

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE COMPÓSITOS DE AGREGADOS LEVES IMPREGNADOS COM PCM, PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS



M. KHERADMAND
Doutorando, CTAC,
Universidade do Minho,
Departamento de Engenharia Civil,
Campus de Azurém,
4800-058 Guimarães, Portugal,
E-mail: mohammadkheradmand@hotmail.com



J. CASTRO-GOMES
Professor catedrático, C-MADE,
Universidade da Beira Interior,
Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura,
6201-001 Covilhã, Portugal,
E-mail: castro.gomes@ubi.pt



J. L. B. DE AGUIAR
Professor Associado, CTAC,
Universidade do Minho,
Departamento de Engenharia Civil,
Campus de Azurém,
4800-058 Guimarães, Portugal,
E-mail: aguiar@civil.uminho.pt



M. AZENHA
Professor Auxiliar, ISISE,
Universidade do Minho,
Departamento de Engenharia Civil,
Campus de Azurém,
4800-058 Guimarães, Portugal,
E-mail: miguel.azenha@civil.uminho.pt

RESUMO

Este trabalho visa, em primeiro lugar, a caracterização experimental do comportamento de argamassas com materiais de mudança de fase (PCM) incorporados através de agregados leves, comparativamente com argamassas de referência sem incorporação de PCM. Verifica-se que a aplicação de argamassas com PCM em camadas de desgaste de pavimentos contribui para a minimização dos potenciais efeitos negativos de gelo e degelo. Os estudos experimentais permitem concluir que o método utilizado de impregnação de PCM em materiais porosos, para posterior incorporação em argamassa ou betão, é um método simples, mas muito eficaz. Os resultados indicam ainda que os materiais compósitos com PCM incorporado, podem melhorar a inércia térmica, bem como, atrasar o tempo de eventual ocorrência de congelamento sob a camada de desgaste de um pavimento.

Palavras-chave: materiais de mudança de fase (PCM), agregados leves (LWA), argamassa, armazenamento de energia térmica.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais de mudança de fase (PCM) são substâncias com uma elevada capacidade de armazenamento térmico que podem ser usadas para auxiliar o controlo térmico, como consequência da sua capacidade para armazenar e libertar energia térmica durante os processos de mudança de fase (liquefação e solidificação) [1]. Durante o processo de solidificação, os PCM libertam energia sob a forma de calor latente, e, inversamente, quando os PCM entram no processo de liquefação, absorvem a energia térmica a partir do ambiente envolvente. A magnitude da energia armazenada em determinado PCM sujeito a uma determinada condição ambiental depende fortemente das suas temperaturas de transição do estado líquido para o estado sólido. O comportamento de PCM com uma temperatura de mudança de fase dentro do intervalo de conforto de utilização (~ 20°C) foi investigado em argamassas de reboco para edifícios, através de estudos numéricos e experimentais, a fim de reduzir o consumo de energia pela manutenção da temperatura ambiente em determinados intervalos de conforto de utilização [1-3].

Em climas frios, as superfícies dos pavimentos rodoviários podem ficar sujeitas a neve e gelo durante o inverno, criando condições de condução perigosas para a circulação de veículos. Para resolver este problema, materiais químicos de degelo são usados para neutralizar a formação de gelo [4]. No entanto, estes materiais de degelo têm impactos ambientais negativos pois reduzem a vida útil dos materiais de construção usados nos pavimentos, tais como: aço, betão e betume asfáltico [5].

A eficácia de um PCM em retardar ou prevenir o congelamento depende de vários fatores: do valor do calor latente e da temperatura de mudança de fase do PCM, das propriedades térmicas e físicas da argamassa com PCM incorporado, das condições meteorológicas e dos métodos de incorporação [6].

As argamassas com PCM têm sido utilizadas em edifícios para moderar as temperaturas do ambiente interior num intervalo aceitável de nível de conforto (cerca de 22°C) [7]. No entanto, a utilização de uma argamassa com este tipo de PCM para aplicação em pavimentos para retardar ou impedir a ocorrência de congelamento não é recomendável. Para essa finalidade, as temperaturas de fusão dos PCM a usar nestas aplicações devem ser mais baixas, bem como para se aproximarem da temperatura de descongelamento da água. A aplicação de PCM em argamassas para pavimentos rodoviários é, portanto, útil se permitir atrasar ou mesmo evitar a ocorrência de temperaturas negativas no seu interior, mantendo assim o pavimento mais quente. Desta forma, a aplicação de PCM pode reduzir ou evitar os efeitos de fadiga térmica associados ao gelo/degelo, bem como o efeito prejudicial dos agentes de degelo.

