

Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira

Lina Nunes

*LNEC, Departamento de Estruturas, Lisboa
CITA-A e PEERS, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo
linanunes@lnecc.pt*

SUMÁRIO

No presente artigo são abordadas algumas causas comuns de degradação de madeira na construção, em particular bolores e fungos de podridão. São discutidas as condições de infecção e desenvolvimento dos agentes de degradação e sugeridas medidas de monitorização do risco.

PALAVRAS-CHAVE: CONSTRUÇÃO, MADEIRA, MONITORIZAÇÃO, DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA

1. INTRODUÇÃO

A deterioração da madeira aplicada causada por fungos é um processo normal, particularmente nos climas temperados e tropicais [1]. Dado que os fungos têm requisitos mínimos no que diz respeito às condições físicas, isto é, principalmente, o acesso a água suficiente e temperaturas favoráveis [2], a extensão de biodeterioração espera-se que diminua em climas frios. No entanto, existem já muitas referências à presença de fungos em madeira aplicada em regiões polares [3].

A infecção por fungos da madeira aplicada em construções começa com o estabelecimento de esporos nas superfícies lenhosas. Sob teores em água da madeira adequados, estes esporos germinam e dão início ao processo de degradação. Num primeiro estágio, o lenho é colonizado, poucas horas após a exposição, por bactérias. A velocidade de infecção destes organismos é muito baixa e não produz, de forma geral, degradação significativa. O nível seguinte de colonização cabe a bolores e fungos cromogéneos que penetram o lenho através das pontuações e se desenvolvem no lúmen celular onde consomem os açúcares (mais simples que a celulose) dissolvidos no seu interior, assim como produtos residuais da actividade de outros organismos, sem alteração muito significativa da resistência mecânica da madeira [4]. Os bolores podem ser, no entanto, responsáveis de um número significativo de doenças humanas e exigem por si só outros cuidados.

Posteriormente, a madeira poderá ser colonizada por fungos que degradam a parede celular, consumindo quer a lenhina, quer a celulose, os seus principais componentes, abrindo cavidades no seu interior. O lenho torna-se, então, mais macio e pode apodrecer profundamente. Por fim, poderão ainda desenvolver-se bolores secundários capazes de utilizar, como fonte de nutrientes, os produtos de degradação dos agentes anteriores [4].

De um ponto de vista mais prático, com base no resultado da sua acção, podem distinguir-se dois tipos de fungos: os que desfiguram e os que destroem a madeira. Os primeiros, fungos cromogéneos e bolores, não têm, normalmente, efeito significativo na resistência da madeira, uma vez que não danificam a parede celular. No entanto, são economicamente responsáveis pela perda do seu valor comercial ao afectar o aspecto estético e criam condições apropriadas à instalação de fungos de podridão, para além de poderem afectar significativamente a impregnabilidade da madeira [5][6].

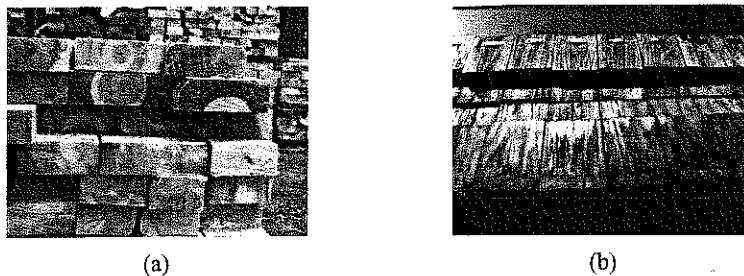


Figura 1 – a) azulamento de madeira verde; b) azulamento em serviço e bolores.

Os fungos cromogéneos revestem-se de elevada relevância, não apenas no ataque a madeira recentemente abatida, mas igualmente em material aplicado e com acabamentos ou revestimentos (e.g. caixilharias e pavimentos). Os fungos de podridão, a que correspondem várias espécies e que são capazes de alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, são normalmente dispersos por esporos presentes na atmosfera. Quando estes esporos (na ordem dos 10 μm de dimensão) atingem a superfície de uma madeira com as condições de humidade necessárias, germinam desenvolvendo pequenos filamentos, as hifas, que penetram o interior da madeira.

