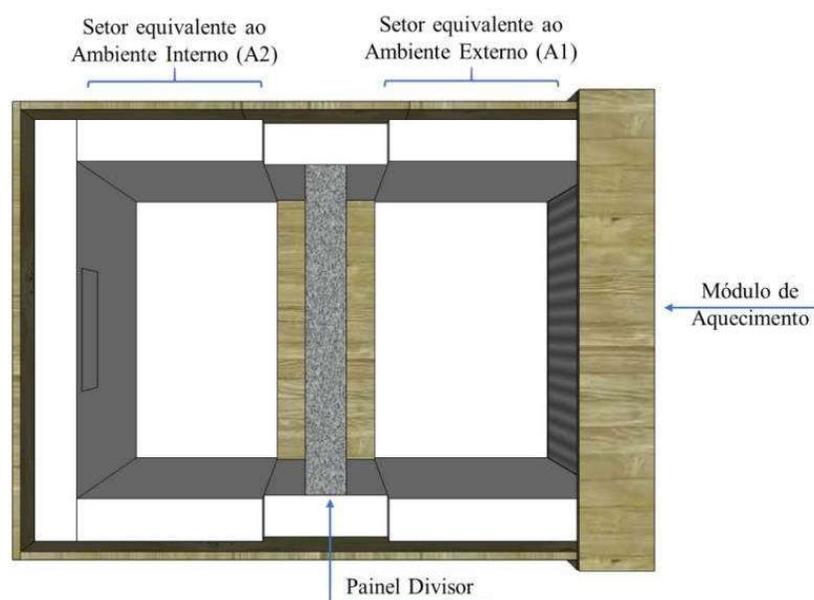


Figura 5 – Setores da câmara térmica, módulo de aquecimento e painel divisor (Almeida, 2019)

2.3 Aquisição de dados

Os ensaios ocorreram de forma que os painéis fossem submetidos à ação do calor por meio do módulo de aquecimento. Foram usados 3 sensores de temperatura em cada face dos painéis (figura 2), além de sensores de temperatura do ar ambiente nos dois setores do interior da câmara e, também, no ambiente externo à câmara (figura 6). A câmara foi mantida fechada e com o módulo de aquecimento desligado nos primeiros 15 minutos para registrar um equilíbrio inicial de temperatura. Após esse tempo, o módulo de aquecimento foi ligado e as lâmpadas foram mantidas acesas em sua potência máxima (40w), sendo desligadas após 12 horas de aferição. Após isso, o ensaio durou mais cerca de 12 horas, de modo que se registrasse o resfriamento da câmara. Os dados de temperatura foram obtidos por meio de um condicionador de sinais. Uma câmera termográfica foi utilizada para registrar a temperatura e distribuição do calor na face do painel, além de ser empregada para verificação das trocas de calor entre a câmara e o meio externo.

