

V Jornadas FICAL

Fórum Ibérico da Cal

Portugal | Lisboa | LNEC | 23 - 25 | maio | 2016

LNEC

LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

FICAL

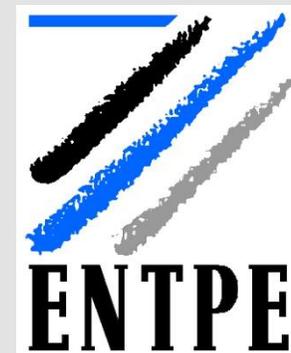
Fórum Ibérico da Cal

# Contributo de betões de cânhamo na regulação passiva da humidade no interior dos edifícios



**Tânia Simões (FCT-UNL)**

**Fionn McGregor (ENTPE); Antonin Fabbri (ENTPE); Paulina Faria (FCT-UNL)**



Maio de 2016

## Contexto

- Problemática
- Material higroscópico – Em estudo
- Materiais higroscópicos – Benefícios
- Comportamento higrotérmico de materiais higroscópicos

## Materiais e métodos

## Resultados e discussão

- Propriedades em regime estacionário
- Propriedades dinâmicas

## Conclusão

# Problemática

Necessidade de redução do impacto ambiental do sector da construção



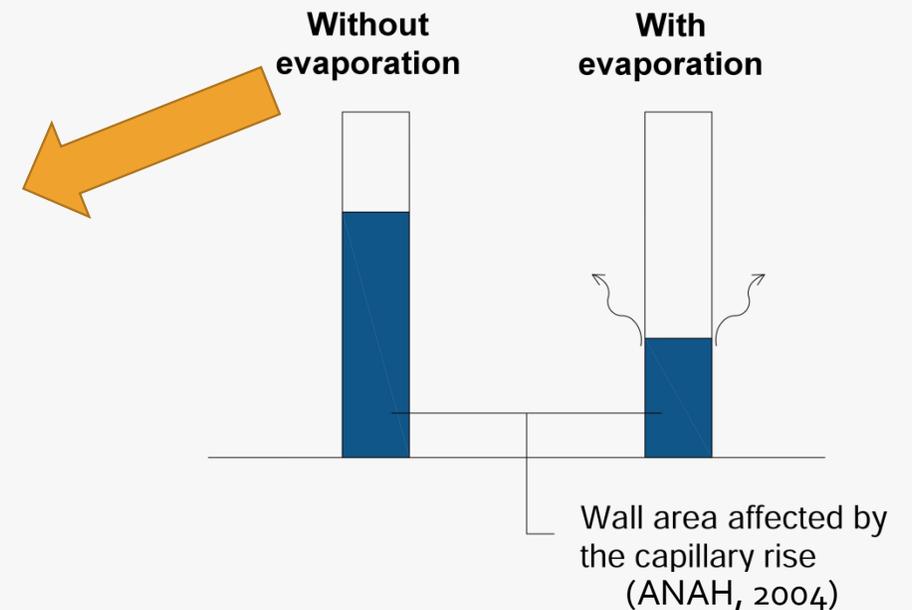
Renovado interesse na reabilitação



Em vários países/climas há a necessidade de utilização de sistemas de revestimento higroscópicos

## Porquê?

A estagnação de água, durante muito tempo, pode levar à redução das propriedades mecânicas e causar sérios danos na estrutura.



# Material higroscópico – Em estudo



**Betão de cânhamo**



Ligante  
(Cal ou outro)

