2020 ENTAC
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

MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE IMPLANTADOS EM VEDAÇÕES COMO SISTEMA PASSIVO PARA HABITAÇÕES[1]

BRANDALISE, M. P. (1); ALMEIDA, F. S. (2); ORDENES, M. (3)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, marianebrandalise@yahoo.com.br
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, fernandosilvaalmeida@hotmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, martin.ordenes@ufsc.br

RESUMO

Os Materiais de Mudança de Fase (PCM) apresentam capacidade de armazenar ou liberar energia térmica através de oscilações da temperatura, estes estabilizam a temperatura interna e melhoraram a eficácia energética das edificações. Entretanto, problemáticas que tratam sobre o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados no Brasil ainda são incipientes. Dessa maneira, este artigo tem como objetivo analisar o desempenho térmico de uma edificação de interesse social incorporada de PCMs nas vedações, através de simulação computacional utilizando-se do software EnergyPlus, em duas cidades brasileiras (Brasília-DF e Santa Maria-RS). Os resultados foram analisados pela frequência de ocorrência de horas de temperatura interna em desconforto, para determinação do PCM mais adequado a cada contexto climático, e estação do ano. Os resultados obtidos foram satisfatórios para ambas as cidades, sendo que na cidade de Brasília o PCM 25 apresentou 95% das horas do ano em conforto. Já em Santa Maria, nos períodos de maior desconforto para o calor o PCM 25 se demonstrou mais indicado, no desconforto pra frio o PCM 22 obteve melhores resultados.

Palavras-chave: *Materiais de mudança de fase (PCM). Desempenho térmico. Simulação computacional.*

ABSTRACT

Phase Change Materials (PCM) has the capacity to store or release thermal energy through temperature fluctuations, which stabilize the internal temperature and improve the energy efficiency of buildings. However, problems dealing with thermal comfort in naturally ventilated environments in Brazil are still incipient. Thus, this article aims to analyze the thermal performance of a housing social interest incorporated with PCMs of by means computational simulation using the EnergyPlus software, in two Brazilian cities (Brasília-DF and Santa Maria-RS). We analyzed the results by the frequency of occurrence of hours of internal temperature in discomfort, to determine the most appropriate PCM for each climatic context, and season. The results obtained were satisfactory for both cities, and in the city of Brasília, PCM 25 presented 95% within the designated/established limits for comfort. In Santa Maria, in the periods of greatest discomfort for heat, PCM 25 proved to be more suitable, in discomfort for cold PCM 22 obtained better results.

Keywords*: Phase change material (PCM). Thermal performance. Computational simulation.*

---

[1] BRANDALISE, M. P.; ALMEIDA, F. S.; ORDENES, M. Materiais de mudança de fase implantados em vedações como sistema passivo para habitações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

A crescente construção de edifícios em países em desenvolvimento e desenvolvidos acarreta em um elevado consumo energético, assim, torna-se necessário, que o setor da construção civil busque estratégias para minimizar a demanda de energia, tanto na construção quanto na utilização dos edifícios, visto que o setor é responsável por cerca de 36% do consumo energético global (*International Energy Agency*, 2019). No Brasil, as edificações são responsáveis por 50,5% do consumo de energia, sendo que o setor residencial consome 25,4% (Balanço Energético Nacional, 2019).

O consumo de energia nas edificações depende de diferentes variáveis, tais como a utilização de equipamentos, os sistemas de iluminação artificial e climatização, além de variáveis que interferem nestes sistemas, como o modo de utilização e operação, e as características da edificação (forma, número de pavimentos, materiais construtivos e outros). A envoltória da edificação é um fator fundamental na contribuição da redução do consumo de energia, sendo responsável por 20 a 60% da demanda energética (WAQAS e DIN, 2013). Dessa forma, estudos estão sendo realizados a fim de elaborar novas técnicas e materiais, com intuito de diminuir o consumo energético dos edifícios e melhorar o conforto térmico dos usuários.

