

APLICAÇÕES DOS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (PCM) EM SISTEMAS PASSIVOS: BREVE REVISÃO DE LITERATURA

Data de aceite: 01/09/2023

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Universidade Estadual de Maringá,
Umuarama – PR
lattes.cnpq.br/8888223123528183

aplicação em larga escala.

PALAVRAS-CHAVE: Inércia térmica, temperatura, comportamento térmico, Larga escala.

RESUMO: Atualmente, há um crescente interesse na utilização de Materiais de Mudança de Fase (PCMs - Phase Change Materials) aplicados em elementos de construção, com objetivo de reduzir a inércia térmica das edificações. Os Materiais de Mudança de Fase são capazes de absorver e dissipar grandes quantidades de energia térmica ao longo dos ciclos e essa mudança pode ocorrer durante toda sua vida útil. Tendo em vista a crescente aplicação desses materiais, esse trabalho apresenta uma breve revisão da aplicação dos PCMs em pisos, paredes, lajes, vidros, entre outras etapas dentro de uma construção. Diante do exposto, constata-se uma tendência na redução da temperatura quando há a inserção do PCM dentro do material, porém, para que a utilização do material possa ser aplicado cada vez mais, análises do comportamento térmico, mecânico, viabilidade financeira a longo prazo deve ser estudada para a real

APPLICATIONS OF PHASE CHANGE MATERIALS (PCM) IN PASSIVE SYSTEMS: BRIEF LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Currently, there is a growing interest in the use of Phase Change Materials (PCMs - Phase Change Materials) applied to construction elements, with the aim of reducing the thermal inertia of buildings. Phase Change Materials are able to absorb and dissipate large amounts of thermal energy over cycles and this change can occur throughout their lifetime. In view of the increasing application of these materials, this work presents a brief review of the application of PCMs in floors, walls, slabs, glass, among other stages within a construction. In view of the above, there is a tendency to reduce the temperature when the PCM is inserted inside the material, however, so that the use of the material can be applied more and more, analyzes of the thermal, mechanical behavior, long-term financial viability must be studied for real

large-scale application.

KEYWORDS: Thermal inertia, temperature, thermal behavior, Large scale.

1 | INTRODUÇÃO

Na arquitetura contemporânea, o uso de materiais leves com baixa inércia térmica em edificações residenciais está cada vez mais difundido. Uma solução para aumentar a inércia térmica dessas edificações é o uso de materiais de mudança de fase (PCM) (ALMEIDA, BRANDALISE, MIZGIER, 2022).

Os materiais de mudança de fase, do termo em inglês *Phase Change Materials* (PCMs), são desenvolvidos com o objetivo de atuar como “armazenadores” de energia na forma de calor (BRITO et al., 2017). O interesse em PCMs na área da construção civil está na capacidade de aproveitar o armazenamento de energia através da transição de fase de calor latente em vez da transição de calor sensível (FLEISCHER, 2015).

Esses materiais têm sido aplicados em revestimento de fachadas, visando tornar os edifícios mais eficientes em nível energético, de maneira que evitem a necessidade de sistemas de geração/absorção de calor, como, por exemplo, os sistemas de ar-condicionado, que possuem grande consumo energético (MARTINS, 2017).

Dessa maneira, estudos mais aprofundados sobre a real aplicação dos PCMs na construção civil devem ser realizados, de maneira que ofereça maior conforto e economia aos usuários, através do aumento da inércia térmica dos materiais, com o objetivo da redução de equipamentos de aquecimento e refrigeração. Portanto, se esses sistemas projetados e dimensionados adequadamente, forem aplicados de forma correta, com PCM, podem gerar economia de escala aos usuários e maior valor às edificações produzidas com esses materiais, por esses serem mais sustentáveis.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aplicação dos PCMs em sistemas passivos

2.1.1 Tijolos

Hichem et al. (2013) utilizaram, em seus estudos, tijolos usuais com orifícios quadrados e preencheram esses orifícios com PCMs. Os resultados mostraram que a utilização desses orifícios com PCM pode melhorar consideravelmente a inércia térmica do tijolo. Entretanto, a combinação dos tipos de PCM, a sua localização na parede e a sua quantidade são importantes para melhorar a redução do ganho de calor antes de atingir o espaço interno.

