

Argamassas Térmicas Sustentáveis: O Contributo dos Materiais de Mudança de Fase

Sandra R. Cunha
Universidade do Minho
Portugal
sandracunha86@gmail.com

Vítor H. Alves
Universidade do Minho
Portugal
alves.vh@gmail.com

José B. Aguiar
Universidade do Minho
Portugal
aguiar@civil.uminho.pt

Victor M. Ferreira
Universidade de Aveiro
Portugal
victorf@ua.pt

Resumo: As argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) possuem a capacidade de regular a temperatura no interior dos edifícios, contribuindo desta forma para o aumento do nível de conforto e diminuindo o recurso a equipamentos de climatização. Este estudo teve como principal objetivo o desenvolvimento de argamassas com integração de microcápsulas de PCM, devendo estas apresentar um compromisso entre a sua aparência estética, características físicas e mecânicas.

Palavras-chave: Argamassa, Materiais de mudança de fase, Resistência mecânica, Retração, Trabalhabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O elevado ritmo de crescimento das áreas urbanas e crescente aumento dos parâmetros de conforto no setor da construção, tem vindo a provocar acréscimos nos consumos energéticos. Este problema deve-se ao uso excessivo de energia proveniente de fontes não renováveis, que provocam graves impactos no meio ambiente, tornando-se esta problemática numa das maiores preocupações da sociedade atual.

Atualmente, grande parte do consumo de energia elétrica no setor residencial encontra-se associado ao aquecimento e arrefecimento. Portanto, torna-se urgente a utilização de soluções construtivas que permitam uma diminuição do recurso a equipamentos de climatização.

A utilização de materiais de mudança de fase em argamassas de revestimento interior nos edifícios constitui uma possível solução para a minimização dos consumos energéticos. Uma vez que, a utilização deste tipo de materiais permite a regulação da temperatura no interior dos edifícios, através do armazenamento térmico.

O armazenamento de energia sob a forma de calor, com recurso à incorporação de PCM, apresenta as seguintes vantagens: uniformização na solicitação da energia da rede, diminuindo a carga e eventual colapso dos sistemas de fornecimento; diminuição dos

gastos com a fatura elétrica, pela deslocalização temporal do consumo energético para períodos de vazio; contribuição para o aumento do conforto térmico no interior dos edifícios, pelo armazenamento e utilização do calor associado à energia solar (em particular para o aquecimento durante o inverno) e do fresco associado à ventilação natural noturna (em particular para o arrefecimento durante o verão) reduzindo assim o recurso a aquecedores e a sistemas de ar condicionado. Este tipo de mecanismos de armazenamento de energia pode assim reduzir as variações de temperatura interior, contribuindo para o aumento do nível de conforto [1, 2].

Tendo em conta as potencialidades dos materiais de mudança de fase é importante que a indústria da construção deixe de ser tradicionalmente conservadora, começando a apostar mais em soluções inovadoras que proporcionem a resolução de problemas com vários anos.

O principal objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma argamassa mista de cal aérea e gesso, com incorporação de microcápsulas de PCM, devendo esta possuir um compromisso entre a trabalhabilidade, resistência mecânica e aparência estética. Estas argamassas devem ser aplicadas na construção nova de edifícios, mas também em operações de reabilitação. Uma vez que, aliando a baixa espessura conseguida com a utilização de materiais de mudança de fase a soluções de construção flexíveis, é possível obter soluções construtivas com maior capacidade de adaptação ao tempo de vida das edificações.

2. MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE

É sabido que todos os materiais interagem com o ambiente, no entanto grande parte dos mesmos não possui capacidade de alterar as suas propriedades de acordo com as características do ambiente em que são aplicados.

Os materiais de mudança de fase possuem a capacidade de mudar o seu estado em função da temperatura ambiente. Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, este passa do estado sólido para o estado líquido, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Posteriormente, quando a temperatura ambiente baixa, e passa o ponto de solidificação do PCM, este transita de fase novamente, neste caso do estado líquido para o estado sólido, libertando a energia anteriormente armazenada (figura 1).

Para a correta utilização do PCM, este deve ser encapsulado, caso contrário, durante a fase líquida pode correr-se o risco deste se deslocar do local em que foi aplicado. Existem duas principais formas de encapsulamento: microencapsulamento e macroencapsulamento. Contudo, ambas devem atender a requisitos de resistência, flexibilidade, resistência à corrosão e estabilidade térmica, assim como agir como uma barreira de proteção. Devem também possuir superfície suficiente para a transferência de calor, assegurar a estabilidade estrutural e o fácil manuseio [4, 5].