Uma das principais tecnologias pesquisadas são os sistemas de armazenamento de energia térmica (TES - *Thermal energy storage*), os quais têm a capacidade de armazenar energia. Esses sistemas são classificados em calor sensível, calor latente e armazenamento de energia termoquímica (ZEINELABDEIN et al., 2018). Entre eles, o sistema de armazenamento de calor latente (LHS) tem se destacado, devido a sua menor dificuldade de aplicação e menor custo efetivo em relação aos demais sistemas (MOHAMED et al., 2017). Tal sistema consiste em Materiais de Mudança de Fase (PCM - *Phase Change Materials*) que possuem a capacidade de armazenar ou liberar energia térmica através de oscilações da temperatura (AKEIBER et al., 2016).

Entre os benefícios desses materiais pode ser destacado a estabilidade da temperatura interna e diminuição nas cargas de aquecimento e resfriamento quando aplicados nas edificações (MARKARIAN e FAZELPOUR, 2017). Em uma edificação os PCMs podem ser incorporados nas vedações, pisos, telhados, janelas, portas, painéis, paredes, no aquecimento passivo e no sistema de resfriamento (trocadores de calor, ar condicionado, dentre outros). O armazenamento de calor latente dos PCMs, podem ser obtidos em diferentes mudanças de fase, sólido-sólido, gás-sólido, gás-líquido e sólido-líquido. Os PCMs sólidos-líquidos são os mais utilizados como sistemas de armazenamento de energia térmica, por serem de baixo custo e possuírem pequena variação em seu volume, eles são os mais produzidos e comercializados, e estão disponíveis nas mais diversas faixas de temperatura, sendo divididos em três categorias: compostos orgânicos, compostos inorgânicos e eutéticos (uma mistura de compostos ou elementos químicos).

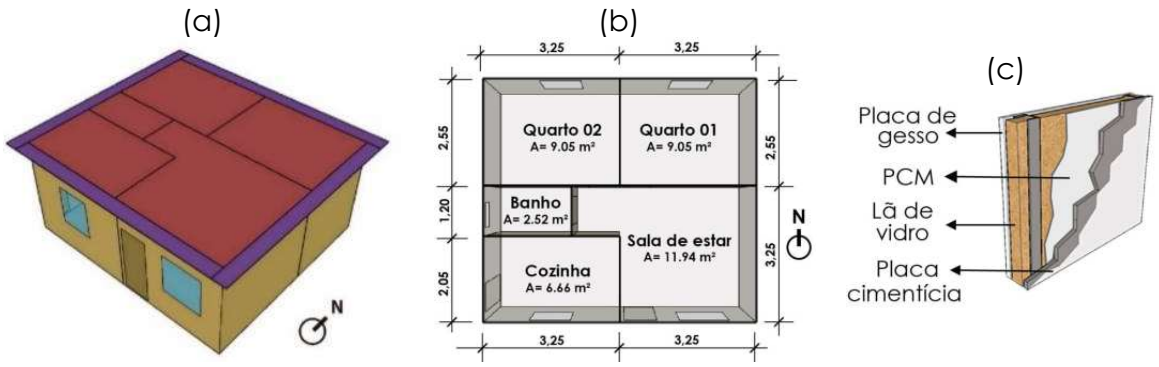
Uma forma de analisar o desempenho de edifícios com PCM é através da simulação computacional. Esse recurso permite avaliar numericamente o comportamento térmico dinâmico desse tipo de edificação (SAFFARI et al, 2017). Observa-se considerável número de pesquisas que avaliam o consumo energético em edificações com PCM, entretanto problemáticas que tratam sobre o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados no Brasil, ainda são incipientes. Dessa maneira, este artigo tem como objetivo analisar o desempenho térmico de uma edificação de interesse social com PCMs implantados nas paredes, através de simulação computacional em duas cidades brasileiras, Brasília-DF e Santa Maria-RS.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Determinação da edificação de análise

Neste estudo, uma edificação genérica de uma habitação de interesse social térrea, do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCV, do Brasil, foi considerada para simulação. O layout da edificação é retangular, com dimensões de 6,30m de largura e 5,90m de comprimento, pé direito de 3,00m, altura dos peitoris de janelas de 1,10m, beirais de 0,40m, e área útil de 35 m². A habitação foi modela no programa de simulação EnergyPlus V.8.3, e configurada com cinco zonas térmicas e para a investigação utilizou-se a zona denominada dormitório 2. Os dormitórios possuem orientação norte e a sala e cozinha orientadas para sul, conforme figuras 1a e 1b.