+



Água

+



Fibras de  
cânhamo

# Material higroscópico – Benefícios



**Betão de cânhamo**

Reduzido processamento industrial

+

Armazenamento de carbono durante  
o crescimento da planta

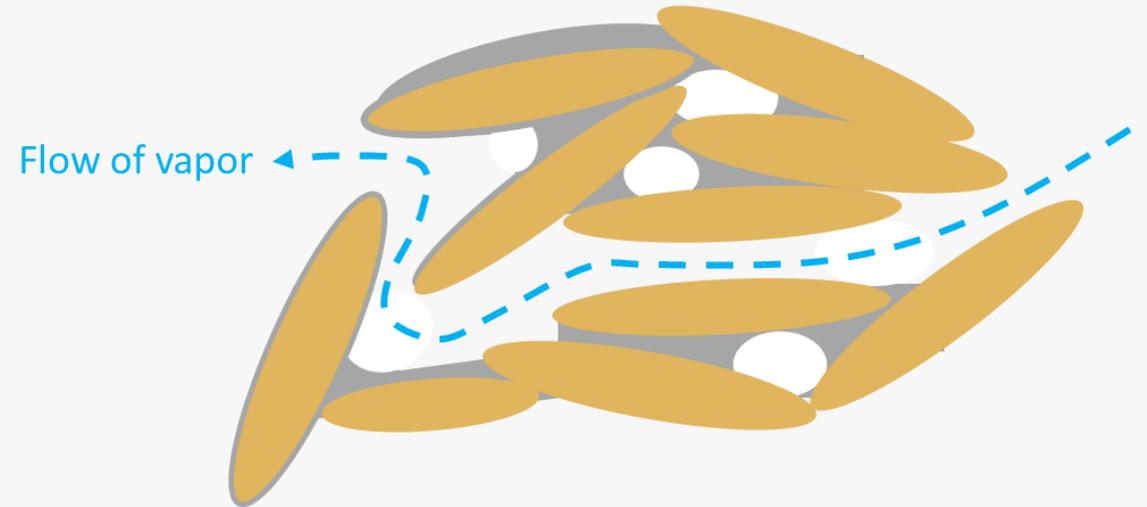


- Reduzida pegada ecológica

# Material higroscópico – Benefícios



**Betão de cânhamo**

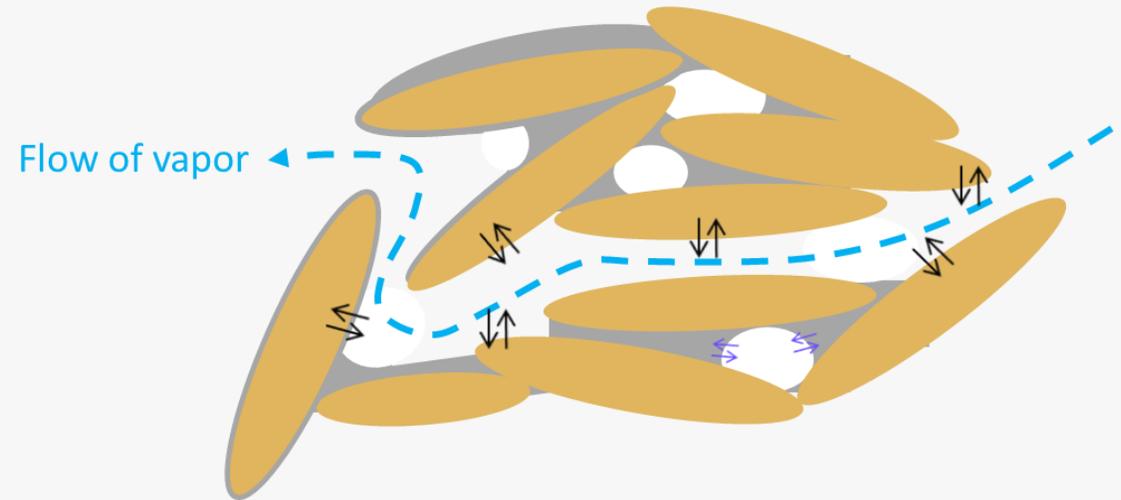


- Reduzida pegada ecológica
- Permeabilidade ao vapor de água

# Material higroscópico – Benefícios



**Betão de cânhamo**

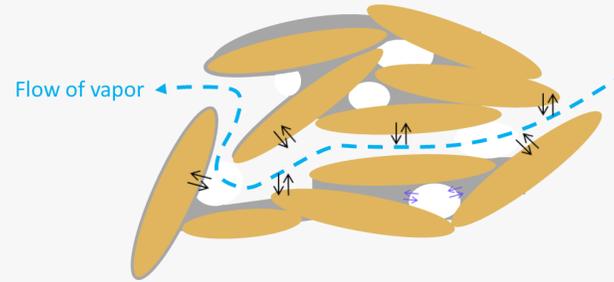


- Reduzida pegada ecológica
- Permeabilidade ao vapor de água
- Contributo higrotérmico (calor latente)
- Potencial de *Moisture Buffering*

# Material higroscópico – Benefícios



**Betão de cânhamo**



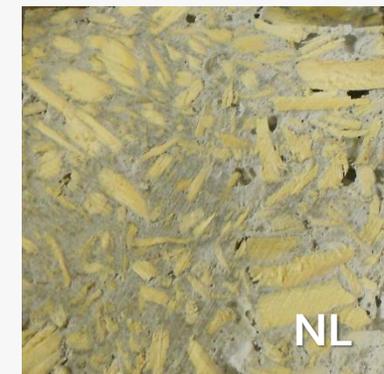
- Reduzida pegada ecológica
- Permeabilidade ao vapor de água
- Contributo higrotérmico (calor latente)
- **Potencial de *Moisture Buffering*** – Contributo para:
  - Regulação passiva dos níveis de HR no interior dos edifícios
  - Redução do consumo energético na climatização mecânica dos edifícios
  - Redução das irritações e alergias causadas pela HR demasiado baixa ou elevada e problemas relacionados (fungos e ácaros)

