XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS ALVENARIAS DE UMA EDIFICAÇÃO EM REGIÃO DE CLIMA QUENTE E SECO[1]

MORAES, Marcio R. (1); SANTOS, Evafran M. dos (2); RAELE, Marcus P. (3)

(1) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/USP, marcio.rm@usp.br
(2) Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos ITPAC, evaffran@gmail.com
(3) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/USP, mpraele@ipen.br

RESUMO

Em climas quentes e secos, como em parte das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil, a intensa radiação solar nas edificações aumenta o consumo de energia elétrica com ar condicionado, principalmente em construções com vedações de baixa resistência térmica. Neste cenário uma residência bioclimática foi construída, aplicando diferentes composições de paredes para avaliar suas propriedades térmicas em um cenário real. Este trabalho avaliou as temperaturas internas e externas de cada tipo de composição de parede durante um ano. Outros parâmetros físicos, como umidade, irradiância solar e refletância da tinta também foram medidos e analisados. Os custos e a economia foram calculados em um breve estudo de viabilidade, apontando o isolamento térmico com Poliestireno Expandido (EPS) como uma solução acessível para o problema de calor causado pela luz solar.

Palavras-chave: *Arquitetura bioclimática. Desempenho térmico. Eficiência energética.*

ABSTRACT

In hot and dry climates, such as found in the part of the north, northeast and central-west of Brazil, intense sunlight radiation on buildings increases the consumption of electricity due to air conditioning, especially in constructions with low thermal resistance envelope. In this scenario, a bioclimatic residence was built comprising walls with different compositions, in order to evaluate their thermal properties in a real scenario. This work evaluated the internal and external temperatures of each type of wall composition during one year. Other physical parameters, such as humidity, solar irradiance, and paint reflectance were also measured and analyzed. Costs and savings were calculated in a brief viability study, pointing the thermal insulation with Expanded Polystyrene (EPS) as an accessible solution to the heat problem caused by sunlight.

Keywords*: Bioclimatic architecture. Thermal performance. Energy efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

Discussões sobre o desenvolvimento sustentável tiveram início na Europa na década de 70, temendo uma crise energética causada pelo elevado consumo de energia e combustíveis fósseis (Oliveira, 2016). No Brasil, o consumo de energia elétrica cresceu 100% no período entre os anos 1995 e 2019. As regiões norte, nordeste e centro-oeste

[1] MORAES, Marcio R.; SANTOS, Evafran M. dos; RAELE, Marcus P. Avaliação do desempenho térmico das alvenarias de uma edificação em região de clima quente e seco. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

foram responsáveis por 32% do consumo de energia elétrica no país em 2018 (EPE, 2020), as temperaturas dessas regiões são constantemente altas, as máximas podem chegar a 40ºC (FREITAS, 2016), o que por consequência eleva o consumo de energia elétrica com a climatização dos ambientes.

Em 2005 a ABNT publicou a revisão da NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações com diretrizes para projetos de arquitetura (ABNT, 2005). A norma, entre outras estratégias, define especificações técnicas para a composição da envoltória em edificações de acordo com o clima regional. Em geral, casos de desconforto por calor, comuns nas regiões ao norte do país, são causados pela intensa insolação, para essas regiões é determinado o uso de paredes externas 'pesadas', compostas por alvenarias de levantamento duplo com elevado atraso térmico.

1.1 Desempenho térmico nas edificações

Devido aos avanços tecnológicos e custos mais acessíveis dos equipamentos, as análises quantitativas de desempenho térmico foram ao longo do tempo ficando cada vez mais factíveis (PRIYA, 2012). Na base de dados Web of Science, nos últimos 5 anos as citações do termo "bioclimatic architecture" passaram de 10 para 45 citações ao ano. No cenário brasileiro pesquisas em nível acadêmico relacionadas ao conforto térmico tiveram início na década de 80. Em 1997 Lamberts *et al*. publicaram um importante trabalho que embasou o zoneamento bioclimático brasileiro e várias outras pesquisas na área. Em seguida foram normatizados valores de referência para as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nas composições envoltórias das edificações, a tabela 1 contém as especificações ideais para as paredes externas das edificações nas zonas bioclimáticas 4, 6 e 7, parte das regiões norte, nordeste e centro-oeste do país (ABNT, 2005).