Figura 1 – (a) Modelo 3D, (b) planta Baixa e (c) parede externa



Fonte: Autores (2020)

A envoltória da edificação foi configurada da seguinte forma: paredes externas em placa cimentícia, lã de vidro e placa de gesso (do exterior para o interior); parede internas em placa de gesso, lã de vidro e placa de gesso; cobertura em telha trapezoidal 40, poliestireno, telha trapezoidal 40, câmara de ar e forro de gesso, o piso em uma camada de laje, argamassa cerâmica e piso cerâmico; janelas em vidro simples incolor; e as portas e madeira maciça. Na tabela 1 é possível observar as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nas paredes da edificação.

Tabela 1 – Propriedades Termofísicas dos materiais construtivos

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)	Condutividade (W/mK)	Calor Específico (J/kgK)
Parede				
Placa cimentícia	100	1900	1.5	840
Lã de vidro	50	100	0.045	700
Parede de gesso	125	875	0.35	840

Fonte: Autores (2020)

Para seleção de PCMs, deve-se observar o calor latente da mudança de fase, que por sua vez controla as temperaturas em uma faixa específica. Tal temperatura de mudança de fase deve estar próxima da temperatura ambiente desejada para melhorar as condições do clima interno, e assim, torná-lo mais estável e confortável os usuários (BAETENS et. al, 2010). Dessa maneira, para o estudo foram selecionados dois BioPCMs comerciais com temperaturas de fusão diferentes, 22°c (PCM 22) e 25°C (PCM 25). Os PCMs foram aplicados nas paredes externas da habitação entre a placa cimentícia e a lã de vidro, ver figura 1c. Na tabela 2 são apresentadas as propriedades termofísicas dos PCMs selecionados.

Tabela 2 – Propriedades Termofísicas dos PCMs selecionados

Material	Temperatura de fusão (°C)	Calor latente (J/kg)	Condutividade térmica em estado sólido (W/mk)	Condutividade térmica em estado líquido (W/mk)	Densidade em estado sólido (kg/m³)	Densidade em estado líquido (kg/m³)
BioPCM 22	22	190	0.2	0.19	630	760
BioPCM 25	25	230	0.2	0.19	700	880

Fonte: Adaptado de RUBITHERM (2018)

2.2 Caracterização climática das cidades de análise

O desempenho de PCMs em edificações apresenta relação direta com as condições climáticas e a localização geográfica, assim, um tipo específico de PCM tem potenciais diferentes, no qual podem economizar energia para resfriamento ou aquecimento em uma determinada zona e em outra diminuir o desempenho térmico da edificação (MARIN et al., 2016). Dessa forma, a seleção dos municípios ocorreu pelo estudo do comportamento térmico dos PCMs escolhidos, considerando as temperaturas médias das cidades. Assim, para esta pesquisa foram selecionadas duas cidades brasileiras, sendo elas: Santa Maria-RS e Brasília-DF. A cidade de Santa Maria é classificada como clima subtropical (Cfa), onde as temperaturas médias encontram-se, abaixo dos 20°C e a amplitude anual varia de 9°C a 13°C. O município possui as 4 estações bem definidas, com verão rigoroso. Já Brasília é caracterizada pelo clima tropical de altitude (Aw), a temperatura se situa na faixa de 18°C a 25°C, ao contrário de Santa Maria, o mês com maior temperatura média em Brasília, não se encontra no verão, e sim na primavera, sendo este mês de setembro.

2.3 Densidade de carga interna e padrão de ocupação

As densidades e agendas de ocupação foram baseadas no trabalho realizado por Ozdenefe e Dewsbury (2015), que também analisaram o desempenho térmico de uma edificação residencial. Para esta pesquisa a habitação foi modelada considerando quatro ocupantes, sendo que nos dormitórios foi estabelecido uma taxa metabólica de 80 Watts/pessoa e na sala de 110 Watts/pessoa. O sistema de iluminação foi configurado com a densidade de potência de 6 W/m², e o de equipamentos elétricos com 1.5W/m², ambos sistemas para sala e dormitórios. Na simulação considerou-se o modelo naturalmente ventilado, com a temperatura de set point de ventilação de 20°C. A tabela 3 apresenta as agendas de ocupação.

