

## COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO SUJEITOS A HUMEDECIMENTO



Fábio Luís

Mestrando  
FCT UNL  
Lisboa  
fal19180@campus.fct.unl.pt



José S. Machado

Investigador Auxiliar  
LNEC  
Lisboa  
saporiti@lnec.pt



Fernando F. S. Pinho

Professor Auxiliar  
FCT UNL  
Lisboa  
ffp@fct.unl.pt

### SUMÁRIO

A aplicação de compósitos de plástico reforçado com fibras de madeira em revestimentos de piso no exterior tem-se deparado com anomalias devidas à deformação excessiva deste material após a sua aplicação. Na maioria dos casos reportados estas anomalias estão diretamente relacionadas com condições deficientes de aplicação, detetadas pouco tempo depois da finalização da obra. No entanto, atendendo a outras situações, nomeadamente deformações ocorridas num prazo mais alargado, considerou-se pertinente estudar a possível alteração das propriedades mecânicas à flexão em função do aumento expectável de teor de água do compósito, face a condições de utilização no exterior.

A presente comunicação apresenta resultados da exposição de três tipos diferentes de régua alveolares sujeitas a ensaios de exposição prolongada à água líquida e a ensaios cíclicos de envelhecimento. O comportamento à flexão foi avaliado através da medição do módulo de elasticidade à flexão.

**Palavras-chave:** Compósito madeira-plástico, módulo de elasticidade, humidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Os compósitos de plástico reforçado com fibras de madeira (vulgarmente designados por compósitos de madeira plástico - WPC) compreendem os materiais constituídos por madeira (farinha, fibras, partículas, ou noutra forma) inserida numa matriz plástica (normalmente um polímero termoplástico). WPC têm vindo a ser desenvolvidos desde 1916 e derivaram de produtos com base numa matriz de polímero termoendurecíveis, de que um exemplo é a bakelite desenvolvida no início do século passado. Em 1975 é lançado no mercado um dos primeiros compósitos comerciais de WPC pela companhia sueca SONESSON PLAST AB (Malmo, Suécia), sob a marca registada “SONWOOD”. Este produto compunha-se de uma matriz de policloreto de vinilo (PVC) reforçado com farinha de madeira. Atualmente os compósitos são constituídos em média por 40 a 70% de fibras de madeira, 30 a 55% por um polímero (matriz) e 1 a 15% por aditivos. A matriz é geralmente constituída por polipropileno (PP), poli(cloreto de vinilo) (PVC), polietileno (PE) ou polietileno de alta densidade (PEAD). A madeira é normalmente incorporada na forma de farinha de madeira. Os compósitos incluem ainda aditivos e agentes de processamento tendo em consideração a minimização de problemas de fabrico e a melhoria de algumas características de desempenho, nomeadamente a necessidades de retenção da cor e a reação ao fogo [1].

Suportados pelo crescente interesse nos princípios de sustentabilidade, estes produtos têm vindo aumentar a sua quota de utilização na construção (cerca de 70% da produção). Em 2010 foram produzidas na Europa 220 000 toneladas de compósito, cabendo à Alemanha cerca de metade desta produção. Em Portugal existem já diversos fabricantes de compósito madeira plástico para aplicações em mobiliário urbano, caixilharia de janelas, revestimento de piso e parede. Estes produtos podiam apresentar a marcação CE através da emissão de Aprovações Técnicas Europeias (ETA) segundo o CUAP 04.02/29am. Este CUAP não incluía a avaliação do desempenho mecânico a longo prazo destes kits, incluindo quando sujeitos a condições cíclicas ou contínuas de humedificação. A entrada em vigor a partir de julho de 2013 do Regulamento dos Produtos da Construção [2] vem obrigar à elaboração de um Documento de Avaliação Europeia (DAE), sendo um dos objetivos do estudo em curso poder vir a contribuir para esse DAE.

Recentemente foram reportadas anomalias na aplicação de réguas de compósito de plástico reforçado com fibras de madeira, sendo uma das causas invocadas a diminuição do comportamento mecânico destes materiais quando sujeitos a períodos prolongados de humedificação. Desta forma, considerou-se oportuno estudar o comportamento mecânico deste tipo de materiais quando sujeitos a diversas situações de humedificação.