O macroencapsulamento baseia-se na introdução de PCM em tubos, painéis ou outro recipiente de grandes dimensões, geralmente com dimensões superiores a 1 cm de diâmetro. O microencapsulamento consiste na colocação de uma pequena massa molecular em pequenas partículas, revestidas por polímeros de alto desempenho, com

dimensões inferiores a 1 cm de diâmetro, sendo as suas dimensões preferenciais de 1 a 60 μm [4, 6].

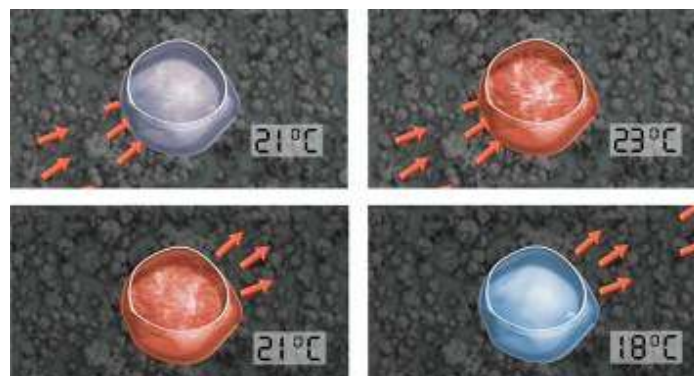


Figura 1 – Processo de mudança de fase do PCM [3]

Os materiais de mudança de fase são classificados como substâncias orgânicas, inorgânicas e misturas eutécticas. Os materiais orgânicos podem ser parafínicos e não-parafínicos, possuindo normalmente uma fusão congruente, mudando de fase vezes sem conta e sem degradação. Os materiais inorgânicos são classificados como sais hidratados e metálicos. Os sais hidratados são o grupo mais importante dos PCM e têm vindo a ser extensivamente estudados para a sua utilização em sistemas de armazenamento térmico. As suas propriedades mais atraentes são o alto calor de fusão por unidade de volume, alta condutibilidade térmica (quase o dobro da parafina), e pequenas mudanças de volume durante a fusão. Os sais metálicos ainda não foram seriamente considerados para armazenamento térmico devido ao seu peso. As misturas eutécticas resultam da combinação de dois ou mais compostos de natureza orgânica, inorgânica ou ambas, apresentando desta forma temperaturas de transição mais aproximadas às necessidades existentes, comparativamente com os compostos que as originam, individualmente [7].

2.1 Contributo para uma construção sustentável

O desenvolvimento sustentável, encontra-se intimamente ligado a três dimensões: económica, social e ambiental. Devendo existir um equilíbrio e harmonia entre as mesmas.

A criação de uma forte ligação entre a indústria da construção e os pilares do desenvolvimento sustentável, é particularmente importante, e desde cedo começou a merecer a atenção dos intervenientes do setor da construção.

A incorporação de materiais de mudança de fase em edifícios possui impactos benéficos nas dimensões social, económica e ambiental, demonstrando assim um contributo significativo para uma construção com maior valor de sustentabilidade. Os benefícios sociais estão diretamente relacionados com o aumento do conforto térmico no interior das habitações, sendo este atualmente um requisito relevante para a obtenção de um edifício de qualidade. O aumento do conforto térmico é conseguido através da capacidade de armazenamento do PCM, permitindo armazenar e libertar energia, mantendo as temperaturas interiores sensivelmente constantes, ou pelo menos com variações inferiores. A utilização de soluções construtivas modificadas com a incorporação de PCM, possui

ainda um efeito benéfico na humidade interior dos espaços, o que sem dúvida conduzirá a uma diminuição de eventuais patologias no interior dos edifícios. O aspeto ambiental encontra-se relacionado com a redução do recurso a fontes de energia não renováveis, uma vez que esta tecnologia possui um efeito termo-regulador do ambiente interior dos edifícios, proporcionando uma diminuição da utilização dos equipamentos de climatização, que também permite reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera. A dimensão económica diz respeito à adequação da tecnologia e custos associados à sua implementação. Os custos inerentes à sua aplicação devem ser facilmente suportados e amortizados pelo utilizador. Pode ainda referir-se que, os benefícios económicos da diminuição dos consumos energéticos e desfasamento dos mesmos para fora das horas de maior procura, são evidentes e podem ser conseguidos através do armazenamento térmico. A amortização e rentabilidade de uma solução com incorporação de PCM, é fortemente influenciada pelo preço do PCM e deve ser estudada antes da aplicação da tecnologia construtiva. No entanto, o aumento do preço da energia praticado nos últimos anos e a forte dependência de Portugal em termos energéticos, devem ser fatores a ponderar na estimativa de rentabilidade deste tipo de soluções.