Tabela 1: Diretrizes da NBR 15.220-3 para paredes externas na Zona Biolcimática 7.

Vedações externas	Parede: Pesada	Transmitância térmica	U ≤ 2,20 W/m².K
		Atraso térmico	$\varphi \geq 6,5$ h
		Fator solar	FSo ≤ 3,5

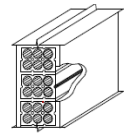
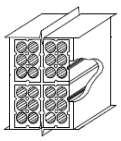
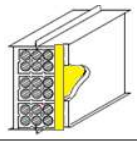
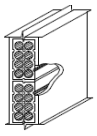
Fonte: Os autores

Pirró (2014) ressaltou a importância da composição da envoltória como estratégia para a redução do consumo energético da edificação. Novais *et al.* (2014) publicaram os resultados de uma pesquisa relacionando o fluxo de calor e a temperatura dos ambientes, comparando os desempenhos térmicos de alvenarias de tijolos furados e painéis de Poliestireno Expandido (EPS), com redução significativa do fluxo de energia e da temperatura nos ambientes. Desde então muitas pesquisas buscam soluções para aumentar o desempenho térmico em edificações.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando as diretrizes normativas foi construída uma edificação em Porto Nacional-TO, cidade pertencente a zona bioclimática 7 (ABNT, 2005). A residência possui quatro composições diferentes de paredes externas utilizando materiais disponíveis na região, visando colaborar para o conforto térmico passivo. As configurações utilizadas na composição das paredes foram:

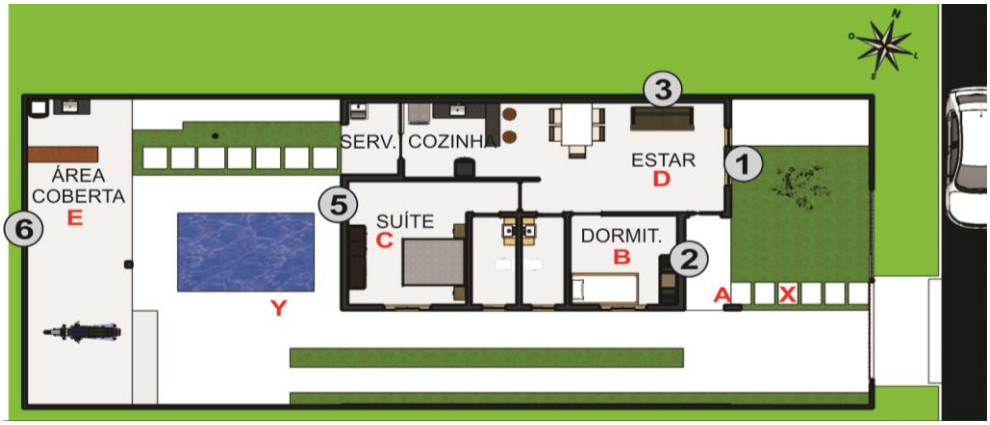
Tabela 2: Composição das paredes, resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico.

