



CATÓLICA
UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA | PORTO
Escola Superior de Biotecnologia

Estudo analítico:

CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTRATOS À BASE DE LECA[®] HYDRO

Relatório nº 192/2010

Porto, 16 de Maio de 2011

Solicitado por:

SAINT-GOBAIN WEBER



Escola Superior de Biotecnologia
Universidade Católica Portuguesa

ÍNDICE

	PÁG.
1- ENQUADRAMENTO	3
2- MATERIAIS E MÉTODOS	3
3- RESULTADOS	10
4- CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
5- BIBLIOGRAFIA	25
6- ANEXO	26



1- Enquadramento

O presente relatório é relativo aos resultados da caracterização de misturas de Leca® Hydro com diversos aditivos, com vista à obtenção de um substrato leve, com boa capacidade de retenção de água e arejamento. Este estudo foca, em particular, os parâmetros Absorção de água às 24h e Fracção relativa de água removida por evaporação (ensaios em vasos).

2- Materiais e Métodos

2.1. Selecção de componentes da mistura e respectivas proporções

A selecção de compostos a misturar com Leca® Hydro foi baseada em diferentes critérios, tais como funcionalidade, impacte ambiental associado e uma análise preliminar de preços de mercado. Dentre a panóplia de aditivos / compostos considerados, os que se afiguraram como de maior potencial para o presente estudo foram os identificados na Figura 1.

Aditivos / Componentes da mistura	
Casca de pinheiro	
Geohumus®	

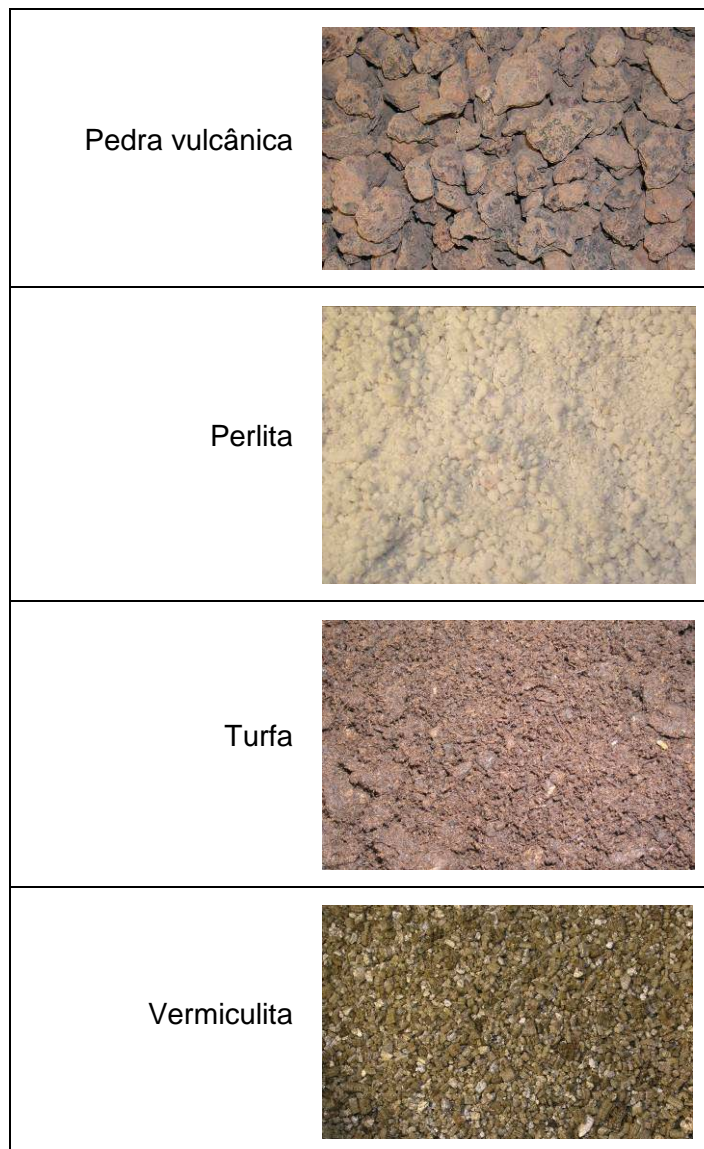


Figura 1: Identificação dos compostos seleccionados para a mistura com Leca[®] Hydro

Seguidamente, é apresentada informação resumida, considerada de relevo para este estudo, sobre as características principais de cada um dos compostos indicados na tabela anterior.

Geohumus[®]: Diversos estudos indicam um aumento considerável da capacidade de retenção de água em solos aditivados com 0,5% e 1% (m/m) Geohumus[®] (Geohumus GmbH, 2008).

Turfa: A Turfa é um material orgânico estável, cujo valor nutricional só é efectivo aquando da sua decomposição em húmus, e, é capaz de reter quantidades significativas de água (*The Organic Gardener web site*, consultado a 18 Outubro 2010). A Turfa é utilizada frequentemente na produção de compostos, sendo habitualmente misturada a 30-35% (m/m).

Perlita: A Perlita é um material derivado de pedra vulcânica esterilizada, seleccionado especialmente para aplicações em horticultura (*Noucetta Kehdi*). Este composto é constituído por poros superficiais suficientes para absorver quantidades significativas de água. Holman, D. and Lord, J. (2005) utilizaram Perlita em telhados verdes, misturada a 24%.

Vermiculita: A Vermiculita é mica que foi aquecida e expandida. Este composto tem a capacidade de reter quantidades significativas de água e promove a actividade capilar na zona da raiz (*Noucetta Kehdi*). Num projecto de uma cobertura ajardinada, este composto foi misturado a 24% (Holman, D., Lord, J., 2005).

Casca de pinheiro: A casca de pinheiro é utilizada em larga escala como condicionador de solos. Quando este composto é aplicado a 50-75%, o solo torna-se arejado, de baixa densidade e com uma melhor capacidade para reter água (Isabel Brás, 2005).

Pedra vulcânica: O desempenho de misturas com Pedra vulcânica será testado de modo a estabelecer-se uma comparação relativa com o desempenho da Perlita (que deriva de pedras vulcânicas). Por esta razão, neste estudo, as misturas de Pedra vulcânica serão consideradas à mesma proporção (i.e., 24%).

A quantidade de aditivo a misturar com Leca[®] Hydro não deverá implicar custos excessivos para a empresa, aquando de uma possível aplicação à escala industrial. Como tal, na definição da proporção mais adequada, foi introduzida informação recolhida numa análise preliminar dos respectivos preços de mercado. A tabela 1 resume os dados recolhidos no decurso dessa análise.

Tabela 1: Dados comerciais relativos aos diferentes compostos a misturar com Leca[®] Hydro

Aditivos / Componentes	Preço de mercado (ref.)	Preço / litro estimado	Comparação de custos (ref. Geohumus)
Geohumus [®]	7,50 Euros/Kg	3,75 Euros / litro	---
Casca de pinheiro	8,50 Euros/saco de 70 litros	0,12 Euros / litro	±3,2%
Pedra vulcânica	6,20 Euros/saco de 20 litros	0,31 Euros / litro	±8,3%
Perlita	1,95 Euros/saco de 3 litros	0,65 Euros / litro	±17,3%
Turfa	8,50 Euros/saco de 80 litros	0,11 Euros / litro	±2,8%
Vermiculita	2,75 Euros/saco de 3 litros	0,92 Euros / litro	±24,4%

De modo a se definir uma quantidade máxima viável para cada um dos compostos sob estudo, foi estabelecido um valor máximo (em Euros) para a aquisição de compostos. Para tal, o Geohumus[®], misturado a 1% (m/m), foi considerado a mistura de referência (dado o

interesse particular da empresa neste produto inovador, com significativa capacidade de retenção de água). Assim, e considerando um volume final de substrato de 1000ml, foi estimado o respectivo custo máximo de referência (Tabela 2).

Tabela 2: Custo máximo de referência a considerar na aquisição de compostos a misturar com Leca[®] Hydro [correspondente à mistura de Geohumus[®] com Leca[®] Hydro a 1% (m/m), num volume final de 1000ml]

Ref. ^a	Massa	Volume	Custo máx. de ref. ^a
1% Geohumus[®]	3,59 Gramas	7,2 ml	0,027 Euros

[Nota: os resultados acima apresentados foram calculados assumindo uma massa volúmica aparente para Leca[®] Hydro de 359,5 Kg/m³ (obtida no estudo anterior para o produto 85% Partidos)]

Os volumes máximos correspondentes, para cada componente, foram, então, calculados e estão indicados na tabela 3.