2.2 PCM aplicado na construção

Atualmente, o armazenamento de energia térmica tem vindo a despertar um elevado interesse na comunidade científica. Sabe-se que a utilização de PCM possui uma influência maior em regiões onde o inverno e o verão sejam mais rigorosos [8, 9, 10, 11].

A importância da adequação da temperatura de transição do PCM e a temperatura atmosférica é extremamente importante para o correto funcionamento da solução. Shapiro [9] mostrou a adequação de vários PCM para incorporação em placas de gesso cartonado. Contudo, mesmo possuindo grande capacidade de armazenamento térmico, o PCM utilizado não entrou em funcionamento, uma vez que a temperatura de transição dos mesmos não coincidiu com a gama de temperaturas de conforto, não se tirando partido da utilização do material.

O PCM pode ser utilizado em soluções para paredes, pavimentos e tetos. Existindo atualmente algumas soluções comerciais. A aplicação de PCM nas paredes dos edifícios é a solução preferencial para explorar a potencialidade destes materiais. A incorporação de PCM em placas de gesso tem sido objeto de vários estudos realizados, devido ao seu baixo custo e diversas possibilidades de aplicação [12, 13, 14, 15]. Darkwa et al. [14] investigaram o comportamento de duas soluções com incorporação de PCM. Numa face utilizaram placas de gesso cartonado, com 12 mm de espessura, impregnadas com PCM de modo a comparar diretamente com uma outra situação, em que aplicaram placas de gesso cartonado simples, com 10 mm de espessura, revestidas por lâminas de PCM com 2 mm, sendo a quantidade de PCM utilizada a mesma em ambas as situações. Os resultados permitiram observar que o uso de lâminas de PCM é mais eficiente, uma vez que contribuiu para um aumento da temperatura mínima.

Foram também desenvolvidas soluções como painéis alveolares de PVC com PCM macroencapsulado, blocos e tijolos [6, 16]. Cabeza et al. [4] construíram e monitorizaram o comportamento de células de teste em betão, com e sem incorporação de 5% em massa de microcápsulas de PCM. O betão com incorporação de PCM foi utilizado na cobertura e nas paredes Sul e Oeste. Durante o verão e sem ventilação, foram registados 3°C de

diferença na temperatura superficial máxima da parede Oeste, com um desfasamento temporal de 2 horas.

Os pavimentos são provavelmente um dos locais mais importantes para aquecimento e arrefecimento de um edifício. Existem vários autores que vêm investigando soluções construtivas com incorporação de PCM nestes locais. Estas soluções são variadas, tais como a incorporação de PCM na laje de betão constituinte do pavimento, pavimento radiante elétrico incorporando placas de polietileno impregnadas com PCM e aplicação de dois tipos de PCM com temperaturas de transição diferentes [7, 16, 17, 18].

3. MATERIAIS, COMPOSIÇÕES E FABRICO

3.1 Materiais

Nesta investigação foram utilizadas microcapsulas de PCM sintetizadas pelo processo de polimerização em emulsão, constituídas por uma parede em polimetilmetacrilato e um núcleo em parafina. O produto é comercializado em pó (seco) ou em emulsão, sendo que neste estudo se optou por utilizar o PCM seco de modo a facilitar a sua incorporação em argamassas prontas. Este possui uma temperatura de fusão de cerca de 23°C e uma entalpia de 110kJ/kg. O superplastificante utilizado é baseado em poliacrilato, com densidade de 1050kg/m³. A areia apresenta um tamanho de partícula médio de 439,9 µm. A cal utilizada nas composições é hidratada, com um grau de pureza de 90% e densidade de 1100 kg/m³. O gesso utilizado apresenta elevada finura. Por último, as fibras utilizadas são fibras sintéticas de nylon, com um comprimento de 6 mm.

3.2 Composições e fabrico

Tendo em vista a seleção da composição final, foi realizada uma campanha experimental com o objetivo de caracterizar as composições produzidas.

Nas argamassas estudadas fez-se variar a percentagem de PCM em 0%, 10%, 20% e 30%. Com o intuito de contornar alguns problemas relacionados com a retração das argamassas e consequente fissuração foram incorporadas fibras de nylon, superplastificante e gesso.

As composições estudadas apresentam-se na tabela 1. Através da sua análise é possível observar a existência de 15 composições distintas. As quais são constituídas por diferentes percentagens de cal, gesso e PCM. Em todas as composições sem incorporação de PCM, optou-se por não utilizar superplastificante devido ao seu efeito dispersor, o que provocava uma ligeira segregação na argamassa obtida.

O processo de mistura e fabrico dos provetes foi efetuado de acordo com norma EN 1015-11, com ligeiras adaptações devido à incorporação do PCM [19].

Para avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas (resistência à compressão e flexão) das diferentes composições, foram moldados 3 provetes prismáticos com 40x40x160 mm³. Após o seu fabrico, todos os provetes foram conservados durante 7 dias em sacos de polietileno, sendo posteriormente colocados em laboratório à temperatura ambiente (cerca de 22 °C) durante 21 dias.

Tabela 1 – Composição das argamassas (Água, PCM, Fibras e Superplastificante em % da massa total de Areia, Gesso e Cal. Areia e Gesso em % da massa de Cal)

Composição	Areia	Água	Gesso	PCM	Fibras	Superplastificante
L100G0	561.4	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0
L100G0PCM10	561.4	18.5	0.0	10.0	0.0	1.0
L100G0PCM20	561.4	29.0	0.0	20.0	0.0	1.0
L100G0PCM30	561.4	45.0	0.0	30.0	0.0	1.0
L100G0F	561.4	23.0	0.0	0.0	0.1	0.0
L100G0PCM10F	561.4	18.5	0.0	10.0	0.1	1.0
L100G0PCM20F	561.4	30.0	0.0	20.0	0.1	1.0
L100G0PCM30F	561.4	45.0	0.0	30.0	0.1	1.0
L90G10F	561.4	23.5	10.0	0.0	0.1	0.0
L90G10PCM10F	561.4	19.2	10.0	10.0	0.1	1.0
L90G10PCM20F	561.4	31.0	10.0	20.0	0.1	1.0
L90G10PCM30F	561.4	47.0	10.0	30.0	0.1	1.0
L80G20PCM20F	561.4	31.0	20.0	20.0	0.1	1.0
L70G30PCM20F	561.4	32.0	30.0	20.0	0.1	1.0
L60G40PCM20F	561.4	32.0	40.0	20.0	0.1	1.0

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Trabalhabilidade

Os ensaios de trabalhabilidade foram realizados com o objetivo de conferir uma trabalhabilidade adequada ao manuseio das argamassas desenvolvidas. Os ensaios foram realizados com base no método da mesa de espalhamento, especificado pela norma europeia EN 1015-3. O valor resultante do ensaio apenas foi considerado, quando compreendido entre 160-180 mm.

De acordo com a figura 2, é possível verificar variações na quantidade de água a adicionar à mistura de acordo com a incorporação de microcápsulas de PCM. Sendo que, um aumento de 10% de PCM provoca um aumento na quantidade de água de cerca de 52%. O que pode ser explicado pela finura característica do PCM utilizado e pela absorção da parede polimérica que reveste o material de mudança de fase.

A incorporação de fibras não provocou qualquer alteração na quantidade de água a adicionar à argamassa, no entanto verificou-se uma ligeira diminuição no diâmetro de espalhamento obtido.

A incorporação de 10% de gesso provocou um ligeiro aumento na quantidade de água. Sendo que, para uma mesma argamassa um aumento de 20% de gesso, originou um aumento de cerca de 3% na quantidade de água adicionada à argamassa.

4.2 Resistências mecânicas

A avaliação das resistências mecânicas foi feita com base no estudo do comportamento das argamassas à compressão e flexão, sendo que ambos foram avaliados com base na EN 1015-11 [20].

