

Paredes compostas por diferentes materiais: uma breve revisão sobre conforto térmico

Jeferson Fernando Corrêa Antonelli

Mestrando, UNESP, Brasil
j.antonelli@unesp.br

Leandro Augusto Erba

Mestrando, UNESP, Brasil
leandro.erba@unesp.br

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Professor Doutor, UNESP, Brasil
m.azambuja@unesp.br



RESUMO

O presente trabalho dedica-se a identificar as pesquisas centrais relacionadas à influência dos diferentes materiais que compõem as paredes, no desempenho do conforto térmico. A princípio, as palavras-chave *Wall materials* e *Thermal comfort* foram utilizadas na busca de artigos científicos por meio de uma revisão sistemática nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, restritos às áreas de Arquitetura e Urbanismo, Ciências Sociais, Artes e Humanidades. Foram identificados 85 artigos científicos, sendo 44 desses artigos incluídos na pesquisa, os excluídos não apresentavam aderência, estavam fora do assunto ou em duplicidade. Para organização dos dados e discussão dos assuntos identificou-se quatro contextos: avaliação de edificações (39%), simulação computacional (39%), construção de protótipo (15%) e avaliação de experimentos em laboratórios (7%). Entre os materiais destacaram-se o cânhamo e os fardos de palha ao demonstrar a capacidade de amortecer as variações de temperatura tanto no inverno quanto no verão, sendo, portanto, bons reguladores térmicos. A temperatura de fusão do Material de Mudança de Fase (PCM) de 25°C otimizou a instalação em todas as localidades. Já a parede de tijolo cerâmico teve pior desempenho, de 1,25 a 1,45W/ (m.K) em relação às paredes de taipa tradicionais a 1,1 a 1,2W/ (m.K) e à técnica de construção de bloco de terra estabilizada com cimento em 1,05 a 1,25W/ (m.K). A aplicação de materiais apropriados para construção de parede é uma das melhores alternativas para atingir a condição de conforto térmico interno dos edifícios.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais de parede. Conforto térmico. Eficiência energética.

1. INTRODUÇÃO

Considerando que as pessoas passam cerca de 80 a 90% do tempo em ambientes internos (Jannat *et al.*, 2020), é necessária a preocupação com a qualidade desses ambientes para propiciar bem estar aos ocupantes (HWANG *et al.*, 2019).

Segundo Abdo *et al.* (2020) os impactos ambientais negativos da urbanização ocasionam além de desconforto físico e problemas de saúde, uma maior demanda por refrigeração de edifícios, levando ao aumento do consumo de energia. Li *et al.* (2018) mencionam que as paredes e telhado do edifício, como uma massa térmica, são capazes de ajustar a temperatura do ar armazenando calor quando a temperatura está alta e liberando calor quando a temperatura está baixa. Diversas variáveis, como temperatura, umidade, vento, precipitação, radiação solar e outras características da zona climática, bem como paredes, telhados, janelas e comportamento dos ocupantes, influenciam no conforto térmico de um edifício (JANNAT *et al.*, 2020); (AKSAMIJA; PETERS, 2017); (LEO SAMUEL *et al.*, 2017).

As regiões de clima frio necessitam de coleta de radiação solar, aquecimento passivo, pois as construções dessa zona têm perda de calor excedente ao ganho, com isso é preciso isolamento aprimorado para reduzir as demandas de aquecimento artificial. Já nas regiões de clima quente a proteção à radiação solar direta torna-se mais importante. Em regiões de clima misto estratégias combinadas que equilibram a exposição solar devem ser implementadas (AKSAMIJA; PETERS, 2017).

Os edifícios de baixa inércia tendem a frequentes flutuações de temperatura interna e são propensos a superaquecimento no verão. Esses efeitos podem ser reduzidos pela integração da massa térmica no envelope do edifício. Ao melhorar a inércia térmica, o atraso térmico é

obtido, reduzindo assim as cargas de refrigeração e aquecimento instantâneas nestes edifícios (BELMONTE *et al.*, 2015) e (NGHANA; TARIKU, 2016).

Segundo Ibrahim *et al.* (2014) como a temperatura do ar externo e a radiação solar variam ao longo do dia a temperatura da superfície externa das paredes é muito afetada, levando a flutuações no fluxo de calor que passa por elas. Como resultado, o ambiente interno pode ser alterado significativamente. Segundo Unver *et al.*, (2004) e Jannat *et al.*, (2020) as paredes e telhado do edifício, que separam o interior do exterior, desempenham o papel mais importante para concretizar as condições de conforto necessárias dos utilizadores.

Para obter conforto térmico e redução do consumo de energia em edifícios, é necessário considerar estratégias passivas, que inclui isolamento térmico, ventilação natural, telas solares, tintas frias, telhados frios, etc. (AMIRZADEH *et al.*, 2018). Segundo D'Agostino *et al.*, (2018) o isolamento assim como as espessuras ideais de paredes e de telhado do edifício podem causar uma redução na demanda de energia de até 40%.

Diante deste cenário, o presente artigo faz uma análise de revisão da literatura, visando discutir os estudos publicados em periódicos sobre o conforto térmico como uma variável chave da qualidade do ambiente interno, que é influenciada por técnicas de projeto e por diferentes tipos de materiais que compõem a construção de paredes, utilizadas para minimizar o ganho de calor externo ou a perda de calor interna das edificações.

2. OBJETIVO

Analisar a produção bibliográfica formada por levantamento de pesquisa, restrita às áreas de Arquitetura e Urbanismo, Ciências sociais, Artes e Humanidades, indexadas nas bases de dados *Scopus e Web of Science*, com relação ao tema da influência dos diferentes tipos de materiais que compõem as paredes no desempenho do conforto térmico dos edifícios.