Tabela 3: Volumes máximos para cada um dos compostos a misturar com Leca[®] Hydro, estimados a partir do custo máximo fixado

Aditivos / Componentes	Volume máximo (calculado) correspondente	% (v/v) máxima correspondente (calculada)
Casca de pinheiro	222 ml	22,2% ≈ 22%
Pedra vulcânica	87 ml	8,7% ≈ 9%
Perlita	41 ml	4,1% ≈ 4%
Turfa	254 ml	25,4% ≈ 25%
Vermiculita	29 ml	2,9% ≈ 3%

Este estudo comparou, ainda, o desempenho da Leca[®] Hydro com o dos cacos de tijolo, relativamente aos parâmetros capacidade de absorção e de retenção de água. Para tal, ambos estes produtos foram testados a 100%, isto é, sem serem misturados (Figura 2).

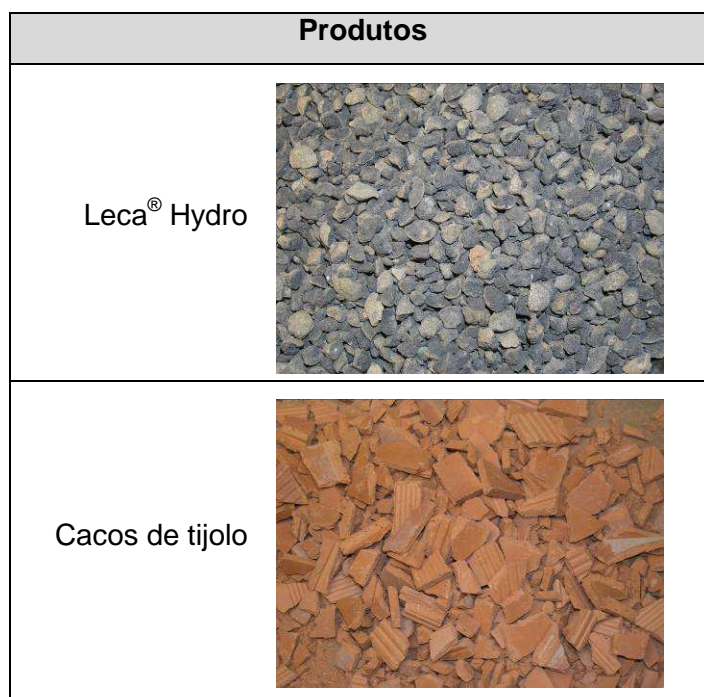


Figura 2: Aspecto geral dos produtos Leca[®] Hydro e cacos de tijolo

A metodologia empregue no presente trabalho foi anteriormente testada e validada, no âmbito dos trabalhos desenvolvidos para a S-G W, nomeadamente o estudo de caracterização do produto Leca[®] Hydro (Julho 2010). Os métodos utilizados são mencionados a seguir.

As amostras de Leca[®] Hydro utilizadas foram fornecidas pela empresa S-G W. Os restantes compostos (ver tabela 1) foram adquiridos no mercado. Os cacos de tijolo foram obtidos partindo tijolos de 11, igualmente adquiridos no mercado.

O procedimento de amostragem dos produtos / componentes utilizados foi desenvolvido de acordo com "Tan, H. Kim, 1995. Principles of soil sampling. In: Soil sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker, inc, NY, USA".

2.2. Absorção de água às 24h

A absorção de água após 24 horas de imersão das amostras foi determinada com base na "EN 1097 - Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 6: Determination of particle density and water absorption". Os ensaios foram realizados em

quintuplicado utilizando um volume final de amostra / mistura de 1000 ml. As amostras testadas estão listadas na tabela 4.

Tabela 4: Identificação dos produtos ou misturas sujeitos à determinação do parâmetro Absorção de água às 24h

1. Leca [®] Hydro (85% partidos)
2. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (0,5%, m/m)
3. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (1%, m/m)
4. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (2%, m/m)
5. Leca [®] Hydro + Perlita (1%, m/m)
6. Leca [®] Hydro + Perlita (4%, v/v)
7. Leca [®] Hydro + Vermiculita (1%, m/m)
8. Leca [®] Hydro + Vermiculita (3%, v/v)
9. Leca [®] Hydro + Casca de pinheiro (1%, m/m)
10. Leca [®] Hydro + Casca de pinheiro (22%, v/v)
11. Leca [®] Hydro + Pedra vulcânica (1%, m/m)
12. Leca [®] Hydro + Pedra vulcânica (9%, v/v)
13. Leca [®] Hydro + Turfa (1%, m/m)
14. Leca [®] Hydro + Turfa (25%, v/v)
15. Cacos de tijolo

De acordo com *EN 1097 - Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 6*, a absorção de água às 24 horas traduz-se no aumento da massa de uma amostra de agregado seca, devido à penetração da água nos espaços acessíveis, após 24 horas de imersão, sendo o resultado expresso em %.

A absorção de água às 24h foi obtida através da seguinte equação:

$$Absorção\text{Água}_{24h} [\%] = \frac{100 * (mAsat - mA\ sec)}{mA\ sec} \quad (5)$$

em que:

- *mAsat*: massa dos agregados sólidos após 24h de saturação em água (escorridos);
- *mAsec*: massa dos agregados sólidos secos em estufa (110±5)°C.

2.3. Ensaio experimental em vasos

De modo a se estimar o comportamento das diversas combinações dos produtos em estudo face à evaporação, que leva a uma perda gradual de água, foram desenvolvidos ensaios em vasos sem vegetação. De acordo com o tipo de aplicações em vista e de modo a poderem estabelecer-se algumas comparações relativas sobre o comportamento de produtos e misturas, procedeu-se à seguinte metodologia experimental.

2.3.1. Amostras a testar

Os produtos, ou misturas de produtos, testados neste ensaio estão identificados na tabela 5.

Tabela 5: Identificação dos produtos ou misturas sujeitos ao ensaio de evaporação em vasos

1. Leca [®] Hydro (85% partidos) / 20 cm altura de amostra
2. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (0,5%, m/m) / 20 cm altura de amostra
3. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (1%, m/m) / 20 cm altura de amostra
4. Leca [®] Hydro + 4% (v/v) Perlita / 20 cm altura de amostra
5. Leca [®] Hydro + 3% (v/v) Vermiculita / 20 cm altura de amostra
6. Leca [®] Hydro + 22% (v/v) Casca de pinheiro / 20 cm altura de amostra
7. Leca [®] Hydro + 9% (v/v) Pedra vulcânica / 20 cm altura de amostra
8. Leca [®] Hydro + 25% (v/v) Turfa / 20 cm altura de amostra
9. Cacos de tijolo / 20 cm altura de amostra
10. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (1%, m/m) / 5 cm altura de amostra

2.3.2. Locais de ensaio e condições ambientais:

Interior, dentro do edifício
Exterior, ao nível do solo, com os vasos apenas protegidos de ocorrências de precipitação

Em cada local testado, foram distribuídas aleatoriamente cinco réplicas de cada uma das amostras acima mencionadas.

2.3.3. Nível de saturação em água no momento de arranque do ensaio

Todas as amostras foram previamente saturadas com água, durante um período de 48 horas, em que a água foi mantida, aproximadamente, 1 cm acima do nível do material. Posteriormente, as amostras foram drenadas durante 2 horas, de modo a escorrer o excesso de água.

2.3.4. Duração do ensaio

A monitorização dos vasos (já escorridos, após as 48h de imersão em água) foi realizada entre os dias 27/11/2010 e 07/01/2011, tendo sido efectuada de forma consecutiva até ao 27.º dia de monitorização e prolongada até ao 42.º dia.

A temperatura e humidade relativa foram registadas aquando da monitorização dos vasos distribuídos pelos dois locais designados.

3- RESULTADOS

Os resultados apresentados remetem à caracterização dos produtos / misturas testados relativamente ao parâmetro Absorção de água (às 24h). Foi também levado a cabo um ensaio experimental em vasos sem vegetação de modo a se estimar o comportamento do produto em estudo face à evaporação.

