



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CONFIDENCIAL

PROPOSTA DE NORMA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE MADEIRA DE CRIPTOMÉRIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Caracterização da madeira de criptoméria açoriana

RELATÓRIO 124/2015 – DE/NCE





LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CONFIDENCIAL

PROPOSTA DE NORMA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE MADEIRA DE CRIPTOMÉRIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Caracterização da madeira de criptoméria açoriana

AZORINA – Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação
da Natureza, SA

Lisboa • abril de 2015

I&D ESTRUTURAS

RELATÓRIO 124/2015 – DE/NCE

Título

PROPOSTA DE NORMA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE MADEIRA DE CRIPTOMÉRIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Caracterização da madeira de criptoméria açoriana

Autoria

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

José Saporiti Machado

Investigador Auxiliar, Núcleo de Comportamento de Estruturas

António Silva

Técnico Superior, Núcleo de Comportamento de Estruturas

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 124/2015

Proc. 0302/121/19301

PROPOSTA DE NORMA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE MADEIRA DE CRIPTOMÉRIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Caracterização da madeira de criptoméria açoriana

Resumo

O presente relatório apresenta uma proposta de norma de classificação visual de madeira de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don para fins estruturais baseada na relação das suas singularidades (analisadas no relatório LNEC 66/2015) com as suas propriedades físicas e mecânicas. A proposta é feita obedecendo ao disposto nas normas europeias de referência (EN 338, EN 384, EN 408 e EN 14801-1).

Este documento foi elaborado no âmbito do projeto estabelecido com a AZORINA, Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, SA (Ajuste Direto nº 36/AZORINA/2013).

Palavras-chave: Açores / Criptoméria / Características mecânicas / Classificação

PROPOSAL FOR A STRENGTH VISUAL GRADING STANDARD FOR SUGI

Characterisation of azorian sugi timber

Abstract

A proposal for a visual strength grading standard for *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don timber is presented. The grading is based on the relation between different timber features (analysed in LNEC 66/2015 report) and the physical and mechanical characteristics showed by this timber. The proposal is established following the reference European standards (EN 338, EN 384; EN 408 and EN 14801-1).

This document was produced within a project settled with AZORINA, Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, S.A (Ajuste Direto nº 36/AZORINA/2013).

Keywords: Azores / Sugi / Mechanical characteristics / Grading

Índice

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Normalização europeia de suporte à classificação de madeira para fins estruturais	1
2	Amostragem	3
2.1	Condicionamento e preparação dos provetes para ensaio	3
2.2	Campanha experimental.....	4
2.2.1	Ensaio de flexão estática	4
2.2.2	Ensaio de determinação da massa volúmica	5
2.2.3	Ensaio de determinação do teor de água.....	6
3	Análise dos resultados	7
3.1	Análise global.....	7
3.2	Influência das singularidades nas propriedades de referência	13
3.2.1	Tensão de rotura à flexão	13
3.2.2	Módulo de elasticidade à flexão	16
3.2.3	Massa volúmica	19
3.3	Aplicação das normas NP 4305 e NF B52-001-1+A1	20
4	Proposta de norma de classificação visual para fins estruturais	22
4.1	Proposta de norma para classificação visual de madeira de criptoméria para fins estruturais	22
4.2	Marcação CE	26
5	Conclusões.....	27
	Referências Bibliográficas	29
	ANEXO Características físicas e mecânicas determinadas sobre os provetes ensaiados	31

Índice de figuras

Figura 1.1 – Esquema das vias possíveis para obtenção da marcação CE.....	2
Figura 2.1 – Esquema de ensaio (h – largura do provete; w – deformação medida a meio vão)	4
Figura 3.1 – Distribuição da massa volúmica nas amostras provenientes das duas ilhas.....	7
Figura 3.2 – Distribuição da massa volúmica pelos diversos povoamentos (P) das duas proveniências (SM – S. Miguel; T – Terceira)	8
Figura 3.3 – