



ICEUBI2011  
International Conference on Engineering UBI2011  
Innovation & Development

# Estudo da durabilidade do efeito de termoregulação em malhas com materiais de mudança de fase

J. Cruz, R. Figueiro

*Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*

[julianacruz@det.uminho.pt](mailto:julianacruz@det.uminho.pt), [rfang@det.uminho.pt](mailto:rfang@det.uminho.pt)

P. Araújo, F. Araújo

*Araújo Irmãos Lda, Barcelos, Portugal*

Conference Topic - CT24

## Resumo

O objectivo do presente trabalho foi estudar o efeito das lavagens domésticas em substratos acabados com um acabamento de termoregulação à base de materiais de mudança de fase microencapsulados (PCM's). Neste estudo utilizou-se uma malha Jersey tingida com corante reactivo com média substantividade e reactividade. A análise da influência das lavagens foi estudada com base nas propriedades térmicas e na análise da dispersão de microcápsulas através de microscopia electrónica. Os resultados obtidos mostram que as lavagens fazem com que se verifique uma diminuição do número de microcápsulas no substrato, influenciando o desempenho de termoregulação. Este efeito é particularmente visível a partir da 15ª lavagem.

**Palavras -chave:** termoregulação, materiais de mudança de fase, propriedades térmicas

## Introdução

A utilização de acabamentos e fibras funcionais como forma de aportar valor acrescentado aos produtos, é actualmente um estratégia seguida e dominada por várias marcas existentes no mercado. No caso particular da utilização de acabamentos termoreguladores, assume-se como objectivo a necessidade de proporcionar maior conforto ao utilizador a partir da utilização de materiais que possam armazenar ou libertar calor em função das necessidades de aquecimento ou arrefecimento demonstradas. Neste particular a utilização de materiais de mudança de fase (PCM's) veio abrir novas possibilidades de incorporação desta funcionalidade nos substratos fibrosos por via do microencapsulamento.

As microcápsulas com PCM's podem ser aplicadas às fibras na extrusão, por revestimento ou por impregnação. Estas microcápsulas são revestidas por um polímero, normalmente espumas de poliuretano, cujo interior contém uma parafina, com as propriedades de mudança de fase sensíveis a pequenas diferenças de temperatura.

O PCM absorve o calor latente quando está no estado líquido, sendo que, quando passa ao estado sólido, liberta essa mesma energia para o exterior. [1] Os materiais de mudança de fase aplicados aos substratos têxteis proporcionam regulação térmica por parte do vestuário, alterando o seu estado de acumulação num intervalo de temperatura definido. [2,3]

A aplicação dos PCM's aos substratos têxteis torna necessário a adaptação do seu volume, de forma a ter uma durabilidade da actividade aceitável para o uso da peça de vestuário [1].

As microcápsulas de PCM podem afectar o conforto e as propriedades de fabricação de produtos têxteis. [4] As microcápsulas são partículas esféricas cujo tamanho varia entre os 0,020  $\mu\text{m}$  e os 2000  $\mu\text{m}$ , sendo o seu interior constituído por uma substância activa, coberto por uma parede protectora dura de material polimérico. [5]

Neste trabalho pretende-se avaliar a durabilidade do efeito de termoregulação proporcionado por acabamentos com materiais de mudança de fase através da avaliação do seu comportamento após lavagens domésticas sucessivas.

## Materiais

Para realização deste estudo foi utilizada uma malha Jersey 100% algodão cujas características se apresentam no Quadro 1. Esta malha foi tingida com corante reactivo de média substantividade e reactividade. Depois de tingida, a malha foi acabada com um acabamento termoregulador baseado em microcápsulas de PCM. O acabamento foi aplicado pelo processo de esgotamento, segundo o processo apresentado no Quadro 2, tendo sido aplicado em máquina de lavar industrial.