Para o comportamento em flexão foram utilizados provetes prismáticos com dimensões de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$. Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 10N/s. O comportamento em compressão foi avaliado efetuando a aplicação da carga no provete com recurso a uma peça metálica, suficientemente rígida para uniformizar a carga vertical. Os provetes utilizados para o ensaio foram as metades resultantes dos ensaios de flexão. Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 50N/s.

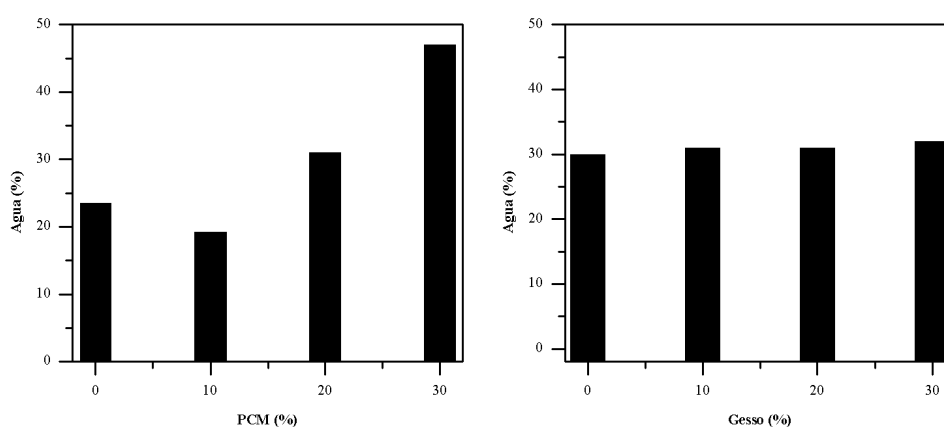


Figura 2 – Quantidade de água adicionada à argamassa (em % da massa total de partículas sólidas)

De acordo com os resultados obtidos (figura 3) é possível observar uma melhoria nas características mecânicas, provocada pela introdução de uma maior quantidade de PCM. Contudo, verifica-se uma diminuição do valor da resistência à flexão e compressão, para uma percentagem de incorporação de PCM de 30%, comparativamente à composição com incorporação de 20% de PCM. O que nos leva a concluir que a percentagem ótima de PCM a adicionar na argamassa é de 20%. É ainda possível verificar que o valor obtido para uma percentagem de incorporação de PCM de 30%, é superior ao apresentado pelas argamassas sem incorporação de PCM, o que mais uma vez nos permite concluir o efeito benéfico provocado pela incorporação de PCM nestas argamassas.

A incorporação de 10% de PCM leva a um aumento do valor da resistência à flexão superior a 300%. Na resistência à compressão o aumento verificado é de cerca de 330%. Estes valores foram obtidos através da comparação entre o valor obtido para as composições com 10% de PCM relativamente às composições sem incorporação de material de mudança de fase. Este aumento das resistências mecânicas encontra-se relacionado com o aumento da porosidade originado pela introdução de uma maior quantidade de água. Sendo que o aumento da porosidade facilita a carbonatação das argamassas.

A incorporação de percentagens de gesso na mistura superiores a 20%, proporcionam uma diminuição das suas resistências mecânicas.

4.3 Retração

O estudo da retração apenas foi efetuado para 5 das 15 composições estudadas. Desta forma, foi possível observar a influência da presença de microcápsulas de PCM nas argamassas, assim como a acção provocada pela introdução de fibras de nylon e gesso. Uma vez que, a introdução destes materiais teve como principal objetivo a diminuição e controlo da retração.

Para avaliar a retração, foi desenvolvido um dispositivo capaz de medir as variações de dimensões em vários provetes, desde o instante em que a argamassa foi colocada no molde até à posterior desmoldagem, aos 7 dias (Figura 4). Previamente à colocação da argamassa, os moldes do dispositivo de medição foram preparados com um óleo correntemente utilizado em cofragens, tendo como objetivo a eliminação do atrito às superfícies. Após a desmoldagem, foi possível continuar a monitorização da retração ao longo do tempo, com recurso a outro dispositivo de medição.

O dispositivo desenvolvido consiste numa base para colocação de um molde triplo, com dimensões de 25x25x250mm³ e seis transdutores de deslocamento (LVDT). Foi acoplado um transdutor de deslocamento na extremidade de cada amostra, com o objetivo de permitir a medição da retração ao longo do provete. Os transdutores de deslocamento foram conectados a um sistema de aquisição de dados. A quantificação da retração é realizada com base na equação (1):

$$\varepsilon = (L_i - L_t) / 250 \quad (1)$$

Onde:

ε – Retração;

L_i – Comprimento inicial;

L_t – Comprimento no instante t.