# Materiais e Métodos

- **Betão de cânhamo (Projeto IBIS)**

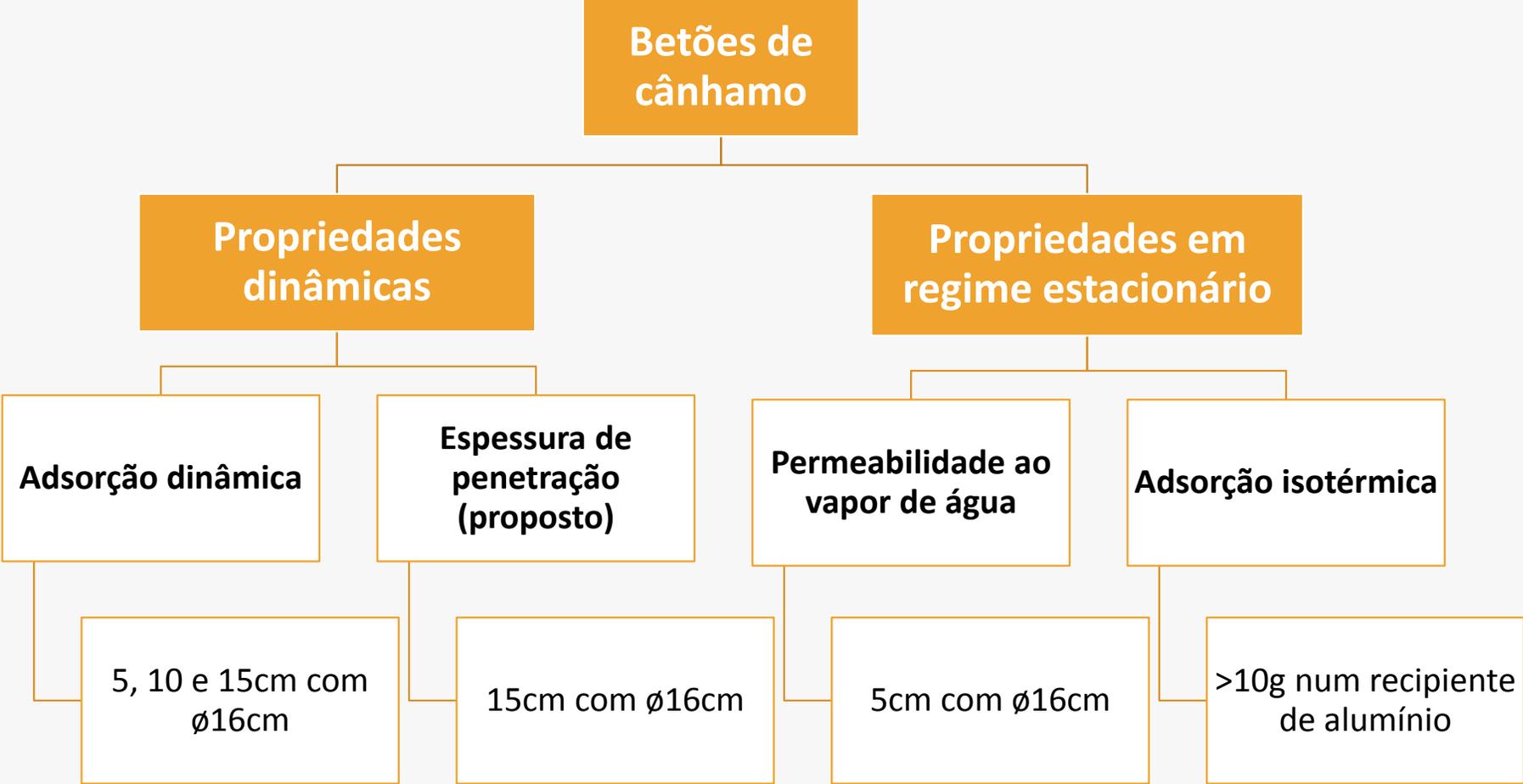
Material	PF70	Calco	NL
Ligante	Ligante à base de cal aérea (Tradical 70)	Ligante à base de cal hidráulica	Formulação desenvolvida por Grupo Parex
Cânhamo/ Ligante (-)	0.33	0.33	0.42
Água/Ligante (-)	0.81	0.88	-
Massa volúmica a fresco (kg/m <sup>3</sup> )	780	700	-
Produção	Apilado (no molde)	Apilado (no molde)	Por projeção (no molde)

Superfícies das amostras



# Resumo dos ensaios e provetes

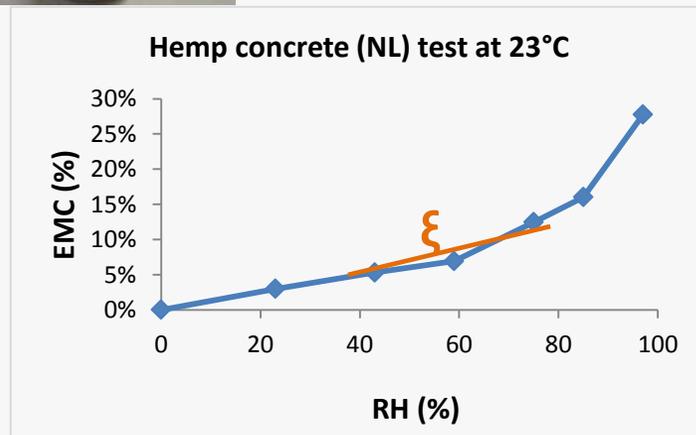
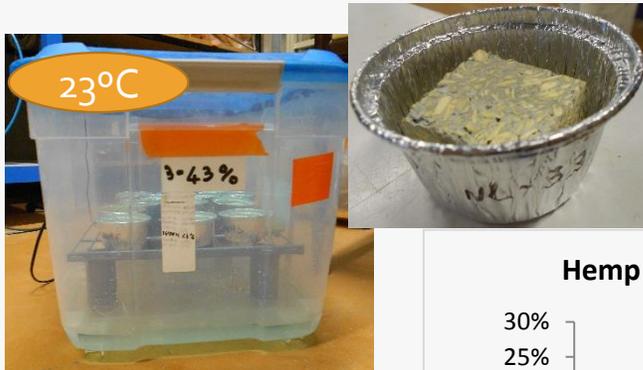
Ensaio em condições isotérmicas  
 $T=23^{\circ}\text{C}$