Quadro1: Características da malha Jersey utilizada

Estrutura	Jersey
Composição	100% Algodão
Massa linear (Tex)	19
Propriedades dimensionais	Colunas/cm 15
	Fileiras/cm 21
	Grau de aperto (K) 16
	Comprimento de laçada 0,28
Espessura	mm 0,57
Massa por unidade de área	$\text{g}/\text{m}^2$ 154

Depois de aplicar o acabamento, e com a finalidade de avaliar a durabilidade do acabamento, efectuaram-se 4 ciclos de 5 lavagem cada, ou seja, 5,10,15 e 20 lavagens segundo a norma NP EN ISO 105-C06, nas seguintes condições:

- Temperatura: 40°C;
- 4 Ciclos de 5 lavagens cada e secagem em tambor;
- Ciclo de secagem de cerca de 1h;
- Detergente doméstico.

Quadro 2: Processo de Acabamento

Processo de acabamento	
<b>1ª Etapa</b>	Microcápsulas PCM's Catalisador Amaciador Fixador
<b>2ª Etapa</b>	Ensaboador Amaciador pH 5-5,5 ácido acético
<b>R:B</b>	1:10
<b>Temperatura</b>	40°C
<b>Tempo</b>	20 minutos

## Métodos de ensaio

### Microscopia electrónica de varrimento

As amostras foram analisadas no Microscópio Electrónico de Varrimento de alta resolução com emissão de campo, com sistema integrado de microanálise por raios-X (EDS - energy dispersive spectrometer) e análise de padrões de difracção de electrões retrodifundidos (EBSD - Electron Backscatter Diffraction), marca EDAX modelo Pegasus X4M. Neste ensaio foram utilizadas amostras com cerca de  $1\text{cm}^2$ , sobre as quais foi efectuado um revestimento com um nanofilme de ouro (condutor), para se proceder à microanálise.



Figura 1: Microscópio Electrónico marca EDAX modelo Pegasus X4M

### Propriedades térmicas

O aparelho Alambeta foi utilizado para efectuar a avaliação das propriedades das amostras utilizadas. Trata-se de um aparelho que possui um bloco metálico com temperatura constante de  $32^{\circ}\text{C}$  a qual difere da temperatura da amostra de cerca de  $20^{\circ}\text{C}$ . Neste aparelho a cabeça de medida baixa e toca na superfície plana da amostra a qual se situa na base do aparelho, sob a cabeça de medição. Neste momento, a temperatura da superfície da amostra muda bruscamente e o aparelho regista a evolução do fluxo de calor. Simultaneamente, é medida a espessura da amostra. Este aparelho avalia os parâmetros constantes no Quadro 3 [6;7].



Figura 2: Alambeta

Quadro 3: Propriedades térmicas [6;7]

Simbologia	Unidades	Propriedades
h	mm	Espessura
$\lambda$	$10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{K}$	<u>Condutividade térmica</u> : exprime a quantidade de calor que flui pelo material, por unidade de comprimento
b	$\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^\circ\text{K}$	<u>Absortividade térmica</u> (propriedade transitória) - Está directamente, relacionada com a sensação inicial de contacto da pele com o substrato têxtil. Esta exprime as propriedades térmicas dos tecidos em contacto, estando relacionado com parâmetros da estrutura e composição dos tecidos, não abrangendo as condições de medição.
r	$10^{-3} \text{ m}^2\text{K/W}$	<u>Resistência térmica</u> (propriedade. estacionária) - exprime a resistência oferecida por um dado material ao fluxo de calor: razão entre a espessura e a condutividade térmica
$\alpha$ ou a	$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	<u>Difusão térmica</u> - descreve a velocidade de propagação da temperatura (calor) no material: impulso térmico.
$Q_{\text{max}} = q$	$\text{W/m}^2$	<u>Fluxo térmico ou toque térmico</u> (propriedade Dinâmica) - avalia a sensação quente/frio, quando se toca um tecido e é dado pelo valor máximo do fluxo térmico ( $Q_{\text{max}}$ ). O fluxo de calor (q) está relacionado com o tempo de contacto (T) e com a absortividade térmica (b).

## Resultados e Discussão dos resultados

### Microscopia electrónica de varrimento

Nas figuras 3 à 6 são apresentadas as imagens das amostras obtidas no microscópio electrónico, a diferentes ampliações, nomeadamente 500, 1000, 2000 e 15000 vezes. Nestas visualizações é possível observar a distribuição e o comportamento das microcápsulas de PCM's em função do número de ciclos de lavagem.

Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentadas as imagens ampliadas 500, 1000 e 2000 vezes, respectivamente. Nestas figuras verifica-se que a amostra sem lavagem contém uma elevada quantidade de microcápsulas. No entanto, logo após a 5ª lavagem, verifica-se uma diminuição significativa, sendo que, por outro lado, pode observar-se que estas se mantêm estáveis até 15ª lavagem. Após a 20ª lavagem a existência das microcápsulas é escassa.

A figura 6, mostra imagens com ampliação de 15000 vezes. Neste caso, o objectivo da ampliação é a análise do estado das microcápsulas, de forma a visualizar o seu nível de dano. Assim sendo, ao observar a imagem da amostra sem lavagens, pode observar-se a microcápsula intacta. No entanto, nas restantes imagens, referentes aos diferentes ciclos de lavagens a que foi submetido o substrato, verifica-se que as microcápsulas existentes se encontram danificadas, ou seja, apresentam pequenas erupções na sua superfície. Estas danificações nas paredes das microcápsulas originam a perda da capacidade de termoregulação das partículas uma vez que o líquido no seu interior se escapa para o meio.

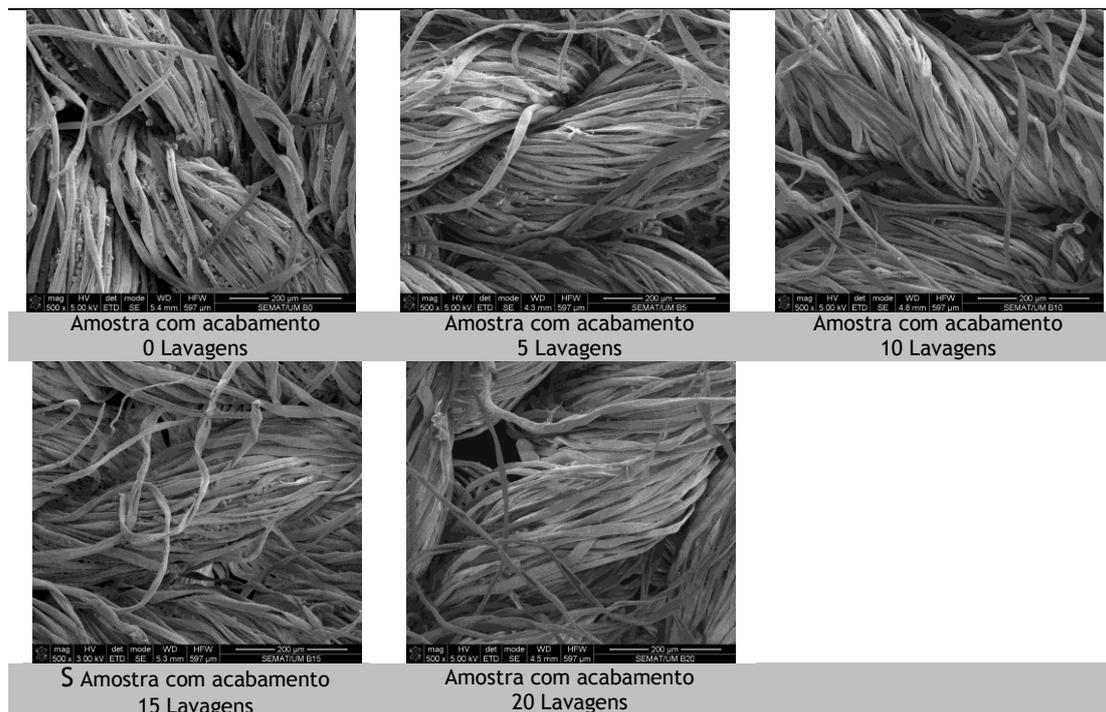


Figura 3: Ampliação de 500 vezes no microscópio electrónico

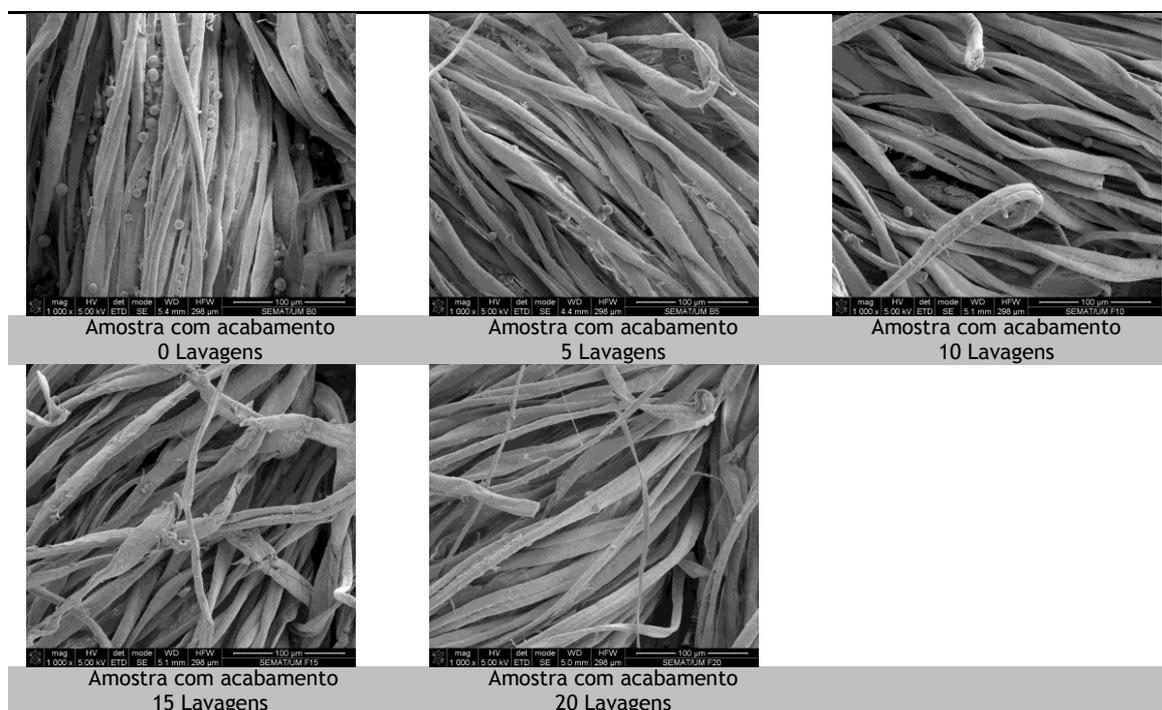


Figura 4: Ampliação de 1000 vezes no microscópio electrónico

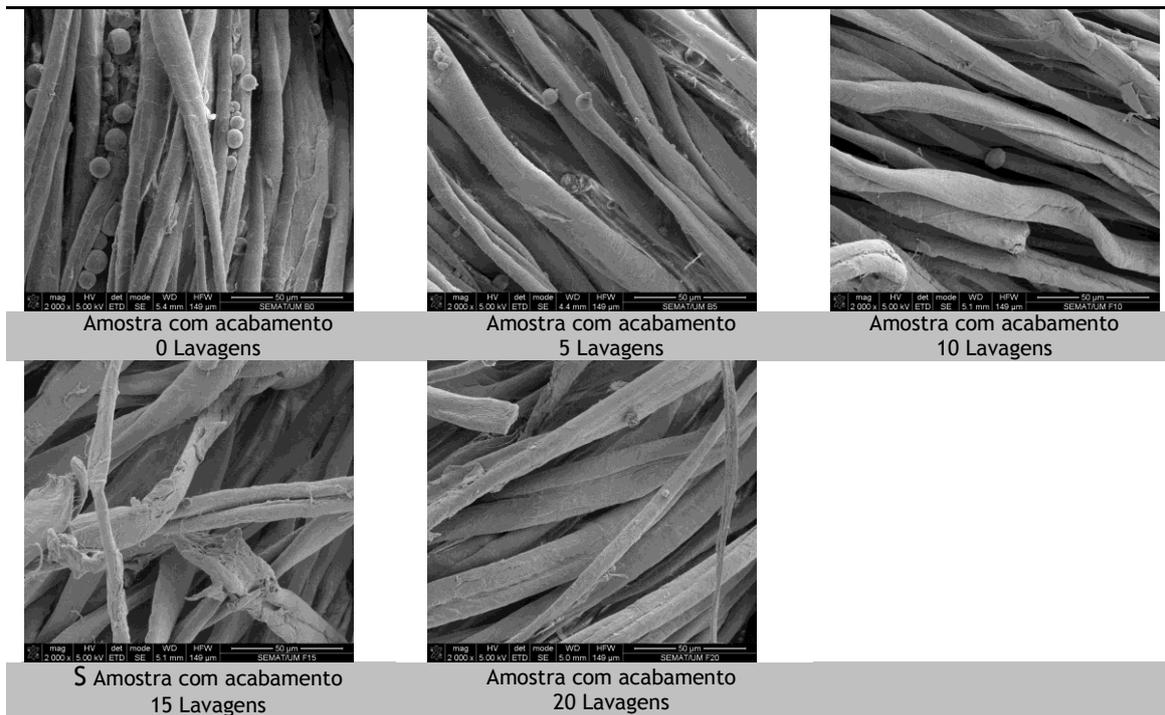


Figura 5: Ampliação de 2000 vezes no microscópio electrónico

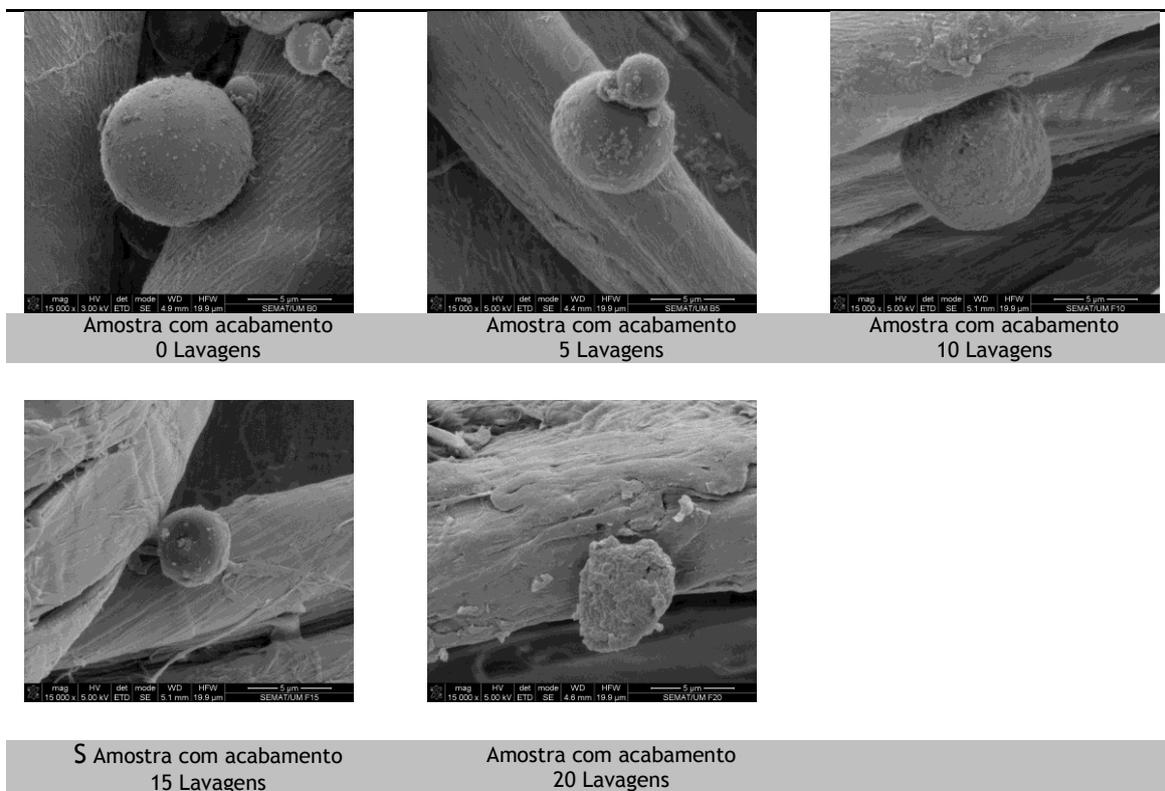


Figura 6: Ampliação de 15000 vezes no microscópio electrónico

### Análise das propriedades térmicas

Na figura 7 apresenta-se os resultados dos ensaios obtidos para avaliação da condutividade térmica para as diferentes amostras, em função do número de ciclos de lavagem. A Figura 8 mostra a curva que correlaciona os ciclos de lavagem com a condutividade térmica, podendo-se verificar que a condutividade térmica diminui com o aumento do número de ciclos de lavagem devido à perda de microcápsulas.

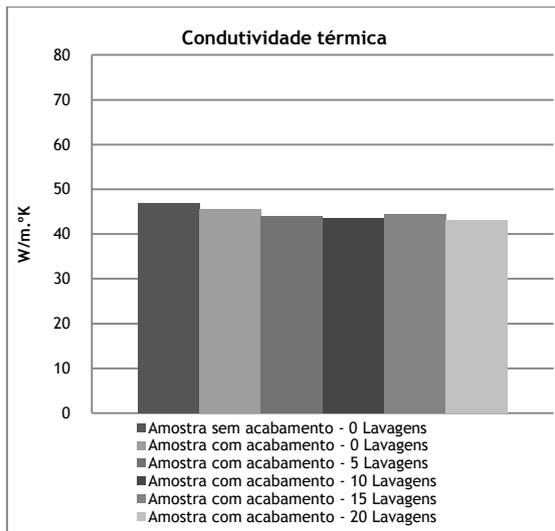


Figura 7: Condutividade térmica

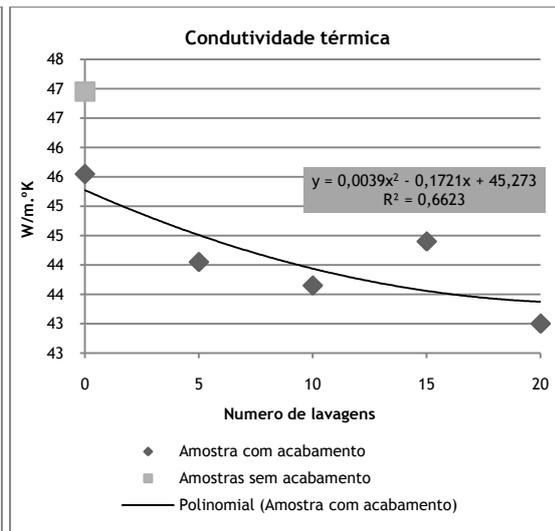


Figura 8: Correlação da condutividade térmica

A figura 8 mostra os resultados obtidos para a absorvidade térmica das amostras ensaiadas. A Figura 9 mostra a correlação polinomial entre as duas variáveis. Estes resultados mostram que nas primeiras 10 lavagens verifica-se um aumento acentuado da absorvidade térmica, atingindo o seu ponto máximo na 10ª lavagem, e depois a absorvidade térmica diminui acentuadamente. Na amostra com 20 lavagens a absorvidade térmica é similar à obtida para a amostra sem qualquer lavagem.

Os resultados obtidos para a absorvidade térmica podem estar relacionados com a perda de microcápsulas ao longo das lavagens. Assim, após a 5ª lavagem, o número de microcápsulas no substrato diminui, mantendo-se constante entre 5ª e a 15ª lavagem, sendo que, após a 20ª lavagem, é muito escasso. Desta forma, pode-se afirmar que após a 15ª lavagem o comportamento é mais relativo ao substrato do que propriamente ao acabamento.