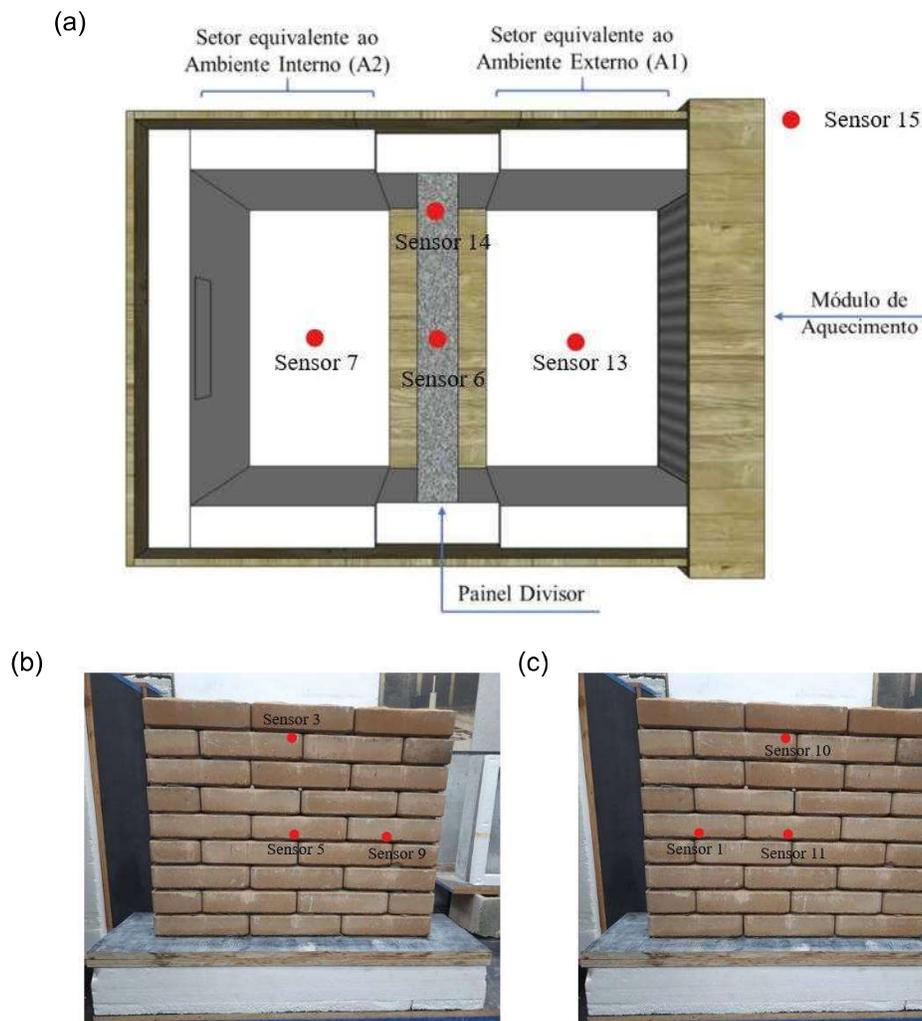


Figura 6 – Posicionamento dos sensores: a) interior da câmara, b e c) face externa

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos dos ensaios realizados na câmara térmica estão ilustrados nas figuras 7 a 10. A figura 7 apresenta as curvas temperatura x tempo do termômetro (sensor 13) posicionado no ambiente que recebe diretamente a fonte de calor (ambiente externo A1), conforme indicado na figura 6. A figura 8 apresenta as curvas temperatura x tempo obtidas por meio dos sensores posicionados na face do painel voltada para o ambiente que recebe a fonte de calor (via módulo de aquecimento). Como em cada face de painel foram posicionados 3 termômetros, as curvas apresentadas na figura 8 representam a média das curvas das leituras obtidas pelos sensores 3, 5 e 9, conforme indicado na figura 6. A tabela 1 apresenta os valores máximos de temperatura obtidos nos ambientes A1 e A2, bem como nas duas faces das paredes (face voltada para o ambiente interno e face voltada para o ambiente externo). Tem-se, também os valores obtidos pelos sensores posicionados no interior dos orifícios dos blocos de terra comprimida (BTC_Ind e BTC_Lab).

Com base nas análises individuais de cada parede, tanto dos ambientes externos quanto das faces voltadas para o ambiente aquecido, tem-se que as paredes construídas com BTC receberam maior incidência de temperatura em relação à parede construída com bloco cerâmico (BC_Ind). A diferença de temperatura do ambiente externo para a face interna nas paredes de BTC_Ind e BTC_Lab foram de 6,1°C e 6,4°C, respectivamente, enquanto na parede BC_Ind foi igual a 4,6°C. Entretanto, para melhor avaliar a influência de cada parede, tem-se a figura 9 que apresenta as curvas temperatura x tempo, obtidas pelas leituras dos sensores posicionadas nas faces da parede voltadas para o ambiente interno (A2).