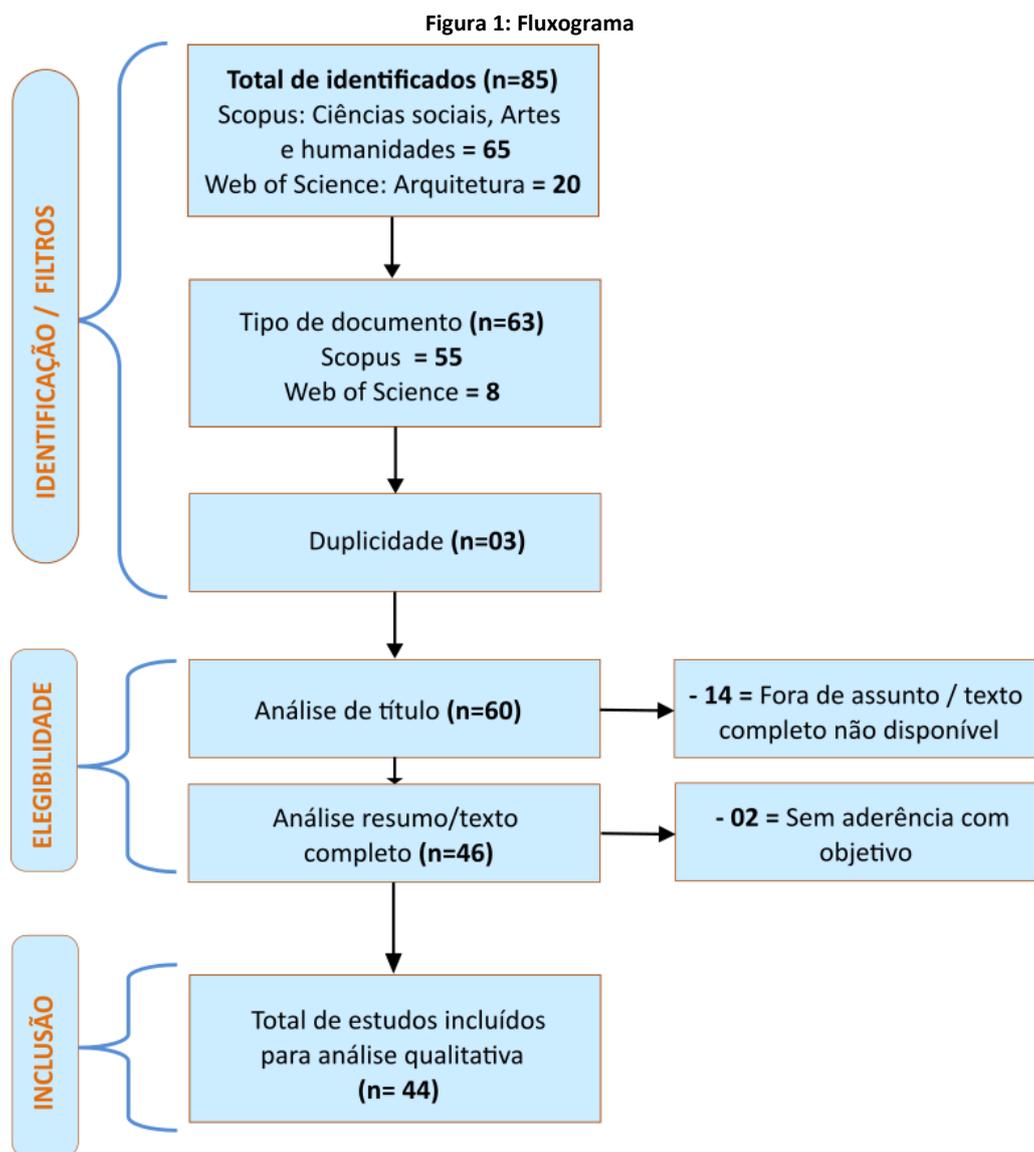
3. METODOLOGIA

Para realização do trabalho foram utilizadas as palavras-chave em inglês, *Wall materials e Thermal comfort*, em dois bancos de dados eletrônicos, *Scopus e Web of Science*, no período de 1981 a 2020, condicionados às áreas de estudo em Arquitetura e urbanismo, Ciências sociais, Artes e Humanidades. Os trabalhos identificados nas bases foram importados para o software *Endnote*, para remover duplicações.

Para critério de inclusão: artigos que avaliaram os materiais que compõem as paredes no desempenho do conforto térmico dos edifícios, por meio de medições em edificações, em protótipos, em laboratório, ou então em simulações computacionais.

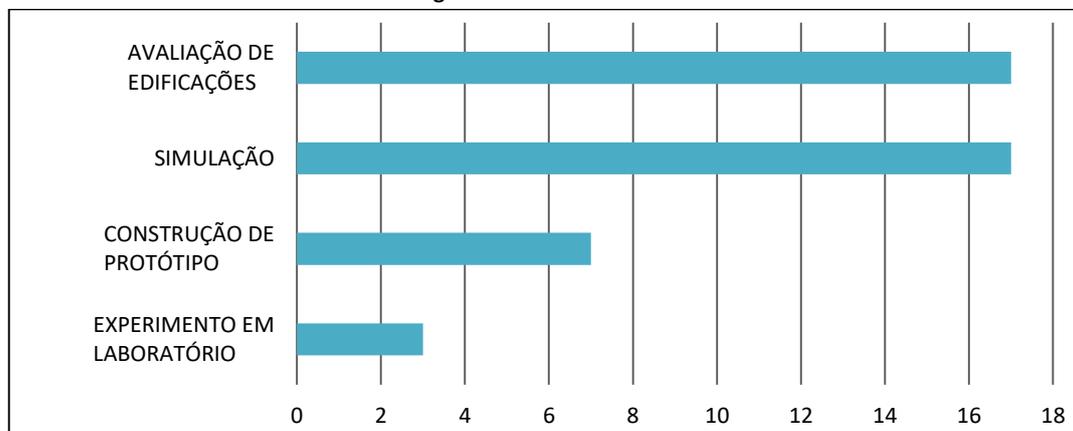
Para critério de exclusão: estudos que não avaliaram a influência dos materiais de parede no conforto térmico dos edifícios, trabalhos de conferência, artigo completo não disponível, capítulo de livros e revisões sistemáticas. As etapas seguidas para a seleção dos

estudos estão ilustradas no fluxograma (Figura 1) que segue o modelo PRISMA (MOHER *et al.*, 2009).



No geral, 39% dos estudos avaliaram o conforto térmico em edificações através de medições *in loco*, 39% simulações computacionais, 15% construção de protótipos e 7% análise laboratorial (Figura 2).

Figura 2: Forma de análise



Fonte: OS AUTORES, 2020.

Em cada um dos artigos foram coletados os seguintes dados: autores, ano da publicação, localização geográfica, tipo de clima, objetivo, materiais, métodos e principais resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Avaliação em edificações

As atividades de monitoramento têm como objetivo segundo Moujalled *et al.*, (2018) avaliar o desempenho térmico em condições climáticas reais, na escala do edifício. O Quadro 1 apresenta os instrumentos de medição e suas características – para critério de inclusão: artigo que apresentou no mínimo a precisão do aparelho. Em 50% dos trabalhos as medições foram feitas durante o ano todo – as quatro estações, 22% foram no verão e inverno, 17% medidos somente no verão e 11% somente no inverno, e avaliados em sua grande maioria (88%) no clima Köppen classe C, subtropical úmido, oceânico e mediterrâneo (Quadro 2).