Lai e Chiang (2006) investigaram a influência da incorporação de PCM (parafina denominada octadecano) em tijolos perfurados, conforme exhibe a Figura 1.

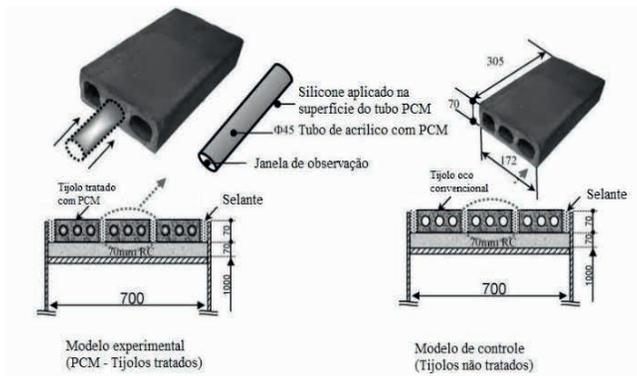


Figura 1 – Modelo experimental dos tijolos

Fonte: Lai e Chiang (2006).

As medições foram realizadas durante o verão, e os autores reportaram que, quando a temperatura externa máxima foi de 35,58 °C, a temperatura máxima do lado inferior do tijolo tratado com PCM foi de 31,78 °C. Houve uma diferença de pico de 4,98 °C entre o tijolo tratado com PCM e o tijolo sem tratamento. Isso comprova que os tijolos tratados com PCM têm melhor efeito de isolamento térmico diurno do que os tijolos comuns não tratados (LAI; CHIANG, 2006).

2.1.2 Painéis de gesso acartonado

Martins (2017) afirma que cápsulas feitas de PCMs podem ser adicionadas diretamente aos materiais de construção ou ser conjugadas para obter outro tipo de componente, como as placas de gesso acartonado embutido com microencapsulamento de PCM, as quais já são comercializadas e aplicadas regularmente.

A Figura 2 apresenta um exemplo de painéis de gesso acartonado contendo materiais de mudança de fase.

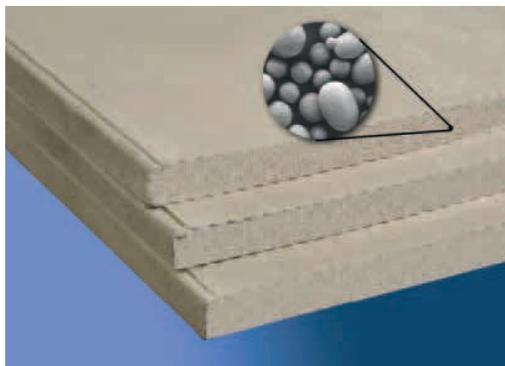


Figura 2 – Placa de gesso acartonado com PCM microencapsulado

Fonte: Basf (2008).

2.1.3 Fachadas, paredes e tetos

Brito et al. (2017) afirmam que, no mercado internacional, já se observam alguns produtos com PCMs que podem ser utilizados em revestimentos de paredes, forros ou divisórias internas. Geralmente, são produtos de parafinas ou sais hidratados encapsulados, que se apresentam na forma de pó ou líquido, a serem aplicados como agregados de argamassas em painéis, cápsulas ou filmes.

A Figura 3 apresenta três tipos diferentes de materiais de construção civil com variadas espessuras, sendo esses uma parede de tijolo, uma parede de concreto e uma parede de gesso acartonado com a aplicação de PCM.

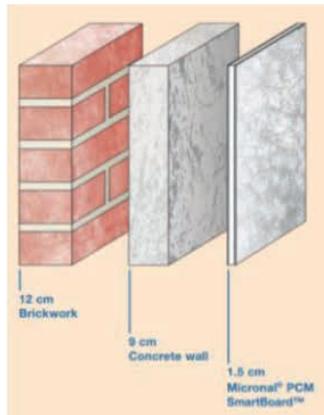


Figura 3 – Materiais diferentes utilizados na construção

Fonte: Basf (2008).

A Figura 4 apresenta o comportamento do PCM em paredes de concreto.

