

Materiais com mudança de fase utilizados como técnica de conforto térmico em edificações

Camila Kramel

Universidade Federal do Paraná – Brasil
camilakramel@gmail.com

George Stanescu

Universidade Federal do Paraná – Brasil
stanescu@ufpr.br

Julia Fernanda dos Santos Blasius

Universidade Federal do Paraná – Brasil
juliafblasius@gmail.com

ABSTRACT

Since the beginning of the civilization, the search for better life conditions was one of the most ceaseless human activities. Keeping warm in natural places initially used for housing purposes, and later maintaining thermal comfort in places specially built for this purpose, has always been an important part of this quest. After the technological advances, which occurred since the Industrial Revolution, the maintenance of thermal comfort in built environments became more and more dependent on the use of electric powered equipment. Therefore, it can be understood the reason why today it is responsible for a significant part of global energy consumption. Aiming to identify possible technical solutions to enable the reduction of this energy consumption, this paper presents some recent advances in the use of phase change materials in construction. This literature review has brought not only studies already done on phase change materials but also their results and several applications. After the research, it was concluded that although the research on phase change materials are promising on international field – and even it's use is already relevant in the industry with applicabilities in other sectors – in Brazil there are few researches on this technology, which would be interesting in a tropical climate country that usually needs technologies to maintain the thermal comfort of the building.

Keywords: Phase change materials; Thermal comfort; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Um dos temas mais relevantes atualmente em relação à questão ambiental é aquele relacionado ao estilo de vida contemporâneo, questionando-se os limites da interação entre os seres humanos e a natureza. Dados do BP (2018) relatam que a emissão de dióxido de carbono na atmosfera praticamente duplicou nos últimos 45 anos, de 14.482 milhões de toneladas em 1970 para 33.303 milhões de toneladas em 2015, o que torna necessária uma maior preocupação para o desenvolvimento de novas tecnologias com menor impacto ambiental.

Para sanar esse problema, além da implementação de fontes renováveis de energia, uma alternativa sustentável para a redução da emissão de gases poluentes pela queima de combustíveis fósseis é diminuir o consumo energético em situações do cotidiano.

Dentro do contexto das mudanças climáticas globais, que por sua vez encontram-se cada vez

mais nítidas, o uso de equipamentos para controle de temperatura tem aumentado cada vez mais. Dessa maneira, a utilização de tecnologias energeticamente mais eficientes é um dos modos mais simples para contribuir com a redução da poluição no meio ambiente.

Um dos melhores métodos para redução do consumo de energia em ambiente construído consta em aplicar materiais e tecnologias à sua envoltória para obter obter assim menor consumo energético na edificação (LONG et al., 2014). Desse modo, evitando os métodos convencionais de armazenamento térmico, a fim de diminuir o consumo de aparelhos para obter conforto térmico, os materiais com mudança de fase fornecem armazenamento de calor e fornecem temperatura quase constante e com densidades de armazenamento de energia muito maiores. Essa tecnologia pode atender ao máximo essa demanda, dependendo do clima da região aplicada (PATEL; QURESHI; DARJI, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Materiais de construção, como, por exemplo, pedras, têm sido utilizados para armazenamento de calor desde o início da construção civil, a fim de manter a temperatura e o conforto térmico dentro da edificação. No entanto, materiais como pedra e alvenaria em edifícios modernos podem dar origem a uma série de problemas, principalmente alto custo, excesso de massa e ainda não ser suficiente para alcançar o conforto térmico. Para superar esses problemas construtivos, o uso de materiais com mudança de fase para fornecer armazenamento de calor latente em edifícios começou a receber sérias considerações logo após a Segunda Guerra Mundial (HAWES; FELDMAN; BANU, 1993).

A aplicabilidade destes materiais vai além da construção civil, abrangendo também a indústria têxtil e médica. Nelson (2002) afirma que na década de 1980 a NASA incorporou materiais com mudança de fase às estruturas têxteis dos trajes dos astronautas, a fim de melhorar o desempenho térmico e diminuir a sensação de temperaturas extremas. Na área da medicina já é possível encontrar produtos – como cobertores, por exemplo – para absorver as temperaturas excessivas de pacientes febris (BUCKLEY, 1998).