3.1. Absorção de água após 24h

Os ensaios de absorção de água após às 24h foram desenvolvidos e os resultados obtidos estão apresentados na tabela 6. De modo a facilitar a comparação directa entre resultados, a correspondência entre quantidades (v/v) e (m/m) é a seguinte:

Leca [®] Hydro + Perlita (4%, v/v)	Leca [®] Hydro + Perlita (0,9%, m/m)
Leca [®] Hydro + Vermiculita (3%, v/v)	Leca [®] Hydro + Vermiculita (0,8%, m/m)
Leca [®] Hydro + Casca de pinheiro (22%, v/v)	Leca [®] Hydro + Casca de pinheiro (6,9%, m/m)
Leca [®] Hydro + Pedra vulcânica (9%, v/v)	Leca [®] Hydro + Pedra vulcânica (21,1%, m/m)
Leca [®] Hydro + Turfa (25%, v/v)	Leca [®] Hydro + Turfa (20,0%, m/m)

Tabela 6: Resultados obtidos relativamente ao parâmetro absorção de água após 24h

AMOSTRA / MATERIAL	ABS. ÁGUA APÓS 24H (%)	VOL ÁGUA ABS 24H (ml) / MASSA AM. SECA (g)	VOL ÁGUA ABS 24H (ml) / LITRO AM.
1. Leca [®] Hydro	46,1±0,6 (45,2-48,2)	0,461±0,006 (0,454-0,467)	173,1±6,07 (167,1-179,2)
2. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (0,5%, m/m)	46,7±0,8 (45,1-47,5)	0,467±0,008 (0,459-0,475)	173,8±6,68 (167,2-180,5)
3. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (1%, m/m)	48,3±1,0 (47,3-49,4)	0,483±0,010 (0,473-0,494)	178,8±4,98 (173,8-183,8)
4. Leca [®] Hydro + Geohumus [®] (2%, m/m)	54,1±1,1 (52,9-55,2)	0,541±0,011 (0,529-0,552)	192,8±5,33 (187,5-198,1)
5. Leca [®] Hydro + Perlita (1%, m/m)	48,1±0,7 (47,4-48,9)	0,481±0,007 (0,474-0,489)	173,8±1,77 (172,0-175,6)
6. Leca [®] Hydro + Perlita (0,9%, m/m)	46,6±0,8 (45,8-47,5)	0,466±0,008 (0,458-0,475)	175,4±1,30 (174,1-176,7)
7. Leca [®] Hydro + Vermiculita (1%, m/m)	47,5±0,6 (46,9-48,1)	0,475±0,006 (0,469-0,481)	175,1±12,61 (162,4-187,7)
8. Leca [®] Hydro + Vermiculita (0,8%, m/m)	46,6±0,7 (45,9-47,4)	0,466±0,007 (0,459-0,474)	166,9±1,77 (165,1-168,7)
9. Leca [®] Hydro + Casca de pinheiro (1%, m/m)	45,0±0,6 (44,3-45,6)	0,450±0,006 (0,443-0,456)	163,5±3,19 (160,3-166,6)
10. Leca [®] Hydro + Casca de pinheiro (6,9%, m/m)	44,6±0,3 (44,3-45,0)	0,446±0,003 (0,443-0,450)	144,2±3,08 (141,1-147,3)
11. Leca [®] Hydro + Pedra vulcânica (1%, m/m)	41,4±1,2 (40,2-42,6)	0,414±0,012 (0,402-0,426)	153,6±3,53 (150,1-157,1)
12. Leca [®] Hydro + Pedra vulcânica (21,1%, m/m)	34,3±0,9 (33,4-35,3)	0,340±0,006 (0,334-0,346)	155,5±3,07 (152,4-158,5)
13. Leca [®] Hydro + Turfa (1%, m/m)	42,9±0,7 (42,3-43,6)	0,429±0,007 (0,423-0,436)	156,3±2,54 (153,7-158,8)
14. Leca [®] Hydro + Turfa (20,0%, m/m)	60,8±1,0 (59,8-61,8)	0,608±0,010 (0,598-0,618)	191,1±2,15 (188,9-193,2)
15. Cacos de tijolo	14,7±0,5 (14,2-15,2)	0,147±0,005 (0,142-0,152)	129,4±3,05 (126,3-132,4)

Nota: resultados relativos à média de um mínimo de quatro observações ± desvio padrão (valor mínimo - máximo)

Estes resultados estão representados graficamente a seguir (Figura 3).

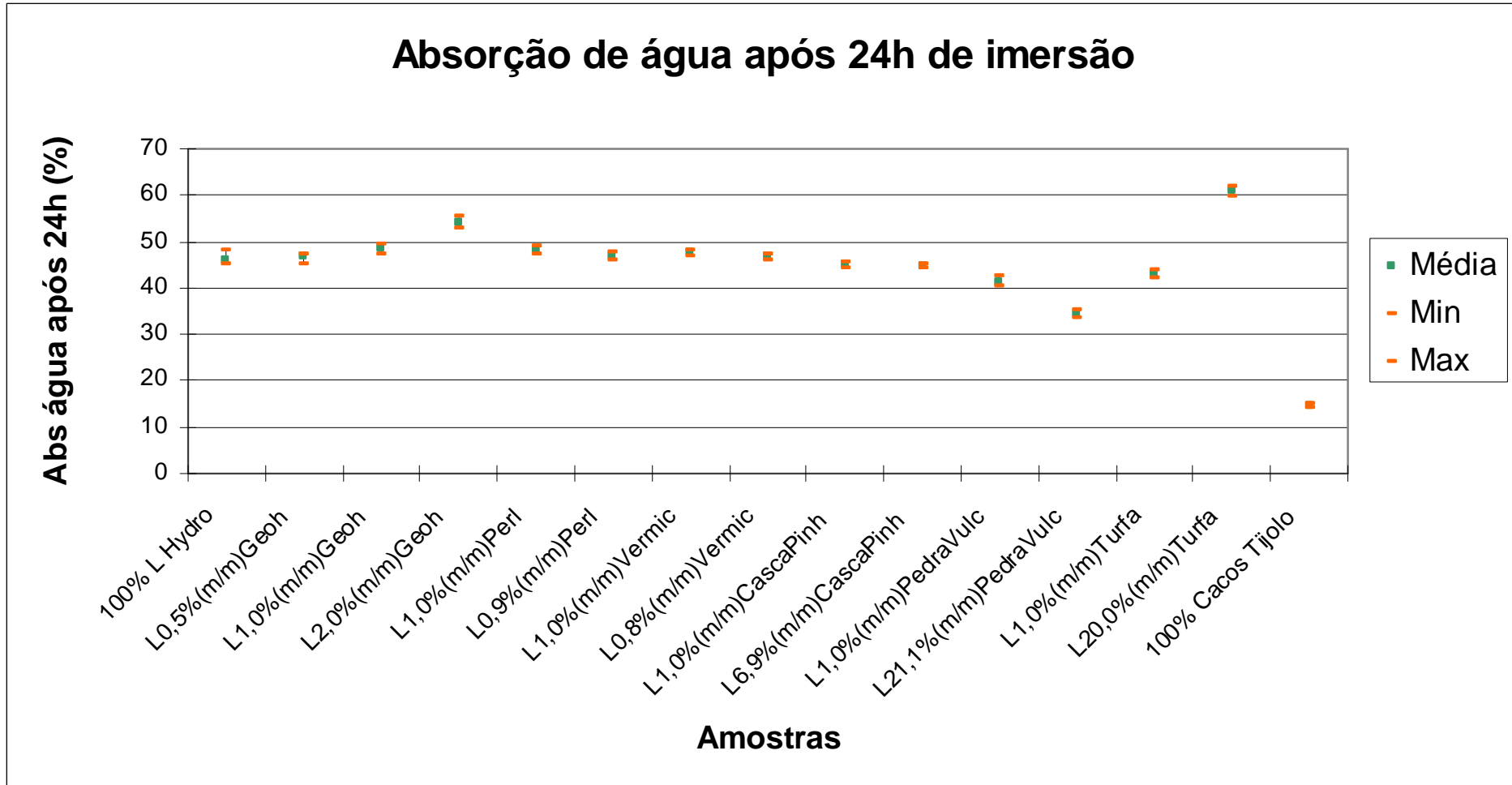


Figura 3: Valores médios, mínimos e máximos (entre 4 ou 5 réplicas) de absorção de água após 24h

3.2. Ensaio experimental em vasos

Os ensaios de evaporação em vasos decorreram entre os dias 27/11/2010 e 07/01/2011, tendo-se procedido a monitorizações diárias de peso, temperatura e humidade relativa.

Os registos diários relativos a temperatura e humidade podem ser consultados em anexo. Na tabela 7 estão indicados os máximos e mínimos relativos a temperatura e humidade relativa (Hr) registados em cada um dos dois locais de teste (exterior ao nível do solo e interior).

Tabela 7: Máximos e mínimos de temperatura e humidade relativa registados no decurso dos ensaios de evaporação (entre 27/11/2010 e 07/01/2011), nos dois locais em teste

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)	
	Mín	Máx	Mín	Max
ExNS	4	17	32	87
Int	12	19	30	77

No exterior, e durante o período de monitorização, foram registados diversos dias de pluviosidade intensa.

Os resultados relativos aos ensaios em vaso foram representados graficamente (Figuras 4 a 11), para cada um dos locais de ensaio, estabelecendo uma comparação entre os vários produtos ou misturas testados.