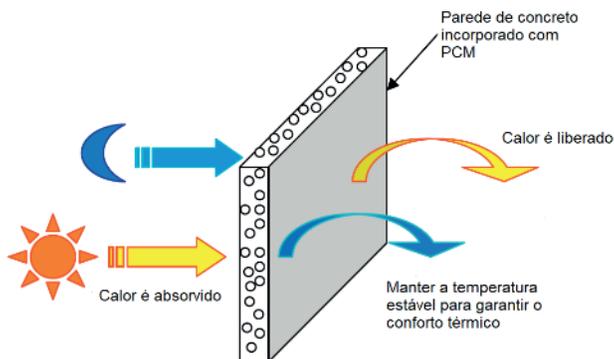


Figura 4 – Função da incorporação do PCM em paredes de concreto

Fonte: Adaptada de Ling e Poon (2013).

A Figura 33 apresenta a diferença de temperatura entre o dia e a noite, o que garante

o processo de fusão e o de solidificação do material, transformando-o em um sistema de aquecimento e resfriamento. Durante o dia, o material absorve o calor, fundindo o PCM; e durante a noite, o PCM torna-se sólido e o calor é liberado de volta para o ambiente (LING; POON, 2013).

Sá (2012) mostrou que os PCMs utilizados nos elementos construtivos, como fachadas, paredes interiores e lajes, caracterizam-se, principalmente, pela mudança entre os seus estados (sólido/líquido) e por apresentar temperaturas próximas das temperaturas de conforto exigidas ao ambiente interior, que variam de 20 °C a 25 °C. A Figura 5 exhibe uma parede com a inserção de PCM no gesso.

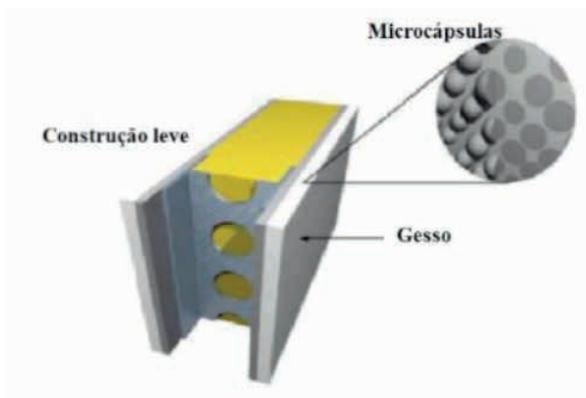


Figura 5 – Vista esquemática de uma parede leve com PCM

Fonte: Sharma et al. (2009).

O desempenho dos painéis de parede com a inserção dos PCMs depende de vários fatores, como a temperatura de fusão do PCM, a faixa da temperatura na qual ocorre a fusão, a capacidade de armazenamento latente por área da parede, a incorporação dos PCMs nas paredes, a orientação da parede, as condições climáticas, os ganhos solares diretos etc. (BAETENS; JELLE; GUSTAVSEN, 2010).

Segundo Khudhair e Farid (2004), o armazenamento de energia nas paredes, no teto e no piso dos edifícios pode ser melhorado com PCM encapsulado, em que no interior dessas superfícies é possível a captação de energia solar e o aumento do conforto térmico dos usuários, diminuindo por consequência a oscilação da temperatura interna do ar e mantendo a temperatura mais próxima da desejada por um longo período de tempo.

Lee, Medina e Sun (2015) estudaram células de testes de 1,8x1,8x1,2 m com PCM de sal hidratado e em condições de ambiente natural/artificial exposto ao sul e ao oeste. O esquema da seção montada para a análise pode ser analisado na Figura 6(a) e o da célula de teste montada pode ser visualizado na Figura 6(b).