2.1 Transferência de calor e armazenamento térmico

Os materiais em sua essência têm uma propriedade que, em determinadas mudanças de temperatura e pressão, têm sua fase transformada em sólido, líquido ou gasoso. Os chamados materiais com mudança de fase são os que dentro dessas propriedades possuem uma maior capacidade térmica do que materiais convencionais; isso deve-se ao seu elevado calor de fusão.

Na Termodinâmica, Mishra, Shukla e Sharma (2015) afirmam que o calor latente é definido como o calor liberado ou absorvido por um corpo ou um sistema termodinâmico durante um processo de temperatura constante, alterando assim o estado da matéria. O calor latente associado à fusão de um material sólido ou o congelamento de um líquido é chamado de calor de fusão; o calor latente associado à vaporização de uma substância líquida ou sólida ou também a condensação de um vapor é dito como calor de vaporização.

O calor latente é obtido através de mudanças dos estados sólido-líquido, sólido-gás, líquido-gás e sólido-sólido. A mudança sólido-sólido acontece em alguns materiais que alteram sua estrutura cristalina para outra de acordo com recebimento de calor, a mudança em sua aparência não é visível, apenas ocorre uma ligeira contração ou expansão; esta mudança é de um modo geral muito lenta, o que torna o armazenamento de calor impraticável. Já a mudança líquido-gás, apesar de possuir um alto

calor de armazenamento, seu armazenamento é inviável pois para que o gás seja armazenado é necessário grandes volumes ou altas pressões. Contudo, a única mudança de fase utilizada para armazenamento térmico é a mudança do tipo sólido-líquido (MISHRA; SHUKLA; SHARMA, 2015).

Assim, a relevância dos materiais com mudança de fase dá-se, em essência, pelo armazenamento térmico de energia produzido; dentro da construção civil, este armazenamento térmico soluciona alguns problemas relacionados à eficiência energética e o consumo de energia para manter um ambiente termicamente confortável (ZALBA et al., 2003). Abaixo são representadas as características mais importantes do armazenamento de energia de materiais.

Propriedades térmicas:

- Temperatura de mudança ajustada à aplicação;
- Alta mudança de entalpia próximo da temperatura de uso;
- Alta condutividade nas fases líquido e sólido;

Propriedades físicas:

- Baixa variação de densidade;
- Alta densidade;
- Sofre pouco com o efeito de sub-resfriamento;

Propriedades químicas:

- Estabilidade;
- Sem segregação de fase;
- Não tóxico, não inflamável e não poluente;

Propriedades econômicas:

- Baixo custo/Abundante;

2.2 Caracterização dos materiais com mudança de fase

De um modo geral, os materiais com mudança de fase possuem uma classificação que os distingue entre orgânicos e inorgânicos. Os componentes mais utilizados, segundo Zalba et al. (2003), são parafinas (ou também os chamados alcanos) e ceras.

Os compostos orgânicos e inorgânicos possuem vantagens e desvantagens em suas usabilidades que os distinguem entre si. Dentre as mais relevantes características dos materiais com mudança de fase orgânicos, estão a disponibilidade em um grande intervalo de temperaturas, derretem-se por inteiro, não segregam na sua mudança de fase, recicláveis, quimicamente estáveis; dentre as desvantagens, destacam-se a baixa condutividade térmica e baixo armazenamento de calor latente (KUZNIK et al., 2011; MEMON, 2014).

Os materiais com mudança de fase inorgânicos possuem vantagens relacionadas ao seu baixo custo, alta disponibilidade, alta capacidade de armazenamento térmico, não são inflamáveis e possuem mudança de fase acentuada. Entretanto, suas desvantagens são caracterizadas por sua grande variação de volume e sua segregação quando há mudança de fase (KUZNIK et al., 2011; MEMON, 2014).