As hifas são as estruturas que correspondem à fase de desenvolvimento responsável pela degradação da madeira. Através da libertação de substâncias químicas (enzimas), atacam a parede celular permitindo a absorção dos diferentes nutrientes. A existência de humidade elevada é condição necessária para a ocorrência deste processo, embora não exista um valor bem definido de teor em água a partir do qual a degradação por fungos de podridão possa ocorrer. Para a maioria das espécies, as condições óptimas encontram-se próximas dos valores de saturação das fibras, mas este valor pode variar em função das espécies de fungo e de madeira. Em geral, valores inferiores a 22% impedem o mecanismo de acção que conduz à degradação da madeira [4].

Para além da humidade, outros factores, como a temperatura, podem intervir no desenvolvimento dos fungos de podridão condicionando o desenvolvimento das hifas. No interior da madeira, as hifas tendem a agregar-se formando uma massa ramificada denominada micélio, que apenas se produz num intervalo de temperaturas específico para cada espécie (na generalidade, os valores óptimos situam-se entre os 20°C e os 30°C) e cuja morfologia é factor diagnosticante da espécie de fungo.

2. BIODEGRADAÇÃO *VERSUS* BIODETERIORAÇÃO

A biodegradação diz respeito ao processo de decomposição de materiais (sobretudo de origem orgânica) por acção de seres vivos (Figura 2a). A biodeterioração foi definida como

“any undesirable change in the properties of a material caused by the vital activities of organisms” [7] (Figura 2b).

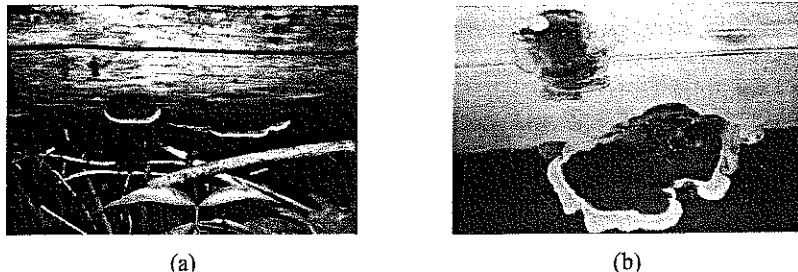


Figura 2 – Biodegradação ou biodeterioração;
 (a) Fungo de podridão seca em meio natural - biodegradação; (b) Fungo de podridão
 seca na construção - biodeterioração.

3. SUSTENTABILIDADE E MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

Em 1987, a Comissão da ONU para o Ambiente e Desenvolvimento elaborou a definição de que desenvolvimento sustentável é aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”. A sustentabilidade deve ser atingida em três dimensões interdependentes, relacionadas com o ambiente, a economia e a sociedade [8]

A madeira é um material natural, renovável e com um papel fundamental para o objectivo “carbono zero”. No entanto, se deixarmos os agentes de biodeterioração cumprirem o seu papel a madeira será degradada e o carbono libertado. É assim fundamental considerar na construção em madeira a sua adequada protecção.

No âmbito da Acção COST E37 “Sustainability Through New Technologies For Enhanced Wood Durability” foi definido um conceito de sustentabilidade ligado a protecção da madeira adoptado por todos os países signatários da Acção: *O incremento da durabilidade da madeira deve ter em conta as necessidades no presente não comprometendo a capacidade de satisfazer as necessidades de gerações futuras. As tecnologias utilizadas devem proteger a saúde e vitalidade da economia a longo prazo, bem como o ambiente e a nossa qualidade de vida.*

Ou seja, a utilização de madeira na construção deve ter em conta quer a origem da madeira (sempre que possível de florestas com produção sustentada) quer a sua utilização racional. A durabilidade da madeira é neste contexto um factor primordial.

O conceito de “preservação de madeira” implicando quase sempre a utilização de compostos químicos, com impactos muito elevados para o homem e principalmente para o ambiente, evoluiu para uma abordagem mais lata em que se fala de “protecção da madeira” com a utilização de estratégias complementares de protecção: projecto adequado de estruturas e componentes (*protection by design*); utilização de novos produtos de madeira (por exemplo madeira modificada); desenvolvimento de produtos preservadores com

melhores características face ao ambiente; desenvolvimento de métodos e produtos de tratamento específicos (*target control*) para uma determinada praga (por exemplo utilização de sistemas de armadilhagem para térmitas); melhoria e implementação das estratégias de manutenção de edifícios e estruturas de madeira, que previnam a necessidade de tratamentos curativos; desenvolvimento de técnicas de reforço e/ou consolidação estrutural eficientes; aprofundamento dos conhecimentos sobre o ciclo de vida do material nas suas diferentes utilizações (*life cycle assessment*) e definição de boas práticas quando atinge o fim de vida.