# Procedimentos- Propriedades em regime estacionário

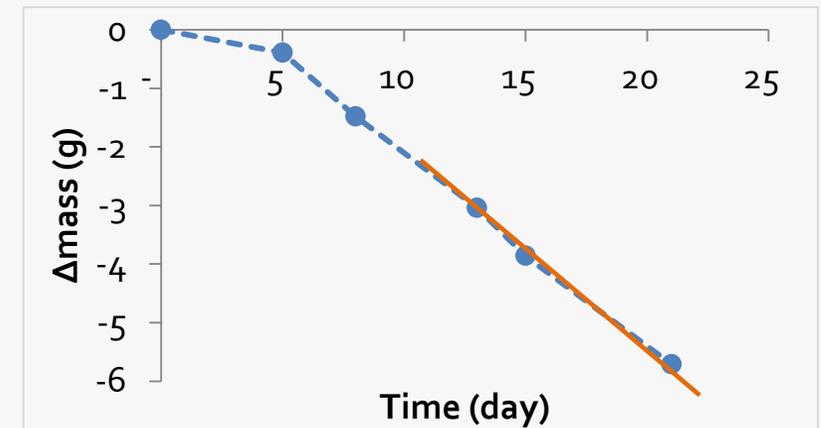
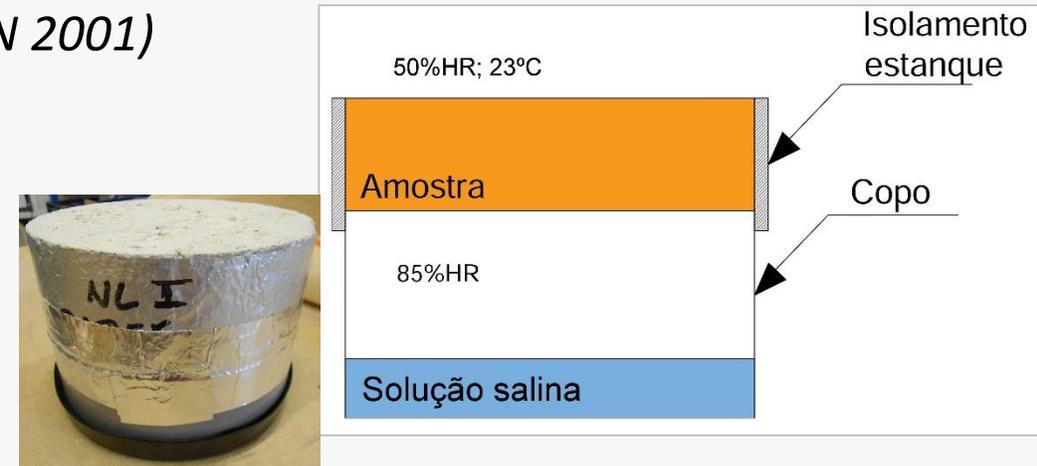
- *Adsorção isotérmica : EN ISO 12571 (CEN 2000)*
  - Capacidade de armazenamento em regime higroscópico

(23, 43, 59, 75, 85 and 97%RH)



→ Capacidade de retenção de humidade ( $\xi$ ) – declive da curva de adsorção isotérmica