Nesta comunicação apresenta-se os resultados preliminares do projeto em curso, que inclui ensaios de humedecimento (imersão em água, condições de humidade relativa do ar elevadas, ciclos de imersão/gelo/secagem) em réguas de deck madeira-plástico. O objetivo do estudo é analisar a influência do humedecimento na alteração da rigidez dos compósitos e as implicações na sua utilização final como revestimento de piso no exterior.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Compósito madeira-plástico

O estudo incluiu três tipos diferentes de réguas de madeira-plástico, dois deles comercializados com marcação CE (compósitos B e C) e um terceiro (compósito A) do tipo produto “marca branca” adquirido numa grande superfície. Este último material foi escolhido de forma a constituir uma referência a um produto de “baixa qualidade”, sendo assim designado dada a diferença de preço de comercialização (bastante mais baixo) e o fraco suporte técnico disponibilizado pelo fornecedor.

O quadro 1 apresenta as características das réguas ensaiadas.

Quadro 1. Características das réguas WPC.

Identificação do compósito madeira plástico	Composição da matriz	Espessura (mm)	Largura (mm)	Tipo de perfil
A	PE	25	150	
B	PEAD	25	140	
C	PVC	24	140	

A composição dos três compósitos foi analisada por meio de espectroscopia de infravermelho médio (ATR-FTIR), tendo sido os ensaios realizados pelo Grupo de Florestas e Produtos Florestais do Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT).

O quadro 2 apresenta o número de provetes (cortados de réguas WPC) considerados em cada ensaio (descritos na seção 2.2 abaixo), assim como o seu comprimento, sendo que as réguas mantiveram a suas dimensões transversais originais (quadro 1).

Quadro 2. Características dos provetes WPC considerados para os vários ensaios realizados.

Ensaio	Tamanho da amostra/tipo de compósito	Comprimento dos provetes <sup>1)</sup> (mm)
Resistência à humidade	10	500
Imersão em água	10	500

<sup>1)</sup> De acordo com o critério definido na NP EN 310 [3]

## 2.2 Métodos de ensaio

Antes de serem submetidos a ensaio os provetes foram condicionados num ambiente de  $20\pm 2^\circ\text{C}$  de temperatura e de  $65\pm 5\%$  de humidade relativa do ar. Os provetes consideraram-se condicionados quando apresentaram uma variação de massa inferior a 0,1% entre duas pesagens consecutivas intervaladas de 24h.

### 2.2.1 Pré-carga

A avaliação da alteração do módulo de elasticidade dos compósitos quando sujeitos a condições de humedecimento foi realizada através de ensaios de pré-carga. A utilização deste tipo de ensaio não-destrutivo permite avaliar a variação de rigidez dos provetes ao longo dos ciclos de humedecimento estabelecidos no programa experimental. Deste modo, é eliminado ou reduzido significativamente o efeito da variabilidade do material compósito. Na definição do nível de força a utilizar para cada tipo de compósito foi conduzido um ensaio de flexão estática até à rotura segundo a NP EN 310 [3]. Para este fim foi constituída uma amostra de 10 provetes para cada tipo de compósito. Do ensaio foram estabelecidos os valores de pré-carga a aplicar em cada tipo de provete, sendo estes correspondentes a um valor de 40% da carga última média registada para cada tipo de provete, quadro 3.

Quadro 3. Valores médios da carga última e pré-carga aplicadas nos provetes <sup>1)</sup>

Força	Tipo de compósito		
	A	B	C
Carga última (kN)	1,71 (0.19)	1,95 (0.10)	3,95 (0.30)
Pré-carga (kN)	0,68	0,78	1,58

<sup>1)</sup> Entre parêntesis representa-se o desvio padrão.