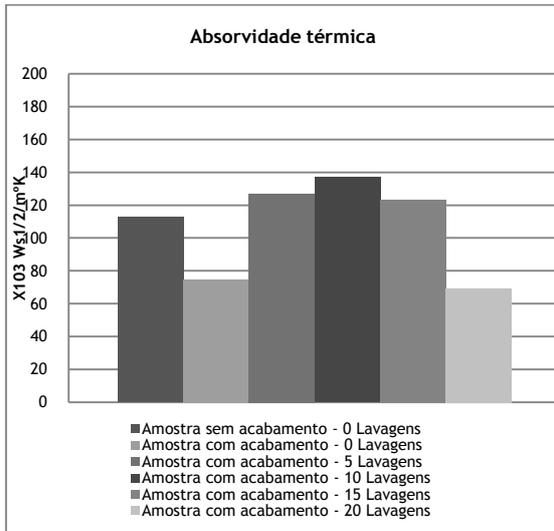


Figura: 9 Resultados obtidos para absorvidade térmica

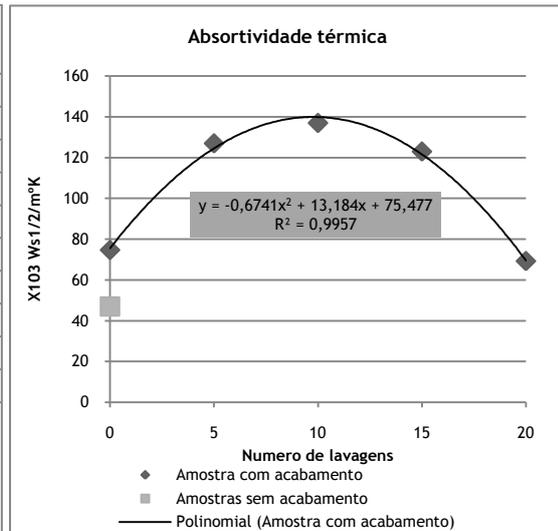


Figura 10: Correlação da absorvidade térmica

A Figura 11 mostra os resultados obtidos para a resistência térmica. A Figura 12 mostra que a resistência térmica aumenta quando se passa da amostra sem acabamento para a amostra com acabamento sem qualquer lavagem. Verifica-se igualmente que este parâmetro não é influenciado pela existência de microcápsulas no substrato fibroso, já que a variação é muito ténue ao longo da aplicação dos diferentes ciclos de lavagem.

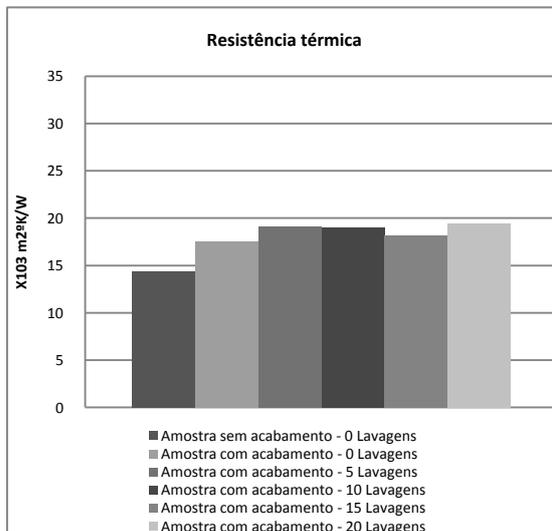


Figura 11: Resistência térmica

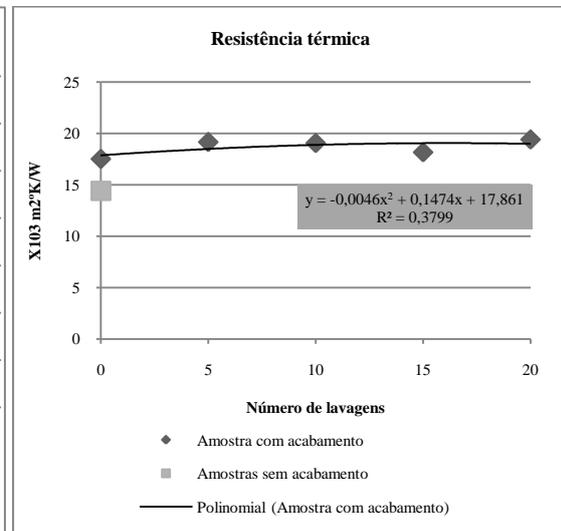


Figura 12: Correlação da Resistência térmica

No Quadro 4 estão representados os resultados das principais propriedades térmicas avaliadas, onde se verifica a diminuição destas nas primeiras 5 lavagens e a perda efectiva após a 15<sup>a</sup> lavagem.