- *Permeabilidade ao vapor de água: EN ISO 12572 (CEN 2001)*



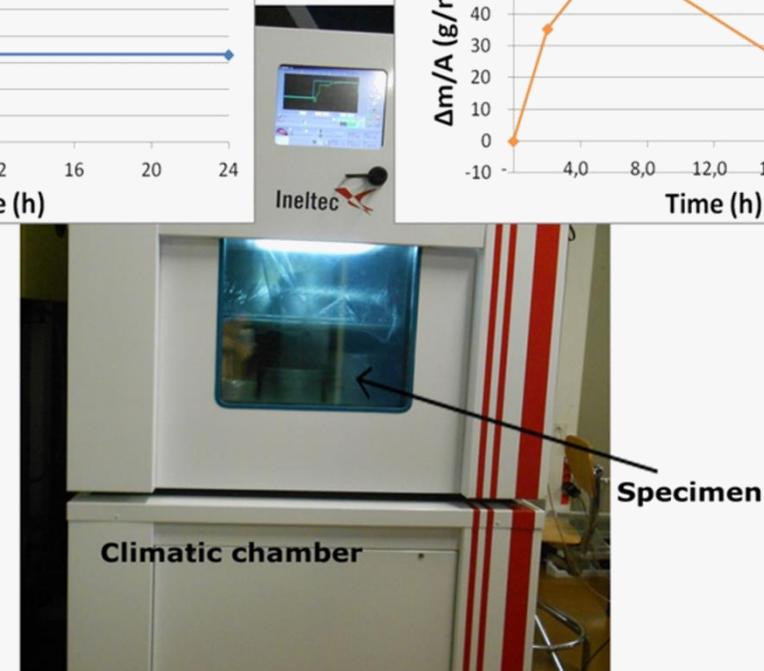
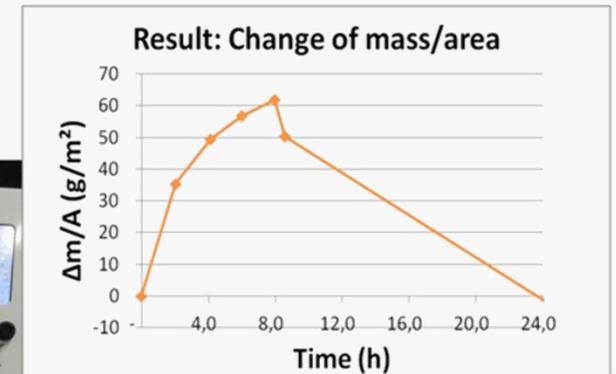
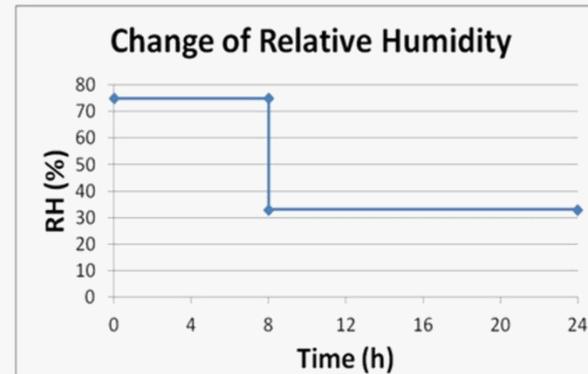
→ Permeabilidade ao vapor de água ( $\delta_p$ ) ou fator de resistência ao vapor de água ( $\mu$ )

# Procedimentos- Propriedades dinâmicas

Como quantificar a capacidade de *moisture buffering* de um material poroso?

↳ Ensaio de adsorção dinâmica à escala «unidimensional» : o ensaio de MBV preconizado pelo projeto Nordtest (Rode et al.2005)

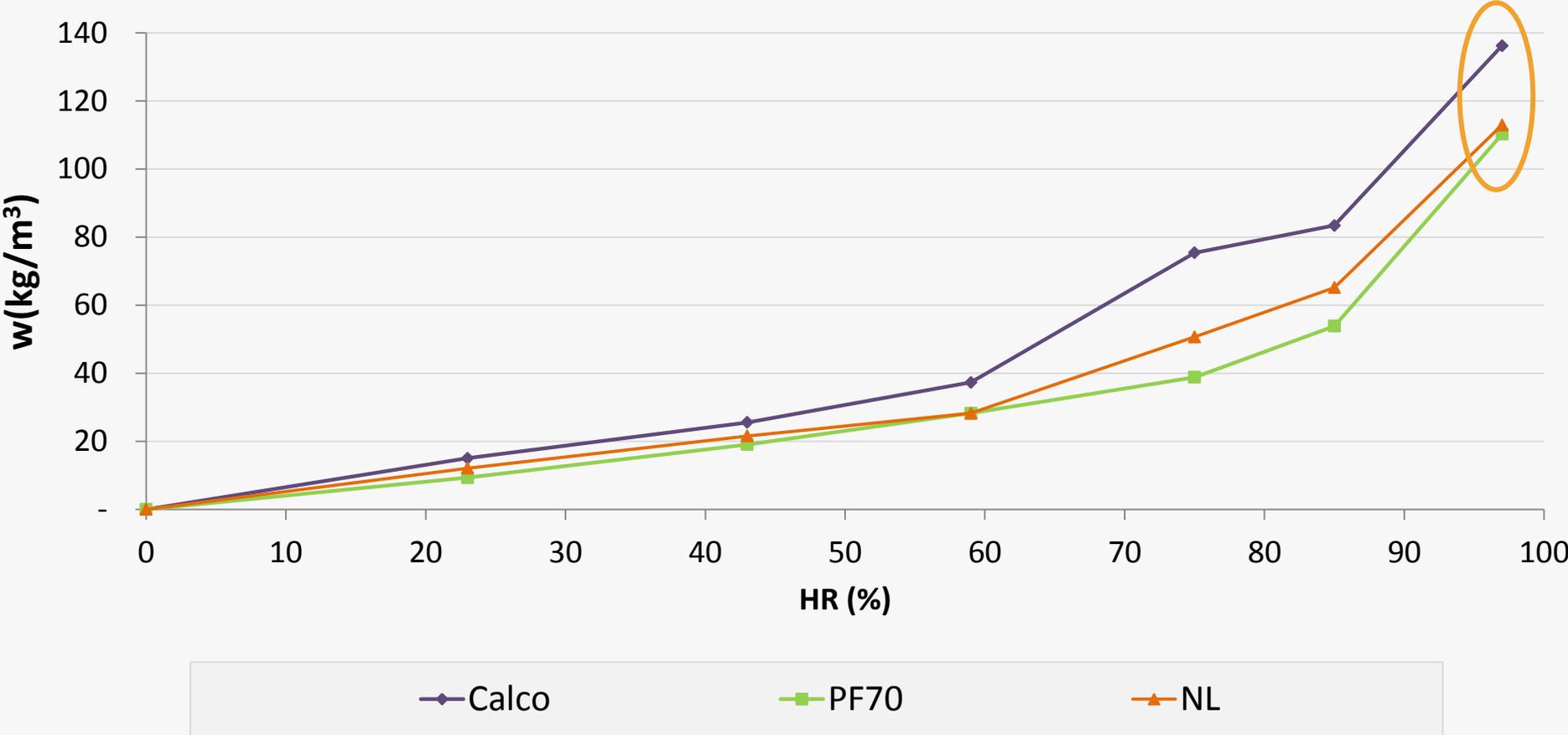
- Com espessuras diferentes
  - 5, 10 e 15cm
- Condições isotérmicas a 23°C