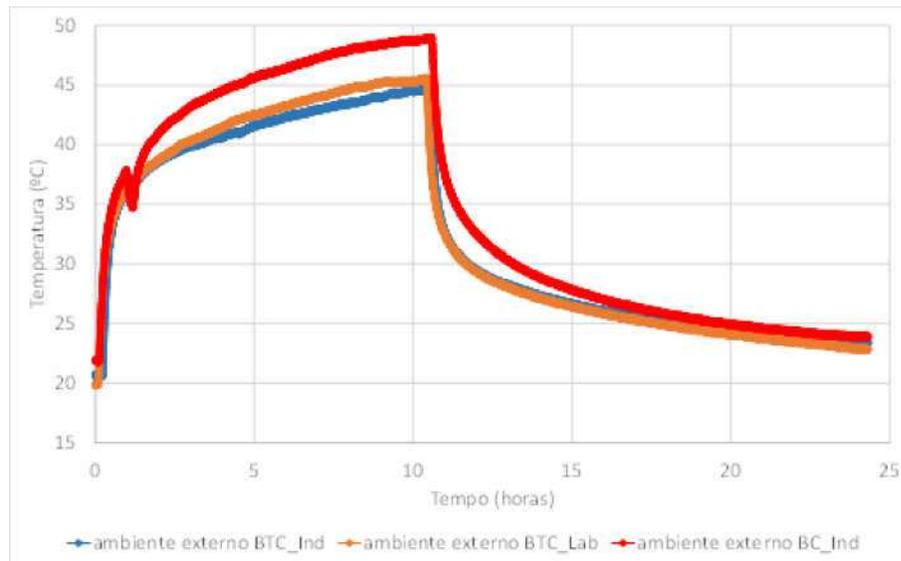


Figura 7 – Curvas temperaturas do ambiente externo (A1)