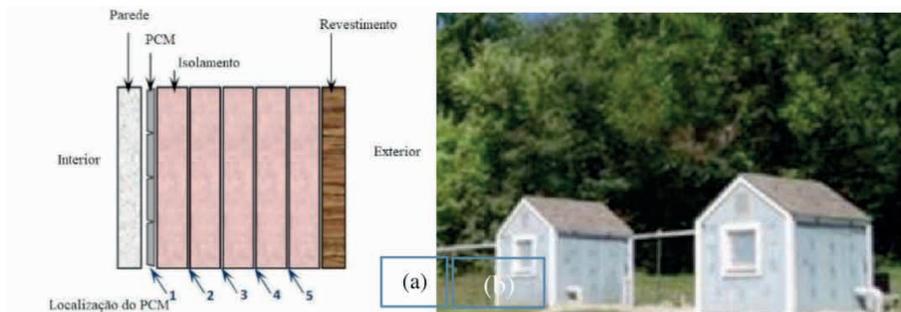


Figura 6 – Esquema da seção da parede mostrando a localização do PCM (a) e a célula de teste (b)

Fonte: Adaptada de Lee, Medina e Sun (2015).

Os autores concluíram que a localização do PCM no meio da parede que melhor reduziu o fluxo de calor foi a do lado sul, com redução de 51,3%, enquanto a superfície próxima do interior foi a do lado oeste, com redução de aproximadamente 29,7%.

Oliveira, Lucarelli e Carlo (2022) relatam que é possível afirmar que a utilização de PCM em paredes tem grande potencial para o aumento das horas em conforto e a redução do consumo de energia. Porém, é necessária uma análise criteriosa de diferentes parâmetros, como a camada em que o PCM será colocado, a orientação solar da parede com PCM, o clima e a estação do ano, a temperatura de fusão do PCM, a temperatura de *setpoint* desejada no ambiente interno e os aspectos construtivos.

No estudo de Lee et al. (2018), foram instalados 22 painéis ao todo, sendo 10 painéis na parede sul e 12 painéis na parede oeste, conforme apresenta a Figura 7(a). O material estudado constituíam-se de placas finas de compostos poliméricos classificados como PCM e laminados com folha de alumínio em ambos os lados ao redor das bordas, conforme exibe a Figura 7(b).

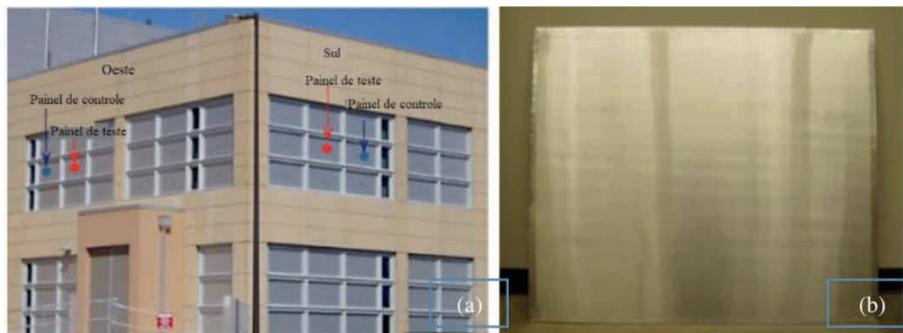


Figura 7 – Paredes do estudo instaladas (a) e placas de PCM (b)

Fonte: Adaptada de Lee, Medina e Sun (2015).

O resultado dos autores Lee, Medina e Sun (2015) mostrou que as reduções médias

diárias de transferência de calor foram de 27,4% para paredes viradas a sul e de 10,5% para paredes virada à oeste, respectivamente. Eles concluíram, também, que a integração de uma fina camada de PCM atrasou o pico de transferência de calor, em média de 2 a 3 horas, por unidade de área da parede.

2.1.4 *Persianas/Vidros*

Sharma et al. (2009) desenvolveram um envidraçado com a incorporação de PCM em seu exterior. O sistema permanece aberto do lado exterior absorvendo calor com a radiação solar, porém, à noite, o sistema permanece fechado, irradiando calor para o interior da edificação por meio das suas divisões. A Figura 8 apresenta o modelo estudado pelos autores e a Figura 9 apresenta outra tecnologia aplicada em vidros.



Figura 8 – Modelo de persianas com incorporação de PCM

Fonte: Sharma et al. (2009).



Figura 9 – Aplicação de PCM em vidros

Fonte: Adaptada de Košny (2015).