TIPO	ILUSTRAÇÃO	DESCRIÇÃO	Rt	U w/m².K	C kJ/m².K	φ horas
PAREDE 1 e 2 Tijolos deitados, cor clara.		Alvenaria de tijolos de 6 furos, assentados na maior dimensão. Dimensões do tijolo: 9x14x24 cm. Espessura total da parede: 19 cm.	0,48	2,1	162,3	3,8
PAREDE 3 Dupla com tijolos em pé.		Alvenaria dupla de tijolos de 6 furos, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9x14x24 cm. Espessura total da parede: 24 cm.	0,60	1,7	180,5	4,9
PAREDE 5 Tijolos deitados e EPS		Alvenaria de tijolos de 6 furos assentados na maior dimensão e painel de EPS no lado externo. Dimensões do tijolo: 9x14x24 cm. Espessura total da parede: 23 cm.	1,47	0,7	164,2	8,0
PAREDE 6 Tijolos em pé.		Alvenaria de tijolos de 8 furos, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9x14x24 cm. Espessura total da parede: 14 cm.	0,41	2,4	130,3	3,4

Fonte: Os autores

A edificação térrea possui 110 m² de área construída em um terreno regular, fechado por muros em todos os lados exceto na frente, lado leste, onde estão os portões de acesso como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Planta da edificação e ocupação do terreno.



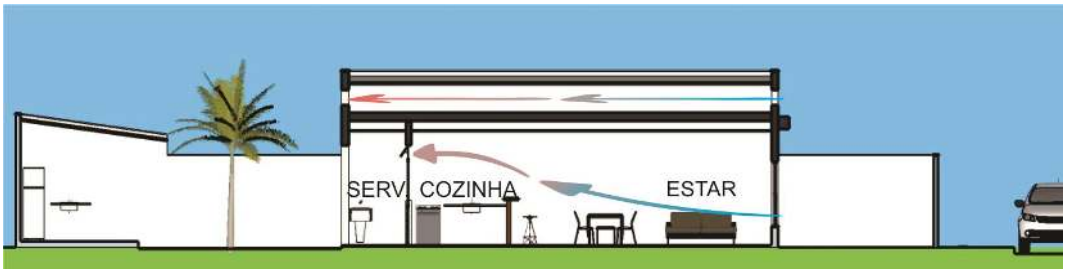
Fonte: Os autores

A definição das cores considerou o fator solar para minimizar os ganhos de calor, as superfícies externas das paredes, esquadrias e da cobertura foram pintadas com cores claras, branco ou bege, e apenas uma parede foi pintada na cor marrom. O isolamento térmico com EPS foi uma opção para a redução do fluxo de calor do ambiente externo para o interno, também conhecido como isopor, possui 97% de ar em sua composição, transmitância térmica de aproximadamente 0,04 w/m²K e associado a outros materiais agrega suas propriedades à composição.

Outras estratégias aplicadas ao projeto foram: ventilação da cobertura através de elementos vazados na platibanda; ventilação seletiva e convecção natural; sombreamento das aberturas; umidificação do ar através da vegetação no entorno e a água da piscina para o resfriamento evaporativo; e aplicação do EPS também nas telhas sanduíches e enchimento das lajes, que somados ao forro de gesso

conferem à cobertura transmitância térmica de 0,5 w/m².K e atraso térmico de 18,6 horas. A Figura 2 é um corte com o esquema das estratégias de ventilação.

Figura 2: Corte esquemático.



Fonte: Os autores

Com objetivo de avaliar o desempenho térmico das paredes considerando suas diferentes composições e propriedades, uma semana por mês, durante um ano, foram registradas às 8:00h, 12:00h e 17:00h leituras da radiação solar incidente, temperatura das superfícies das paredes, e temperaturas e umidades relativa do ar nos ambientes. Um dia por mês as mesmas leituras foram registradas a cada hora, por 24 horas, constituindo um ciclo diário completo, representando um dia típico de projeto para o mês. Os equipamentos utilizados para as medições foram: Solarímetro Portátil MS-02; Termômetro Infravermelho ITTI-1600; Termo-higrômetro Incoterm e Espectrofotômetro Cary 5000.