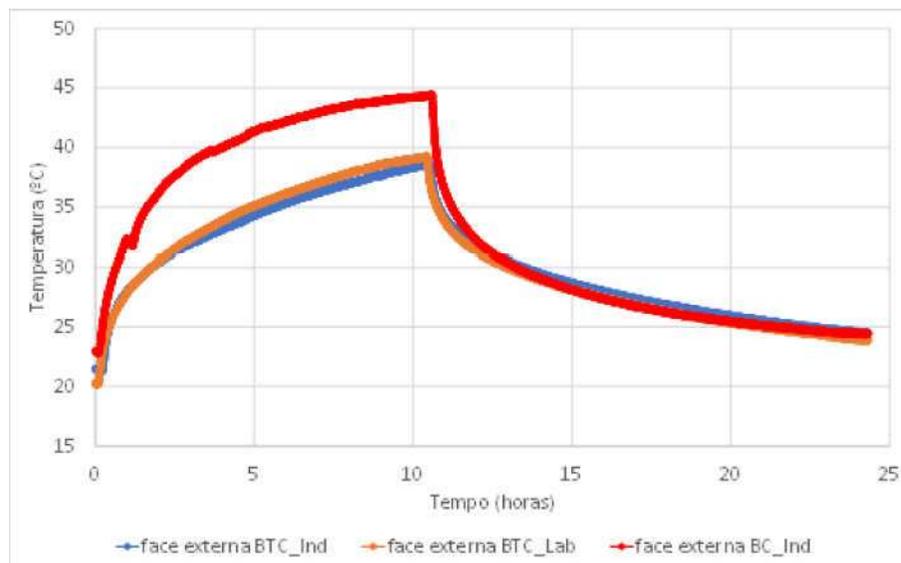


Figura 8 – Curvas temperaturas das faces externas

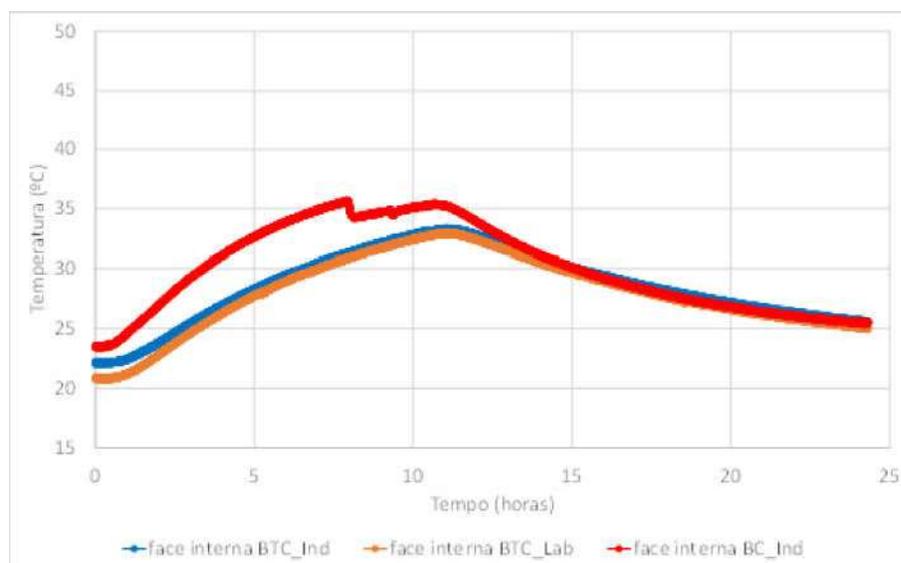


Figura 9 – Curvas temperaturas das faces internas

Tabela 1 – Temperaturas máximas nos ambientes e nas paredes

Ambientes	Tipo de parede		
	BTC_Ind	BTC_Lab	BC_Ind
Face externa	38,7 °C	39,3 °C	44,5 °C
Ambiente externo (A1)	44,8 °C	45,7 °C	49,0 °C
Face interna	33,4 °C	33,1 °C	35,8 °C
Ambiente interno (A2)	31,2 °C	31,4 °C	34,9 °C
Furos	34,3 °C	34,8 °C	-

De acordo com as figuras 8 e 9 e com os valores da tabela 1, observa-se que a parede BC_Ind foi a que apresentou melhor tendência de isolamento térmico, uma vez que a diferença de temperatura entre a face externa e a face interna foi de 8,7°C. Em relação às paredes de BTC, o melhor desempenho foi para a parede BTC_Lab cuja diferença de temperatura entre a face externa e a face interna foi de 6,2°C, enquanto a diferença de temperatura encontrada para a parede BTC_Ind foi igual a 5,3°C, ou seja, o ganho mostrado pela parede BTC_Lab em relação à parede BTC_Ind foi em torno de 1°C. Quando se faz uma análise em relação ao bloco cerâmico, este tem um ganho superior de 3,5°C em relação à parede BTC_Ind e de 2,5°C em relação à parede BTC_Lab.

A figura 10 ilustra as curvas temperatura x tempo dos sensores (6 e 14) posicionados no interior dos orifícios das paredes de BTC. Independentemente do tipo de BTC, não houve variação expressiva de temperatura, ficando na faixa de temperatura máxima de 34,3 a 34,8°C.

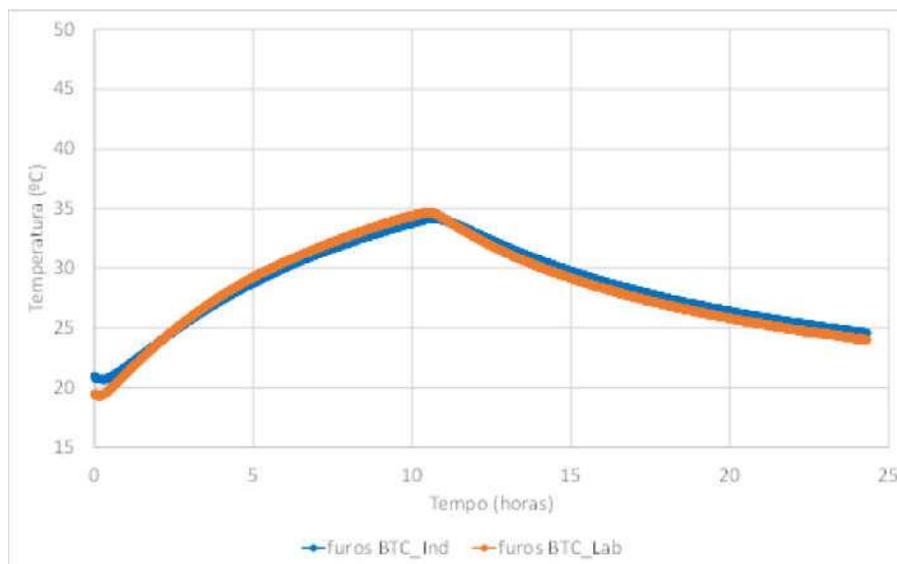


Figura 10 – Curvas temperaturas dos orifícios das paredes de BTC

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho buscou analisar o desempenho térmico de três sistemas de paredes de alvenaria construídos com três tipos diferentes de blocos, a saber: (a) alvenaria de blocos de terra comprimida industrializado com cimento Portland (BTC-Ind), (b) alvenaria de blocos de terra comprimida produzidos em laboratório com cal e resíduo cerâmico (BTC-Lab) e (c) alvenaria de blocos industrializados de cerâmica (BC-Ind). A seguir serão apresentados alguns apontamentos e reflexões sobre os resultados obtidos a partir do programa experimental estabelecido

Quando se faz uma análise apenas no lado externo das paredes, a parede BTC_Lab foi a que apresentou maior variação de temperatura e, portanto, menor temperatura absorvida, para um mesmo intervalo de tempo, uma vez que a diferença de temperatura do ambiente externo para a face externa é maior para a parede BTC-Lab (6,4°C), em relação às demais paredes (BTC_Ind: 6,1°C e BC_Ind: 4,5°C).