Essa tecnologia é baseada em uma fina camada de PCM translúcido embalado em plástico transparente contendo 16 mm de espessura. A unidade de vidro isolado

externo tem um filtro prismático suspenso (como uma lente de Fresnel) entre os painéis de vidro que reflete a luz solar do ângulo mais alto de volta enquanto transmite a luz solar. Esse mecanismo de controle solar “passivo” mantém a maior parte do sol de verão de grande incidência solar, enquanto se beneficia do ângulo mais baixo do sol de inverno (KOŚNY, 2015). Matera et al. (2018) estudaram, por meio de simulação, um edifício de dois pavimentos envidraçados, com as suas paredes internas contendo PCM de sais hidratados. Na Figura 10 encontra-se a representação do estudo.

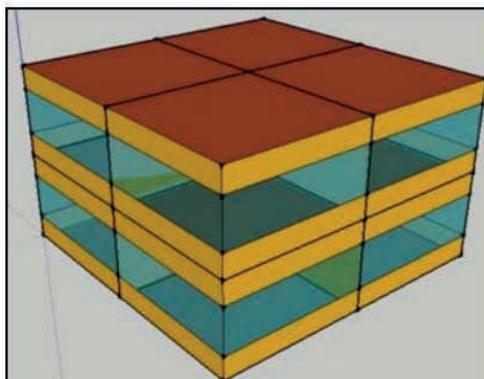


Figura 10 – Representação 3D da envolvente da edificação

Fonte: Matera et al. (2018).

Os autores utilizaram o mesmo parâmetro de controle para o inverno e o verão: nível de isolamento, volume de PCM e temperatura de fusão. E concluíram que no inverno foi observado um desempenho inferior, demandando maior utilização de aquecimento, enquanto no verão houve uma expressiva diminuição da demanda de resfriamento. Isso se deve à grande quantidade de radiação solar que entra no ambiente interno através das superfícies envidraçadas.

2.1.5 Telhado/Painéis solares

A utilização de PCMs em telhados e painéis solares também vem sendo estudada. A Figura 11 apresenta um telhado com painéis de PCM.

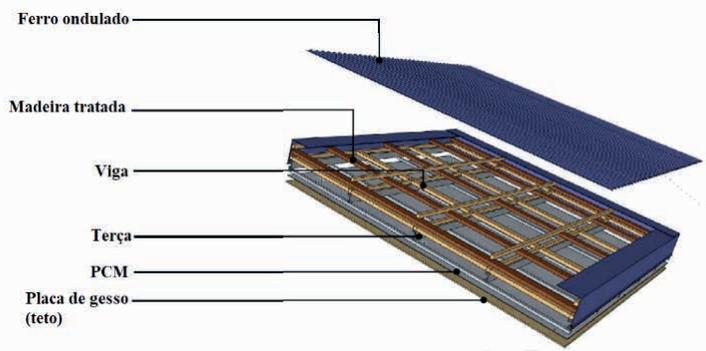


Figura 11 – Painéis de PCM integrado entre telhado e placa de gesso

Fonte: Adaptada de Guichard et al. (2015).

Os painéis de PCM foram integrados ao teto de uma célula de teste com a finalidade de verificar a eficiência do protótipo. Os resultados apresentaram a eficiência do material. Além disso, verificou-se que a temperatura da superfície interna da placa de gesso era de 5 °C mais alta do que a da superfície externa do PCM, bem como o uso do PCM reduziu a temperatura interna do ambiente aproximadamente 2 °C em comparação com a da célula de teste convencional (GUICHARD et al., 2015). O laboratório Oak Ridge dos Estados Unidos desenvolveu um sistema para testes de campo com diferentes tipologias de telhado. A Figura 12 apresenta a montagem do estudo.