- Interior:

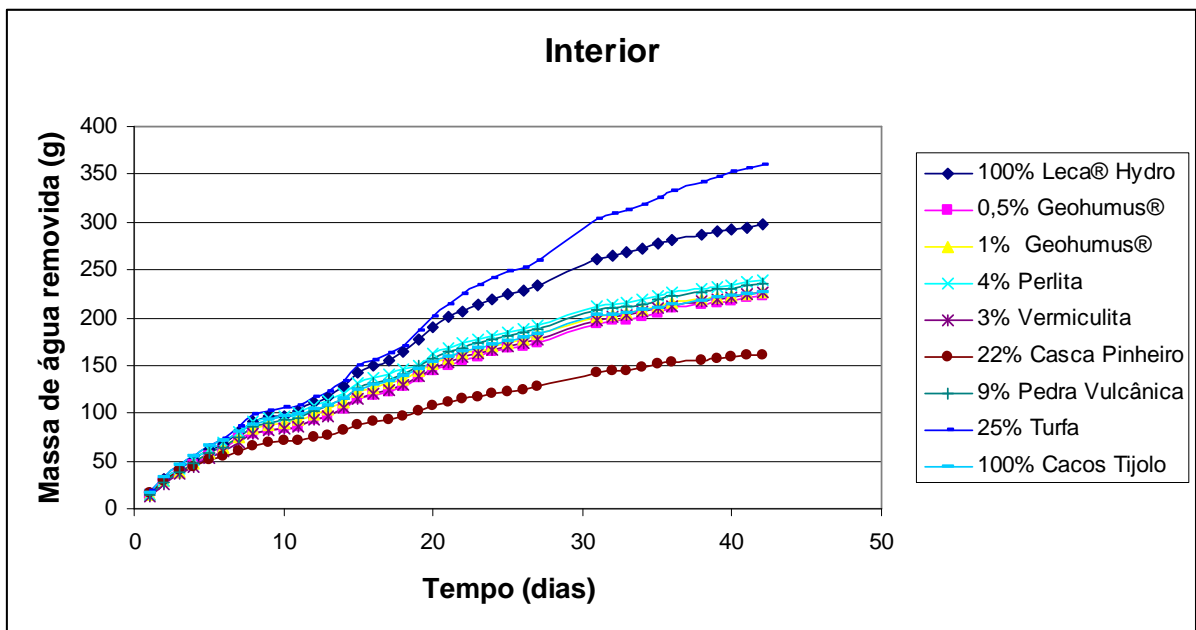


Figura 4: Massa de água removida média (mínimo de 4 réplicas) no decurso da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no interior

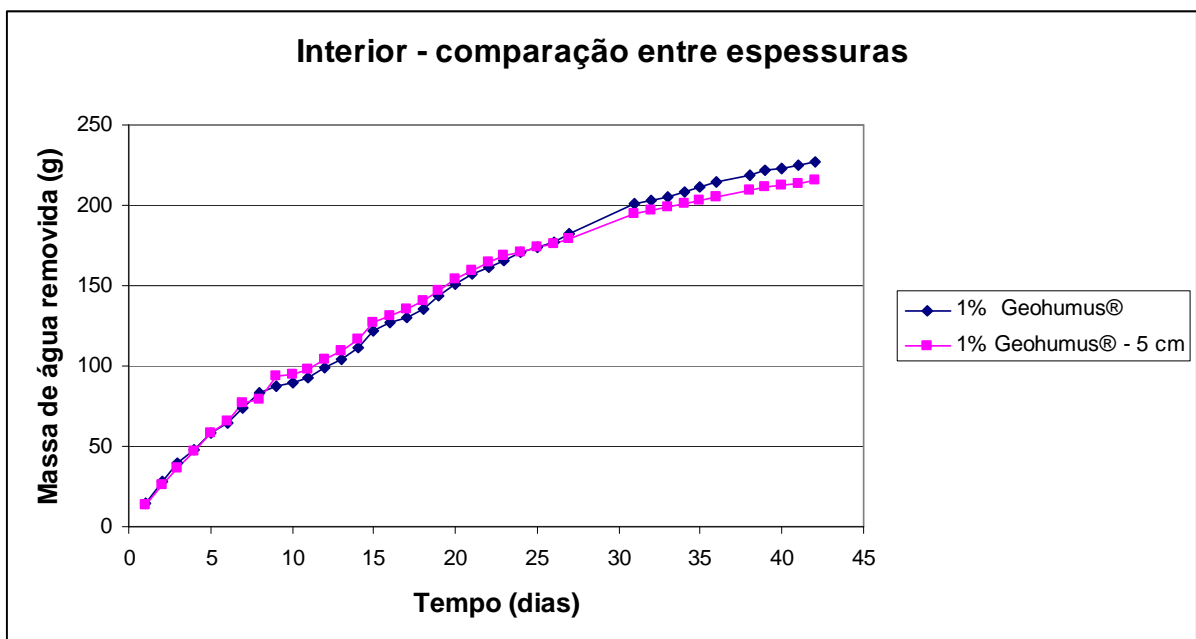


Figura 5: Massa de água removida média (mínimo de 4 réplicas) no decurso da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no interior. O mesmo substrato (mistura de Geohumus® com Leca® Hydro a 1% (m/m)) foi testado a diferentes espessuras, i.e. 20cm e 5cm.

Dado que a quantidade de água absorvida por cada uma das combinações de materiais testados, após 48 horas de imersão, é distinta, foi calculada a fracção de água removida média de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Fracção Água Removida} = \frac{m_{\text{Água Inicial}} - (m_{\text{Água}})_i}{m_{\text{Água Inicial}}}$$

em que:

- $m_{\text{Água Inicial}}$: massa de água inicialmente contida na mistura, que inclui a massa de água absorvida pelo material após 48h de imersão e a massa de água original da mistura (início do ensaio);
- $(m_{\text{Água}})_i$: massa de água no dia de amostragem i .

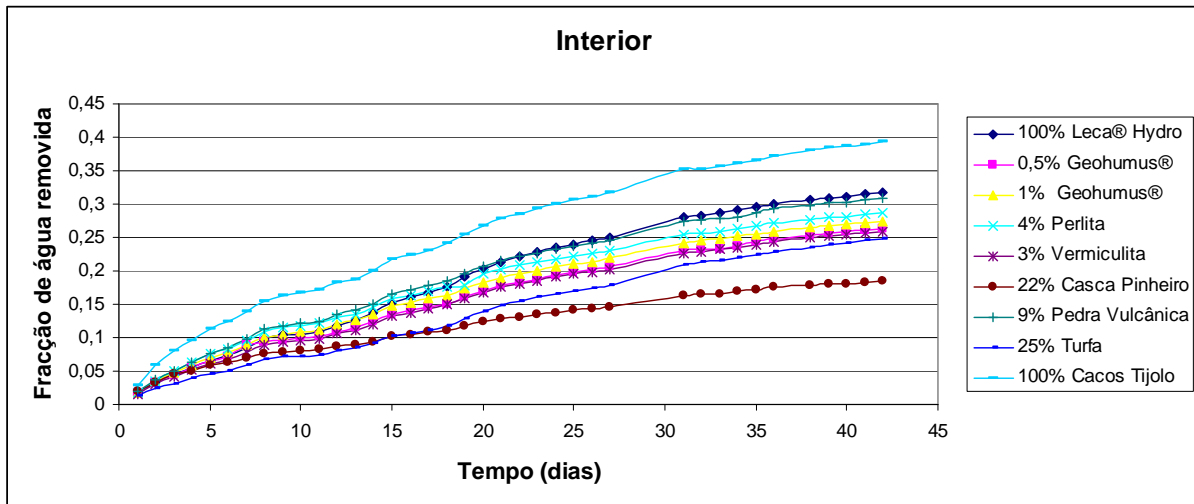


Figura 6: Fracção de água removida média (mínimo de 4 réplicas) ao longo da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no interior

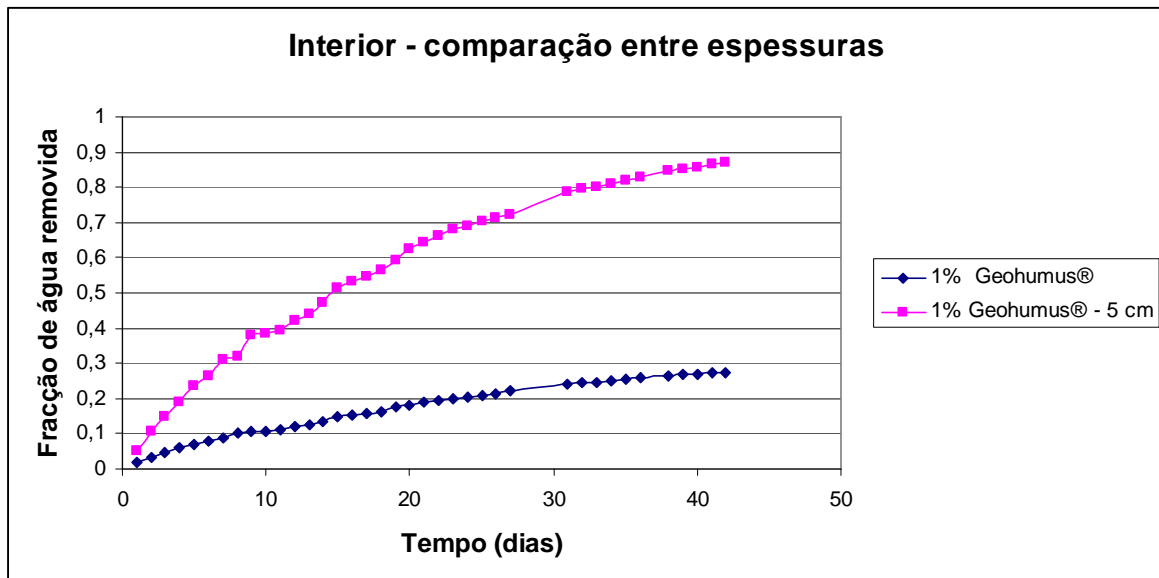


Figura 7: Fracção de água removida média (mínimo de 4 réplicas) no decurso da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no interior. O mesmo substrato (mistura de Geohumus® com Leca® Hydro a 1% (m/m)) foi testado a diferentes espessuras, i.e. 20cm e 5cm.