### 2.2.2 Resistência à humidade

O ensaio de resistência à humidade foi conduzido de acordo com a norma NP EN 321 [4]. Previamente ao início do ensaio cíclico os provetes condicionados foram sujeitos a ensaio de pré-carga, medidas as suas dimensões e pesados de forma a estabelecer a condição inicial (referência). De seguida os provetes foram submetidos a três ciclos (C), sendo cada um dos ciclos constituído por três fases (F):

- 1ª Fase: Imersão em água a  $20\pm 1^\circ\text{C}$  durante  $70\pm 1$  h.
- 2ª Fase: Congelamento a uma temperatura entre  $-12^\circ\text{C}$  e  $-25^\circ\text{C}$  durante  $24\pm 1$  h.
- 3ª fase: Secagem a  $70\pm 2^\circ\text{C}$  durante  $70\pm 1$  h.

Foram cumpridos os tempos de arrefecimento de  $4\pm 0,5$ h entre ciclos num ambiente a  $20\pm 5^\circ\text{C}$  de temperatura e  $65\pm 5\%$  de humidade relativa do ar. No final da 1 e da 3ª fases, em cada ciclo, foram registadas as dimensões e peso das régua e determinado o seu módulo de elasticidade por meio de ensaio de pré-carga.

Após o final do terceiro ciclo os provetes foram de novo condicionados e de seguida as réguas foram mais uma vez medidas, pesadas e determinado o seu módulo de elasticidade.

### 2.2.3 Imersão prolongada em água

O ensaio consistiu na imersão dos provetes em água a  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  de acordo com os ensaios de imersão em água durante 24 horas preconizados para este tipo de materiais pelo CUAP e igualmente pela recente norma europeia EN 15534-4 [5]. No entanto, no ensaio em curso o tempo de imersão é função da estabilização da curva de absorção de água e do módulo de elasticidade. Os provetes foram retirados para ensaio a cada duas semanas sendo medidos, pesados e determinado o seu módulo de elasticidade por meio de ensaio de pré-carga (ver quadro 3).

## 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 4 apresenta a variação de dimensões e módulo de elasticidade após a realização do ensaio cíclico, segundo a norma NP EN 321 [4].

Quadro 4. Variação percentual média das características das réguas após o ensaio cíclico.

Variação (%)		Tipo de compósito		
		A	B	C
Módulo de elasticidade		-13,7	-10,7	-14,4
Dimensões	Espessura	0,5	0,3	0,3
	Largura	-0,2	-0,1	0,0
	Comprimento	-0,4	-0,3	-0,2

Na figura 1 apresenta-se os valores de inchamento da espessura, largura e comprimento das réguas ao longo do ensaio de resistência à humidade. Da análise do quadro 4 e da figura 1 e salienta-se a elevada estabilidade dimensional dos compósitos estudados. Os resultados obtidos permitem verificar um aumento de espessura entre 0,3% e 0,5%, uma diminuição de largura entre 0% e 0,2% e uma diminuição de comprimento entre 0,2% e 0,4%.

No caso da madeira maciça as réguas poderiam apresentar uma variação entre 3% a 9% na largura e espessura e entre 0,1% a 0,2% no comprimento. No caso de derivados de madeira poderíamos observar variações em réguas de OSB/3 entre 0,3% e 0,6% na largura e comprimento e de cerca de 15% na espessura, sendo que em réguas de contraplacado essa variação poderia ser de 0,2% e 0,5% na largura e comprimento e entre 3% a 9% na espessura.