Tabela 3 – Agenda de ocupação do modelo

	Ocupação Sala	Ocupação Dormitórios
Dias da semana	13h até 18h 19h até 24h	21h00 às 7h00
Fim de semana	11h00 às 12h00 e das 14h00 até 21h00	21h00 às 10h00

Fonte: Autores (2020)

2.4 Simulação termoenergética do modelo

As simulações foram elaboradas utilizando-se o software EnergyPlus, uma ferramenta disponibilizada pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE). Para este estudo foi adotado o algoritmo CondFD totalmente implícito, de primeira ordem no tempo, que permite a modelagem do fenômeno de mudança de fase, no qual o PCM é descrito por uma função de entalpia configurada pelo usuário (SHARMA e RAI, 2020). Para modelagem da geometria, fez-se uso de uma ferramenta de modelagem 3D, o

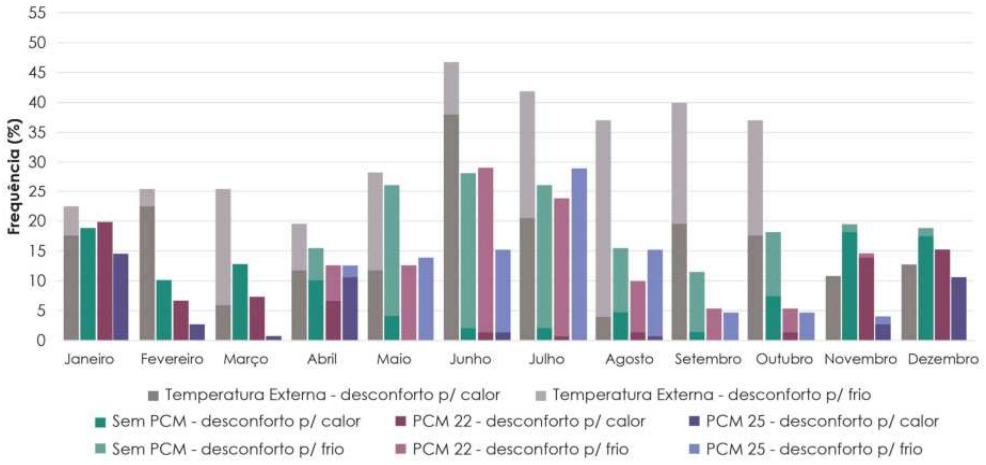
SketchUp e com o plug-in OpenSudio, como interface gráfica. Para analisar da influência do PCM na temperatura interna do ambiente, optou-se que em cada simulação, ocorresse a mudança de um parâmetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram analisados para definição do BioPCM (PCM22 ou PCM25) mais indicado a cada contexto climático investigado, a fim de melhorar o desempenho térmico da edificação e o conforto térmico dos usuários. Assim, para este estudo, foi determinada uma faixa de conforto entre 18 °C e 25°C, utilizada para determinar os limites inferior e superior que os usuários do ambiente estão em conforto térmico. A pesquisa realizada por Evola et al. (2013), também fez uso da faixa de conforto para compreender a influência do PCM na temperatura interna de uma edificação no verão, o estudo foi realizado por simulações, baseadas através de indicadores de conforto adaptativo, como a temperatura operativa. Dessa forma, para ilustração dos resultados será exemplificado nas figuras 2 e 4 a ocorrência em horas de temperatura interna em desconforto. Tais horas de desconforto para frio e calor são apresentadas em três situações distintas: a edificação sem PCM, com PCM22 e com PCM25 aplicado na parede externa da habitação. Já nas ilustrações 3 e 5 pode ser observado o efeito dos PCMs nas flutuações de temperatura interna.