- Exterior ao nível do solo:

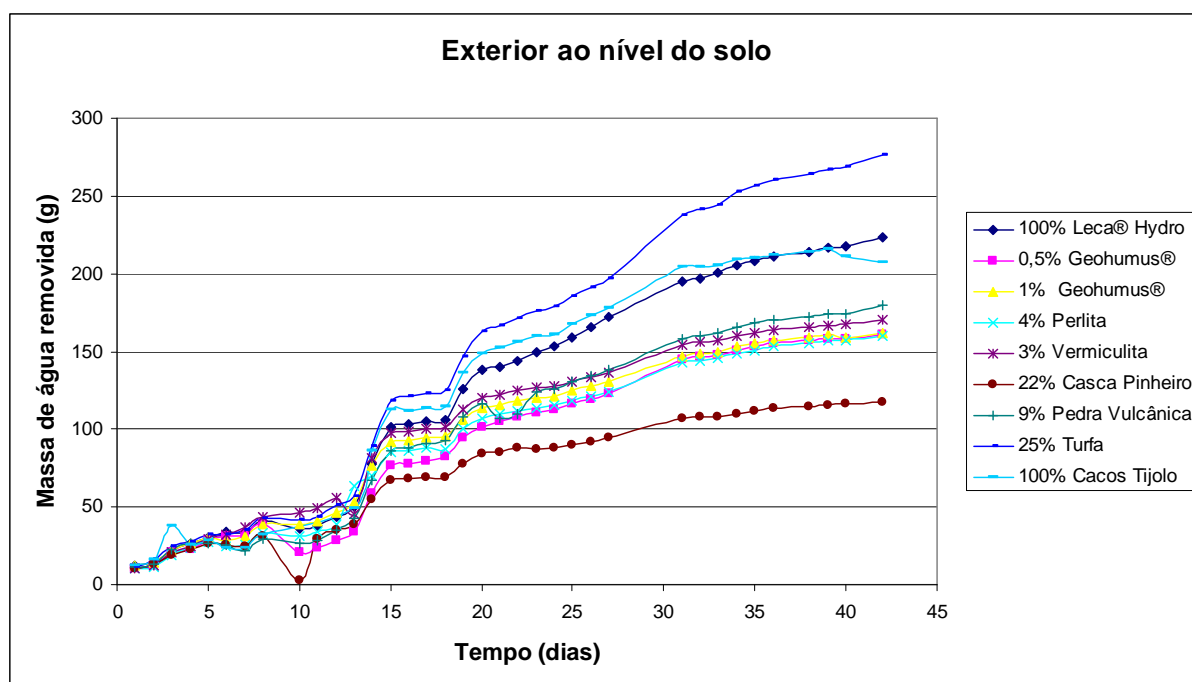


Figura 8: Massa de água removida média (mínimo de 4 réplicas) no decurso da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no exterior ao nível do solo (espessura substrato ca. 20 cm)

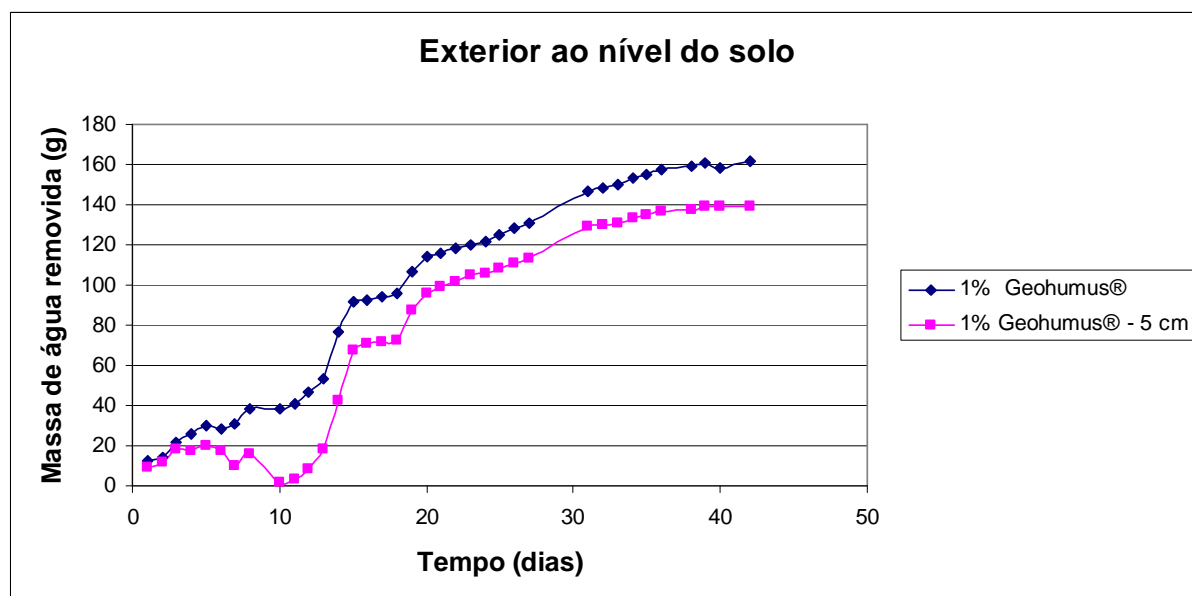


Figura 9: Massa de água removida média (mínimo de 4 réplicas) no decurso da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no exterior ao nível do solo. O mesmo substrato (mistura de Geohumus® com Leca® Hydro a 1% (m/m)) foi testado a diferentes espessuras, i.e. 20cm e 5cm.

Do mesmo modo foi calculada a fracção de água removida média para o ensaio com os vasos no exterior do edifício.

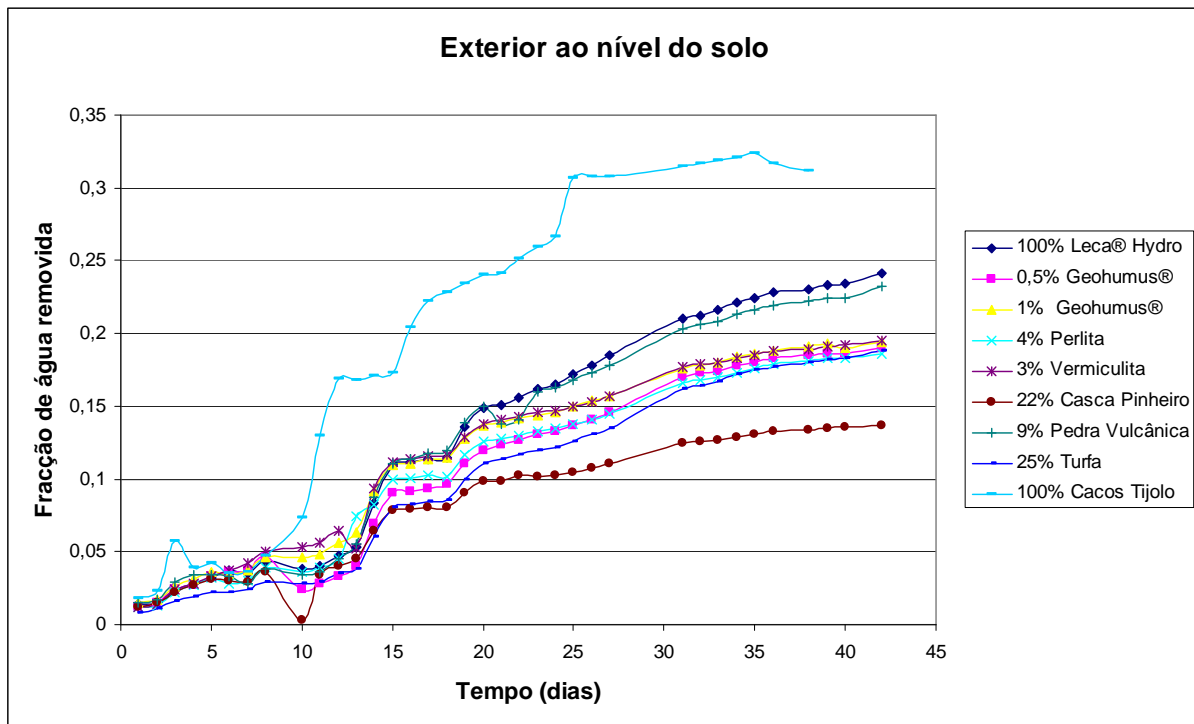


Figura 10: Fracção de água removida média (mínimo de 4 réplicas) ao longo da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no exterior ao nível do solo