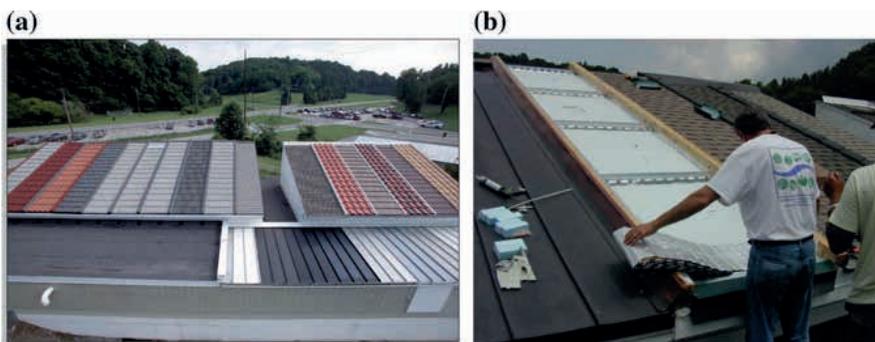


Figura 12 – Conjunto de testes de telhado com PCM (a) e instalação de alumínio inorgânico de PCM (b)

Fonte: Adaptada de Košny (2015).

De acordo com Košny (2015), cada telhado possuía 4,9 m de comprimento por 1,5 m de largura e uma inclinação de 18,4°. Um telhado convencional com telhas asfálticas de refletância solar de 0,093 e uma emitância de 0,89 foi usado como referência. Ainda para o mesmo autor, as investigações de PCM foram das mais diversas, como espumas e tecidos, folha de alumínio inorgânico, folhas de plástico orgânico, entre outras. Em geral, os dados

de testes demonstraram cerca de 95% de redução de cargas de resfriamento no horário de pico e mais de 30% de redução geral da carga de resfriamento, comparando-os com projetos de telhados tradicionais.

2.1.6 Pisos

As áreas que estão em contato direto com a radiação solar também possuem um grande potencial de armazenamento de energia térmica (KALNAES; JELLE, 2015).

Soluções de piso incorporando PCMs em áreas de um edifício em que o sol brilha por grande parte do dia podem se beneficiar da incorporação de PCMs. A Figura 13 apresenta perfis planos com a incorporação de PCM, os quais podem armazenar e liberar energia térmica latente.



Figura 13 – Perfis planos de PCM que podem ser instalados sob o piso

Fonte: Cosella-Dörken (2014).

Xu et al. (2005) realizaram uma simulação do desempenho térmico de PCM (na forma estabilizada) durante a estação de inverno. E concluíram que o desempenho nos sistemas foi influenciado pela escolha do material, ou seja, quanto maior a espessura, maior o desempenho. Porém, quando se fala em simulações, a espessura não deve exceder 20 mm, pois isso não aumenta significativamente a influência no armazenamento térmico.

Royon, Karim e Bontemps (2014) usaram um composto de polímero-parafina para preencher a cavidade de lajes alveolares (utilizada como piso/teto), conforme apresentado na Figura 14.

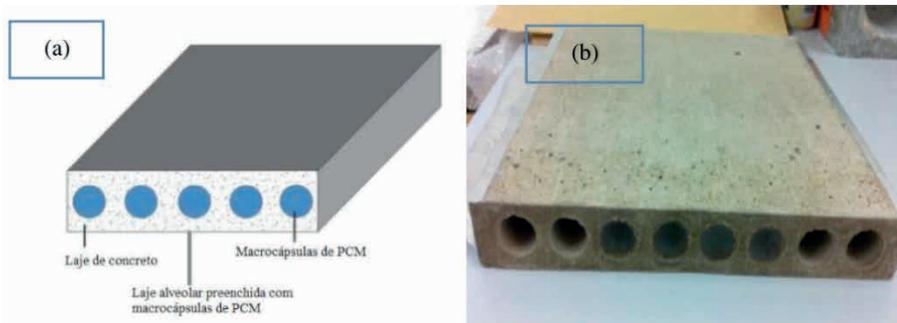


Figura 14 – Laje utilizada na simulação (a) e laje em escala reduzida 1:5 (b)

Fonte: Royon, Karim e Bontemps (2014).

A laje estudada é constituída de um painel oco com cavidades cilíndricas preenchido com os PCMs. Com isso, foi possível aumentar artificialmente a inércia térmica do estudo, de maneira a regular a temperatura interna do edifício em questão.

3 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os PCMs seja um material muito estudado e aplicado nas construções mundo afora, fica evidente a falta de aplicação desse material no Brasil. Uma das barreiras da não utilização desse produto no território brasileiro se dá devido ao seu custo em aplicações reais, bem como a falta de incentivo das empresas brasileiras para desenvolver esse material e baratear o produto.