Quadro 1: instrumentos de medição e suas características

Estudo	Modelo de instrumento	Parâmetros Medidos	Faixa de medição	Precisão	Resolução
Aste, N. <i>et al.</i> (2019)	Episensor TES-11 / HTS-10: (sensor sem fio)	T	-20 a +60 °C	± 0,2 °C	0,1 °C
		UR	11 a 89%	± 3%	0,10%
	HOBO UX100-011 (sensor com datalogger)	T	20 a +70 °C	± 0,21 °C (0... +50 °C)	0,024 °C (a 25 °C)
		UR	0 a 95%	± 2,5% (10... 90%)	0,05% (a 25 °C)
	HOBO U12-011 (sensor com datalogger)	T	-20 a +70 °C	± 0,35 °C (0... +50 °C)	0,03 °C (a +25 °C)
		UR	5 a 95%	± 2,5% (10... 90%)	0,03%
	HORIBA IT-545 NH / N / S (termômetro infravermelho)	T Superficial	-50 a +1000 °C	± 1,0 °C (0... +199,9 °C)	0,1 °C (0... +199,9 °C)
	Termo-anemômetro Testo 405-V1	VV	0 a +10 m / s	± 0,1 m / s (0... +2 m / s)	0,01 m / s
T		-20 a +50 °C	± 0,5 °C	0,1 °C	

Costanzo, V. et al (2018)	Beeper-WSN	T	0–50 °C	± 0,5 °C	-
		UR	20-80%	± 3%	-
		CO ₂	0–5000 ppm	± 50 ppm	-
Moujalled, B. et al (2018)	HOBO U12-002	T	-20 a 70 °C	± 0,35 °C	0,1 °C
		UR	5% -95%	<90%: ± 2,5%	<1%
	HOBO U12-006	T	-20 a 70 °C	± 0,35 °C	<0,1 °C
	HOBO U14-002	T	-40 a 75 °C	± 0,21 °C	<0,1 °C
		UR	0% –100%	<90%: ± 2,5% > 90%: ± 5%	<1%
	HOBO U30	T	-40 a 75 °C	± 0,21 °C	<0,1 °C
		UR	0% –100%	<90%: ± 2,5% > 90%: ± 5%	<1%
		RS	0-1280 W / m ²	± 10 W / m ² ou ± 5%	<± 2%
VA		0 a 45 m / s	± 1,1 m / s	-	
Hwang, T.I. et al (2019)	MSR 145 - Suíça	T	-20 a -65 °C	± 5 °C	-
		UR	0%- 100%	± 2%	-
Costantine, G. et al (2018)	Higrômetro térmico - TH BeanDevice	T	-	± 0,2 °C	-
		UR	-	± 1,8%	-
	Sensor de temperatura - T BeanDevice	T	-	± 0,1 °C	-
	Medidores de vazão térmica	VT	-	± 5%	-
Gallegos-Ortega, R. et al (2017)	Termopar tipo T	T	-	± 0,1 °C	-
Nghana, B.; Tariku, F. (2016)	Termopar tipo T L: 71 mm, D: 12 mm	T	-270 a 400 °C	± 1 °C	-
		T	-	± 0,6 °C	-
		UR	-	± 3%	-
Ibrahim, M. et al (2014)	Termopar tipo K	T	-	± 0,3 °C	-
	Piranômetros HUKSEFLUX	RS	0–2000 W/m ²	± 10%	-
	HUMICAP HMP110	T	-40 °C a +80 °C	± 0,2 °C	-
	Anemômetro Pulsonic Aliza 147	VV	0–60 m / s	± 3%	-
		DV	0–360 °	± 5 °	-
Orosa, J.A.; Baaliña, A. (2009)	Innova 1221 com transdutor de temperatura MM0034 Tinytag Plus 2 dataloggers de canal duplo com termistor e sensores capacitivos	T	-	± 0,2°C	-
		T	-	± 0,2 °C	-
		UR	-	3% HR	-
Medjelekh, D. et al (2016)	Data loggers “LogTag”	T	25 °C	± 1 °C	-
		UR	20% –80%	± 3%	-
	Termopar EL-USB-TC-LCD e do Tipo K	T superfície	-200 a +1300 °C	± 1 °C	0,5 °C

Abreviações: T: Temperatura do ar - UR: Umidade relativa do ar – CO₂:Dióxido de carbono – VV: Velocidade do vento – DV: Direção do vento – RS: Radiação solar – VT: Vazão térmica

Fonte: OS AUTORES, 2020.

Quadro 2: Estudos em edifício real

Autor/ ano	Local Avaliado	Clima Köppen	Período	Objetivo	Principais Resultados
Hwang, T.I. <i>et al</i> (2019)	Seul, Coréia do Sul	Dwa	Inverno	Prevenção de condensação, comparando com um estudo realizado em 2003.	Comparando os resultados de temperatura e umidade de 2003 e 2015, os valores médios de temperatura não foram muito diferentes. No entanto, a umidade relativa média foi 8,1% maior em 2015 do que em 2003, isto pode estar relacionado à mudança de estilo de vida dos coreanos e aos critérios de projeto com utilização de materiais de alto desempenho, seguindo as diretrizes de 2000.
Aste, N. <i>et al</i> (2019)	Milão, Itália	Cfa	Quatro estações	Caracterizar o comportamento higrotérmico da Catedral de Milão e avaliar os riscos para os principais materiais que a compõem.	A alta inércia térmica das paredes da Catedral permite manter os valores de temperatura quase constantes durante os ciclos diários (com variações inferiores a 2°C).
Costantine, G. <i>et al</i> (2018)	Fleury-La- Rivière, França	Cfb	Quatro estações	Avaliar experimentalmente e numericamente o desempenho térmico do edifício com isolamento de cal de cânhamo.	Os resultados mostram uma boa concordância entre os valores numéricos e as medidas experimentais e indicam um conforto térmico aceitável, sendo detectadas algumas umidades relativas elevadas devido ao comportamento dos moradores em relação ao apartamento. É destacada a capacidade do concreto de cânhamo de amortecer as variações de temperatura externa.
Costanzo, V. <i>et al</i> (2018)	Cesena, Itália	Cfa	Quatro estações	Aprofundar o conhecimento sobre o desempenho térmico e energético de uma casa certificada como passiva.	Registro de bom conforto térmico no inverno, mas superaquecimento no verão em 50% do tempo de acordo com a norma EN 15251.
Moujalled, B. <i>et al</i> (2018)	Périgueux, França	Cfb	Quatro estações	Avaliar o desempenho higrotérmico de um edifício de concreto de cal e cânhamo.	Concreto de cânhamo ajuda a manter um bom nível de conforto térmico no inverno e no verão. Confirmado como um bom regulador térmico.
Odgaard, T. <i>et al</i> (2018)	Copenhage, Dinamarca	Cfb	Quatro estações	Investigar as condições higrotérmicas ao aplicar o isolamento interior de uma superfície de tijolo maciço.	A instalação de isolamento em uma alvenaria sólida induziu mudanças térmicas: maior umidade relativa distribuída uniformemente e temperatura mais baixa em toda a alvenaria, em comparação com uma parede não isolada. A umidade relativa da parede de alvenaria não isolada estava na faixa de 50% no interior a 60% no exterior, enquanto a parede isolada apresentou valores uniformemente distribuídos em torno de 80%.
Gallegos- Ortega, R. <i>et al</i> (2017)	Tecate, México	Csa	Verão	Avaliar o comportamento térmico de uma habitação	Uso do fardo de palha resultou em: atraso térmico de 9 horas, amortecimento de temperatura de