Este artigo centra-se na produção de uma argamassa com PCM em que este é incorporado por imersão de agregados leves (LWA) que, por sua vez, são impermeabilizados. Os estudos realizados englobam a avaliação do comportamento mecânico e térmico da argamassa. Os estudos incluem ainda uma simulação experimental de transferência de calor através dos provetes testados, com vista à melhor compreensão do comportamento do sistema. Estes estudos foram realizados para duas percentagens de PCM (10% e 20%) incorporados na argamassa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para a preparação das argamassas, foi utilizado cimento Portland CEMII-32.5N. Os agregados naturais já foram utilizados em estudos anteriores [8], e são compostos de partículas finas e médias. As características geométricas da estrutura de poros (incluindo porosidade, distribuição de diâmetro dos poros, conectividade e forma dos poros), bem como a sua compatibilidade química são alguns dos fatores importantes a serem considerados ao selecionar materiais porosos para impregnação com PCM orgânicos [9, 10]. O agregado leve (LWA) selecionado para este estudo foi a argila expandida, fornecido pela ARGEX- SA (Portugal) [11]. Esse agregado tem sido considerado adequado para impregnação de PCM, tendo em conta os resultados de trabalhos anteriores [8, 12-14]. As distribuições do tamanho das partículas de todos os agregados foram determinadas por análise granulométrica [15], e as respectivas curvas granulométricas estão apresentadas na Figura 1. Quanto ao PCM, foi utilizada uma parafina orgânica da série R5 Rubitherm RT, com temperatura de fusão de 5°C [16]. O calor latente de fusão do PCM selecionado é de 180 kJ / kg, de acordo com dados do fornecedor. A escolha das temperaturas de fusão do PCM em estudo baseou-se na aplicação pretendida, ou seja: para retardar/impedir a formação de gelo em pavimentos. Portanto, foi selecionado um PCM com temperatura de fusão um pouco acima de 0°C, a fim de atenuar a possibilidade de ocorrência dessa temperatura dentro

das argamassas com PCM incorporado. Além disso, a compatibilidade química com os materiais porosos [6] foi tida em conta, bem como a gama de produtos PCM disponíveis no mercado.

Adicionalmente, para evitar possíveis perdas de PCM após saturação dos LWA foi utilizada a solução de revestimento da marca Weber, referência Dry Lastic (membrana líquida utilizada para impermeabilização de coberturas) [17], para envolver a superfícies dos LWA impregnados com PCM. O material de impermeabilização apresenta as seguintes propriedades, de acordo com o produtor: temperatura de aplicação entre 10°C e 40°C, faixa de temperatura de serviço entre -15°C e + 70°C, densidade de 1300 kg/m³ e tempo de secagem de 24 horas.

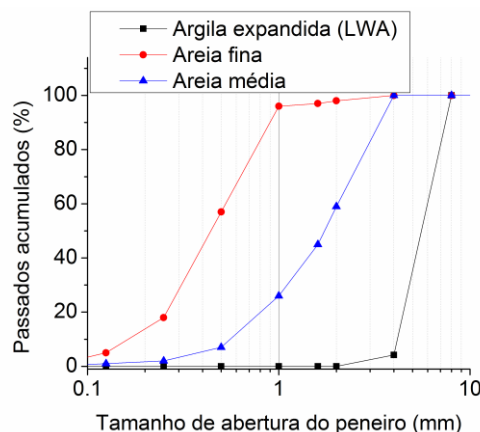


Figura 1 – Curvas granulométricas dos agregados finos e médios, para produção de argamassas.

2.2. Processo de impregnação

A absorção de parafina (PCM) pelos LWA foi quantificada a fim de avaliar a capacidade do PCM impregnar completamente os poros do LWA. Para tal, foi realizado um conjunto de ensaios para avaliar o processo de impregnação. Foi utilizado um material de impermeabilização para envolver os LWA impregnados com PCM, a fim de minimizar a eventual escorrência (perda) de PCM dos mesmos.