$$MBV_{\text{prático}} = \Delta m / (A \cdot \Delta \%RH) \text{ (g/(m}^2 \cdot \%RH))$$

# Propriedades em regime estacionário

## Curvas de adsorção isotérmica



# Propriedades em regime estacionário

## Permeabilidade ao vapor de água

- Correção ISSO: EN ISO 12572 (Resistência da camada de ar dentro da cápsula)

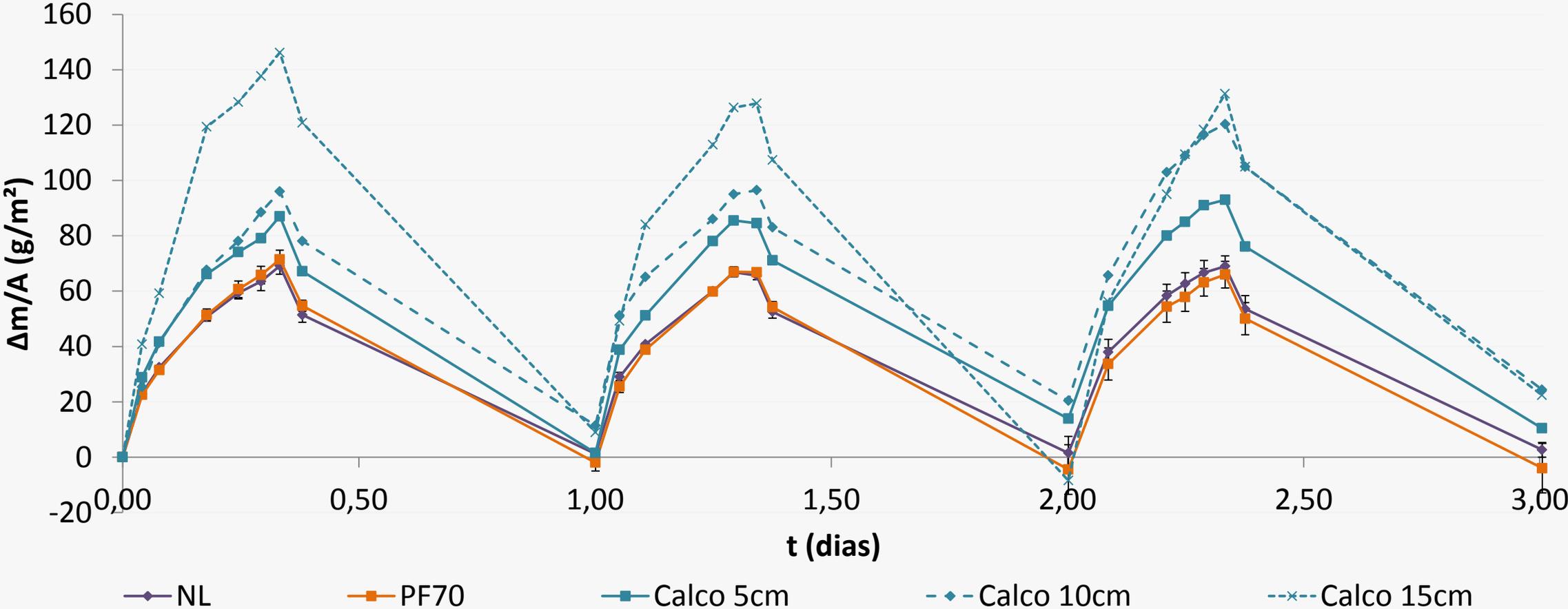


	$\delta$	$\mu$ (-)	
	(kg/s.m.Pa)	Valor médio	Desvio padrão
Calco	3.09E-11	6.15	0.15
PF70	2.36E-11	8.07	0.50
NL	2.38E-11	7.98	0.36