				construída com fardos de palha de trigo.	93,6% e temperatura interna de 25,6 °C ± 0,5 °C.
Jentsch, M.F. <i>et al</i> (2017)	Timbu, Butão	Cwb	Quatro estações	Avaliar o desempenho térmico de dez edifícios.	Em termos de valores de transmitância térmica, o tipo de construção de parede de tijolo cerâmico teve desempenho inferior, 1,25 a 1,45W/(m.K), às paredes de taipa tradicionais, 1,1 a 1,2W/(m.K), e à técnica de construção de bloco de terra estabilizada com cimento em 1,05 a 1,25W/(m.K).
Leo Samuel, D.G. <i>et al</i> (2017)	Hyderabad, Índia	Aw	Verão	Avaliar o desempenho térmico de oito edifícios.	O aumento na massa térmica da estrutura reduz a flutuação da temperatura e atrasa o tempo em que os extremos de temperatura são atingidos.
Nghana, B.; Tariku, F. (2016)	Burnaby, Canadá	Cfb	Verão e Inverno	Investigar o efeito do PCM no conforto interno e no consumo de energia.	Economia de energia de 57% é alcançada no verão devido à capacidade do PCM de diminuir o fluxo de calor da parede.
Hyde, R. <i>et al</i> (2016)	Cidade do México	Cwb	Verão	Avaliar a Pós-ocupação chamada 'fechamento do ciclo' para entender o comportamento térmico da construção e a satisfação dos ocupantes do edifício.	A temperatura interna nas áreas de estudo da casa está dentro das condições de conforto para o verão (ou seja, temperatura entre 20 e 27 °C). A umidade permaneceu entre 4–12 g/kg e a temperatura inferior a 25 °C, o que está dentro de uma faixa aceitável em relação a sua massa térmica e sombreamento.
Medjelekh, D. <i>et al</i> (2016)	Guelma, Argélia	Csa	Verão e Inverno	Estudo de campo da inércia térmica e seus efeitos no conforto térmico interno de parede de pedra travertina.	Os resultados de três anos de monitoramento em uma casa de pedra travertina mostraram o efeito da inércia térmica em garantir uma forte atenuação da onda térmica de 10,2 e 14,6 K em condições de clima quente.
Kabre, C. (2016)	Cíclades, Grécia.	Cfa	Quatro estações	Avaliar a habitação tradicional da Cíclades, Grécia, em termos da sua resposta ao clima e ao conforto térmico.	Durante ambas as estações, as tradicionais paredes de pedra maciça mostram baixas oscilações de temperatura, demonstrando que a parede é tão importante quanto o telhado na criação de um ambiente estável nas casas tradicionais Cíclades.
Ibrahim, M. <i>et al</i> (2014)	Nice, França	Csa	Inverno	Avaliar o desempenho térmico das paredes exteriores de revestimento isolante à base de sílica-aerogel.	O revestimento isolante à base de aerogel apresenta excelente desempenho térmico por possuir baixa condutividade térmica e maior massa térmica.
Varas-Muriel, M.J. <i>et al</i> (2014)	Talamanca de Jarama, Espanha	Csa	Quatro estações	Analisar igrejas rurais através de monitoramento de condições higrotérmicas e níveis de CO ₂ , e seus efeitos na conservação do patrimônio.	Os níveis internos de CO ₂ são devidos ao metabolismo humano, não ao sistema de aquecimento. Os níveis mais altos (> 1000 ppm) são registrados no verão, quando a igreja tem uma congregação maior, mas essas concentrações não representam risco para a saúde humana ou para o patrimônio interno.



Elias-Ozkan, S.T., Summers, F. (2013)	Kerkenes, Turquia	Csa	Verão e Inverno	Desempenho térmico de três edifícios de fardos de palha.	A construção com fardos de palha é vantajosa no que diz respeito às propriedades de isolamento térmico, além da energia incorporada e economia em relação aos materiais convencionais.
Orosa, J.A.; Baaliña, A. (2009)	La Coruña, Espanha	Cfb	Verão e Inverno	Avaliar o efeito do revestimento da parede interna nas condições de conforto.	Os revestimentos internos exercem uma influência sobre o ambiente interno e a transferência de umidade entre o ar interno e as estruturas higroscópicas tem o potencial de moderar variações da umidade relativa do ar interno e, assim, melhorar o conforto.
Aw: Tropical de Savana / Cfa: subtropical úmido / Cfb: oceânico temperado / Csa: Mediterrâneo de verão quente / Dwa: continental úmido / Cwb: Oceânico subtropical de altitude					

Fonte: OS AUTORES, 2020.

Costantine *et al* (2018) e Hwang *et al* (2019) alegaram que o aumento da umidade relativa do ar está relacionado ao estilo de vida dos moradores e aos critérios de projeto com utilização de materiais de alto desempenho, por exemplo, no estudo de Odgaard *et al* (2018) a investigação mostrou que a instalação de isolamento em uma alvenaria sólida induziu mudanças térmicas, como: maior umidade relativa distribuída uniformemente e temperatura mais baixa em toda a alvenaria, em comparação a uma parede não isolada. Hyde *et al* (2016) e Leo Samuel *et al* (2017) relataram que a umidade permaneceu dentro de uma faixa aceitável em relação a sua massa térmica e sombreamento. Ibrahim *et al* (2014) mencionam que além da massa térmica a baixa condutividade apresenta excelente desempenho térmico, e Varas-Muriel *et al* (2014) advertem que para o aquecimento do ambiente no inverno, a escassa umidade pode causar pequenos problemas de saúde para algumas pessoas e deterioração dos materiais.