Numa primeira etapa, os agregados leves foram expostos a um jacto de ar comprimido para remover a poeira e qualquer resíduo superficial solto na superfície das partículas. Os agregados leves foram depois secos em estufa ventilada, até ser observada constância da sua massa. A secagem dos LWA foi realizada num período mínimo de 24 horas à temperatura de 110°C. De seguida os LWA foram deixados a arrefecer à temperatura ambiente (aproximadamente de 22°C) durante 2 horas.

Na segunda etapa, uma amostra representativa de LWA foi completamente imersa em PCM durante 24 horas. Após impregnação, os LWA foram colocados num papel de filtro durante 2 horas à temperatura ambiente, acima da temperatura de mudança de fase, para remover o excesso de PCM. Em seguida as superfícies exteriores dos LWA foram envolvidas com a membrana de impermeabilização, sendo em seguida secas com uma folha de papel absorvente.

Nesta fase, uma amostra de LWA impregnado com PCM (aqui denominada como ECC) foi envolvida com a solução de revestimento à prova de água, até se obter o revestimento completo da superfície. Este procedimento de revestimento à prova de água foi também realizado acima da temperatura de mudança de fase do PCM. O ECC foi colocado em estufa a 40°C e registada a sua massa, com períodos de 24 horas entre as medições, durante 4 dias. Obteve-se assim um produto final, que consiste em LWA impregnados com PCM, envolvidos por uma camada de revestimento impermeabilizante, que corresponde, de certa forma, aos produtos comerciais de PCM encapsulado.

2.3. Proporções das misturas

A composição de cada mistura de argamassa, em estudo, está apresentada na Tabela 1. Para o estudo foram produzidas três argamassas: uma argamassa contendo apenas agregados naturais (areia fina e média) e outras duas argamassas, cada

uma contendo, LWA e agregados naturais em proporções diferentes. Durante a sua produção, foram feitos ajustes à dosagem de água, de modo a assegurar uma consistência entre 160 e 180 mm no ensaio da mesa de fluidez.

Tabela 1 - Proporções da mistura em massa (gramas). Abreviaturas: REFEM = argamassa de referência sem PCM; PCMM10 = argamassa com a incorporação de 10% de PCM impregnado em LWA, da massa total da argamassa; e PCMM20 = argamassa com a incorporação de 20% de PCM impregnado em LWA, da massa total da argamassa.

Mistura	REFEM	PCMM10	PCMM20
Cimento (g)	1286.1	1286.1	1286.1
Água (g)	707.4	603	573
Areia (g)	3649.7	1607.6	1205.6
LWA impregnado com PCM (g)	-	401.9	803.8
Adjuvante (g)	38.5	38.5	38.5

2.4. Programa experimental

2.4.1. Preparação de provetes

As misturas de argamassa foram produzidas num misturador de argamassa convencional. Em primeiro lugar, todos os componentes sólidos foram colocados num misturador a funcionar durante 30 s à velocidade normal. Em seguida, o misturador foi parado e o adjuvante foi adicionado com 50% de água. O misturador foi ligado novamente em velocidade normal por 3 min. Após 1 min., Os restantes 50% de água foram adicionados à mistura, enquanto o misturador estava em operação. Em seguida, o misturador foi parado durante 1 min, e, logo a seguir, começou novamente a mistura durante mais 3 minutos a uma velocidade normal, tendo já sido adicionados todos os componentes.

Após o procedimento de mistura, a consistência da argamassa foi avaliada por meio do ensaio da mesa de fluidez de acordo com [18]. Para cada argamassa, foram preparados seis prismas de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ para os ensaios de resistência à flexão, resistência à compressão e densidade. Para os ensaios de desempenho térmico, a partir de cada uma das argamassas, foi produzida uma pequena placa de $150 \times 150 \times 25 \text{ mm}^3$. As argamassas frescas foram moldadas e vibradas por um vibrador mecânico padrão. Depois disso, os provetes moldados foram protegidos por filme de plástico, a fim de evitar a perda prematura de água e foram colocados numa sala de cura padrão: três prismas foram curados durante 7 dias de idade e os restantes três prismas foram curados até à idade de 28 dias, para cada composição de argamassa.

2.4.2. Resistência à flexão, compressão e densidade

Os ensaios de flexão e compressão foram realizados às idades de 7 dias e 28 dias, de acordo com a EN 1015-11 [18]. Foram utilizados três provetes para os ensaios de flexão em cada idade de ensaio. Em relação aos ensaios de resistência à compressão, foram ensaiados seis provetes em cada idade (que resultaram dos ensaios dos provetes à flexão). A densidade das argamassas foi determinada com base na norma EN 1015-10[19].