Os pontos de medição, marcados na Figura 1, foram definidos em função da localização dos elementos estudados, ficando posicionados os termo-higrômetros nos pontos de A a E, o solarímetro nos pontos X e Y, e o termômetro infravermelho nas superfícies das paredes de 1 a 6. Amostras das paredes foram inseridas no espectrofotômetro para determinar os índices de reflexão de suas cores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O espectofotômetro registrou médias de reflexões para os comprimentos de onda entre 350 e 2500nm, conforme descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Fatores de reflexões médias das paredes.

COR DA SUPERFÍCIE	ÍNDICE DE REFLEXÃO(ρ)	FATOR SOLAR (FSo)
Bege (Parede 1)	0,83	1,43
Bege (Parede 5)	0,83	0,48
Marrom (Parede 2)	0,18	6,89
Reboco sem tinta (Parede 6)	0,29	6,82

Fonte: Os autores

As paredes 2 e 6 resultaram em fator solar superior ao determinado pela NBR 15.220-3 para a região (Tabela 1).

Os registros das medições iniciaram dia 23/06/2018 e apontaram para setembro como o mês de temperaturas mais altas, com média de 34,2°C. As medições diárias ocorreram entre os dias 21/09/2018 e 28/09/2018 e as medições horárias no dia 30/09/2018, que esteve nublado no período entre às 8 e 11 horas.

3.1 Paredes 1 e 2 – Leste – Composições iguais - Cores clara e escura

As paredes 1 e 2 recebem insolação direta entre 7 e 12 horas com algumas variações conforme a estação do ano. A Tabela 4 apresenta as médias das temperaturas das paredes 1 e 2 de setembro, onde em todos os casos as temperaturas das superfícies da parede 2 foram mais altas em relação a parede 1.

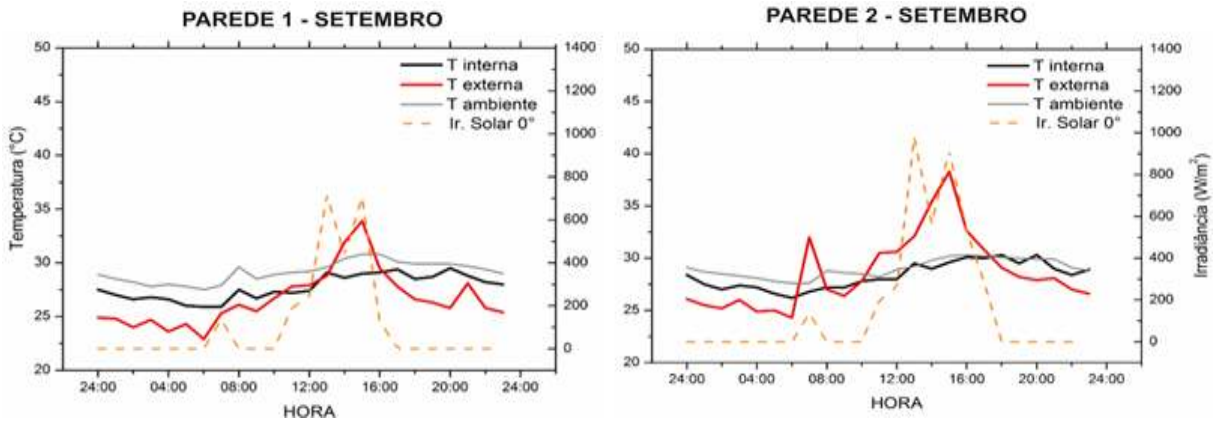
Tabela 4: Média das temperaturas de superfície das paredes 1 e 2 em set/18.

PAREDE	TEMPERATURA SUPERFICIE (°C)					
	INTERNA DAS PAREDES			EXTERNA DAS PAREDES		
	8hrs	12hrs	18hrs	8hrs	12hrs	18hrs
P1	28,54	32,16	33,00	31,39	35,70	32,78
P2	28,96	33,95	34,20	42,36	41,05	35,71

Fonte: Os autores

As medidas de refletâncias apontaram diferença de absorção de 65% da radiação solar, porém a diferença de temperatura externa da parede não seguiu a mesma proporção, neste caso foi de aproximadamente 26%. As transmissões de calor para as superfícies internas também não seguiram as tendências das temperaturas externas, a diferença máxima das temperaturas internas entre as paredes 1 e 2 foi de 1,79°C, que representa 5%. As medições horárias do dia 30/9 mostraram que as temperaturas das superfícies internas de ambas paredes não ultrapassaram as temperaturas dos ambientes (Figura 3).