No município de Santa Maria o PCM25 obteve uma menor ocorrência nas horas de desconforto para calor, principalmente nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Estes resultados se justificam pois nesses meses as temperaturas estão próximas ao ponto de fusão do PCM25, colaborando para o processo de carga e descarga do material, proporcionando mais horas de temperatura interna dentro da faixa de conforto. Já nos meses de julho e agosto que apresentam uma maior frequência de horas de desconforto para frio, o PCM 22 demonstrou melhor desempenho térmico com menor porcentagem de horas de desconforto. Esse fato reforça a importância da escolha de ponto de fusão do PCM de acordo com as condições climáticas do local em análise.

Figura 2 – Frequência de ocorrência em horas de Temperaturas internas em desconforto para a cidade de Santa Maria-RS



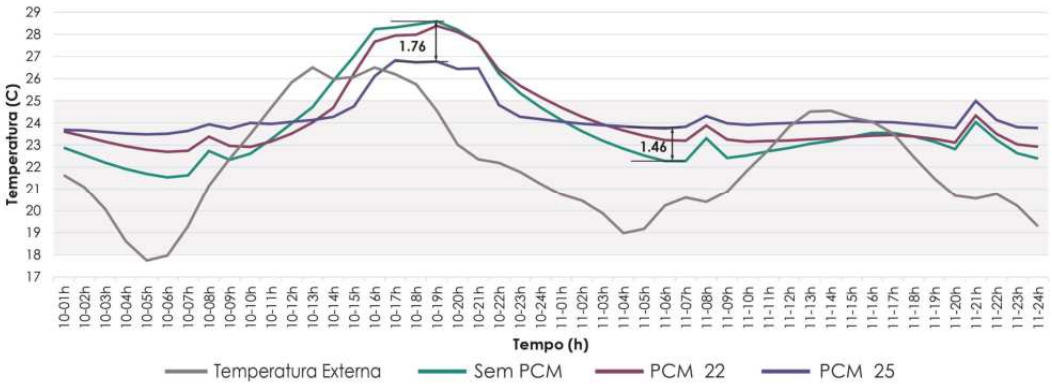
Fonte: Autores (2020)

Na figura 3, as flutuações de temperatura interna para Santa Maria no verão e inverno são demonstradas para compreender o efeito dos PCMs. Na figura a (dias 10 e 11 de janeiro), a amplitude térmica do modelo sem PCM varia 6,28 °C, já os modelos

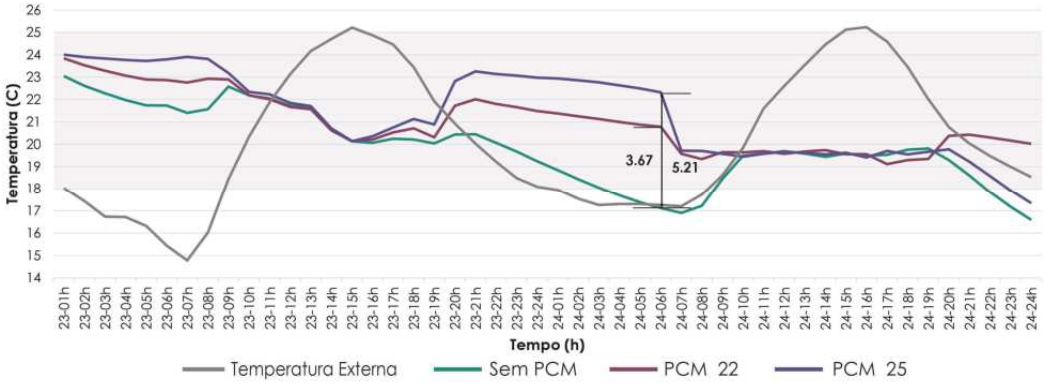
com PCMs apresentam-se mais estáveis. Percebe-se no modelo com PCM25 o processo de carga (15h às 21h, dia 10). Já no modelo com PCM22 a estabilidade na temperatura interna ocorre parcialmente, e entre às 09h e 24h do dia 10, as curvas do modelo com PCM22 acompanham o caso base (sem PCM), exemplificando uma situação onde o PCM não é ativado totalmente. Na situação b (figura b), o PCM22 se demonstra mais estável em grande parte do tempo analisado, já o modelo com PCM25 quando ativado apresenta uma diferença de 5,21 °C do modelo sem PCM, enquanto o modelo com PCM22 3,67 °C.