2.4.3. Ensaio de desempenho térmico dos compósitos LWA com PCM

A temperatura da superfície do pavimento é afectada por várias variáveis, tais como a radiação solar, temperatura atmosférica e velocidade do vento, entre outros. Também está relacionada com as características da superfície dos materiais de pavimentação. Assim, o uso de PCM em pavimentos deve ter o seguinte objectivo: atrasar ou evitar a ocorrência de temperaturas negativas na camada de pavimento para evitar a congelação da camada de superfície do mesmo, ou pelo menos reduzir o número de ocorrências gelo/degelo durante o ciclo de vida. Como tal, a utilização de compósitos LWA com PCM numa argamassa pode trazer algumas vantagens para esse objetivo. Na verdade, o uso de argamassa com compósitos LWA com PCM na superfície superior do pavimento pode atrasar ou impedir o congelamento da estrutura do pavimento, quando ocorre gelo à superfície. Assim, num ensaio de desempenho térmico, considera-se essencial a medição da temperatura na superfície inferior da camada de argamassa incorporando os compósitos LWA+PCM, para determinar a influência de variáveis meteorológicas (ocorrência de neve ou gelo). Dentro

do material compósito em si, a energia é transferida por condução, a partir do contacto com a camada de gelo para o interior da camada de argamassa, e, eventualmente, para a superfície inferior da mesma, onde pode existir ar incorporado. Na verdade, para que este ensaio de desempenho possa ajudar a entender a eficácia do LWA+PCM dentro da argamassa, é particularmente importante considerar em detalhe o processo de libertação de calor, uma vez que se pode detectar o potencial da energia armazenada dentro de argamassa com PCM, quando ocorre o processo de congelamento.

Assim, tendo em conta a finalidade de simular a ocorrência de neve ou gelo, o ensaio foi iniciado com a colocação de uma camada de gelo na parte superior das argamassas. Esta metodologia foi aplicada nas três argamassas consideradas neste estudo: REFM, PCMM10 e PCMM20. Para a realização dos ensaios de desempenho térmico foi produzida uma caixa de teste experimental (ver Figura 2b) que, por sua vez, foi colocada dentro de uma câmara climática com ambiente controlado com temperatura constante de 0 °C, a fim de evitar a fusão da camada de gelo.

Foram monitorizadas as temperaturas da superfície superior e inferior das argamassas com compósitos LWA+PCM. As condições dos ensaios de desempenho térmico estão apresentadas na Figura 2 (a). A caixa de teste experimental, consistindo num cubo oco, com um volume interno de $200 \times 200 \times 250 \text{ mm}^3$, está representada na Figura 2 (b). As suas paredes são feitas com uma camada de espessura de 50 milímetros de isolamento térmico, de poliestireno extrudado (XPS). A parte superior central do cubo contém, do exterior para o interior, as seguintes camadas: uma camada de gelo com dimensões de $150 \times 150 \times 25 \text{ mm}^3$ e uma camada de argamassa (REFM, PCMM10 ou PCMM20) com dimensões de $150 \times 150 \times 25 \text{ mm}^3$. Nestas camadas foram introduzidos sensores (termopar tipo K), que por sua vez foram conectados a um sistema de aquisição que registou as correspondentes temperaturas com intervalos de 1 minuto.