Aste *et al* (2019); Jentsch *et al* (2017); Leo Samuel *et al* (2017); Hyde *et al* (2016); Kabre (2016) avaliaram que a alta inércia das paredes permite manter os valores de temperatura interna quase constantes durante os ciclos diários, o que provoca mudanças graduais em relação às condições externas. Os autores também mencionaram que as paredes são tão importantes quanto o telhado, na criação de um ambiente estável nas edificações.

4. 2 Simulação

O software com maior número de utilização na amostra (Quadro3) é o EnergyPlus, utilizado para realizar cálculos de carga de equilíbrio térmico, materiais de variáveis condutividades térmicas e conforto térmico para os ocupantes. Os estudos com o método de simulação podem orientar os projetistas a analisar preliminarmente os diferentes materiais de parede do edifício, em diferentes condições climáticas (JANNAT *et al.*, 2020; AMIRZADEH, A. *et al.*, 2018).

Quadro 3: Principais softwares de simulações de edifícios

Software	Estudo
Energy Plus	Park, J. <i>et al</i> (2019); Costanzo, V. <i>et al</i> (2018); Amirzadeh, A. <i>et al</i> (2018); Aksamija, A. <i>et al</i> (2017); Ascione, F. <i>et al</i> (2015); Evola, G. <i>et al</i> (2013); Asadi, E. <i>et al</i> (2012)
COMSOL multiphysics	Alioua, T. <i>et al</i> (2020)
Matlab	Moujalled, B. <i>et al</i> (2018); Ascione, F. <i>et al</i> (2015)
Termus - Acca Software	Agliata, R. <i>et al</i> (2020)
Design Builder	Breçani, R.; Dervishi, S. (2019); Rosso, F. <i>et al</i> (2017)
IES-VE	Jannat, N. <i>et al</i> (2020).
Spark	Costantine, G. <i>et al</i> (2018)
JACK	Hasan, MI <i>et al</i> (2018)
Esp-r	Lee, J.; Park, J. (2018); Van Hoof, J. <i>et al</i> (2008)
Software WUFI Pro	Moujalled, B. Lee, J. <i>et al</i> (2018)
TRNSYS	Belmonte, JF. <i>et al</i> (2015); Asadi, E. <i>et al</i> (2012)
Open Studio	Amirzadeh, A. (2018);
THERM 6.3	Aksamija, A. (2017)
GenOpt	Belmonte, JF. <i>et al</i> (2015); Asadi, E. <i>et al</i> (2012)
ANSYS	Moustafa, M.A. <i>et al</i> (2015)

Fonte: OS AUTORES, 2020.

4.3. Construção de protótipo e avaliação em laboratório.

Os trabalhos da amostra de construção de protótipo e laboratório (Quadro 4) de modo geral procuram desenvolver e avaliar materiais de parede de baixa energia incorporada em produção e alto desempenho térmico. Os Materiais de mudança de fase (PCMs) foram avaliados em 24% dos estudos, o PCM é objeto de grande interesse de pesquisadores, devido a sua eficiência na regulação térmica dos ambientes, pois muda de fase sólida para líquida, ao absorver energia térmica durante o dia, o que diminui o aumento da temperatura ambiente. Com as mudanças climáticas, devido às emissões de gases poluentes, e alto consumo de energia nos processos de produção, a utilização de subprodutos em substituição dos materiais tradicionais são altamente desejáveis, nesta amostra o fardo de palha foi material de 9% dos estudos e o cânhamo de 7% (Figura 3).

Figura 3: Materiais de construção de parede



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2020.

Quadro 04: Trabalhos de análise de protótipo e avaliação em laboratório

Autor/ Ano	Local Avaliado	Tipo de edifício	Clima Köppen	Período	Objetivo	Principais Resultados
Iwano, J.; Mwasha, A. (2019)	Santo Agostinho, Trinidad e Tobago	Protótipo	Am	Verão	Avaliar a fibra de coco como isolante térmico para obter eficiência energética e conforto térmico.	A fibra de coco possui os atributos necessários para manter o conforto térmico e melhorar a eficiência energética das residências. A fibra de coco foi capaz de melhorar a eficiência energética dos edifícios.
Hasan, M.I. <i>et al</i> (2018)	Al Kut, Iraque	Protótipo	BWh	Verão	Investigar experimentalmente PCMs para isolamento térmico de edifícios residenciais.	A redução da temperatura interna com uso de PCM foi de 2,18 °C. A economia máxima no custo de eletricidade (1,35 dólar / dia m ³) ao usar 1 cm de espessura de PCM para todas as paredes.
Li, Y. <i>et al</i> (2018)	Chengdu, China	Protótipo	Cwa	Inverno	Avaliar o desempenho térmico de edifícios de paredes com PCM em uma sala com aquecimento intermitente.	O processo de liberação de calor da camada de PCM durou 6-7 h após a suspensão do aquecimento. O fluxo de calor da superfície interna da parede do PCM foi 18,48% menor do que da parede de referência no processo de aquecimento em todos os horários.
Rosso, F. <i>et al</i> (2017)	Perugia, Itália	Protótipo	Cfa	Verão e Inverno	Desenvolver materiais inovadores, de cor fria, à base de cimento para melhorar o desempenho térmico.	Os materiais de cores frias podem manter temperaturas de superfície mais baixas (-8 °C), enquanto reduzem as demandas de energia para resfriamento (3%).
Kumar, A.; Suman, B.M. (2013)	Roorkee, Índia	Protótipo	Cfa	Verão e Inverno	Avaliar experimentalmente Elastospray – isolante - para	O Elastospray de 50 mm de espessura com telhado e parede convencionais satisfaz os requisitos normativos locais, enquanto outros