Quadro 4: Propriedades térmicas

Amostras	Lavagens	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> °K/W)	Absortividade térmica (Ws <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> °K)	Condutividade térmica (W/m.°K)
<u>Sem acabamento</u>	0	14	113	47
<u>Com acabamento</u>	0	18	75	46
	5	19	127	44
	10	19	137	44
	15	18	123	44
	20	19	69	43

## Conclusão

Neste trabalho foi estudado o efeito de diferentes ciclos de lavagem na durabilidade da funcionalidade de termoregulação em malhas Jersey 100% algodão acabadas com um acabamento com microcápsulas com materiais de mudança de fase. As amostras produzidas foram sujeitas a vários ciclos de lavagem (5, 10, 15 e 20 ciclos) e posteriormente avaliadas em termos de propriedades térmicas. Por outro lado, a densidade de microcápsulas nas fibras foi igualmente analisada com base em imagens obtidas em microscópio electrónico de varrimento. Os resultados mostram que as lavagens influenciam significativamente o desempenho termoregulador das malhas, ou seja, verifica-se uma perda de funcionalidade à medida que o número de ciclo de lavagens é aumentado, sendo que a perda de funcionalidade é mais significativa a partir da 15<sup>a</sup> lavagem. Para além disso verifica-se que:

- o número de microcápsulas nas fibras vai diminuindo com o número de lavagens, verificando-se igualmente aumento do dano sobre estas;
- a densidade de microcápsulas diminui mais significativamente nas primeiras 5 lavagens, sendo que das 5 para as 15 lavagens se verifica uma diminuição menos acentuada, para depois praticamente tornarem-se imperceptíveis após a 20<sup>a</sup> lavagem;
- a condutividade térmica é comprometida pelas lavagens, dado que esta diminui com o número de lavagens, sendo a maior diminuição nas primeiras 5 lavagens e após as 20 lavagens;
- a absortividade térmica apresenta uma correlação em forma de parábola, o que pode levar a pensar que as primeiras 5 lavagens comprometem bastante este parâmetro, no entanto, após a 15<sup>a</sup> lavagem, o comportamento desta propriedade não é devido ao acabamento, mas às propriedades do substrato.
- a resistência térmica não parece ser comprometida pelas lavagens, o que leva a pensar que o acabamento não tem qualquer influência nesta propriedade.

Os resultados obtidos permitem concluir que o acabamento de termoregulação permanece funcional até 10<sup>a</sup> lavagem e com alguma eficiência até à 15<sup>a</sup> lavagem.

## Referências

- [1] S. Mondal , 2007, *Phase change materials for smart textiles - An overview*, Science Direct, page 1536-1550.
- [2] W. Bendkowska, J. Tysiak, L. Grabowski and A. Blejzyk, Determining temperature regulating factor for apparel fabrics containing phase change material, *International Journal of Clothing Science and Technology* 17 (3-4) (2005), pp. 209-214.
- [3] B. Ying, Y.L. Kwok, Y. Li, C-Y. Yeung and Q-W. Song, Thermal regulating functional performance of PCM garments, *International Journal of Clothing Science and Technology* 16 (1/2) (2004), pp. 84-96.
- [4] Paula Sánchez, M. Victoria Sánchez-Fernandez, Amaya Romero, Juan F. Rodríguez and Luz Sánchez-Silva, (2009), *Development of thermo-regulating textiles using paraffin wax microcapsules*, Science Direct , pp. 16-21
- [5] Aguiar, J.; Bragança, L.; Gomes, J.; Monteiro, J.; Santos, P.; *Argamassas com Desempenho Térmico Melhorado*, 2005, Universidade do Minho, ([http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5079/1/Monteiro\\_CN\\_2005.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5079/1/Monteiro_CN_2005.pdf))
- [6] Hes L., 2001, *Fast determination of surface moisture Absorptivity of smart underwear knits*, International Textile Conference, Terrassa.
- [7] Manual do aparelho de medição de propriedades térmicas, Alambeta.