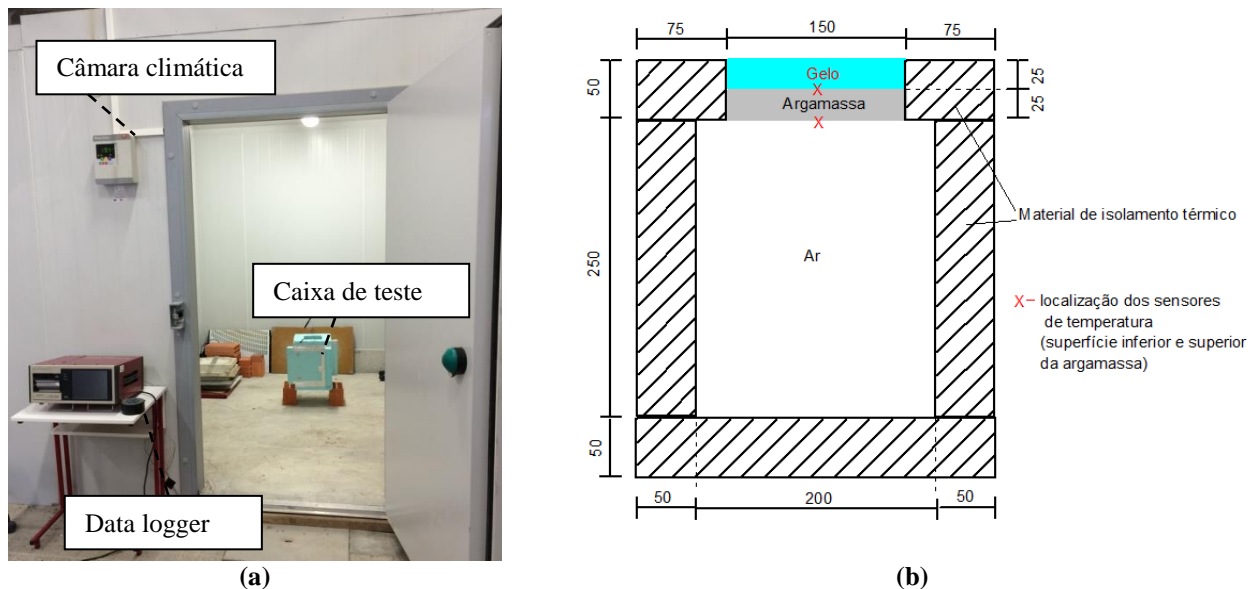


Figura 2 – (a) Configuração do teste experimental projetado para a avaliação do desempenho térmico de REFM, PCMM10 e PCMM20; (b) vista de seção da caixa de teste experimental, unidades: [mm].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resistência à flexão, compressão e densidade da argamassa endurecida

Os resultados de resistência à flexão, resistência à compressão e densidade da argamassa endurecida estão apresentados na Figura 3. A Figura 3 (a) mostra os resultados de resistência à flexão de argamassas obtidos aos 7 dias e 28 dias. Como expectável, os resultados indicam que a argamassa de referência (REFM) com agregados naturais, tem maior resistência à flexão, em comparação com as misturas que contêm LWA impregnados com PCM. Ao comparar entre argamassas com LWA, o aumento do teor de LWA levou a uma diminuição da resistência à flexão. Esta diminuição é coerente com os resultados de outros autores, para outras misturas contendo LWA [8]. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 7 dias e 28 dias são apresentados na Figura 3 (b). São observadas tendências semelhantes às observadas para a resistência à flexão. Os valores de densidade das argamassas são apresentados na Figura 3 (c). As

densidades da argamassa REFm foram as mais elevadas, devido ao facto de que, esta argamassa incorporou apenas agregados naturais. Para as argamassas com agregado LWA impregnado com PCM, a densidade diminui à medida que aumenta a percentagem em peso de LWA impregnado com PCM.