Figura 3: Evolução da radiação solar, temperaturas das superfícies e ambientes.



Fonte: Os autores

O ambiente formado pela parede 1 apresentou temperaturas ligeiramente superiores comparadas ao ambiente formado pela parede 2, devido a renovação do ar interno pelo ar externo mais quente, no ambiente formado pela parede 1 encontram-se as portas de acesso da casa e as janelas da cozinha, eventualmente abertas em função das dinâmicas de uso da residência que também colaboram para o aquecimento do ar interno. Nos dormitórios as janelas permanecem com vidros fechados na maior parte do dia, de forma que não ocorre a ventilação. No dormitório formado pela parede 2, a temperatura interna da parede e do ambiente estiveram próximas, condição em que a absorção de energia térmica pela parede é baixa ou inexistente.

3.2 Paredes 5 e 6 – Oeste – Composições diferentes – Cores clara e sem pintura

As paredes 5 e 6 recebem insolação direta entre 13 e 17 horas com algumas variações conforme a estação do ano. A Tabela 5 apresenta as médias das temperaturas das paredes 5 e 6 do mês de setembro, nesses registros a parede 6

apresentou elevados ganhos de calor, inclusive na superfície interna que obteve média superior a temperatura do ambiente.

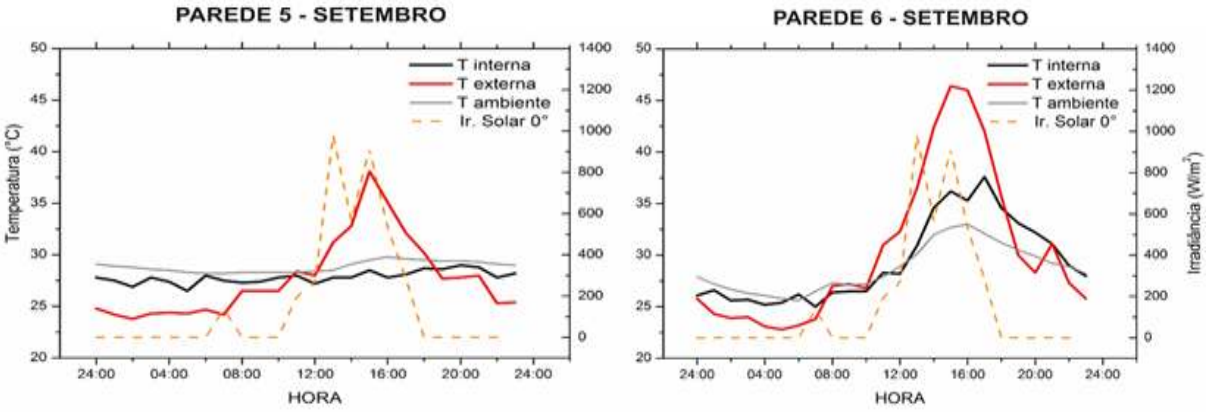
Tabela 5: Média das temperaturas das superfícies das paredes 5 e 6 em set/18.