2.3 Tipos de materiais com mudança de fase

Os materiais com mudança de fase, de acordo com Memon (2014), podem ser utilizados na construção civil como incorporação direta, imersão, encapsulação, formato estabelecido e saturação de materiais. A seguir, cada formato de uso será mencionado com mais detalhes.

2.3.1 Incorporação direta

Neste método de uso, de forma mais simples comparada a outras formas, os materiais com mudança de fase são adicionados diretamente aos materiais de construção civil, como, por exemplo, gesso, argamassa e concreto. Nenhum equipamento extra é implementado (ZHOU; ZHAO; TIAN, 2012).

2.3.2 Imersão

Zhou, Zhao e Tian (2012) afirmam que a forma de imersão é uma tecnologia na qual os componentes da estrutura do edifício, como gesso, tijolo ou concreto, são mergulhados em materiais com mudança de fase derretidos e então absorvem os materiais em seus poros internos com a ajuda da elevação capilar. Porém, alguns pesquisadores apontaram este método um tanto arriscado, pois problemas de vazamento foram encontrados depois de realizados alguns testes; portanto, a longo prazo seu uso não é aconselhável.

2.3.3 Encapsulação

Os materiais com mudança de fase podem ser encapsulados em duas diferentes formas: microencapsulação e macroencapsulação; distinguindo-se entre si pelo tamanho do formato de suas cápsulas.

Jamekhorshid, Sandrameli e Farid (2014) afirmam que a microencapsulação de materiais com mudança de fase é uma maneira eficaz de melhorar a condutividade e prevenção de possíveis interações com a envolvente do edifício durante o processo de fusão do material. Nesta aplicação, partículas pequenas, esféricas ou em forma de bastão, são envolvidas por um filme polimérico fino e de alto peso molecular. As partículas revestidas podem então ser incorporadas em qualquer matriz que seja compatível com o filme encapsulante. O filme deve ser compatível tanto com o material com mudança de fase quanto com a matriz (PASUPATHY; VELRAJ, 2006).

A microencapsulação, segundo estudos de Konuklu et al. (2015), pode envolver vários métodos para sua utilização, podendo ser aplicada a partir de secagem por pulverização, coacervação, pectização, polimerização interfacial, polimerização por suspensão e polimerização em emulsão.

Na aplicação por macrocápsulas a inclusão de materiais com mudança de fase é feita em alguma forma de embalagem, como tubos, bolsas, esferas, painéis ou outro receptáculo. Esses recipientes podem servir diretamente como trocadores de calor ou podem ser incorporados em produtos de construção. O que difere das microcápsulas é o tamanho do qual o material é embalado (PASUPATHY; VELRAJ, 2006).

2.3.4 Formato estabelecido

Nesta aplicação, o próprio material com mudança de fase é preparado a partir de sua fase líquida e um material de suporte, unindo esta mistura até que se torne sólida. A proporção do material com

mudança de fase a ser adequado ao outro aparato, depende das características químicas e físicas deste segundo material, podendo o próprio material com mudança de fase ter proporções de até 80% do material (KUZNIK et al., 2011).

2.3.5 Saturação de materiais

A saturação de materiais dá-se por meio da mistura entre o material com mudança de fase e o material que se deseja alterar as características térmicas. Depois de vários estudos sobre esta aplicação, alterações de características mecânicas e vazamentos foram detectados, chegando-se a conclusão que é necessário o micro ou macro-encapsulamento para obter essa mistura de materiais a ser empregado na construção (KUZNIK et al., 2011).

3. METODOLOGIA

Para este artigo, selecionaram-se trabalhos sobre materiais com mudança de fase levando em consideração o seu uso na construção civil e no ambiente construído. As plataformas de busca utilizadas foram: Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e SciELO. Para a busca, as palavras utilizadas foram “materiais com mudança de fase” e “edificações”, tanto em português quanto em inglês, para assim ter-se uma gama de pesquisas internacionais e nacionais.