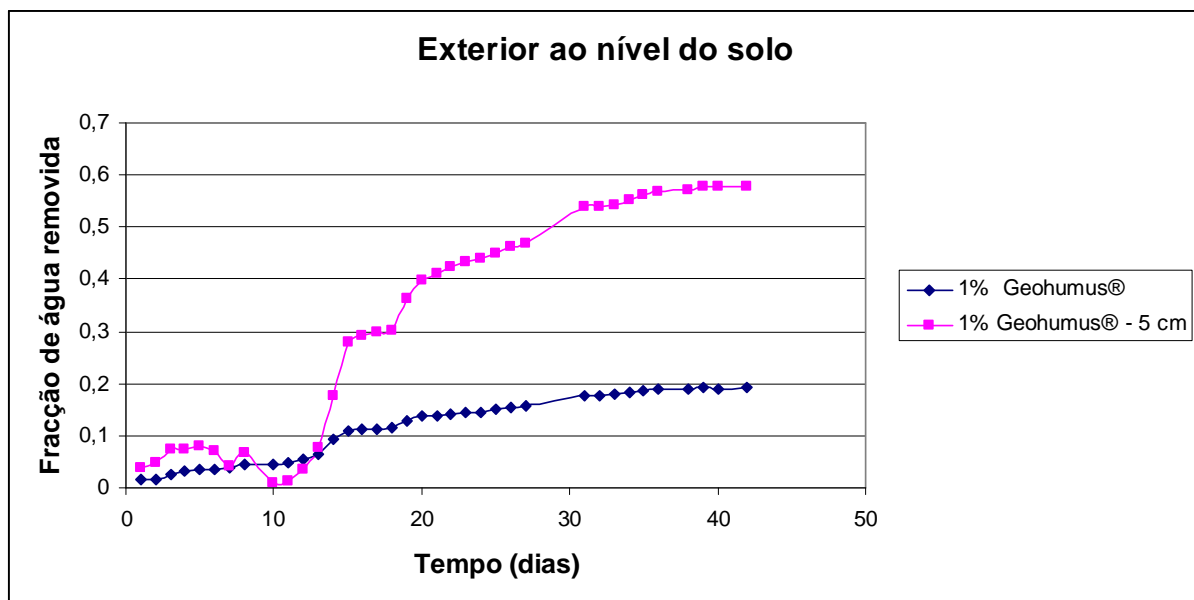


Figura 11: Fracção de água removida média (5 réplicas) no decurso da monitorização do ensaio de evaporação, para os vasos mantidos no interior. O mesmo substrato (mistura de Geohumus® com Leca® Hydro a 1% (m/m)) foi testado a diferentes espessuras, i.e. 20cm e 5cm.

4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Relativamente ao parâmetro de absorção de água às 24 horas, verificou-se que a mistura com melhor desempenho foi a [Leca[®] Hydro + Turfa (25%, v/v)], com valores médios acima dos 60%. A turfa é formada a partir de plantas mortas, que demoram centenas a milhares de anos a acumular-se. Este aspecto faz com que a turfa seja considerada um recurso não renovável, ao qual estão associados impactes ambientais, levando os fornecedores à procura de alternativas. Em segundo lugar, a mistura que demonstrou maior capacidade para absorver água foi a [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (2%, m/m)], no entanto esta mistura resulta mais onerosa do que o custo máximo de referência considerado [correspondente à mistura de Geohumus[®] com Leca[®] Hydro a 1% (m/m)]. Seguidamente, a terceira amostra com melhor desempenho relativamente a este parâmetro foi a [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1%, m/m)], apresentando valores médios de absorção de água às 24 horas de ca. 48%. Este resultado foi seguido de perto por [Leca[®] Hydro + Perlita (1%, m/m)], no entanto, esta mistura é mais dispendiosa que a anterior.

No ensaio realizado com Leca[®] Hydro.(100%) foram obtidos valores médios de ca. 46%, o que se mostra em acordo com os valores de referência constantes da tabela 8.

Tabela 8: Comparação da capacidade de absorção de água às 24 horas entre Leca[®] HYDRO (estudo anterior e estudo actual) e outros materiais partidos testados na Dinamarca

Parâmetros	Leca [®] HYDRO (85% partidos)	Leca [®] HYDRO (100% partidos)	2-10 crushed (65 – 100% partidos; estudo Dinamarca) ^{a)}	Leca [®] HYDRO (estudo actual)
Absorção de água às 24h (%)	46,7±0,6	47,0±0,5	26-52 %	46,1±0,6

Nota: ^{a)} dados cedidos pela Saint-Gobain Weber

De um modo geral as misturas com vermiculita, perlita e casca de pinheiro, demonstraram capacidades para absorver água às 24 horas muitos similares às da Leca[®] Hydro (100%). As misturas com pedra vulcânica, em particular a [Leca[®] Hydro + Pedra vulcânica (9%, v/v)], pioram o desempenho relativamente à Leca[®] Hydro (100%).

Dentre todas as amostras, o pior desempenho obtido corresponde aos cacos de tijolo (100%), com capacidade para absorver ca. de 14% de água às 24 horas.

Os resultados do ensaio experimental de evaporação em vasos foram representados graficamente de modo a se estabelecer uma comparação entre os desempenhos dos nove

materiais testados, em cada um dos dois locais de teste (i.e., exterior ao nível do solo e interior do edifício). Para cada um destes locais são apresentados dois gráficos, o primeiro relativo à quantidade (massa em gramas) de água removida por evaporação ao longo do tempo em que decorreu o ensaio, e o segundo relativo à fracção de água removida em função da água inicialmente presente no material testado (incluindo a quantidade de água inicialmente contida na mistura e a quantidade de água absorvida após 48h).

De acordo com os máximos e mínimos de temperatura (T) e humidade relativa (Hr) registados (tabela 9), concluiu-se que o local mais exposto, onde ocorreram as maiores amplitudes de T e Hr, foi o “Exterior ao nível do solo”. No “Interior” as amplitudes de T e Hr foram menos expressivas relativamente às registadas no exterior. Os ensaios de evaporação decorreram entre 27/11/2010 e 07/01/2011, maioritariamente durante a estação de Inverno. Estas condições influenciaram o desempenho dos sistemas face à evaporação, tendo-se removido maiores quantidades de água no Interior [($m_{\text{Água Removida}}_{42 \text{ dias}}$: 161-360 g; ($\text{fracção}_{\text{Água Removida}}_{42 \text{ dias}}$: 18-39 %)], e, finalmente, no Exterior ao nível do solo do edifício [($m_{\text{Água Removida}}_{42 \text{ dias}}$: 117-276 g; ($\text{fracção}_{\text{Água Removida}}_{42 \text{ dias}}$: 14-31 %)].

A quantidade de água removida foi superior para o material [Leca[®] Hydro + Turfa (25%, v/v)], seguido do material [100% Leca[®] Hydro]. A amostra [Leca[®] Hydro + Casca de pinheiro (22%, v/v)] foi a mistura que menor quantidade de água removeu. No entanto, ao representar graficamente estes resultados em termos relativos (como função da quantidade de água inicialmente presente no material), a fracção de água removida para [100% Cacos de tijolo] foi superior, seguida de [100% Leca[®] Hydro]. A menor fracção de água removida obtida corresponde à mistura [Leca[®] Hydro + Casca de pinheiro (22%, v/v)].

Neste ensaio de evaporação foram ainda testadas diferentes espessuras do mesmo substrato, de 5 e de 20 cm, para a mistura [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1%, m/m)]. Para o ensaio conduzido no Interior do edifício, onde as condições climatéricas não tiveram tanta influencia nos resultados obtidos (e.g. por ocorrência de eventos de pluviosidade expressivos), a quantidade de água removida foi aproximadamente idêntica para ambos os materiais com iguais proveniências, i.e., de ca. 215 g para [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1%, m/m) com 5 cm de espessura] e de ca. de 227 g para [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1%, m/m) com 20 cm de espessura]. A fracção de água removida no final dos 42 dias de ensaio, que é função da água inicialmente presente no material testado (incluindo a quantidade de água inicialmente contida na mistura e a quantidade de água absorvida após 48h), foi, no entanto, significativamente mais elevada para [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1%, m/m) com espessura de 5 cm], de ca. de 87%, enquanto que para [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1%, m/m) com espessura de 20 cm] foi de ca. 27%.