O desenvolvimento recente de novos produtos técnicos de madeira (*engineered wood products*) permite a utilização de madeira em situações tradicionalmente associadas a outros materiais de maior impacto negativo para o Homem e o Ambiente.

4. SITUAÇÕES DE APLICAÇÃO (CLASSES DE RISCO)

A madeira é utilizada em situações muito diversas de exposição, principalmente no que se refere a condições higrotérmicas ambientes, que influenciam o tipo e a velocidade de degradação do material por agentes biológicos (Figura 3).

O teor de água da madeira está por isso na base das classes de risco de aplicação estabelecidas na NP EN335-1-2 [9][10]. O risco de ataque depende, não só dos agentes biológicos presentes, como da localização da peça de madeira na construção. Para além destes factores, a conservação do material está também ligada à sua durabilidade natural, entendida como a resistência natural da madeira ao ataque por organismos vivos (fungos, insectos e xilófagos marinhos) e à sua impregnabilidade, na medida em que esta determina a viabilidade de lhe conferir protecção.

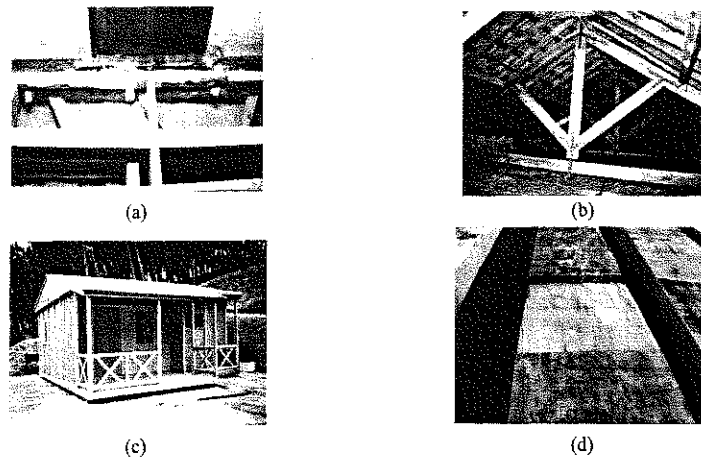


Figura 3 – Situações de aplicação da madeira em ambientes terrestres a) classe de risco 1; b) classe de risco 2; c) classe de risco 3; d) classe de risco 4.

Tabela 1 – Resumo das classes de risco, condições de humidade e agentes biológicos que poderão atacar a madeira maciça segundo a NP EN 335-2, 2011 [6][10].

Classe de Risco	Situações gerais de serviço	Exemplos de aplicação	Exposição à humidade Teor de água da madeira	Agentes biológicos relevantes
1	Interior seco	Pavimentos, lambris	seca 20% no máximo	carunchos
2	Interior com risco de humificação	Estruturas de cobertura, estruturas de paredes	ocasionalmente >20%	carunchos térmitas fungos cromogéneos e bolores podridão castanha
3	3.1 Exterior, sem contacto com o solo e protegido*	Caixilharia e portas exteriores	ocasionalmente >20%	carunchos térmitas
	3.2 Exterior, sem contacto com o solo e não protegido*	Decks sem contacto com o solo, pérgolas, painéis de vedação, soletos de madeira	frequentemente >20%	fungos cromogéneos podridão castanha podridão branca
4	4.1 Exterior, junto de /em contacto com o solo e/ou água doce	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas	predominantemente ou permanentemente >20%	carunchos térmitas
	4.2 Exterior, enterrado no solo e/ou água doce	Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	permanentemente >20%	fungos cromogéneos podridão castanha podridão branca podridão mole
5	Na água salgada	Pontões, fundações em água salgada	permanentemente >20%	xilófagos marinhos (= CR4, na parte dos elementos fora de água)

Tal como referido anteriormente, valores inferiores a 20-22% impedem o mecanismo de acção que conduz à degradação da madeira mas com variações na prática muito significativas e que levaram à publicação já no corrente ano de uma nova versão da EN335 [11] que exclui a referência ao teor de água (Tabela 2). Paralelamente inclui um quadro que faz a ligação entre as classes de risco e as classes de serviço como definidas na EN 1995-1-1 [12] (Tabela 3).