Figura 3 – Flutuações de temperatura interna, (a) nos dias 10 e 11 de janeiro, e (b) 23 e 24 de junho, para cidade da Santa Maria-RS

(a)



(b)



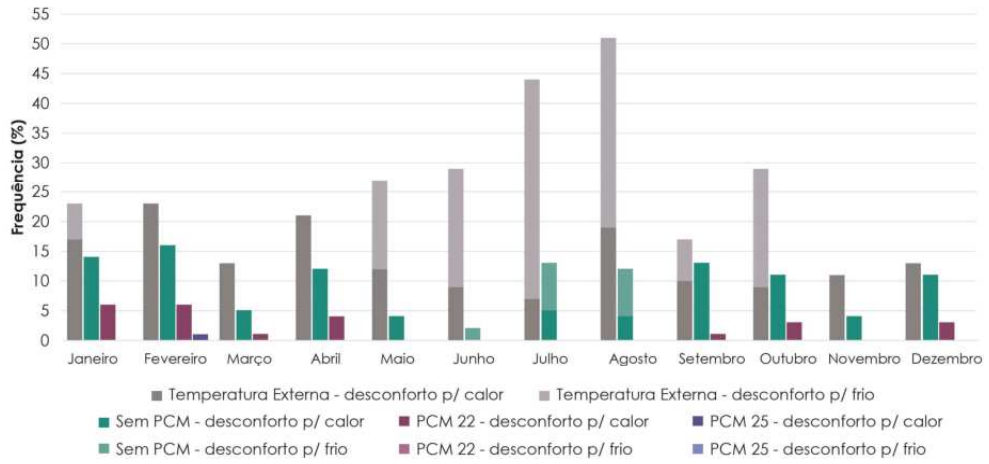
Fonte: Autores (2020)

A figura 4 apresenta a porcentagem de horas em desconforto para os casos analisados na cidade de Brasília. Nota-se que o PCM 25 durante todo o ano apresentou grande parte do tempo dentro da faixa do conforto. Apenas no mês de fevereiro demonstrou menos de 5% das horas em desconforto. Isso ocorre devido ao fato de que no mês de fevereiro tem-se maior número de horas em desconforto para o calor, com uma frequência próxima de 20% das horas, assim as temperaturas superiores a 25°C não permitem o processo de fusão do PCM. Também é possível observar que nos meses com maior desconforto para o frio como junho, julho e agosto, o modelo com PCM 22 apresentou 100% horas em conforto. Novamente esse fato se justifica pela temperatura interna estar próxima do ponto de fusão do PCM escolhido, permitindo o processo completo de fusão e solidificação do PCM.

Para cidade de Brasília foram selecionados dias onde o efeito do PCM25 contribui para as flutuações de temperatura interna, por ter sido o PCM com maiores horas dentro da faixa de conforto dentro todo o ano. Na figura 5, o modelo com PCM25

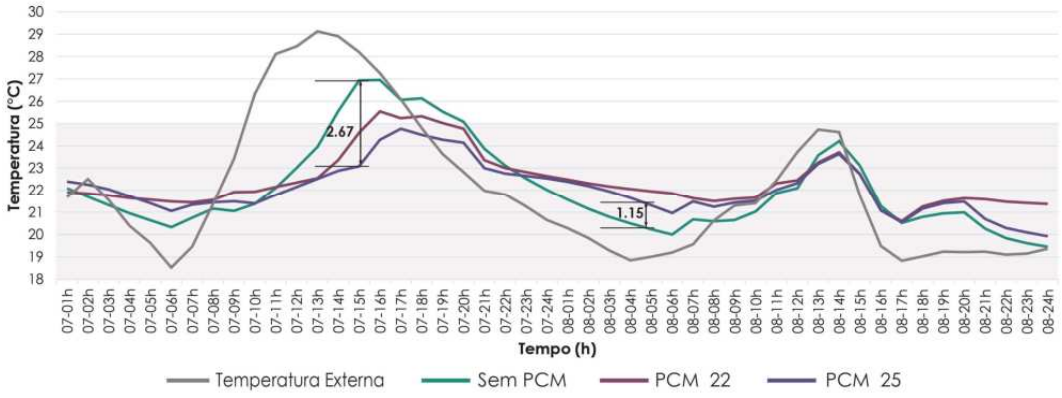
inicia o processo de carga às 15h do dia 07, justamente quando as temperaturas internas estão próximas aos 25°C, permitindo assim o processo de descarga as 22h, estabilizando as temperaturas internas. Nota-se também às 15 horas do dia 7 uma diferença de 2,67°C do modelo PCM 25 e o caso base, isso ocorre no horário em que a temperatura externa está mais elevada.