De modo a facilitar o processo de identificação da melhor relação entre os dois parâmetros testados para cada amostra, procedeu-se à representação gráfica da fracção de água evaporada, ao fim de 15 e de 31 dias, *versus* a percentagem de água absorvida às 24h (Figuras 12 e 13). Ressalva-se que esta relação é válida para as condições em que decorreu o ensaio de evaporação, relativamente aos vasos mantidos no interior do edificio, e monitorizados entre 27/11/2010 e 07/01/2011 (período Outono/Inverno).

De modo a ser possível proceder-se a uma comparação entre as várias amostras, esta relação foi estabelecida a partir do parâmetro *Fracção de água evaporada* dado que, tal como mencionado anteriormente, a quantidade de água inicialmente contida nas misturas é distinta para cada uma das combinações de materiais testados, incluindo a massa de água absorvida pelo material após 48h de imersão e a massa de água original da mistura (início do ensaio).

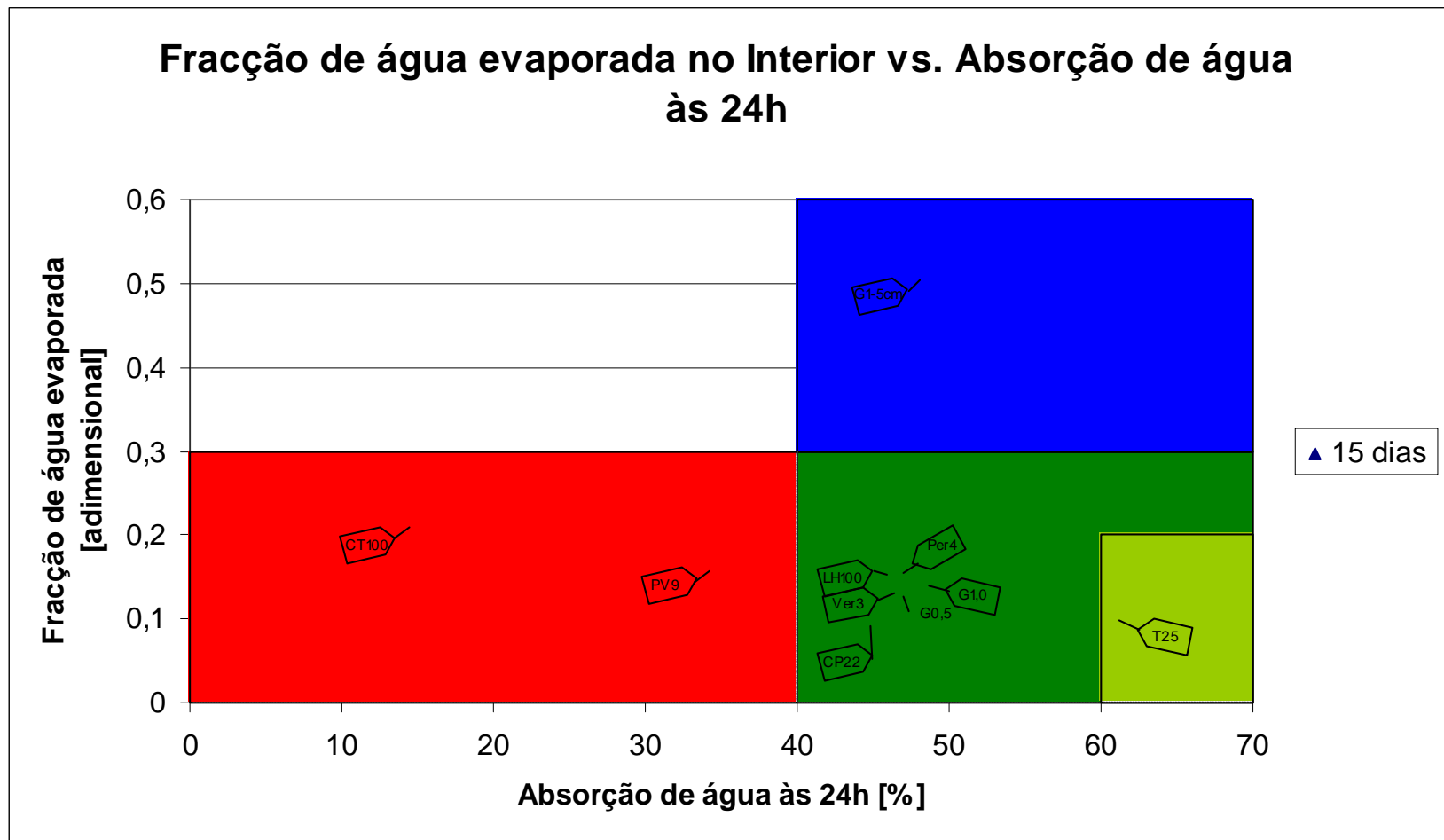


Figura 12: Relação entre a fracção de água evaporada em 15 dias, nos vasos mantidos no interior no ensaio decorrido entre 27/11/2010 e 07/01/2011, e a absorção de água às 24h, para cada uma das amostras testadas: **CT100** – 100% Cacos tijolo; **PV9** - 9%(v/v) Pedra Vulcânica; **LH100** - 100% Leca[®] Hydro; **Ver3** - 3%(v/v) Vermiculita; **CP22** - 22%(v/v) Casca Pinheiro; **Per4** - 4%(v/v) Perlita; **G1,0** - 1%(m/m) Geohumus[®]; **G0,5** - 0,5%(m/m) Geohumus[®]; **T25** - 25%(v/v) Turfa; **G1-5cm** - 1%(m/m) Geohumus[®] - 5 cm.