Na busca realizada pelos artigos, encontrou-se cerca de 4.730 trabalhos internacionais com as palavras-chave em inglês e apenas 11 trabalhos nacionais, não excluindo os períodos de publicação. Contudo, muitos artigos não fizeram referência aos materiais com mudança de fase aplicados em edificações, filtrou-se então os artigos utilizando a palavra-chave no título ou no resumo dos trabalhos, resultando em 975 trabalhos internacionais e apenas 2 nacionais.

Para esse artigo, foram selecionados 20 trabalhos internacionais e 2 nacionais, verificando maior compatibilidade com o tema a ser discutido. A escolha do material selecionado deu-se a partir da leitura de títulos e resumos dos materiais pré-selecionados, para assim criar-se um panorama abrangente das pesquisas relacionadas aos materiais com mudança de fase aplicados em edificações.

Nesta revisão, discutem-se os tópicos:

- (i) Qual o estado da arte referente aos trabalhos acadêmicos que englobam os materiais com mudança de fase aplicados à construção civil?
- (ii) Qual o panorama brasileiro de trabalhos científicos relacionados aos materiais com mudança de fase no ambiente construído?
- (iii) Quais as aplicações que já foram adotadas para os materiais com mudança de fase?
- (iv) Quais os resultados que foram obtidos a partir de suas aplicações?

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

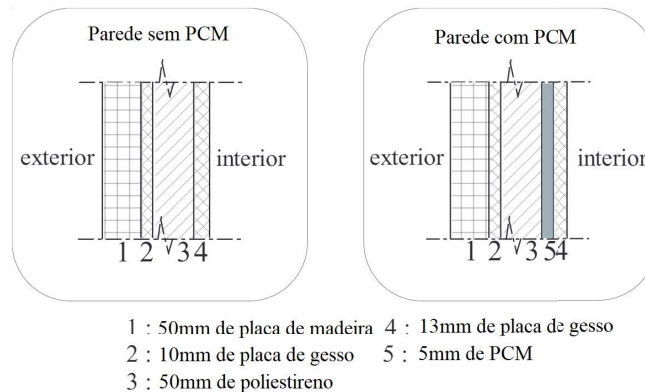
Neste tópico serão abordados alguns estudos e pesquisas relacionando os materiais com mudança de fase com algumas aplicações dentro da construção civil. Essas pesquisas mostram a variedade e possibilidades diversas para se empregar o material estudado em edificações.

4.1 Materiais com mudança de fase e suas aplicações

Kuznik e Virgone (2009), em seus estudos sobre a incorporação dos materiais com mudança de fase em edificações, realizaram experimentos para avaliar o desempenho térmico de placas de

copolímeros como material com mudança de fase. Os testes foram realizados em uma sala de tamanho real totalmente controlada termicamente, adequados para três situações: um dia de verão, um dia de inverno e uma meia-estação. O ambiente simulado contou com três paredes contendo o material com mudança de fase e a fachada norte de vidro possuindo uma câmara climática. A **Figura 1** representa a seção da parede implementada; o material com mudança de fase está descrito como PCM.

Figura 1. Seção da parede com e sem material com mudança de fase.

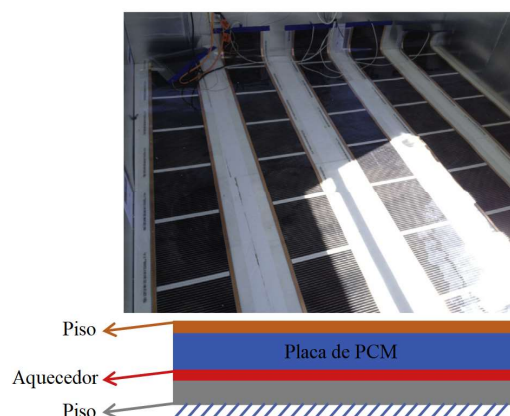


Fonte: Tradução livre de Kuznik e Virgone, 2009.

Ao fim do experimento permitiu-se concluir que o material com mudança de fase utilizado é deveras significativo para o conforto térmico humano; seu uso permitiu a diminuição da temperatura em até 4,2 °C – ideal para ambientes com temperatura externa mais altas que necessitam de sistemas de arrefecimento (KUZNIK; VIRGONE, 2009).