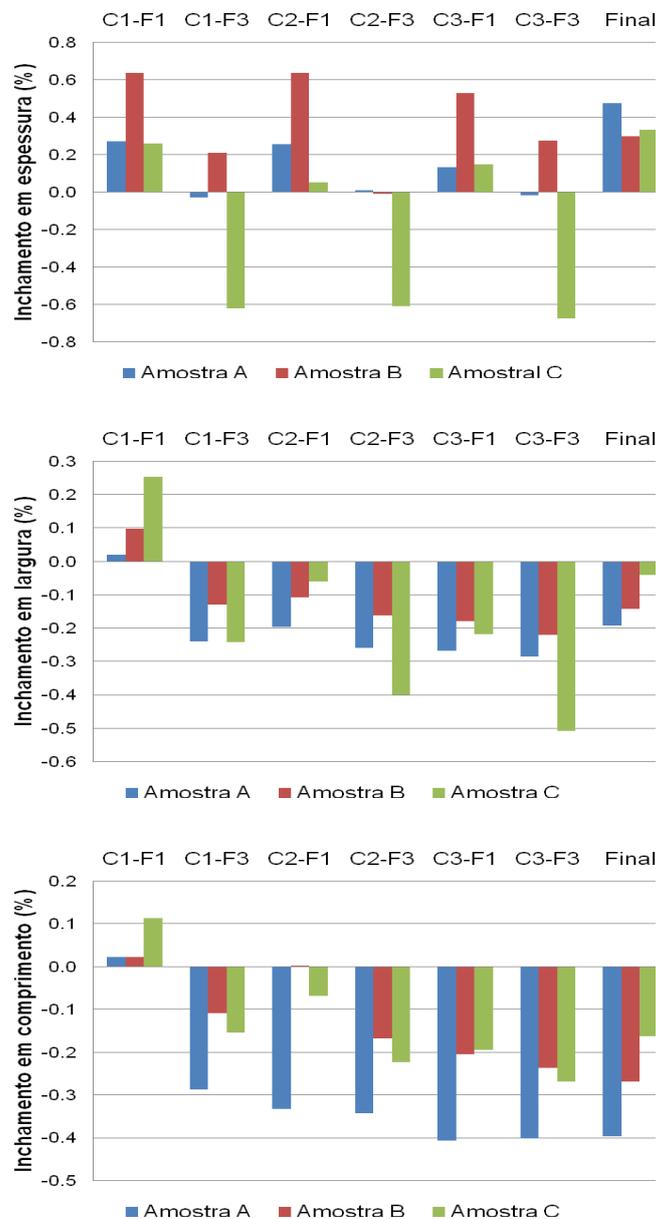


Figura 1. Valores de inchamento em espessura, largura e comprimento, observados no ensaio de resistência à humidade

Os provetes do tipo A são aqueles que no final do ensaio apresentam maiores alterações dimensionais relativamente aos valos iniciais. No entanto, a amostra C é a que possui maiores variações de dimensões ao longo do ensaio (figura 1).

A figura 2 apresenta a variação de massa e módulo de elasticidade ao longo de cada ciclo (C) e fase (F) ao longo do ensaio cíclico. A variação de módulo de elasticidade observada, entre 10% e 14%, é significativamente superior à observada em madeira maciça onde a variação esperada poderia ser de cerca de 10%, enquanto para os derivados de madeira esse valor anda à volta dos 75%.