					paredes e telhados e seu impacto no conforto térmico interno.	materiais de isolamento requerem espessura mais alta para cumprir os valores recomendados.
Garas, G., Allam, M. (2011)	Cairo, Egito	Protótipo	BWh	Verão	Avaliar o desempenho térmico das paredes de fardos de palha.	Paredes do fardo de palha mostraram alta variação de temperatura no sensor de parede externa, enquanto no sensor de parede interna a flutuação de temperatura foi mantida em valores mínimos.
De Grassi, M. (2006)	Ancona, Itália	Protótipo	Cfa	Verão	Avaliar o comportamento térmico de paredes contendo PCM montado a seco.	A radiação solar e o piso do protótipo são as duas variáveis exógenas estatisticamente mais significativas, no que diz respeito ao curso da temperatura das paredes.
Autor/ Ano	Local Avaliado	Tipo de edifício	Objetivo		Principais Resultados	
Abdo, P. et al (2020)	Laboratório	câmara de acrílico	Investigar o processo de descarga do PCM e as variações de temperatura e umidade dentro de uma câmara equipada com um windcatcher.		O modelo com o PCM localizado no piso, teto e paredes, bem como no canal de entrada do windcatcher apresentou o melhor desempenho, com uma redução mínima da temperatura média na câmara de cerca de 2,75 °C (aproximadamente 9,33%) em comparação com o modelo sem PCM.	
Alioua, T. et al (2020)	Laboratório	Prisma	Investigar o desempenho térmico de uma parede de concreto de base biológica. Validar a abordagem numérica por comparação com dados experimentais.		Os resultados mostraram que a nova parede de base biológica é muito promissora e pode contribuir para mitigar a variação de temperatura e garantir o conforto térmico nas edificações.	
Richardson, A. et al (2017)	Laboratório	Prisma	Produzir argamassa incorporada com PCM para ajudar a regular a temperatura interna das edificações.		A argamassa com PCM ajuda a regular a temperatura no interior dos edifícios, contribuindo para o conforto térmico e diminuindo a quantidade de energia de aquecimento e refrigeração.	
Am: clima de monção tropical / Aw: Tropical de Savana/ Cfa: subtropical úmido / Cfb: oceânico temperado / BWh: Desértico quente / Cwa: subtropical úmido / ET: Tundra / Csa: Mediterrâneo de verão quente / Dwa: continental úmido / Dfb: continental úmido de verão fresco / Dfa: continental úmido de verão quente / Cwb: Oceânico subtropical de altitude						

Fonte: OS AUTORES, 2020.

Costantine, G. *et al* (2018); Moujalled, B. *et al* (2018) e Agliata, R. *et al* (2020) destacam a capacidade do cânhamo de amortecer as variações de temperatura tanto no inverno como no verão e confirmam o material como um bom regulador térmico.

Segundo Garas e Allam (2011); Elias-Ozkan e Summers (2013); Gallegos-Ortega *et al* (2017) e Moujalled *et al* (2018) a construção com fardos de palha é vantajosa no que diz respeito às propriedades de isolamento térmico, além da energia incorporada e economia em relação aos materiais convencionais.

De acordo com Parket *et al* (2019) a temperatura de fusão do PCM de 25°C otimizou a instalação em todas as localidades. Kaushik *et al* (1981) verificaram que uma parede de PCM, ainda que de espessura menor que a parede de concreto de alvenaria comum, é mais desejável para fornecer armazenamento de energia térmica. Nghana e Tariku (2016); De Grassi (2006); Richardson *et al* (2017) e Abdo *et al* (2020) avaliaram que o PCM alcançou uma economia de energia e redução de temperatura, devido à capacidade de diminuir o fluxo de calor da parede. Hasan *et al* (2018) alcançaram redução da temperatura interna com uso de PCM de 2,2°C. A economia máxima no custo de eletricidade foi de 1,35 dólar/dia m³ ao usar 1 cm de espessura de PCM para todas as paredes. Segundo Li, Y. *et al* (2018) o processo de liberação de calor da camada de PCM tem a duração de 6-7h após a suspensão do aquecimento. O fluxo de calor da superfície interna da parede do PCM foi 18,5% menor do que a parede de referência no processo de aquecimento em todos os horários.

De acordo com Medjelekh *et al* (2016) os resultados de três anos de monitoramento em uma casa de pedra travertino mostraram o efeito da inércia térmica em garantir uma forte atenuação da onda térmica de 10,2 K e 14,6 K em condições de clima quente.

Jentsch, *et al* (2017) ao avaliarem paredes de cerâmica, taipa e bloco de terra estabilizada com cimento, concluíram que em termos de valores de transmitância térmica, o tipo de construção de parede de tijolo cerâmico teve desempenho pior a 1,25 a 1,45W/(m.K) do que as paredes de taipa tradicionais a 1,1 a 1,2W/(m.K) e a técnica de construção de bloco de terra estabilizada com cimento em 1,05 a 1,25W/(m.K).

4.4 Tipo de edifício avaliado

O tipo de edifício mais avaliado na amostra foi residencial com 59%, seguido de construção de protótipo 16%, históricos 9%, edifício comercial e análise laboratorial ambos 7% e institucional 2% dos trabalhos (Quadro 5).

Quadro 5: Tipo de edifício analisado

Estudo	Tipo de edifício
Breçani, R.; Dervishi, S. (2019); Jannat, N. <i>et al</i> (2020); Amirzadeh, A. <i>et al</i> (2018); Park, J. <i>et al</i> (2019); Lee, J.; J. Park (2018); Moustafa, M.A. <i>et al</i> (2015); Hall, M.R. <i>et al</i> (2013); Asadi, E. <i>et al</i> (2012); van Hoof, J.; van Dijken, F. (2008); Li, Y., Holmberg, S. (1994); Hwang, T.I. <i>et al</i> (2019); Costantine, G. <i>et al</i> (2018); Costanzo, V. <i>et al</i> (2018); Moujalled, B. <i>et al</i> (2018); Gallegos-Ortega, R. <i>et al</i> (2017); Kaushik, S.C. <i>et al</i> (1981); Jentsch, M.F. <i>et al</i> (2017); Leo Samuel, D.G. <i>et al</i> (2017); Nghana, B.; Tariku, F. (2016); Hyde, R. <i>et al</i> (2016); Medjelekh, D. <i>et al</i> (2016); Kabre, C. (2016); Ibrahim, M. <i>et al</i> (2014); Ascione, F. <i>et al</i> (2015); Elias-Ozkan, S.T., Summers, F. (2013)	Residencial
Aksamija, A.; Peters, T. (2017); Evola, G. <i>et al</i> (2013); Orosa, J.A.; Baaliña, A. (2009)	Comercial
Agliata, R. <i>et al</i> (2020); Aste, N. <i>et al</i> (2019); Odgaard, T. <i>et al</i> (2018); Varas-Muriel, M.J. <i>et al</i> (2014)	Histórico
D'Agostino, D. <i>et al</i> (2018)	Institucional
De Grassi, M. (2006); Kumar, A.; Suman, B.M. (2013); Garas, G., Allam, M. (2011); Rosso, F. <i>et al</i> (2017); Hasan, M.I. <i>et al</i> (2018); Li, Y. <i>et al</i> (2018); Iwaro, J.; Mwashia, A. (2019)	Protótipo
Abdo, P. <i>et al</i> (2020); Alioua, T. <i>et al</i> (2020); Richardson, A. <i>et al</i> (2017)	Laboratorial

Fonte: OS AUTORES, 2020.