Outra aplicação dos materiais com mudança de fase é a utilização em aquecimento de pisos a fim de melhorar o desempenho e conforto térmico do ambiente. Barzin et al. (2015) realizaram um experimento para verificar a eficiência do uso de materiais com mudança de fase em pisos aquecidos juntamente com o uso destes mesmos materiais em placas a serem utilizadas em paredes e no teto. Na **Figura 2** é possível verificar como a implementação do material foi realizada no aquecimento do piso; o material com mudança de fase está descrito como PCM.

Figura 2. Técnica de aquecimento do piso com adição do material com mudança de fase.



Fonte: Tradução livre de Barzin et al., 2015.

As conclusões desta aplicação foram desenvolvidas a partir da comparação de um sistema sem o uso da implementação do material com mudança de fase. A partir de vários testes realizados em períodos de tempo diferentes, ao longo dos cinco primeiros dias foi alcançada uma economia de energia de 18,8%; a maior poupança de energia elétrica atingida foi de 35% (BARZIN et al., 2015).

Long et al. (2014) estudaram os materiais com mudança de fase a partir de análises em vidros. Em sua pesquisa, testaram dois materiais típicos do âmbito da eficiência energética, um envidraçamento com dióxido de vanádio (VO_2) – elemento este, aplicado às partes transparentes de um edifício – e um material com mudança de fase. A temperatura interna de uma sala com vidros VO_2 e um piso com material com mudança de fase foi comparada com a de uma sala sem VO_2 e com ou material. Os resultados indicaram que a aplicação sinérgica poderia melhorar ainda mais o grau de conforto térmico interno do que qualquer uma das aplicações únicas durante o período de resfriamento.

Em 2001, Ismail e Henríquez realizaram um estudo numérico e experimental em janelas termicamente eficientes utilizando material com mudança de fase, onde o conceito proposto é composto de uma janela com vidros duplos contendo material com mudança de fase. O sistema possui uma bomba que é conectada a um tanque – contendo o material em sua fase líquida – onde um sensor de diferença de temperatura controla esta mesma bomba em todo o momento que o material muda de fase. Em suas análises, o vidro duplo contendo o material, quando comparado ao vidro comum, obteve cerca de 20% menos de transmitância térmica.

Utilizar os materiais com mudança de fase em janelas tem sido uma alternativa ao seu uso de muita efetividade. Silva et al. (2015) estudaram o material com mudança de fase embutido em venezianas como forma de melhorar a performance energética de uma edificação. A diferença entre sistema com e sem o material foi notória. A temperatura máxima obtida em um ambiente interno de uma edificação com a inserção dos materiais com mudança de fase foi de $37,2^\circ\text{C}$, $16,6^\circ\text{C}$ a menos do que medido em um sistema convencional.

Gesso e placas de gesso, juntamente com compósitos de microcápsulas de material com mudança de fase, têm sido cada vez utilizados na construção civil. Barreneche et al. (2013) estudaram diferentes blocos de gesso implementados com o material e analisaram sua efetividade de acordo com suas propriedades e condutividade térmica. O desenvolvimento de um bloco de gesso de alto armazenamento térmico por meio da adição de materiais com mudança de fase encapsulados poderia levar a uma redução significativa nos setores residenciais e terciários.

Dentro dos materiais mais utilizados no âmbito da construção, o concreto se destaca por sua maior usabilidade; portanto, o concreto pode ser empregado como uma matriz para a adição dos materiais com mudança de fase, para assim armazenar energia térmica ao edifício (BENTZ; TURPIN, 2007).

Lecompte et al. (2015) estudaram a inclusão de microcápsulas de materiais com mudança de fase em até 29% do volume em argamassas e concretos a fim de avaliar o desempenho térmico dessas misturas comparando a modelos de argamassas e concretos tradicionais na engenharia. Do ponto de vista mecânico, afirmam que o material em seus testes não alterou a resistência à compressão e à tração das amostras de concreto. Em seus testes térmicos, o concreto contendo o material obteve uma inércia térmica maior de blocos convencionais; ao inserir 30% do material com mudança de fase ao volume da mistura, a penetração térmica desta mistura endurecida é de metade comparando a uma mistura sem o material.