Os resultados permitiram verificar um aumento no valor medido da retração com a incorporação de microcápsulas de PCM. No entanto, a adição de gesso e fibras de nylon, resulta numa diminuição da retração nas primeiras 24 horas de monitorização (Figura 5).

A análise dos resultados até 7 dias (Figura 6) permitiu identificar diferentes comportamentos nas argamassas testadas. A introdução de 20% de microcápsulas (L100G0PCM), provocou um aumento na retração de cerca de 4 vezes, relativamente à argamassa de referência (L100G0). A adição de fibras de nylon (L100G0PCMF), provocou uma diminuição na retração para cerca de metade, comparativamente com a argamassa L100G0PCM. Por sua vez a adição de gesso (L80G20PCMF e L60G40PCMF) permite também observar uma diminuição no valor da retração. O aumento da retração com a incorporação de PCM deve-se à maior quantidade de água utilizada, aumentando a retração por dessecação. A diminuição de retração originada pela inclusão de fibras deve-se a estas impedirem os movimentos no interior das argamassas. Por outro lado, a diminuição de retração verificada com a inclusão de gesso, deve-se à expansão que ocorre com a sua hidratação.

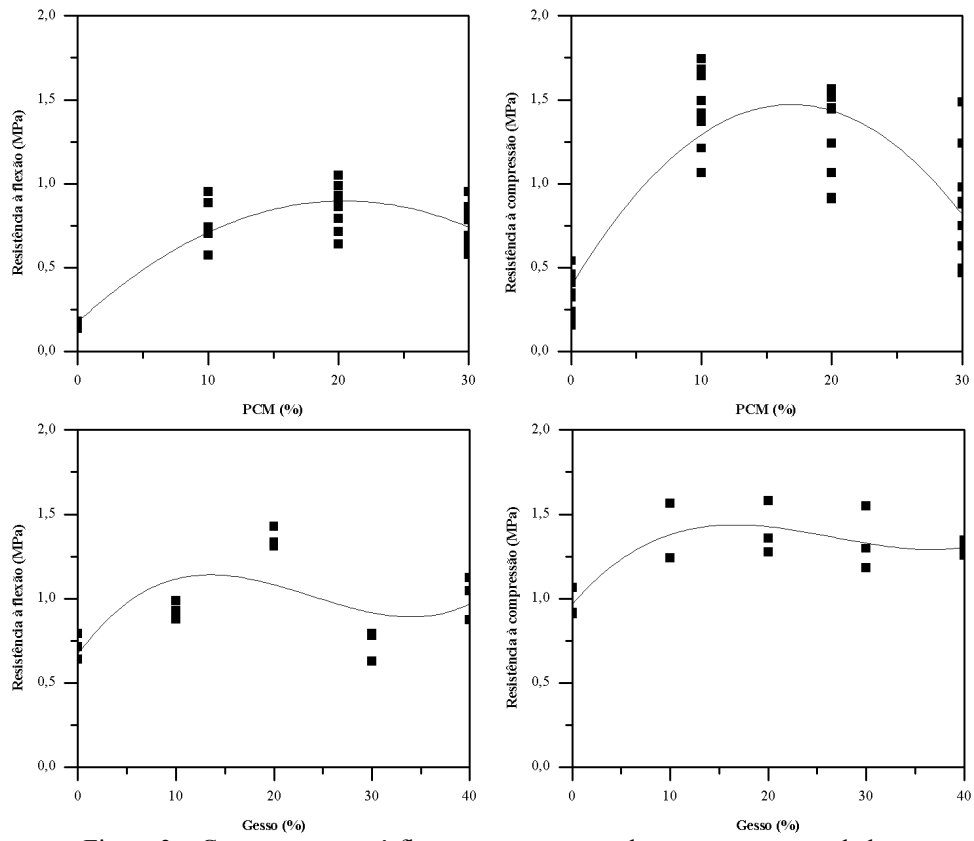


Figura 3 – Comportamento à flexão e compressão das argamassas estudadas



Figura 4 – Dispositivo de medição da retração das argamassas no estado fresco

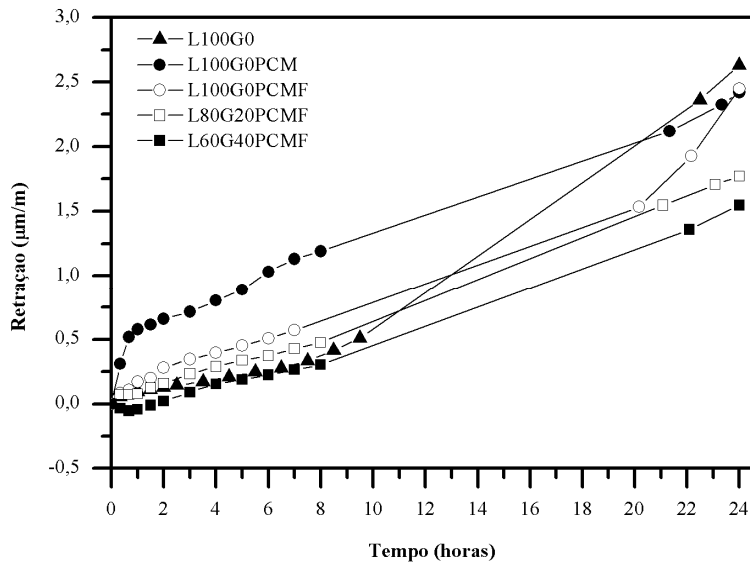


Figura 5 – Retração desde a moldagem até às 24 h