- Calco mais permeável
- PF70 e NL com comportamento semelhante

# Propriedades dinâmicas – Ensaio de MBV

## MBV



# Propriedades dinâmicas – Ensaio de MBV

## MBV

$$MBV_{ideal} \approx 0.00568 \cdot p_{v,sat} \cdot \sqrt{\frac{\delta_p \cdot \xi}{p_{v,sat}}} \cdot \sqrt{t_p}$$



- Trata-se de uma aproximação
- Depende das propriedades em regime estacionário

	Calco	PF70	NL
MBV <sub>ideal</sub> (g/(m <sup>2</sup> .%HR))	5,16	3,23	3,62
MBV <sub>prático</sub> (g/(m <sup>2</sup> .%HR))	2,53	1,66	1,59
Diferença relativa (%)	103,82	94,96	127,09

MBV<sub>ideal</sub> >> MBV<sub>prático</sub>

# Procedimento de ensaio – Propriedades dinâmicas

*Como se observa onde é o limite da espessura ativa durante os ciclos diários de HR?*

↳ Espessura de penetração prática (procedimento proposto)

- 3 higrómetros a diferentes profundidades das amostras (2, 4 e 8cm)
- Ciclos 8h/75%HR e 16h/33%HR
- A 23°C

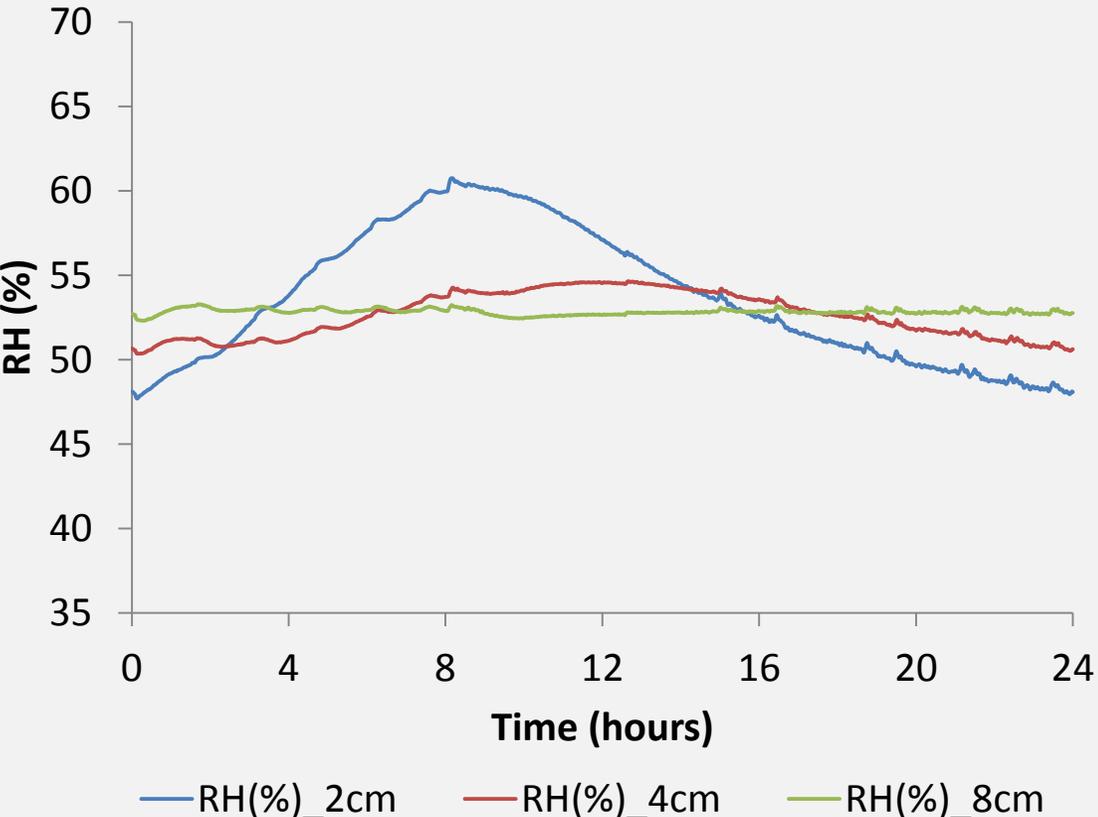


# Impacto da espessura na capacidade higroscópica

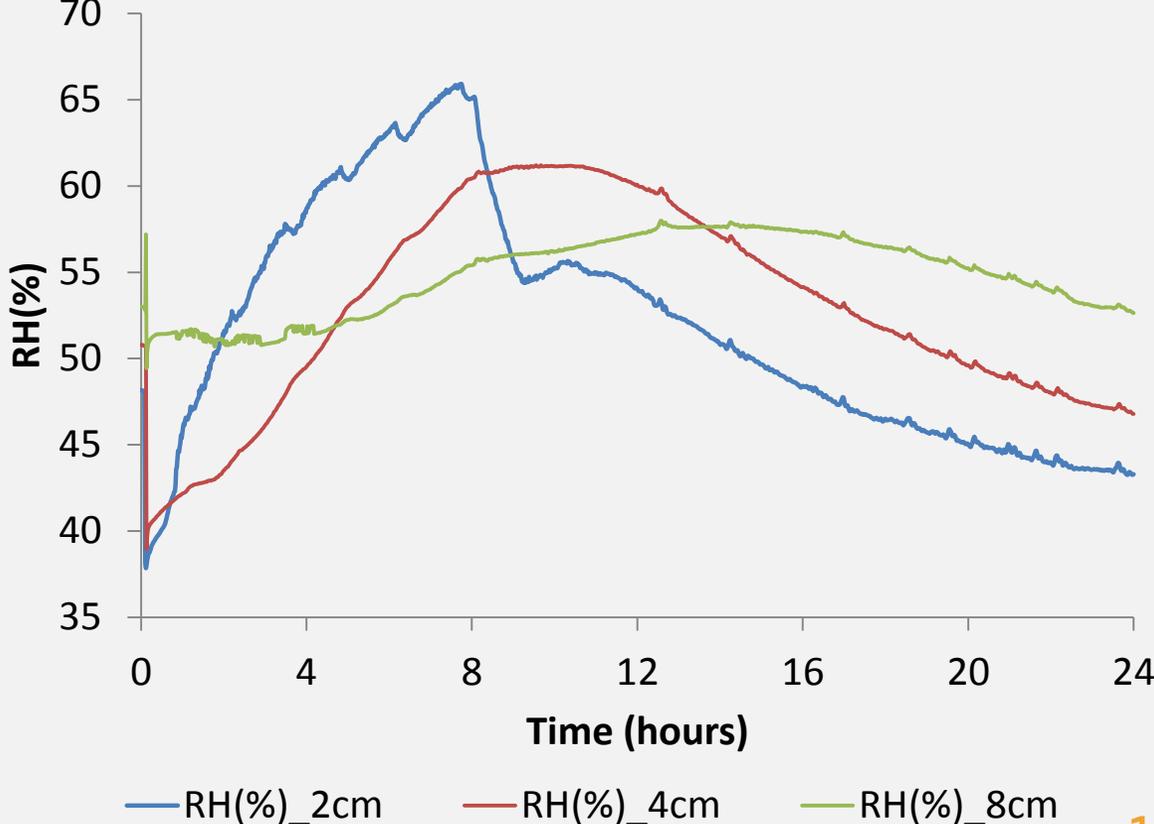
## Espessura de penetração prática

### Betão de cânhamo (a 23°C)

- NL



- Calco



# Impacto da espessura na capacidade higroscópica

## Espessura de penetração teórica

***O que é a espessura de penetração?***

Espessura necessária para usufruir do efeito de regulação passiva da HR

$$d_{p,1\%} = 4.61 \sqrt{\frac{D_w t_p}{\pi}}$$

$$d_{1/e} = \sqrt{\frac{D_w t_p}{\pi}}$$

Percentagem da variação da HR, a que a superfície exterior está exposta, na profundidade de penetração (1% and 37%)