PAREDES	TEMPERATURA SUPERFICIE (°C)					
	INTERNA DAS PAREDES			EXTERNA DAS PAREDES		
	8hrs	12hrs	18hrs	8hrs	12hrs	18hrs
P5	28,50°	29,76°	30,36°	25,89°	34,21°	35,38°
P6	27,08°	35,35°	40,19°	27,50°	40,63°	42,44°

Fonte: Os autores

Entre essas paredes a diferença de absorção foi de 54% da radiação, já a diferença nas temperaturas das superfícies externas foi de 17%, relação semelhante a encontrada entre as paredes 1 e 2, porém a diferença média entre as temperaturas das superfícies internas foi de aproximadamente 10ºC, o que representa 25%. As medições horárias do dia 30/9, apresentaram diferenças significativas entre as paredes em todas variáveis, a parede 6 apresentou elevados ganhos de calor e por algumas horas manteve temperatura da superfície interna superior a temperatura do ambiente, que também foi elevada (Figura 4).

Figura 4: Evolução da radiação solar, temperaturas das superfícies e ambientes.



Fonte: Os autores

A radiação incidida sobre a parede 6 logo foi conduzida para a superfície interna que alcançou 37,6ºC, foi a maior temperatura interna entre as paredes estudas. Entre às 13 e 22 horas a temperatura da parede 6 foi superior a temperatura do ar interno, condição que indica o aquecimento do ar no ambiente pela parede.

Devido ao isolamento térmico não houveram alterações significativas na temperatura da superfície interna da parede 5, que apresentou médias menores que as temperaturas do ambiente durante toda a pesquisa, diferente da parede 6 que esteve com as temperaturas da superfície interna superiores as temperaturas do ambiente em média 7,5 horas por dia.

3.3 Requisitos ambientais

As estratégias bioclimáticas são aplicadas aos projetos de arquitetura de diversas formas e podem ser classificadas como ativas ou passivas, respectivamente dependentes ou não do uso de máquinas ou equipamentos, sendo as passivas preferíveis no contexto de uso racional de energia e desenvolvimento sustentável. As estratégias ativas podem oferecer suporte apenas quando as condições naturais

forem desfavoráveis ou, em casos extremos, podem ser utilizadas mais continuamente. Considerando a umidade relativa entre 40 e 60, com base na carta de Givoni, o desconforto inicia aos 29ºC onde se faz necessária a ventilação (Zona de Ventilação) e quando a temperatura excede os 32ºC é necessário o condicionamento do ar (Zona de Ar condicionado). Nesse contexto, quantificando a necessidade de apoio às estratégias passivas aplicadas ao projeto, a Tabela 7 resume a necessidade de uso desses aparelhos para os ambientes C e E.

Tabela 7: Estimativa de consumo médio de energia pelos aparelhos climatizadores.

	AMBIENTE C (parede 5)		**AMBIENTE E (parede 6)**	
	VENTILADOR	AR COND.	VENTILADOR	AR COND.
MÉDIA DE USO DIÁRIO (hrs)	8,8	0,2	4,6	4,7
PROJEÇÃO DE USO MENSAL (hrs)	262,5	60*	137,5	140
CONSUMO DE ENERGIA/MÊS (kW)	31,5	5	16,5	140
TOTAL DE ENERGIA/MÊS (kW)	36,5		156,5	

* Apenas 1 mês no ano.

Fonte: Os autores

Os consumos com climatização mecânica (ventilador + ar condicionado) nos ambientes C e E tem proporção quase 5 vezes maior para o ambiente construído com alvenaria de 'meia vez' sem isolamento.

3.4 Viabilidade econômica

De um modo geral, levantamento simples de meia vez (parede 6) é a tecnologia construtiva predominante em alvenarias de edificações na região, de acordo com o Sinapi (CEF, 2020) os custos para a construção de 1 m² das paredes 1, 2, 3, 5 e 6 são os seguintes:

Tabela 8: Custo do m² de construção das paredes.

PAREDE 1 E 2	R$ 137,87
PAREDE 3	R$ 181,28
PAREDE 5	R$ 161,87
PAREDE 6	R$ 108,91

Fonte: Os autores

Considerando que a parede 5 possui aproximadamente 18 m², pode-se dizer que sua construção demandou investimento de R$ 900,00 a mais do que o necessário para construir a mesma área com tijolos em pé e sem isolamento, valor inferior ao custo de um aparelho de ar condicionado.