Entretanto, quando se analisa o quanto uma parede consegue transferir mais ou menos temperatura de uma face para outra, os resultados mostram que a parede BC_Ind apresenta maior tendência de capacidade de isolamento térmico, uma vez que a diferença de temperatura da face externa para a face externa é de 8,7°C, enquanto esta diferença para a parede BTC_Lab é igual a 6,2°C e para a parede BTC_Ind é igual a 5,3°C. Tal comportamento também é observado quando essas diferenças de temperatura observadas são analisadas tendo como base a temperatura do ambiente externo. Neste aspecto, a parede BC_Ind apresentou capacidade de isolamento térmico da ordem de 17,8% e para as paredes BTC_Lab e BTC_Ind esses percentuais foram da ordem de 15,8% e 11,8%, respectivamente.

A câmara térmica mostrou-se eficiente para a proposta do trabalho, obtendo resultados que permitiram mostrar as diferenças dos materiais constituintes das paredes. É importante destacar, também, que além dos resultados da parede BTC_Lab apresentar melhores características isolantes, em relação à parede BTC_Ind, ela tem em sua constituição o resíduo cerâmico que, junto com o solo, confere características de sustentabilidade ao produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, T. (2019). A influência dos materiais de sistemas de vedações verticais no desempenho termo-energético de edificações: habitações de interesse social no Rio de Janeiro (Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. ed.). Rio de Janeiro.

EPE (2021). Balanço energético nacional 2021: Ano base 2020. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética.

Kyriakidis, A.; Michael, A.; Illampas, R.; Charmpis, D. (2018). Thermal performance and embodied energy of standard and retrofitted wall systems encountered in Southern Europe. *Energy*, pp. 1016-1027.

Mateus, R.; Silva, S.; Bragança, L. A.; Silva, P. (2007). Sustainability assessment of an energy efficient optimized solution. Em M. Santamouris & P. Wouters, *Proceedings of the 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century* (pp. 636–640.). Santamouris, M., Wouters, P. (Eds.).

Minke, G. (2015). *Manual de construção em terra: uma arquitetura sustentável*. São Paulo: B4.

Narayanaswamy, A.; Walker, P.; Venkatarama Reddy B.V.; Heath, A.; Maskell, D. (2020). Mechanical and thermal properties, and comparative life-cycle impacts, of stabilised earth building products. *Construction and Building Materials*.

Olgay, V.; Olgay, A. (1973). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. New Jersey: Princeton University Press.

Teixeira, E.; Machado, G.; Junior, A.; Guarnier, C.; Fernandes, J.; Silva, S.; Mateus, R. (2020). Mechanical and thermal performance characterisation of compressed earth blocks. *Energies*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/en13112978>.

UNEP (2021). *2021 Global status report for buildings and construction: towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Nairobi: United Nations Environment Programme. disponível em <https://www.unep.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction>

AUTORES

Marcos Martinez Silvano, doutor em engenharia civil (PEC-COPPE/UFRJ, 2003), engenheiro civil (UFBA, 1997), professor e chefe do Departamento de Tecnologia da Construção da FAU/UFRJ, professor colaborador do PROARQ-FAU/UFRJ e coordenador do Laboratório de

Ensaio em Materiais de Construção e Solos da FAU/UFRJ. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/228307890654884>

Reila Vargas Velasco, doutora em engenharia civil (PEC-COPPE/UFRJ 2008), engenheira civil (UFJF, 1999), professora associada do Departamento de Estruturas, Diretora Adjunta de Pesquisa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2018 a 2021). Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/0500653771427979>

Beatriz Temtemples de Carvalho, atualmente é aluna de doutorado no Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU/UFRJ), mestre em arquitetura e sustentabilidade (PROARQ-FAU/UFRJ, 2019), arquiteta e urbanista (FAU/UFRJ, 2017), professora substituta no departamento de tecnologia da construção da FAU/UFRJ e professora contratada no curso de arquitetura e urbanismo no Centro Universitário Serra dos Órgãos (UNIFESO). Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/0535676382976571>