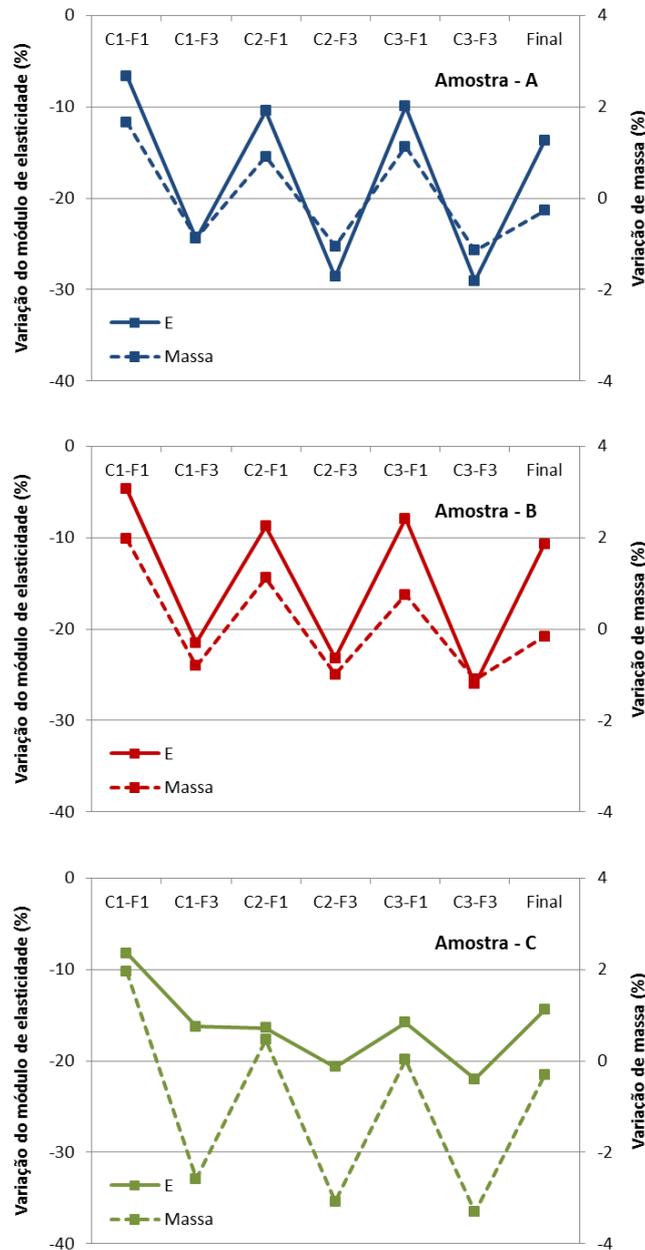


Figura 2. Variação de massa e módulo de elasticidade observados no ensaio de resistência à humidade (valores reportados à condição inicial dos provetes).

Analisando as alterações de módulo de elasticidade e massa ao longo dos três ciclos representados na Fig. 2, observa-se uma dependência estreita da variação do módulo de elasticidade relativamente à variação de massa, associada à absorção ou dessorção de água. Este efeito é mais saliente nas amostras A e B relativamente à amostra C. No final regista-se uma perda de massa entre 0,8% e 3%, sendo verificado na figura 2 que a amostra C apresenta a maior variação de massa relativamente às duas restantes que apresentam níveis de absorção muito semelhantes.

A figura 3 apresenta a uma comparação entre o decréscimo relativo de módulo de elasticidade obtido em ensaios cíclicos realizados por [6] (cinza) e o valor observado nos ensaios realizados no presente estudo (a verde), correspondentes ao ciclo 3 - fase 3 (C3-F3), para cada tipo de provete ensaiado.

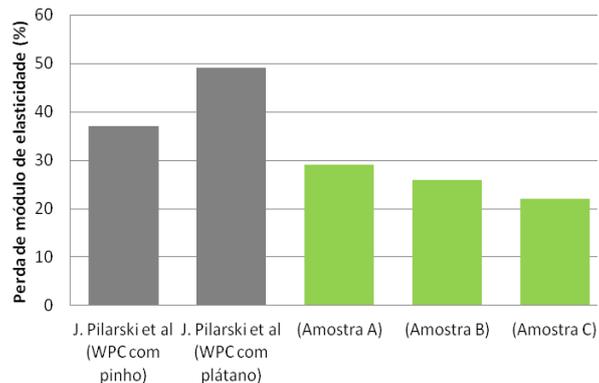


Figura 3. Comparação da perda de módulo de elasticidade no ciclo 3 - fase 3 no ensaio de resistência à humidade do presente estudo com os resultados obtidos por [6].

Os valores obtidos enquadram-se nos resultados obtidos por [6] ao nível da perda de módulo de elasticidade após o final do ciclo 3 - fase 3, com perdas entre os 20% e 30% para o presente estudo e 35% e 49% para o estudo dos autores referenciados, onde foram realizados 15 ciclos de gelo/degelo.

O quadro 5 apresenta os resultados do ensaio de imersão ao fim de 3693 h (22 semanas).

Quadro 5. Variação percentual média das características das régua imersas em água após 3693 h

Variação (%)		Tipo de compósito		
		A	B	C
Módulo de elasticidade		-52,1	-53,9	-38,7
Dimensões	Espessura	2,4	5,4	5,6
	Largura	2,0	2,7	2,8
	Comprimento	0,4	0,5	0,8

A figura 4 apresenta os valores de inchamento de espessura, largura e comprimento ao longo das medições efetuadas do ensaio de imersão em água após 3693 h. Os resultados obtidos neste ensaio permitem verificar um aumento de espessura entre 2% e 6%, um aumento de largura entre 2% e 3% e um aumento de comprimento entre 0,4% e 0,8%, sendo este efeito crescente com o tempo do ensaio, como se observa na Figura 4, para a amostra C, seguida da amostra B e A respetivamente ao longo do ensaio. Estes valores são significativamente superiores aos observados para o ensaio de resistência à humidade.