Figura 4 – Frequência de ocorrência em horas de Temperaturas internas em desconforto para a cidade de Brasília-DF



Fonte: Autores (2020)

Figura 5 – Flutuações de temperatura interna, nos dias 07 e 08 de outubro, para cidade de Brasília-DF



Fonte: Autores (2020)

4 CONCLUSÕES

Este trabalho analisou a aplicação passiva do PCM como potencial para melhorar o conforto térmico de uma residência de interesse social em duas cidades brasileiras com climas distintos, Santa Maria-RS e Brasília-DF. Para isso foram realizadas simulações computacionais no programa EnergyPlus com a incorporação na parede de dois tipos de BioPCM's, 22 e 25. Os resultados encontrados nas duas cidades demonstram que os modelos com PCM apresentaram o menor percentual de horas de desconforto em relação ao modelo base (sem PCM) durante todo ano.

Na cidade de Santa Maria, que possui as estações de inverno e verão bem definidas, foi possível perceber que no período com maior desconforto para frio o PCM 22

demonstrou melhor resultado em relação ao PCM 25, já no período com maior desconforto para o calor o PCM 25 apresentou um melhor desempenho. Em Brasília que não apresenta uma grande variação de temperatura durante o ano, o modelo com PCM 25 obteve um melhor desempenho térmico. Sendo assim, o trabalho reforça a importância da escolha do ponto de fusão do PCM de acordo com as características climáticas do local estudado. Além de demonstrar que em cidades que apresentam uma grande amplitude térmica ao longo do ano, a aplicação do PCM não é tão eficaz com uso apenas de um ponto de fusão, assim, recomenda-se a aplicação de PMC's distintos para determinadas estações do ano.

REFERÊNCIAS

AKEIBER, Hussein et al. A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 60, p. 1470-1497, jul. 2016.

BAETENS, Ruben et al. Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 42, n. 9, p.1361-1368, set. 2010.

EPE (2019), Balanço Energético Nacional 2019. **Empresa de Pesquisa Energética**, Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/balancoenergetico- nacional-2019>. Acesso em 08 de janeiro de 2020.

EVOLA, G. et al. 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, jan. 2013.

IEA (2019), Global Status Report for Buildings and Construction 2019. **International Energy Agency**, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>. Acesso em 06 de janeiro de 2020.

MARIN, Paula et al. Energy savings due to the use of PCM for relocatable lightweight buildings passive heating and cooling in different weather conditions. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 129, p.274-283, out. 2016.

MARKARIAN, Elin; FAZELPOUR, Farivar. Multi-objective optimization of energy performance of a building considering different configurations and types of PCM. **Solar Energy**, [s.l.], v. 191, p.481-496, out. 2019.

MOHAMED, Shamseldin et al. A review on current status and challenges of inorganic phase change materials for thermal energy storage systems. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 70, p.1072-1089, abr. 2017.

OZDENEFE, Murat; DEWSBURY, Jonathan. Thermal performance of a typical residential Cyprus building with phase change materials. **Building Services Engineering Research And Technology**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 85-102, 3 set. 2015.

SAFFARI, Mohammad et al. Simulation-based optimization of PCM melting temperature to improve the energy performance in buildings. **Applied Energy**, [S.L.], v. 202, p. 420-434, set. 2017.

SHARMA, Viven; RAI, Aakash C. Performance assessment of residential building envelopes enhanced with phase change materials. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 208, p. 109664-1096701, fev. 2020.

WAQAS, Adeel; DIN, Zia Ud. Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings-A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 18, p.607-625, fev. 2013.

ZEINELABDEIN, Rami et al. Critical review of latent heat storage systems for free cooling in buildings. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 82, p.P2843-2868, fev. 2018.