A diferença média no consumo de energia elétrica com climatização entre os ambientes C e E, formados pelas paredes 5 e 6 respectivamente, foi de 120kW/mês, aproximadamente R$ 100,00/mês com base no valor da energia elétrica residencial para o Tocantins no primeiro semestre de 2020. Estima-se que o retorno do investimento tenha ocorrido em aproximadamente 9 meses.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação a absortância, embora tenham sido encontradas diferenças consideráveis na absorção da radiação, não houve transmissão proporcional do calor para as superfícies internas, as paredes dissiparam mais rapidamente a energia para os ambientes externos do que transmitiram para dentro da casa. Em todos os

casos a capacidade de transmissão da energia térmica pelos sistemas se mostrou mais determinante para o conforto térmico do que a capacidade de absorção e geração de calor nas superfícies irradiadas.

O isolamento térmico com EPS se mostrou eficiente ao diminuir o fluxo de energia e minimizar a interferência do meio externo no interno, as temperaturas das superfícies internas das paredes 5 e 6 apresentaram diferenças de ~10°C após a insolação direta, o que colaborou para as diferenças de até 7,3°C nas temperaturas dos ambientes formados por elas. Em casos como o estudado, o aquecimento noturno oferecido pelo acúmulo de energia na massa térmica se mostrou desnecessário, pois a ventilação seletiva pode ser suficiente para a manutenção do conforto térmico nesses períodos.

A estratégia de isolamento térmico das alvenarias com EPS se mostrou eficiente para o conforto térmico e economicamente viável, os insumos são de fácil acesso, a execução não requer mão-de-obra especializada, não demanda manutenção, oferece retorno rápido do investimento e economia vitalícia, além de reduzir significativamente o consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220.** Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI:** *Relatório de Insumos e Composições FEV/20.* Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 21 mai. 2020

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Consumo de energia elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FREITAS, T. P. F. Aspectos do clima urbano de Palmas - TO no episódio de outono-inverno. **Caminhos da Geografia,** Uberlândia, Vol. 17, n. 59, p. 239-246, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG175907>. Acesso em: 14 abr. 2020

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição, São Paulo, PW Editores, 1997. 382 p.

NOVAIS, J. W. Z., OLIVEIRA, E. V., JOAQUIM, T. D., LEAL, L. A., NOGUEIRA, M. C. J. A., SANCHES, L. Comparação do Desempenho Térmico de Painéis em EPS como Alternativa aos Tijolos Cerâmicos no Conforto Térmico de Residências em Cuiabá-MT. **UNOPAR Cientifica Exatas Tecnologica**, Londrina, vol. 13, n. 1, p. 39-43, nov. 2014. Disponível em: <https://revista.pgsskroton.com/index.php/exatas/article/view/339>. Acesso em: 2 abr. 2020

OLIVEIRA, L. K. S., RÊGO, R.M., FRUTUOSO, M. N. M. A, RODRIGUES, S. S. F. B. Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **HOLOS**, vol. 4, ano 32, p. 217-230, set. 2016. ISSN 1807-1600. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3981>. Acesso em: 20 ago. 2020.

PIRRÓ, L. Análise da envoltória como estratégia para a sustentabilidade dos edifícios. **Revista Belas Artes**. *São Paulo,* vol. 7, n. 19, mai. 2015. Disponível em: <http://www.belasartes.br/revistabelasartes/?pagina=player&slug=analise-da-envoltoria-como-estrategia-para-a-sustentabilidade-dos-edificios>. Acesso em: 8 abr. 2020

PRIYA, R.; SUNDARRAJA, M. C.; RADHAKRISHNAN, S.; VIJAYALAKSHMI, L. Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India – a qualitative and quantitative analysis**. Energy and Buildings**, vol. 49, p. 50-61, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.033> Acesso em: 8 mar. 2020