A importância de considerar uma fase de imersão mais prolongada nos ciclos de envelhecimento, reconhecida na última alteração à norma europeia EN 15534-4 [5] feita em 2014, é assim sustentada pelos resultados agora obtidos.

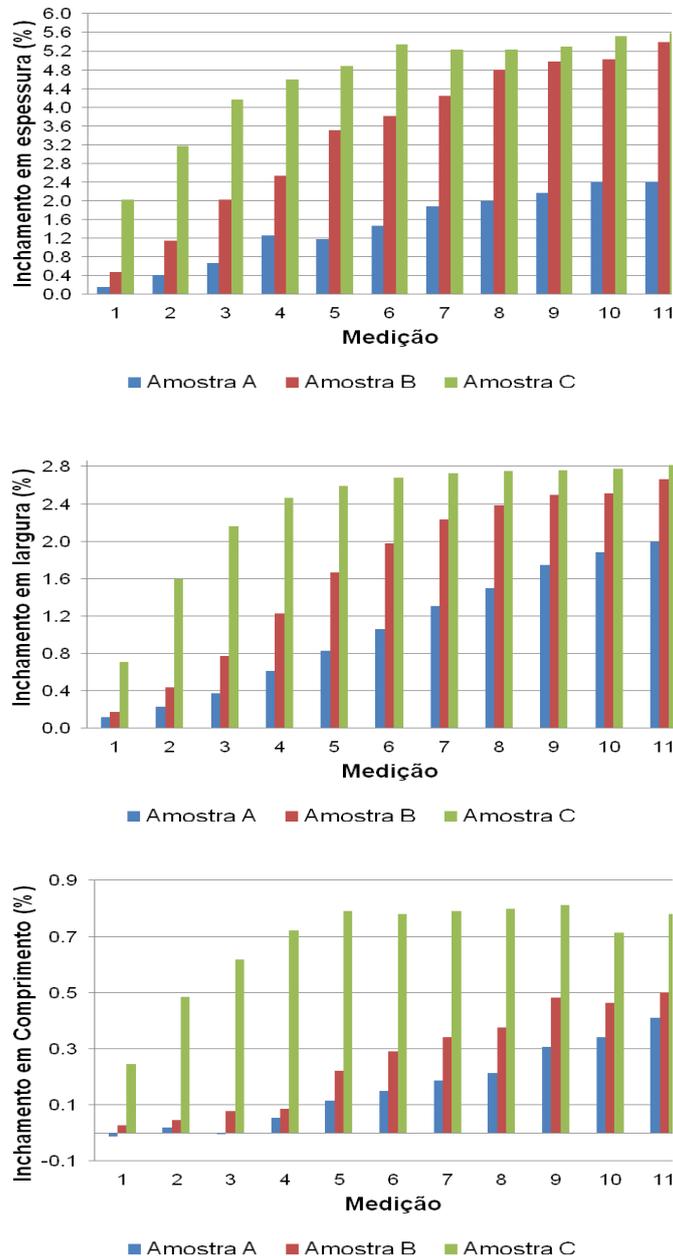


Figura 4. Valores de inchamento em espessura, largura e comprimento, observados no ensaio de imersão em água.

A figura 5 apresenta a variação de massa e de módulo de elasticidade em função do tempo de imersão dos provetes, após 3693 h.