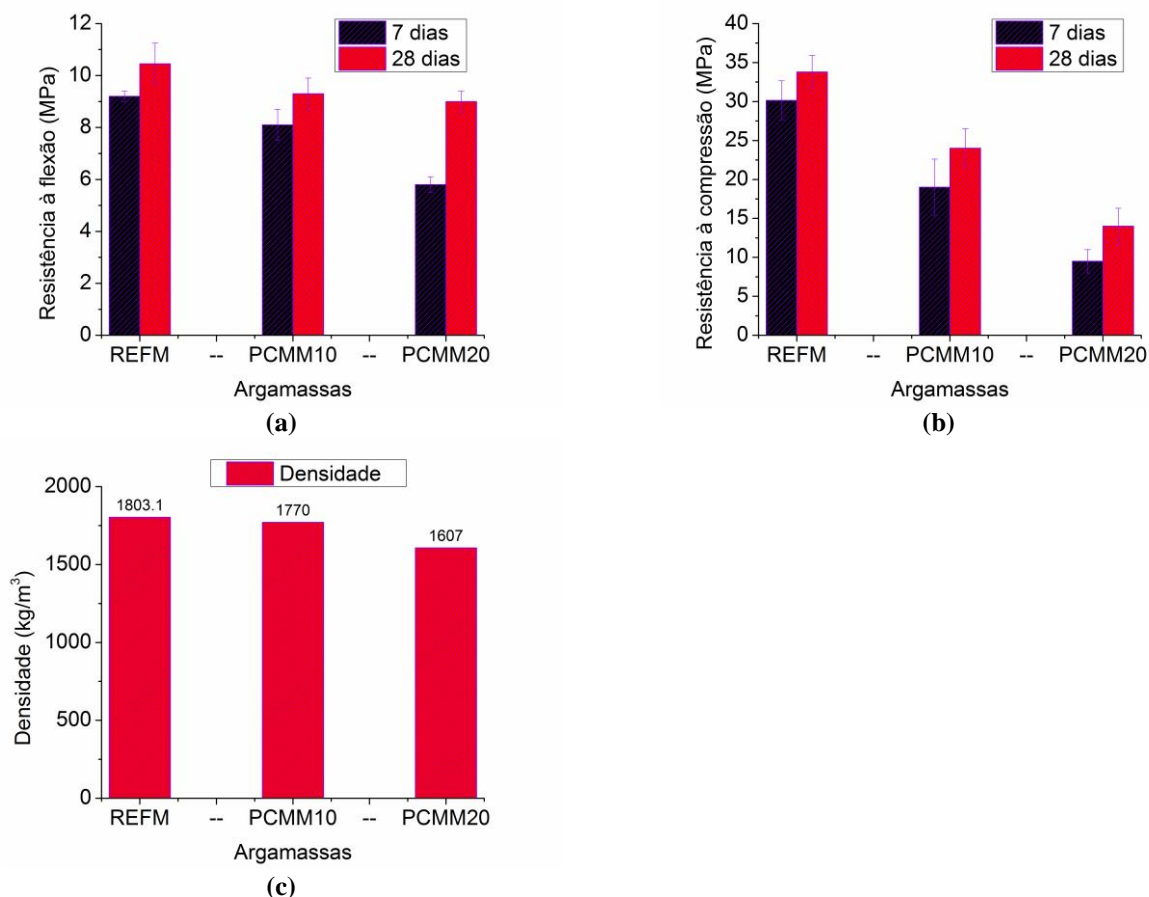


Figura 3 - (a) Resistência à flexão das argamassas aos 7 e 28 dias; (b) Resistência à compressão de argamassas aos 7 e 28 dias; (c) Densidade das argamassas com 28 dias.

Para as argamassas ensaiadas em condições secas, verificou-se uma tendência para a redução da sua densidade associada à utilização de LWA. A utilização de agregados leves embebidos com PCM conduziu a redução da resistência à flexão de 10.5MPa para 9.1MPa e 8,5MPa respectivamente para PCMM10 (9%) e PCMM20 (19%), quando comparadas com a argamassa de referência (REFm). Verificou-se que a mesma tendência de redução foi verificada para a resistência à compressão: de 34MPa para 24MPa e 15MPa para PCMM10 (29%) e PCMM20 (55%), respectivamente.

3.2. Desempenho térmico das argamassas

A Figura 4 apresenta os resultados de desempenho térmico das argamassas REFm (a), PCMM10 (b) e PCMM20 (c). Os gráficos apresentados na Figura 4 mostram o tempo necessário para atingir a temperatura de congelamento nas superfícies de argamassa (tanto da superfície superior da argamassa que está em contacto com gelo como da superfície inferior da camada de argamassa). Quando a temperatura superficial inferior da camada de argamassa está acima de 0°C verifica-se um cenário de não ocorrência de congelação.

A partir dos resultados apresentados nos gráficos da Figura 4, podem ser feitas as seguintes observações:

- Com o aumento do PCM incorporado, aumenta o tempo de temperaturas de não-congelação da camada inferior. Na verdade, quando a temperatura da superfície superior (contacto entre a camada de gelo e a camada de argamassa) desce para 0°C, o sistema PCMM20 apresentaram atraso de tempo de formação de gelo de 12 horas, que mostram que este tempo de atraso varia significativamente com a incorporação de PCM.

- O comportamento de mudança de fase do PCM ocorreu de acordo com a temperatura de transição de fase de 5°C, para ambas as argamassas com PCM (PCMM10 e PCMM20). O comportamento da argamassa PCMM10 tem tendências semelhantes às da argamassa PCMM20, no que diz respeito aos efeitos da temperatura da superfície superior e PCM incorporado no comportamento do sistema. No entanto, o PCMM20 oferece melhor desempenho geral do que o PCMM10 em termos dos seus tempos de atraso de temperaturas de congelamento da camada de argamassa (e sub-camadas), devido ao seu maior potencial de armazenamento de energia térmica.