Tabela 2 – Resumo das classes de risco, situações gerais de serviço e agentes biológicos que poderão atacar a madeira e os seus derivados, EN 335, 2013 [11].

Classe de Risco	Situações gerais de serviço	Exemplos de aplicação	Agentes biológicos relevantes
1	Interior seco	Pavimentos, lambris	carunchos
2	Interior ou sob coberto, sem exposição aos agentes atmosféricos. Possibilidade de condensação de água	Estruturas de cobertura, estruturas de paredes	carunchos térmitas fungos cromogéneos e bolores podridão castanha
3	Exterior , sem contacto com o solo, exposto aos agentes atmosféricos Quando subdividida: 3.1 Humidificação possível mas pouco comum 3.2 Em condições de humidificação prolongada	Caixilharia e portas exteriores Decks sem contacto com o solo, pérgolas, painéis de vedação, soletos de madeira	carunchos térmitas fungos cromogéneos bolores podridão castanha podridão branca
4	Exterior , em contacto com o solo e/ou água doce	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	carunchos térmitas fungos cromogéneos podridão castanha podridão branca podridão mole
5	Permanentemente ou regularmente submerso em água salgada	Pontões, fundações em água salgada	xilófagos marinhos (= CR4, na parte dos elementos fora de água)

Tabela 3 – Relação entre as classes de serviço (EN 1995-1-1: 2004 [12]) e as classes de risco (EN 335:2013 [11]).

Classe de serviço de acordo com a EN 1995-1-1	Classe de risco possíveis de acordo com a EN 335
Classe de serviço 1	Classe de risco 1
Classe de serviço 2	Classe de risco 1 Classe de risco 2 se o componente está aplicado numa situação em que pode estar sujeito a humedecimento ocasional causado por exemplo por condensação
Classe de serviço 3	Classe de risco 2 Classe de risco 3 ou superior se o componente for usado no exterior

5. A TEORIA E A PRÁTICA

Considerando os vários factores em causa na biodeterioração causada por fungos surgem sempre muitas interrogações, sendo a maior das quais a relação entre a classe de risco teórica e as situações práticas de serviço incluindo factores como a história da construção ou as espécies de fungos presentes no local e que divergem frequentemente nas suas condições óptimas de desenvolvimento.

Diversos autores [13][14] têm nos últimos anos estudado este assunto e na Tabela 4 é apresentado um exemplo do tipo de resultados obtidos quando se comparam situações de laboratório com situações de aplicação de madeira num edifício para que exista instalação e desenvolvimento de fungos de podridão [15].

Tabela 4 – Teor de água da madeira necessário para a colonização e o desenvolvimento de 4 espécies de fungos de podridão comuns em edifícios [15].

Espécie de fungo	No laboratório		Num edifício	
	Teor de água mínimo para colonização (%)	Teor de água mínimo para podridão (%)	Teor de água mínimo para colonização (%)	Teor de água mínimo para podridão (%)
<i>Serpula lacrymans</i>	21	26 (>28)	17-25	20-55
<i>Coniophora puteana</i>	18	22 (25)	15-24	30-70
<i>Antrodia sp.</i>	22	29	20-30	35-55
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	28	30	c. 30	40-60

A classe de risco 3 é tipicamente aquela onde se verificam mais dúvidas sobre a relação entre os valores obtidos em ensaios de laboratório e mesmo em ensaios de campo e a degradação real que ocorre na prática.

Um dos métodos adoptados para a avaliação da durabilidade natural ou adquirida da madeira fora do contacto com o solo é o chamado "double-layer method" que tem vindo a ser aplicado, há 6 anos, num ensaio circular promovido pela Acção COST E37. Nos ensaios de campo participam 10 países e os resultados recentemente compilados [16] apontam para diferenças geográficas significativas particularmente em materiais com um historial de aplicação em construção mais curto como é o caso da madeira termicamente modificada.

No caso da exposição efectuada no LNEC em Lisboa estão a ser ensaiados 5 conjuntos de provetes: casquinha (*Pinus sylvestris*, controlo), casquinha tratada com um produto em solvente orgânico (2 concentrações) e espruce (*Picea abies*) modificado termicamente (2 níveis de tratamento). Depois de 6 anos de exposição apenas a casquinha tratada (1,8 e 4 kg/m^3) não apresenta sintomas de forte deterioração embora em termos estéticos a sua alteração tenha sido significativa (Figura 4).