	$d_{(1/e)}$ (mm)	$d_{p,1\%}$ (mm)
PF70	5,7	26,2
NL	5,1	23,6
Calco	4,7	21,4

# Impacto da espessura na capacidade higroscópica

## Espessura de penetração teórica

	$d_{(1/e)}$ (mm)	$d_{p,1\%}$ (mm)
PF70	5,7	26,2
NL	5,1	23,6
Calco	4,7	21,4

Nenhuma das aproximações leva a resultados coerentes com valores experimentais!

### O que foi admitido na aproximações?

- Variação sinusoidal da HR na superfície da amostra
- Inexistência de migração de água líquida
- Inexistência de histerese
- Equilíbrio vapor de água/água líquida

Poderá não ser válido para o material em estudo

$MBV_{ideal}$  e  $d_{(p,1\% \text{ or } 1/e)}$  dependem de um  $\xi$  constante  $\rightarrow$  Variável no material em estudo

# Conclusão

- Teor de água semelhante em PF70 e NL, mas inferior que em Calco principalmente para HR > 60%
- Todas as formulação demoraram um longo período de tempo para que o teor de água estabilizasse
- Elevada permeabilidade em todas as formulações de betões de cânhamo, principalmente no Calco
- Quanto ao MBV e  $d_p$  do Calco nada se pode concluir devido a um problema nas amostras em estudo
- $MBV_{prático}$  classificado como bom em PF70 e NL
- $MBV_{ideal}$  sobrestimado em todos os betões, sendo necessário mais investigação relativamente ao modelo
- A espessura, para beneficiar da capacidade de regulação passiva da HR, é :
  - 5cm para NL e PF70 (para material não revestido)
- Necessária mais investigação relativamente ao modelo teórico da espessura de penetração

**Obrigada pela vossa atenção!**