Diante do exposto, fica comprovado que a aplicação dos PCMs em elementos de construções tem um grande potencial para a redução da inércia térmica dentro das edificações.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. da S.; BRANDALISE, M. P.; MIZGIER, M. O. Materiais de mudança de fase como sistema de resfriamento passivo em habitações de interesse social pré-fabricadas leves. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, São Paulo, v. 13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8666777>.

BAETENS, R.; JELLE, B. P.; GUSTAVSEN, A. Phase change materials for building applications: a state-of-the-art review. **Energy and Buildings**, v. 42, 1361-1368, 2010. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.03.026

BASF. **Micronal PCM**. 2008. Disponível em: https://www.maisonpassive.be/IMG/pdf/Micronal_EN.pdf.

BRITO, A. C. de *et al.* Características térmicas de materiais de mudança de fase adequados para edificações brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 125-145, jan./mar. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100128>.

COSELLA-DÖRKEN. **Delta-Cool 21 used in a floor application of the north house at the US department of energy solar decathlon**. Oct. 2014. Disponível em: <http://www.cosella-dorken.com/bv/ca-en/projects/pcm/northhouse.php>.

FLEISCHER, A. S. **Thermal energy storage using phase change materials: fundamentals and applications**. Villanova, PA, USA: Springer, 2015.

GUICHARD, S. *et al.* Experimental investigation on a complex roof incorporating phase-change material. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 36-43, 2015. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.08.055.

HICHEM, N. *et al.* Experimental and numerical study of a usual brick filled with PCM to improve the thermal inertia of buildings. **Energy Procedia**, n. 36, p. 766-775, 2013. DOI 10.1016/j.egypro.2013.07.089.

KALNAES, S. E.; JELLE, B. P. Phase change materials and products for building applications: a state-of-the-art review and future research opportunities. **Energy and Buildings**, n. 94, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.023>.

KHUDHAIR, A. M.; FARID, M. M. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 2, p. 263-275, 2004. DOI 10.1016/S0196-8904(03)00131-6.

KOŚNY, J. **PCM: enhanced building components. An application of phase change materials in building envelopes and internal structures**. Boston, USA: Springer, 2015.

LAI, C.-M.; CHIANG, C.-M. How phase change materials affect thermal performance: hollow bricks. **Building Research & Information**, v. 34, n. 2, p. 118-130, 2006. DOI 10.1080/09613210500493197.

LEE, K. O.; MEDINA, M. A.; SUN, X. On the use of plug-and-play walls (PPW) for evaluating thermal enhancement technologies for building enclosures: evaluation of a thin phase change material (PCM) layer. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 86-92, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.020>.

LEE, K. O. *et al.* Thermal performance of phase change materials (PCM)-enhanced cellulose insulation in passive solar residential building walls. **Solar Energy**, v. 163, p. 113-121, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.086>.

LING, T. C.; POON, C. S. Use of phase materials for thermal energy storage in concrete: an overview. **Construction and Building Materials**, n. 46, p. 55-62, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.031>.

MARTINS, B. F. M. **Materiais de mudança de fase (PCM) para melhoria do desempenho térmico de edifícios**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/b490/6576f8de8643cad74c4c920f37491c2a1558.pdf?_ga=2.261399501.156006525.1595209132-1471779208.1579830961.

MATERA, N. *et al.* Optimal design of PCM in internal walls for nZEB buildings. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING; IEEE INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER SYSTEMS EUROPE, 2018, Palermo. **Proceedings [...]**. Palermo, 2018.

ROYON, L.; KARIM, L.; BONTEMPS, A. Optimization of PCM embedded in a floor panel developed for thermal management of the lightweight envelope of buildings. **Energy and Buildings**, n. 82, p. 385-390, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.012>.

SÁ, A. M. V. D. O. **Sustentabilidade na construção**: comportamento térmico de edifícios em Portugal usando materiais de mudança de fase. 2012. 216 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/68699>.

SHARMA, A. *et al.* Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n. 13, p. 318-345, 2009. DOI 10.1016/j.rser.2007.10.005.

XU, X. *et al.* Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings. **Energy and Buildings**, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.016>.