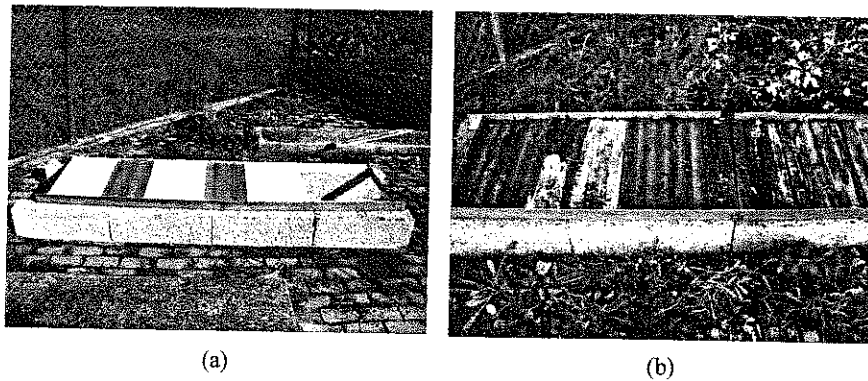


Figura 4 – Ensaio de campo "doble layer". a) No início (2006); (b) depois de 6 anos de exposição (2012).

Paralelamente, foi iniciada igualmente em 2006 a monitorização e registo do teor de água da madeira aplicada numa ponte no Parque das Nações em Lisboa (Figura 5). A madeira aplicada é a mesma que apresentou os piores resultados (mesmo modificada) no ensaio descrito anteriormente, o espruce (*Picea abies*).

No entanto, neste caso, aos 6 anos de exposição a condições atmosféricas semelhantes não correspondeu uma situação semelhante de degradação e os registos do teor de água confirmam não terem sido atingidas por períodos significativos as condições propícias à degradação.

Estes dois exemplos ilustram de forma clara as diferenças de exposição possíveis no âmbito do que se convencionou chamar classe de risco 3. A aplicação da madeira na ponte pedonal é enquadrável na classe de risco 3.1 e não apresenta degradação significativa após 6 anos de exposição aos agentes atmosféricos. A manutenção regular dos acabamentos permitiria a reposição das condições estéticas iniciais. O ensaio de campo "double layer" correspondente a uma aplicação classe de risco 3.2 apresenta um nível de degradação da madeira, após um período semelhante de exposição, que pode ser considerado grave.

Figura

De referi
estrutura
obtido [1

AGRAD

Este tra
Sustentab
(PTDC/E

6. REFE

- [1] Ray
Joh
- [2] Don
pres
- [3] Mat
and :
- [4] Dick
Micr

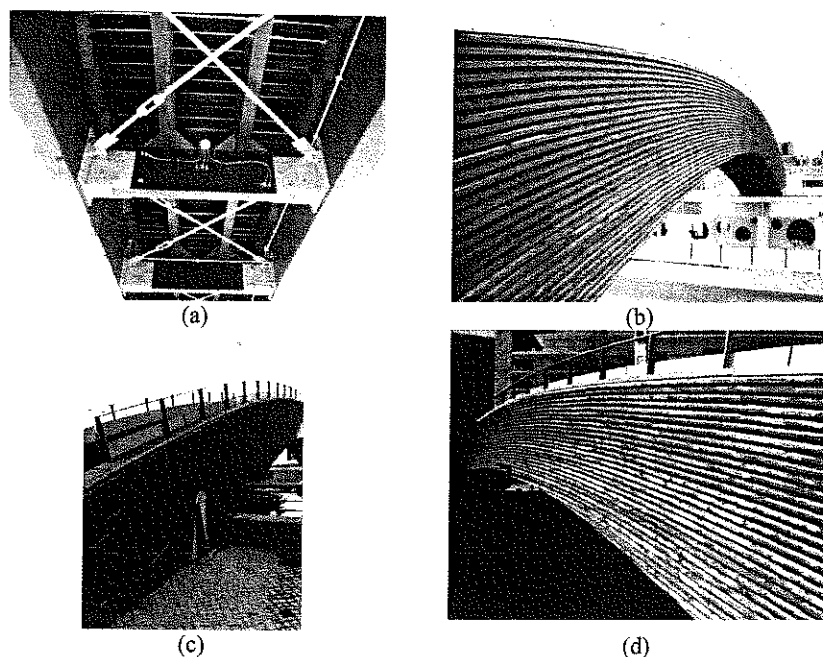


Figura 5 – Monitorização do teor de água numa ponte pedonal. Aspecto da madeira em 2006 (a e b) e em 2012 (c e d).