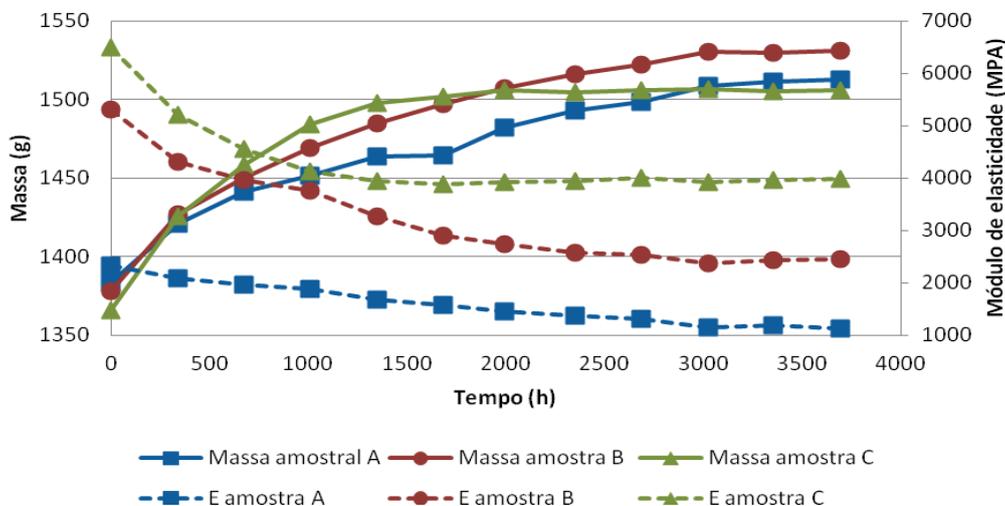


Figura 5. Valores de massa e módulo de elasticidade observados em função do tempo de imersão em água

Ao fim de 3693 h (cerca de 22 semanas) observa-se que as três amostras se encontram estabilizadas, não ocorrendo variação de massa e módulo de elasticidade apreciável (figura 5). Amostra C (matriz em PVC) foi a primeira amostra a estabilizar, aproximadamente ao fim de 2000h de imersão. As amostras A e B apresentam uma curva de estabilização semelhante.

A figura 6 apresenta a uma comparação entre valores obtidos em ensaios de imersão realizados por outros estudos [7] (cinza) e os valores obtidos nos ensaios realizados (a verde) no presente trabalho.

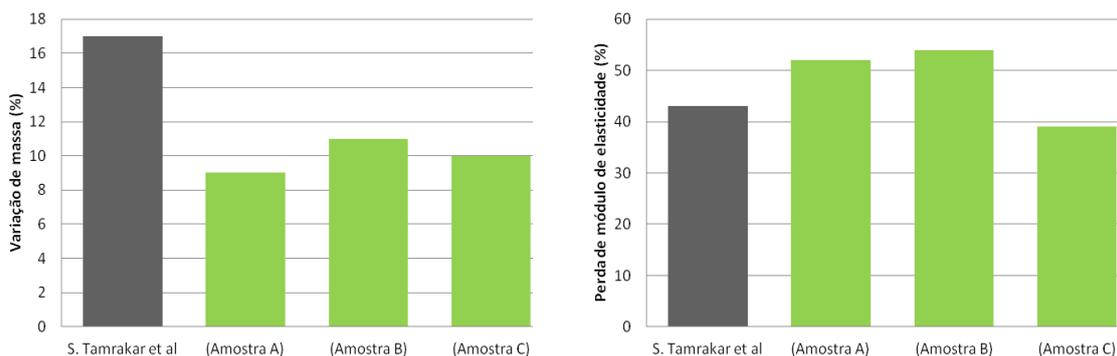


Figura 6. Comparação dos valores de variação de massa e módulo de elasticidade do ensaio de imersão em água com ensaio realizado por outros autores.

Como observado na figura 6, os valores agora obtidos enquadram-se nos resultados reportados por [7] relativamente à variação de massa e à perda de módulo de elasticidade.

A figura 7 mostra uma relação linear forte (coeficiente de determinação de 0.99) entre a absorção de água e a perda de módulo de elasticidade, tal como seria expectável, tendo por base os valores da Fig. 5. A importância da existência desta relação prende-se com o facto

de permitir o estabelecimento de modelos de comportamento mecânico a longo prazo deste tipo material com base no comportamento à absorção de água (função das condições de exposição), a possibilidade de monitorizar a perda de propriedades mecânicas em obra por recolha e determinação do teor de água da régua em laboratório.