4.2 Materiais com mudança de fase no Brasil

Embora os estudos dos materiais com mudança de fase com emprego na construção civil vêm sendo realizados há alguns anos, no Brasil o cenário é ainda muito recente. Em países como Alemanha ou Portugal, já é possível encontrar placas de massa térmica, placas para piso, blocos de concreto contendo materiais com mudança de fase e diversas aplicações no mercado, uma realidade ainda não presente no Brasil.

Um estudo recente, realizado por De Brito et al. (2017), apresentou as características térmicas necessárias que os materiais com mudança de fase necessitam para auxiliarem na inércia térmica de uma edificação dentro dos parâmetros para o clima brasileiro.

A utilização de materiais com mudança de fase com ponto de fusão de 22 °C não mostrou-se tão eficiente para as zonas bioclimáticas brasileiras, concluindo-se que é necessário que mais estudos sobre estes materiais sejam desenvolvidos especialmente para as regiões brasileiras; sendo que a utilização de materiais com mudança de fase teóricos com maior ponto de fusão são mais interessantes para se obter melhor eficiência energética. Nos materiais teóricos e com maiores espessuras a diferença de temperatura dentro dos ambientes chegou a 5 °C, uma diferença significativa para o conforto térmico humano (DE BRITO et al., 2007).

Em 2017, Pons e Stanescu realizaram um estudo sobre o desempenho energético dos materiais com mudança de fase analisando as oito zonas bioclimáticas do Brasil. As simulações realizadas englobam três diferentes situações: o uso do material utilizando uma bomba de calor; o material na ventilação somando o uso da bomba de calor; e o material na ventilação com bomba de calor otimizada. Para esta última situação, os resultados da simulação numérica indicaram a cidade de Curitiba com um desempenho de 20% de redução de economia de energia – a mais expressiva dentre outras regiões.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Devido às mudanças climáticas cada vez mais evidentes, faz-se necessário repensar a maneira como estão sendo utilizados atualmente os ambientes construídos, readaptando ideias e transformando os ambientes existentes pensando em práticas sustentáveis e menos agressivas. Com base em resultados já disponíveis na literatura técnica, este trabalho procurou trazer informações sobre os materiais com mudança de fase e como seu emprego na construção civil poderia contribuir com a economia de energia na manutenção do conforto térmico nas condições climáticas brasileiras.

Conforme informam os trabalhos revisados, os materiais com mudança de fase possuem grande potencial para utilização na construção civil, através de várias técnicas desenvolvidas. Com o crescente aumento da temperatura global e o impacto no clima, o aumento do uso de aparelhos para obtenção do conforto térmico é evidente; com isso, ou emprego do material com mudança de fase na edificação diminui o uso de equipamentos de controle térmico, diminuindo o consumo energético.

No Brasil, como verificado pela baixa pesquisa no tema mensurado, a aplicabilidade do material com mudança de fase ainda é atípica. Por se tratar de um país de clima tropical e com regiões de clima quente durante boa parte do ano, o uso do material com mudança de fase é uma boa solução para o problema térmico em edificações brasileiras. Além do seu uso, com uma vasta biodiversidade no país, pesquisas de novos materiais com mudança de fase de origem orgânica poderiam ser estudados de forma inovadora no Brasil.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná (PPGECC).

REFERÊNCIAS

ABHAT, A. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. **Solar energy**, v. 30, n. 4, p. 313-332, 1983.

BARRENECHE, C.; DE GRACIA, A.; SERRANO, S.; NAVARRO, M. E.; BORREGUERO, A. M.; FERNÁNDEZ, A. I.; CARMONA, M.; RODRIGUEZ, J. F.; CABEZA, L. F. Comparison of three different devices available in Spain to test thermal properties of building materials including phase change materials. **Applied Energy**, v. 109, p. 421-427, 2013.