4.5 Principais normas técnicas utilizadas nos estudos

As normas técnicas com maior utilização pelos pesquisadores da amostra foram: ASHRAE 55: 2004 que avalia as condições ambientais térmicas para ocupação humana, representa 25% dos trabalhos; ASHRAE 90.1: 2013 que determina o padrão de energia para edifícios, exceto edifícios residenciais baixos, corresponde a 14% dos estudos; a europeia EN 15251:2008 para parâmetros de entrada ambiental interna para projeto e avaliação do desempenho energético de edifícios que abordam a qualidade do ar interno, ambiente térmico, iluminação e acústica constitui 11% da amostra e a internacional ISO 13788: 2012 para métodos de cálculo de desempenho higrotérmico de componentes e elementos de construção e temperatura interna da superfície para evitar umidade crítica da superfície e condensação intersticial retrata 9% dos artigos (Quadro 6).

Quadro 6: Normas técnicas

Norma	Estudo
ASHRAE 55: 2004	Lee, J.; Park, J. (2018); Belmonte, J.F. <i>et al</i> (2015); Ascione, F. <i>et al</i> (2015); Moustafa, M.A. <i>et al</i> (2015); Asadi, E. <i>et al</i> (2012); Hasan, M.I. <i>et al</i> (2018); D'Agostino, D. <i>et al</i> (2018); Medjelekh, D. <i>et al</i> (2016); Nghana, B. <i>et al</i> (2016); Ascione, F. <i>et al</i> (2015); Moustafa, M.A. <i>et al</i> (2015)
ASHRAE 90.1: 2013	Park, J. <i>et al</i> (2019); Amirzadeh, A. (2018); Lee, J. <i>et al</i> (2018); Jentsch, M.F. <i>et al</i> (2017); Aksamija, A. <i>et al</i> (2017); Elias-Ozkan, S.T. <i>et al</i> (2013),
EN 15251:2008	Leo Samuel, DG. <i>et al</i> , (2017); Evola, G. <i>et al</i> , (2013); Costanzo, V. (2018); Moujalled, B. <i>et al</i> , (2018); Medjelekh, D. <i>et al</i> (2016); Ascione, F. <i>et al</i> , (2015)
ISO 13788: 2012	Agliata, R. <i>et al</i> (2020); Hwang, T.I. <i>et al</i> (2019); Moujalled, B. (2018); Odgaard, T. <i>et al</i> (2018)

Fonte: OS AUTORES, 2020.

5. CONCLUSÃO

Os artigos incluídos nessa revisão, restrita às áreas de Arquitetura e Urbanismo, Ciências sociais, Artes e Humanidades, indexados nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, referente à influência dos diferentes tipos de materiais de parede no conforto térmico dos edifícios, apresentou informações relevantes sobre o assunto. Por meio deste estudo, pode-se identificar as principais formas de análise de conforto térmico em edificações. No geral, 39% dos estudos avaliaram o conforto térmico dos edifícios através de medições *in loco*, 39% por simulações computacionais, 15% em construção de protótipos e 7% em análise laboratorial, que foram conduzidos de acordo com normas técnicas, com ênfase a ASHRAE 55:2004 que avalia as condições ambientais térmicas para ocupação humana.

As avaliações foram desenvolvidas principalmente em edifícios residenciais, entretanto foi identificado apenas um levantamento que avalia edifício institucional (escola). Saber quais tipos de edifícios são avaliados permite encontrar lacunas de pesquisa.

Também se observa uma tendência para o uso de simulação computacional, que pode ser útil para auxiliar na identificação dos materiais mais convenientes. Nos estudos mais



abrangentes essa análise foi complementada com o monitoramento, assim cobrindo os períodos de projeto antes e pós-ocupação.

Além do desconforto e deficiência energética em si, fatores específicos associados ao desconforto térmico podem ter impacto negativo na qualidade de vida dos ocupantes dos edifícios. Mas maioria desses problemas pode ser evitada ou minimizada com a aplicação de materiais apropriados para construção de parede, sendo essa uma das melhores alternativas para atingir a condição de conforto térmico interno dos edifícios. A escolha de materiais de parede com baixa condutividade térmica, por exemplo, o cânhamo, fardos de palha e materiais de absorção de calor, faz parte dessas alternativas.

AGRADECIMENTO

Os Autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Campus de Bauru) pelo apoio recebido.

6 REFERÊNCIAS

- ABDO, P. *et al.* An experimental investigation of the thermal effect due to discharging of phase change material in a room fitted with a windcatcher. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 61, 2020.
- AGLIATA, R. *et al.* Historic building energy audit and retrofit simulation with hemp-lime plaster-A case study. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 11, 2020.
- AKSAMIJA, A.; PETERS, T. Heat Transfer in Facade Systems and Energy Use: Comparative Study of Different Exterior Wall Types. **Journal of Architectural Engineering**, [S. l.], v. 23, n. 1, 2017.
- ALIOUA, T. *et al.* Investigation on heat and moisture transfer in bio-based building wall with consideration of the hysteresis effect. **Building and Environment**, [S. l.], v. 163, 2019.
- AMIRZADEH, A. *et al.* Determination and Assessment of Optimum Internal Thermal Insulation for Masonry Walls in Historic Multifamily Buildings. **Journal of Architectural Engineering**, [S. l.], v. 24, n. 3, 2018.
- ASADI, E. *et al.* A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB. **Building and Environment**, MIT-Portugal Program, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra, Portugal, v. 56, p. 370–378, 2012.
- ASCIONE, F. *et al.* Design of the building envelope: A novel multi-objective approach for the optimization of energy performance and thermal comfort. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 7, n. 8, p. 10809–10836, 2015.
- ASTE, N. *et al.* Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage. **Building and Environment**, [S. l.], v. 148, p. 240–257, 2019.
- BELMONTE, J. F. *et al.* Thermal simulation and system optimization of a chilled ceiling coupled with a floor containing a phase change material (PCM). **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 154–170, 2015.
- BREÇANI, R.; DERVISHI, S. Thermal and energy performance evaluation of underground bunkers: An adaptive reuse approach. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 46, 2019.
- COSTANTINE, G. *et al.* Experimental and numerical investigations of thermal performance of a Hemp Lime external building insulation. **Building and Environment**, [S. l.], v. 131, p. 140–153, 2018.