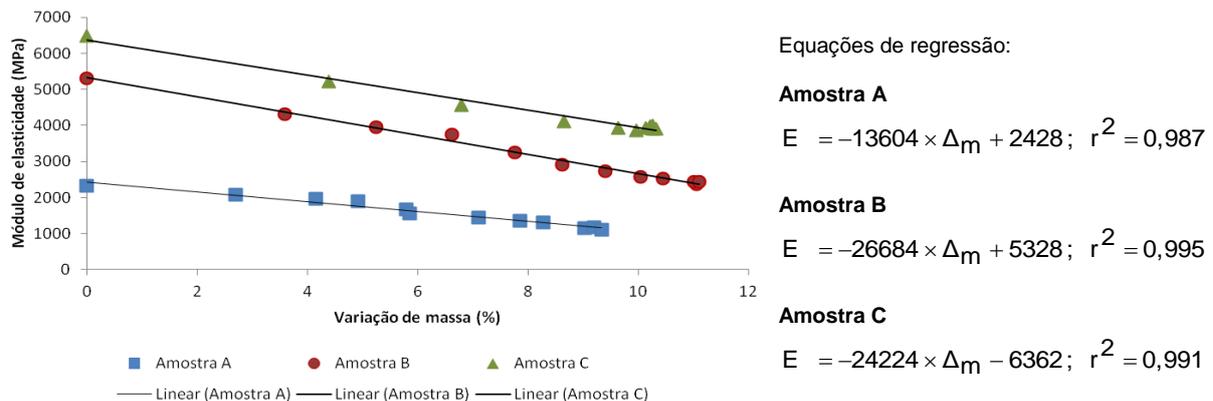


Figura 7. Correlação entre a variação de massa ( $\Delta_m$ ) e o de módulo de elasticidade (E).

#### 4. CONCLUSÕES

Os compósitos de madeira-plástico ensaiados quando sujeitos aos ensaios de imersão em água e resistência à humidade apresentam uma boa estabilidade dimensional, uma baixa absorção de água, sendo esta variação de massa em cerca de 10% a 12% quando são totalmente imersos em água durante um longo período de tempo. Para este nível de absorção de água regista-se um significativo decréscimo do módulo de elasticidade o qual está estreitamente dependente do nível de absorção de água, apresentando o modelo de regressão linear um  $r^2$  de 0,99. No ensaio de resistência à humidade o decréscimo de módulo de elasticidade à flexão apresentado pelos três tipos de régua situou-se entre 10,7% e 14,4%. No caso do ensaio de imersão em água esse decréscimo foi entre 38,7% e 53,9%.

Este decréscimo de rigidez, comum a todos os três tipos de material ensaiados, poderá afetar o desempenho deste material relativamente aos estados limites de utilização (deformação excessiva), estado esta verificação considerada no programa de trabalhos do estudo em curso.

Os resultados obtidos permitem concluir da necessidade de encetar estudos que permitam compreender o comportamento do material quando exposto a ambiente exterior sem coberto.

#### AGRADECIMENTOS

O presente estudo desenvolve-se no âmbito do projeto WPCMOIST, inserido no Plano de Investigação e Inovação do LNEC (P2I).

Agradece-se ao Grupo de Florestas e Produtos Florestais do Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT) a colaboração prestada no presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] Khyoson, A. – Wood-plastic composites. John Wiley & Sons, Inc., 2007, 672.
- [2] Regulamento UE N° 305:2011 do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia, 9 de Março de 2011.
- [3] NP EN 310:2002 - Placas de derivados de madeira; Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão. IPQ.
- [4] NP EN 321:2010 - Placas de derivados de madeira; Determinação da resistência à humidade através de ensaios cíclicos. IPQ.
- [5] EN 15534-4:2014 – Composites made from cellulose-based materials and thermoplastics (usually called wood-polymer composites (WPC) or natural fibres composites (NFC)) – Part 4. Specifications for decking profiles and tiles.
- [6] Pilarski, J. M., & Matuana, L. M.: Durability of wood flour-plastic composites exposed to accelerated freeze–thaw cycling. II. High density polyethylene matrix. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 100(1):pp. 35–39, doi:10.1002/app.22877, 2006
- [7] Tamrakar, S., & Lopez-Anido, R. A.: Water absorption of wood polypropylene composite sheet piles and its influence on mechanical properties. Construction and Building Materials, Vol. 25(10):pp. 3977–3988, doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.04.031, 2011