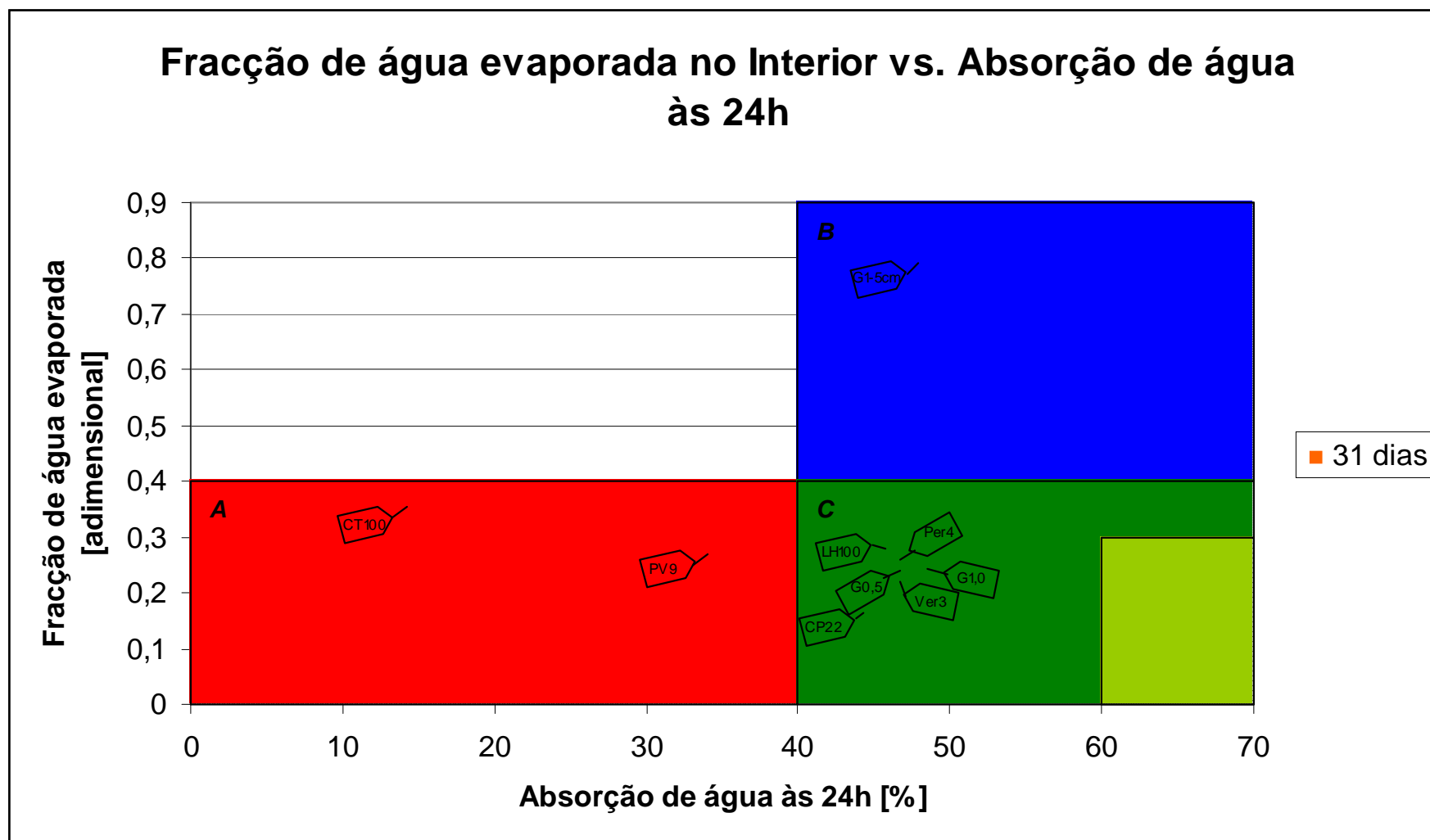


Figura 13: Relação entre a fracção de água evaporada em 31 dias, nos vasos mantidos no interior no ensaio decorrido entre 27/11/2010 e 07/01/2011, e a absorção de água às 24h, para cada uma das amostras testadas: **CT100** – 100% Cacos tijolo; **PV9** - 9%(v/v) Pedra Vulcânica; **LH100** - 100% Leca[®] Hydro; **Ver3** - 3%(v/v) Vermiculita; **CP22** - 22%(v/v) Casca Pinheiro; **Per4** - 4%(v/v) Perlita; **G1,0** - 1%(m/m) Geohumus[®]; **G0,5** - 0,5%(m/m) Geohumus[®]; **T25** - 25%(v/v) Turfa; **G1-5cm** - 1%(m/m) Geohumus[®] - 5 cm.

Para facilitar a discussão sobre os resultados obtidos, foram definidas quatro (4) zonas distintas nos gráficos das Figuras 12 e 13, nomeadamente:

- Zona A (a vermelho) – correspondente aos piores resultados em termos de capacidade de absorção de água às 24h (< 40%);
- Zona B (a azul) – correspondente aos piores resultados em termos de perda de água por evaporação (fracção de água evaporada superior a 0,40, ao fim de 31 dias);
- Zona C (a verde claro) – correspondente a resultados interessantes em termos de capacidade de absorção de água às 24h (entre 40-60%), e, simultaneamente, relativamente boa capacidade de reter água (fracção de água evaporada até 0,40, ao fim de 31 dias);
- Zona D (a verde “vivo”) - correspondente aos melhores resultados em termos de capacidade de absorção de água às 24h (> 60%), e, simultaneamente, relativa boa capacidade para reter água (fracção de água evaporada até 0,30, ao fim de 31 dias).

Pela observação destas zonas se conclui que a melhor relação entre a Fracção de água evaporada e a Absorção de água às 24h corresponde à [Leca[®] Hydro + Turfa (25%, v/v)]. No entanto, tal como foi mencionado anteriormente, a turfa é um recurso natural cuja utilização intensiva implica impactes ambientais significativos. Como tal, a utilização deste recurso é desaconselhada numa perspectiva de sustentabilidade.

Seguidamente, as melhores relações encontradas cabem dentro da zona C, com resultados de absorção de água situados entre 44,6 e 48,3%, e de fracção de água evaporada, ao fim de 31 dias, entre 0,16 e 0,28. Pertencem a este grupo as amostras [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (1% m/m)], [100% Leca[®] Hydro], [Leca[®] Hydro + Perlita (4% v/v ou 0,9% m/m)], [Leca[®] Hydro + Vermiculita (3%, v/v ou 0,8% m/m)], [Leca[®] Hydro + Geohumus[®] (0,5% m/m)] e [Leca[®] Hydro + Casca de pinheiro (22% v/v ou 6,9% m/m)].

As amostras dentro das zonas C e D, as mais interessantes do ponto de vista dos objectivos do presente estudo, foram sujeitas a uma nova avaliação custo vs. benefício. Para tal, foram calculados os indicadores *custo de grama de água absorvida às 24h* e *custo por fracção de água evaporada*. Estes rácios são apresentados na tabela seguinte (Tabela 9).

Tabela 9: Indicadores custo vs. benefício (em termos de grama de água absorvida às 24h e de fracção de água evaporada, a 15 e 31 dias) para as amostras com melhor desempenho (localizadas dentro das zonas C e D das figuras 12 e 13)

ZONAS (FIG 12 E 13)	AMOSTRAS	Custo de grama de água absorvida às 24h (Euros)	Custo de Fracção de água evaporada (Euros)		
			15 dias	31 dias	
C	Leca® Hydro	0,00114	0,0313	0,0572	
	Leca® Hydro + Geohumus® (0,5%, m/m)	0,00127	0,0302	0,0514	
	Leca® Hydro + Geohumus® (1%, m/m)	0,00133	0,0355	0,0583	
	Leca® Hydro + Perlita (0,9%, m/m)	Leca® Hydro + Perlita (4%, v/v)	0,00125	0,0369	0,0590
	Leca® Hydro + Vermiculita (0,8%, m/m)	Leca® Hydro + Vermiculita (3%, v/v)	0,00134	0,0313	0,0536
	Leca® Hydro + Casca de pinheiro (6,9%, m/m)	Leca® Hydro + Casca de pinheiro (22%, v/v)	0,00127	0,0228	0,0367
D	14. Leca® Hydro + Turfa (20%, m/m)	14. Leca® Hydro + Turfa (25%, v/v)	0,00095	0,0231	0,0468

Analisando os resultados constantes da Tabela 9 conclui-se que o menor custo de água absorvida às 24h corresponde à amostra [Leca® Hydro + Turfa (20%, m/m)], seguido da amostra [100% Leca® Hydro]. Em termos de fracção de água evaporada, o menor custo associado é relativo à amostra [Leca® Hydro + Casca de pinheiro (6,9%, m/m)].

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EN 1097-6 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 6: Determination of particle density and water absorption

Geohumus International GmbH. 2008. Using Geohumus for sustainable plant production management. Compilation of projects.

Holman, D., Lord, J. 2005. The Carlton Green Roof Project.

Isabel Paula Lopes Brás. 2005. Utilização de Casca de Pinheiro como adsorvente para remoção de pentaclorofenol de águas contaminadas. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Ciências de Engenharia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Noucetta Kehdi. In search of the adequate substrate.

Tan, H. Kim, 1995. Determination of soil density and porosity. In: Soil sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker, inc, NY, USA

<http://www.the-organic-gardener.com/making-compost.html>

<http://www.peatmoss.com/pm-coir.php>

6- ANEXO

6.1. Ensaio de evaporação em vasos

Registo diário de temperatura e Humidade relativa.

- Exterior ao nível do solo:

	1ºDia	2ºDia	3ºDia	4ºDia	5ºDia	6ºDia	7ºDia	8ºDia	9ºDia	10ºDia	11ºDia	12ºDia	13ºDia	14ºDia	15ºDia	16ºDia	17ºDia	18ºDia	19ºDia	20ºDia
Temperatura (°C)	8	4	6	11	13	8	8	9	11	16	9	14	15	17	14	15	15	14	16	10
Hum.Rel. (%)	70	59	68	63	42	66	47	41	76	79	79	71	59	39	62	71	60	53	36	32
	21ºDia	22ºDia	23ºDia	24ºDia	25ºDia	26ºDia	27ºDia	31ºDia	32ºDia	33ºDia	34ºDia	35ºDia	36ºDia	38ºDia	39ºDia	40ºDia	41ºDia	42ºDia	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	14	13	10	12	11	9	10	10	10	15	15	13	16	14	15	16	n.d.	16	4	17
Hum.Rel. (%)	41	42	60	69	71	53	42	75	64	65	64	63	69	62	81	87	n.d.	71	32	87

- Interior:

	1ºDia	2ºDia	3ºDia	4ºDia	5ºDia	6ºDia	7ºDia	8ºDia	9ºDia	10ºDia	11ºDia	12ºDia	13ºDia	14ºDia	15ºDia	16ºDia	17ºDia	18ºDia	19ºDia	20ºDia
Temperatura (°C)	19	17	12	15	16	15	17	13	16	17	17	18	18	18	19	18	19	19	18	17
Hum.Rel. (%)	34	38	56	52	45	41	30	41	74	77	75	69	53	43	48	59	51	47	38	30
	21ºDia	22ºDia	23ºDia	24ºDia	25ºDia	26ºDia	27ºDia	31ºDia	32ºDia	33ºDia	34ºDia	35ºDia	36ºDia	38ºDia	39ºDia	40ºDia	41ºDia	42ºDia	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	17	17	14	16	17	18	19	16	16	17	17	16	17	17	18	18	19	19	12	19
Hum.Rel. (%)	34	38	55	50	62	49	38	36	50	55	56	55	57	46	61	62	72	60	30	77