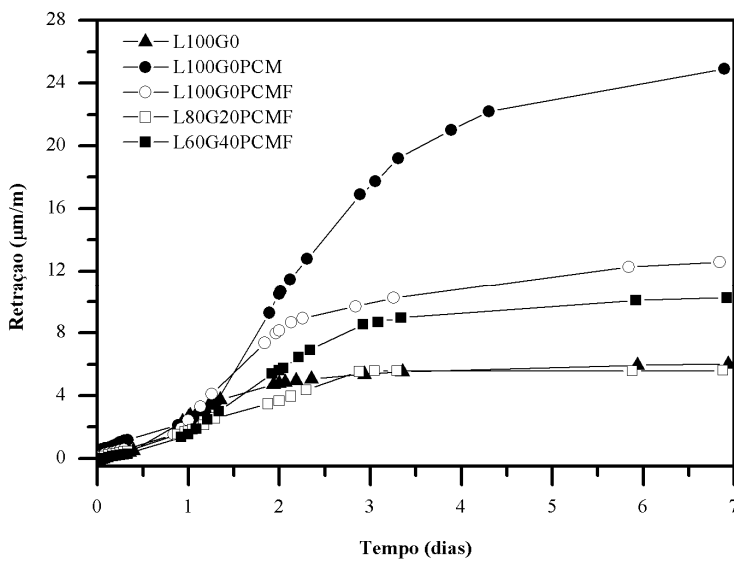


Figura 6 – Retração desde a moldagem até aos 7 dias

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a utilização de microcápsulas de PCM em argamassas de revestimento para interiores, pode ser encarada como uma solução viável para aplicações na indústria da construção. Uma vez que estas possuem um compromisso entre a sua resistência e aparência estética.

Os resultados obtidos nos ensaios de retração permitiram concluir que o uso conjunto de fibras e de gesso constitui uma boa solução para os problemas relacionados com a fissuração, causados pela incorporação de microcápsulas de materiais de mudança de fase.

Foi ainda possível verificar a necessidade de uma quantidade de água maior, com um maior nível de incorporação de materiais de mudança de fase, de forma a obter uma trabalhabilidade adequada para a argamassa. O comportamento em compressão e flexão, permite observar um melhor desempenho, para percentagens de incorporação de microcápsulas de PCM entre 15% e 20%. O que pode ser justificado pela necessidade de uma maior quantidade de água em argamassas com incorporação de 30% de PCM, provocando desta forma uma porosidade mais elevada nas mesmas. Sendo assim, o benefício obtido nas características mecânicas relacionado com a incorporação de uma maior quantidade de PCM é atenuado pela presença de uma maior quantidade de água, de forma a conferir uma trabalhabilidade adequada às argamassas.