De referir, por último que os dados obtidos, apenas no primeiro ano de monitorização da estrutura, permitiram a validação de modelos numéricos que apontavam já para o resultado obtido [17].

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projecto FCT - MONITOR - Sustentabilidade de estruturas por via da monitorização do risco de degradação (PTDC/ECM/099121/2008).

6. REFERÊNCIAS

- [1] Rayner A.D.M., Boddy, L., Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. *John Wiley & sons*, Chichester, 1988.
- [2] Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T., Compendium of soil fungi. Academic press, London, 1980.
- [3] Mattsson, J., Flyen, A.-C., Nunez, M., Wood decaying fungi in protected buildings and structures on Svalbard, *Agarica* vol. 29, pp. 5-14, 2010.
- [4] Dickinson, D.J., Levy, J.F., Timber and Forest Products, in *Encyclopedia of Microbiology* (5), pp. 231-242, 1992.

- [5] CTBA, *Insectes et champignons du bois*. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement. Paris, 116 pp, 1996.
- [6] Cruz, H., Nunes, L., Madeira. In *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, ISTPress, Lisboa, 31pp, 2012.
- [7] Allsopp, D., Seal, K., Gaylarde, C. *Introduction to biodeterioration*, 2nd edition, Cambridge University Press, 237 pp, 2004.
- [8] Anon, http://www.csustentavel.com/i_glossario.php?id_gloss=s. Consultado em 2012.04.09.
- [9] NP EN 335-1, Durabilidade de madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 1: Generalidades, *Norma Portuguesa*, IPQ, Caparica, 2011.
- [10] NP EN 335-2, Durabilidade de madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 2: Aplicação à madeira maciça, *Norma Portuguesa*, IPQ, Caparica, 2011.
- [11] EN 335, Durability of wood and wood-based products – Use classes: definitions, applications to solid wood and wood-based products, *European Standard*, CEN, Brussels, March 2013.
- [12] EN 1995-1-1, Eurocode 5: Design of timber structures for earthquake resistance – Part 1: General rules for buildings, *European Standard*, CEN, Brussels, November 2004.
- [13] Viitanen, H., Factors affecting the development of biodeterioration in wooden constructions, *Materials and Structures*, n° 27, pp. 483-493, 1994.
- [14] Brischke, C., Rapp, A.O., Influence of wood moisture content and wood temperature on fungal decay in the field: observations in different micro-climates, *Wood Science and Technology*, n° 42, pp. 663-677, 2008.
- [15] Viitanen, H., Ritschkoff, A.-C., Brown rot decay in wooden constructions. Effect of temperature, humidity and moisture, *Report No. 222. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products*, 1991.
- [16] Westin, M., Conti, E., Creemers, J., Flaete, P.-O., Gellerich, A., Irbe, I., Klamer, M., Mazela, B., Melcher, E., Moeller, R., Nunes, L., Palanti, S., Reinprecht, L., Suttie, E., Vittanen, H, Report on COST E37 round robin tests – Comparison of results from laboratory and field tests. IRG/WP 13-. *Proceedings IRG Annual Meeting 2013*. Stockholm, Suécia. International Research Group on Wood Protection, Stockholm. 2013.
- [17] Fortino, S., Genoese, A., Genoese, A., Nunes, L., Palma, P., Numerical modelling of the hygrothermal response of timber bridges during their service life: a monitoring case-study, submitted for publication.

S.
Fi
Bi
SF
bir
AE
The
dev
autl
pro-
fire
Eur
exa
The
guic
expo
info
Eurc
prac
fulfi
KEY
TIM
1. IN
Timb
becau
simpl
exper
contir
from
is a p
materi
import
attenti
New c
efficien
mainly
the cor

Casas de Madeira

Seminário

INEC, Lisboa, 2013

Editado por:

Paulo B. Lourenço, Jorge M. Branco, Helena Cruz e Lina Nunes

Organização:



Escola de Engenharia
Universidade do Minho



Instituto for Sustainability and
Innovation in Structural Engineering