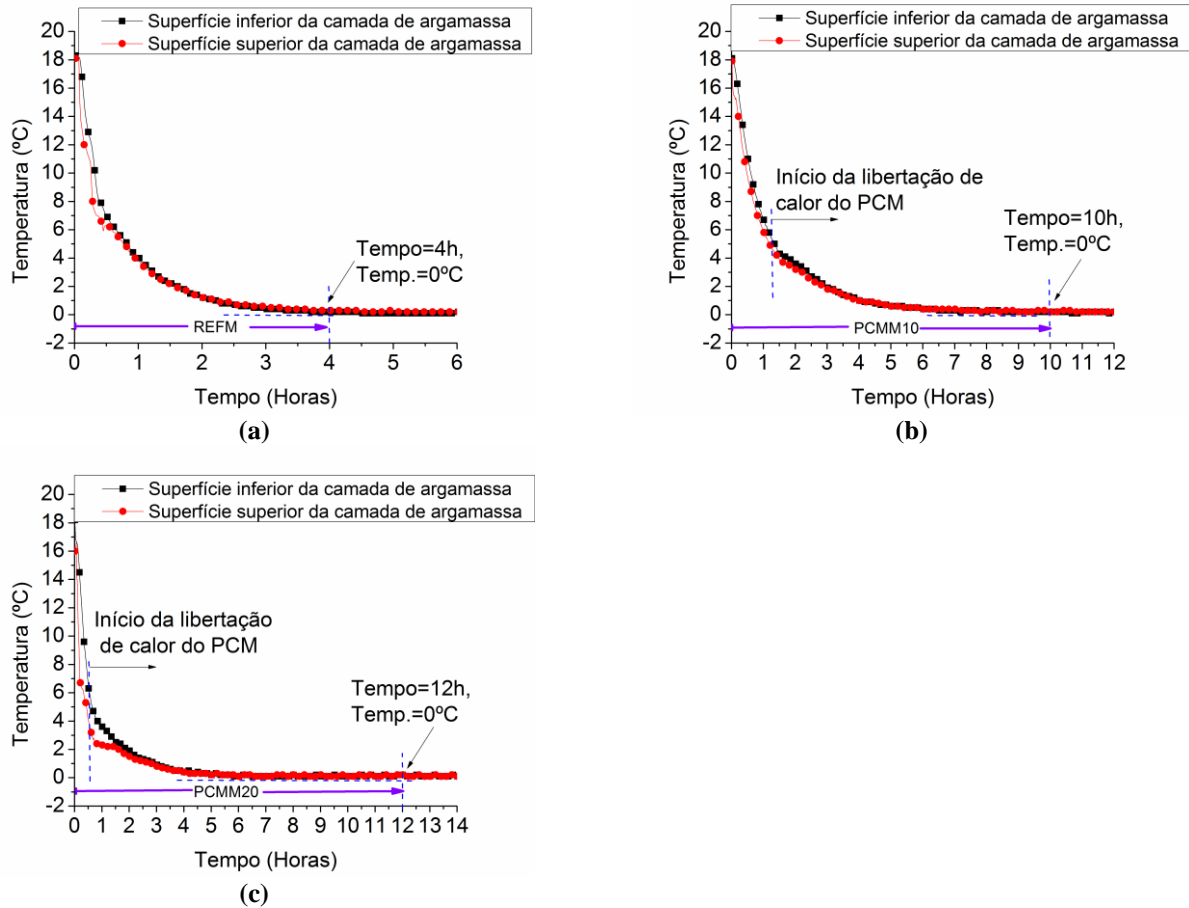


Figura 4 - Comportamento térmico das argamassas sob a camada de gelo: (a) caso REFM; (b) caso PCMM10; e (c) caso PCMM20.

Em síntese, no que diz respeito ao desempenho térmico de argamassas compósitas com LWA+PCM no ensaio piloto efetuado, foi verificado que, no caso de argamassas com PCM o tempo de não ocorrência de congelamento pode ser aumentado em 2,5 vezes (para PCMM10) e em 3 vezes (para PCMM20), quando comparado com a argamassa de referência (REFM).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi aplicado um novo método para produção de PCM encapsulados, aumentando a quantidade de PCM que pode ser introduzido numa argamassa, através da sua impregnação em argila expandida. No entanto, a substituição de agregados naturais, por argila expandida com PCM, reduz a resistência tanto à flexão e à compressão de argamassas compósitas e a tendência é maior quanto maior a dosagem de LWA+PCM. Finalmente, pode concluir-se que a utilização de PCM incorporado em LWA revelou um comportamento térmico adequado, tendo como resultado o atraso da eventual congelação da camada inferior, sob condições neve/gelo, para uma potencial aplicação em pavimentos rodoviários. Assim, este trabalho de investigação confirma a viabilidade do método proposto para incorporação de PCM em LWA. Considera-se que este sistema de retardamento do tempo de formação de degelo poderá funcionar especialmente bem em climas com Invernos moderados, quando a temperatura do ar ambiente baixa para 0°C apenas durante algumas horas.