Através da análise dos diferentes ensaios efetuados, é possível concluir que a argamassa com incorporação de 60% de cal aérea, 40% de gesso e 20% de PCM, revelou-se a mais interessante, tendo mostrado um excelente equilíbrio entre as suas características mecânicas e retração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento deste trabalho de investigação desenvolvido no âmbito do projeto “ Contribuição de Argamassas Térmicas Ativas para a Eficiência Energética dos Edifícios” (PTDC/ECM/102154/2008).

7. REFERÊNCIAS

- [1] Monteiro, J. et al. *Utilização de Materiais Activos em Argamassas*, Arte & Construção, Vols. 181, pp. 22-28, 2005.
- [2] Silva, N.; Aguiar, J.; Bragança, L.; Freire, T.; Cardoso, I. *Properties of Gypsum-PCM Based Mortars for Interior Plastering of Construction Systems*, Materials Science Forum, Vols. 587-588, pp. 913-917, 2008.
- [3] Schmidt, M. *Heat management with Phase Change Material*. Seminário Argamassas Funcionais para uma Construção Sustentável, Aveiro, 2011.
- [4] Cabeza, L; Castell, A.; Barreneche, C.; Gracia, A.; Fernández, I. *Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vols. 15, pp. 1675-1695, 2011.
- [5] Regin, A.; Solanki, S.; Saini, J. *Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vols. 12, pp. 2438–2458, 2008.
- [6] Tyagi, V.; Kaushik, S.; Tyagi, S.; Akiyama, T. *Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vols. 15, pp. 1373-1391, 2011.
- [7] Sharma A.; Tyagi, V.; Chen, C.; Buddhi, D. *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vols. 13, pp. 318–345, 2009.

- [8] Zhang, Y.; Zhou, G.; Lin, K.; Zhang, K.; Di, H. *Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook*. Building and Environment, Vols. 42, pp. 2197–209, 2007.
- [9] Khudhairi, A.; Farid, M. *A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials*. Energy Conversion and Management, Vols. 45, pp. 263–275, 2004.
- [10] Li, J.; Xue, P.; He, H.; Ding, W.; Han, J. *Preparation and application effects of a novel form-stable phase change material as the thermal storage layer of an electric floor heating system*. Energy and Buildings, Vols. 41, pp. 871–880, 2009.
- [11] Hernández, V.; Morillón, D.; Best, R.; Fernández, J.; Almanza, R.; Chargoy, N. *Experimental and numerical model of wall like solar heat discharge passive system*. Applied Thermal Engineering, Vols. 26, pp. 2464–2469, 2006.
- [12] Athienitis, A.; Liu, C.; Hawes, D.; Banu, D.; Feldman, D. *Investigation of the Thermal Performance of a Passive Solar Test-Room with Wall Latent Heat Storage*. Building and Environment, Vol.32, pp. 405-410, 1997.
- [13] Shilei, L.; Neng, Z.; Guohui, F. *Impact of Phase Change Wall Room on Indoor Thermal Environment in winter*. Energy and Buildings, Vols. 38, pp. 18-24, 2006.
- [14] Darkwa, K., O’Callaghan, P.; Tetlow, D. *Phase-change drywalls in a passive-solar building*. Applied Energy, Vols. 83, pp. 425–435, 2006.
- [15] Schossig, P.; Henning, H.; Gschwander, S.; Haussmann, T. *Micro-encapsulated Phase Change Materials Integrated in to Construction Materials*. Solar Energy Materials & Solar Cells, Vols. 89, pp. 297-306, 2005.
- [16] Lin, K.; Zhang, Y.; Xu, X.; Di, H.; Yang, R.; Qin, P. *Experimental Study of Under-Floor Electric Heating System with Shape-Stabilized PCM Plates*. Energy and Buildings, Vols 37, pp. 215-220, 2005.
- [17] Entrop, A.; Brouwers, H.; Reinders, A. *Experimental research on the use of micro-encapsulated Phase Change Materials to store solar energy in concrete floors and to save energy in Dutch houses*. Solar Energy, Vols. 85, pp. 1007–1020, 2011.
- [18] Jin, X.; Zhang, X. *Thermal analysis of a double layer phase change material floor*. Applied Thermal Engineering, Vols. 31, pp. 1576-1581, 2011.
- [19] European Committee for Standardization (CEN). EN 1015-3. *Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*, 2004.
- [20] European Committee for Standardization (CEN). EN 1015-11. *Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*, 1999.