BARZIN, R.; CHEN, J. J. J.; YOUNG, B. R.; FARID, M. M. Application of PCM underfloor heating in combination with PCM wallboards for space heating using price based control system. **Applied Energy**, v. 148, p. 39-48, 2015.

BENTZ, D. P.; TURPIN, R. Potential applications of phase change materials in concrete technology. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 7, p. 527-532, 2007.

BP. **BP Energy Outlook**. Disponível em: <<http://www.bp.com/energyoutlook>>. Acesso em: 26 abr. 2018, 15:30.

Buckley, T. M. Phase change thermal control materials, method and apparatus. United States patent US. 5722482A, 1998 Jul. 14.

DE BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; SALLES, E. M.; CASTRO, G. M. Características térmicas de materiais de mudança de fase adequados para edificações brasileiras. **Ambiente Construído**, v. 17, n.1, p. 125-145, 2017.

HAWES, D. W.; FELDMAN, D.; BANU, D. Latent heat storage in building materials. **Energy and Buildings**, v. 20, n.1, p. 77-86, 1993.

ISMAIL, K. A. R.; HENRÍQUEZ, J. R.; Thermally effective windows with moving phase change material curtains. **Applied Thermal Engineering**, v. 21, n.18, p. 1909-1923, 2001.

JAMEKHORSHID, A.; SADRAMELI, S. M.; FARID, M. A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 531-542, 2014.

KONUKLU, Y.; OSTRY, M.; PAKSOY, H. O.; CHARVAT, P. Review on using microencapsulated phase change materials (PCM) in building applications. **Energy and Buildings**, v. 106, p. 134-155, 2015.

KUZNIK, F.; DAVID, D.; JOHANNES, K.; ROUX, J. A review on phase change materials integrated in building walls. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 1, p. 379-391, 2011.

KUZNIK, F.; VIRGONE, J. Experimental assessment of a phase change material for wall building use. **Applied Energy**, v. 86, n, 10, p. 2038-2046, 2009.



LECOMPTE, T.; BIDEAU, P. L.; GLOUANNEC, P.; NORTERSHAUSER, D.; MASSON, S. L. Mechanical and thermo-physical behaviour of concretes and mortars containing phase change material. **Energy and Buildings**, v. 94, p. 52-60, 2015.

LONG, L.; YE, H.; GAO, Y.; ZOU, R. Performance demonstration and evaluation of the synergetic application of vanadium dioxide glazing and phase change material in passive buildings. **Applied Energy**, v. 136, p. 89-97, 2014.

MEMON, S. A. Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 31, p. 870-906, 2014.

MISHRA, A.; SHUKLA, A.; SHARMA, A. Latent heat storage through phase change materials. **Resonance**, v. 20, n. 6, p. 532-541, 2015.

NELSON, G. Application of microencapsulation in textiles. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 242, n. 1-2, p. 55-62, 2002.

PASUPATHY, A.; VELRAJ, R. Phase change material based thermal storage for energy conservation in building architecture. **International Energy Journal**, v. 7, n. 2, p. 147-159, 2006.

PATEL, J. H.; QURESHI, M. N.; DARJI, P. H. Experimental analysis of thermal energy storage by phase change material system for cooling and heating applications. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n.1, p. 1490-1500, 2018.

PONS, V.; STANESCU, G. Materiais com mudança de fase: Análise de desempenho energético para o Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, vol. 8, n. 2, p. 127-140, 2017.

SILVA, T.; VICENTE, R.; RODRIGUES, F.; SAMAGAIO, A. Development of a window shutter with phase change materials: Full scale outdoor experimental approach. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 110-121, 2015.

ZALBA, B.; MARÍN, J. M.; CABEZA, L. F.; MEHLING, H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. **Applied Thermal Engineering**, v. 23, n.3, p. 51-283, 2003.

ZHOU, D.; ZHAO, C. Y.; TIAN, Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. **Applied Energy**, v. 92, p. 593-605, 2012.