Deve sublinhar-se, no entanto, que não foram feitos ensaios de desgaste e abrasão para a sua aplicação na camada de desgaste. No entanto, deve ressaltar-se, que o desenvolvimento deste tipo de compósitos incorporando PCM, para a utilização referida, ainda se encontra numa fase inicial, havendo muito para desenvolver, no futuro, antes de se obter uma solução final de aplicação industrial. Pretende-se, por isso, que esta investigação contribua como base de fundamento para o desenvolvimento dessa solução.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional da Região Centro (CCDR-C), através do projeto de investigação CENTRO-07-ST24_FEDER-002020 “*Environmentally-Friendly Aeronautical Transport Systems Integrated Program (EFATRAS)*”, <http://efatrasubi.wordpress.com>. Agrade-se ainda o fornecimento de agregados de argila expandida à Argex – Argila Expandida, SA e de granulado de cortiça à Sofalca – Sociedade Central de Produtos de Cortiça, Lda.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Cabeza L, Castell A, Barreneche C, de Gracia A, Fernández A. Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(3):1675–95.
- [2] Baetens A, Petter J.B, Gustavsen A. Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*. 2010;42 (9):1361–8.
- [3] Waqas A, Zia U. D. Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013;18:607-25.
- [4] Becker M, Meehan C, Kaliakin V. Finite Element Modeling of Heat Transfer in a Reinforced Concrete Pavement. *Geo-Congress 2014 Technical Papers*. p. 2942-51.
- [5] Shi X, Liu, Y., Mooney, M., Berry, M., Hubbard, B., Fay, L., Leonard, A.B. Effect of Chloride-Based Deicers On Reinforced Concrete Structures. Publication no WA-RD 7411 United States, Washington State Department of Transportation 2010.
- [6] Sakulich A, Bentz D. Increasing the Service Life of Bridge Decks by Incorporating Phase-Change Materials to Reduce Freeze-Thaw Cycles. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2012;24(8):1034-42.
- [7] Evola G, Marletta L, Sicurella F. A methodology for investigating the effectiveness of PCM wallboards for summer thermal comfort in buildings. *Building and Environment*. 2013;59(0):517-27.
- [8] Nepomuceno MCS, Silva PD. Experimental evaluation of cement mortars with phase change material incorporated via lightweight expanded clay aggregate. *Construction and Building Materials*. 2014;63(0):89-96.
- [9] Zhang D, Zhou J, Wu K, Li Z. Granular phase changing composites for thermal energy storage. *Solar Energy* 2005;78(3):471-80.
- [10] Pires L, Silva PD, Castro Gomes JP. Experimental study of an innovative element for passive cooling of buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2013;4(0):29-35.
- [11] ARGEX. Technical sheet for ARGILA EXPANDIDA. Portugal2011.
- [12] Karaipekli A, Sarı A. Capric–myristic acid/vermiculite composite as form-stable phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy*. 2009;83(3):323-32.
- [13] Lu Z, Xu B, Zhang J, Zhu Y, Sun G, Li Z. Preparation and characterization of expanded perlite/paraffin composite as form-stable phase change material. *Solar Energy*. 2014;108(0):460-6.
- [14] Nóvoa PJRO, Ribeiro MCS, Ferreira AJM, Marques AT. Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates. *Composites Science and Technology*. 2004;64(13–14):2197-205.
- [15] (EN) ES. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method. CSN EN 933-12012.
- [16] Rubitherm Technologies GmbH. Germany2013.
- [17] Weber S-G. Technical sheet for Weber Dry Lastic. Portugal2009.
- [18] EN 1015-11:1999. Methods of test for mortar for masonry, Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, European Committee for standardization; 1999.
- [19] EN 1015-10:1999. Methods of test for mortar for masonry, Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. European Committee for Standardization;1999.