- COSTANZO, V.; FABRI, K.; PIRACCINI, S. Stressing the passive behavior of a Passivhaus: Anevidence-basedscenario analysis for a Mediterranean case study. **Building and Environment**, [S. l.], v. 142, p. 265–277, 2018.
- D'AGOSTINO, D. *et al.* Cost-optimal methodology and passive strategies for building energy efficiency: a case-study. **ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW**, [S. l.], v. 61, n. 6, p. 400–409, 2018.
- DE GRASSI, M.; CARBONARI, A.; PALOMBA, G. A statistical approach for the evaluation of the thermal behavior of dry assembled PCM containing walls. **Building and Environment**, Ancona, Italy, v. 41, n. 4, p. 448–485, 2006.
- ELIAS-OZKAN, S.T; SUMMERS F. Thermal performance of three different strawbale buildings at the Kerkenes eco-center. **Journal of Green Building**, September 2013; 8 (4): 110–126.
- EVOLA, G.; MARLETTA, L.; SICURELLA, F. A methodology for investigating the effectiveness of PCM wallboards for summer thermal comfort in buildings. **Building and Environment**, [S. l.], v. 59, p. 517–527, 2013.
- GALLEGOS-ORTEGA, R. *et al.* Thermal behavior of a straw bale building from data obtained in situ. A case in Northwestern México. **Building and Environment**, [S. l.], v. 124, p. 336–341, 2017.
- GARAS, G.; ALLAM, M. Thermal performance of plastered rice straw bales and walls: A case study. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 226–237, 2011.
- HALL, M. R. *et al.* Analysis of UK domestic building retrofit scenarios based on the E. ON Retrofit Research House using energetic hygrothermics simulation - Energy efficiency, indoor air quality, occupant comfort, and mould growth potential. **Building and Environment**, University Park, Nottingham NG7 2RD, United Kingdom, v. 70, p. 48–59, 2013.
- HASAN, M. I.; BASHER, H. O.; SHDHAN, A. O. Experimental investigation of phase change materials for insulation of residential buildings. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 36, p. 42–58, 2018.
- HWANG, I. T. *et al.* Improvement of the Korean design criteria on wall-to-wall junctions to prevent condensation in apartment houses. **Sustainability (Switzerland)**, Se Jong, 30065, South Korea, v. 11, n. 12, 2019.
- HYDE, R.; UPADHYAY, A. K.; TREVINO, A. Bioclimatic responsiveness of La Casa de Luis Barragan, Mexico City, Mexico. **ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW**, [S. l.], v. 59, n. 2, p. 91–101, 2016.
- IBRAHIM, M. *et al.* A study on the thermal performance of exterior walls covered with a recently patented silica-aerogel-based insulating coating. **Building and Environment**, Sophia Antipolis Cedex, France, v. 81, p. 112–122, 2014.
- IWARO, J.; MWASHA, A. Effects of Using Coconut Fiber-Insulated Masonry Walls to Achieve Energy Efficiency and Thermal Comfort in Residential Dwellings. **Journal of Architectural Engineering**, [S. l.], v. 25, n. 1, 2019.
- JANNAT, N. *et al.* A comparative simulation study of the thermal performances of the building envelope wall materials in the tropics. **Sustainability (Switzerland)**, Liverpool, L3 3AF, United Kingdom, v. 12, n. 12, 2020.
- JENTSCH, M. F. *et al.* Field study of the building physics properties of common building types in the Inner Himalayan valley of Bhutan. **Energy for Sustainable Development**, [S. l.], v. 38, p. 48–66, 2017.
- KABRE, C. Sustainable Greek traditional dwellings of Cyclades. **Architectural Science Review**, [S. l.], v. 59, n. 2, p. 81–90, 2016.
- KAUSHIK, S. C. *et al.* Periodic heat transfer and load levelling of heat flux through a PCCM thermal storage wall/roof in an air-conditioned building. **Building and Environment**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 99–107, 1981.
- KUMAR, A.; SUMAN, B. M. Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate. **Building and Environment**, Roorkee, Uttarakhand 247667, India, v. 59, p. 635–643, 2013.
- LEE, J.; PARK, J. Phase Change Material (PCM) application in a modernized Korean traditional house (Hanok). **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 10, n. 4, 2018.
- LEO SAMUEL, D. G. *et al.* Thermal comfort in traditional buildings composed of local and modern construction materials. **International Journal of Sustainable Built Environment**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 463–475, 2017.



- LI, Y. *et al.* Experimental study on thermal performance improvement of building envelopes by integrating with phase change material in an intermittently heated room. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 38, p. 607–615, 2018.
- LI, Y.; HOLMBERG, S. General flow and thermal boundary conditions in indoor air flow simulation. **Building and Environment**, Solna, Sweden, v. 29, n. 3, p. 275–281, 1994.
- MEDJELEKH, D. *et al.* A Field Study of Thermal and Hygric Inertia and Its Effects on Indoor Thermal Comfort: Characterization of Travertine Stone Envelope. **Building and Environment**, v. 106, p. 57–77, 2016.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **BMJ**, 2009;339: b2535.
- MOUJALLED, B. *et al.* Experimental and numerical evaluation of the hygrothermal performance of a hemp lime concrete building: A long term case study. **Building and Environment**, [S. l.], v. 136, p. 11–27, 2018.
- MOUSTAFA, M. A.; ARIPIN, S. CFD evaluation of the Pottery Water Wall in a hot arid climate of Luxor, Egypt. **Journal of Green Building**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 175–189, 2015.
- NGHANA, B.; TARIKU, F. Phase change material's (PCM) impacts on the energy performance and thermal comfort of buildings in a mild climate. **Building and Environment**, [S. l.], v. 99, p. 221–238, 2016.
- ODGAARD, T.; BJARLØV, S. P.; RODE, C. Interior insulation – Experimental investigation of hygrothermal conditions and damage evaluation of solid masonry façades in a listed building. **Building and Environment**, [S. l.], v. 129, p. 1–14, 2018.
- OROSA, J. A.; BAALIÑA, A. Improving PAQ and comfort conditions in Spanish office buildings with passive climate control. **Building and Environment**, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 502–508, 2009.
- PARK, J. H. *et al.* Comparative analysis of the PCM application according to the building type as retrofit system. **Building and Environment**, [S. l.], v. 151, p. 291–302, 2019.
- RICHARDSON, A.; HENIEGAL, A.; TINDALL, J. Optimal performance characteristics of mortar incorporating phase change materials and silica fume. **JOURNAL OF GREEN BUILDING**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 59–78, 2017.
- ROSSO, F. *et al.* On innovative cool-colored materials for building envelopes: Balancing the architectural appearance and the thermal-energy performance in historical districts. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 9, n. 12, 2017.
- ÜNVER, R. *et al.* Prediction of building envelope performance in the design stage: An application for office buildings. **Building and Environment**, Istanbul, Besiktas 34 349, Turkey, v. 39, n. 2, p. 143–152, 2004.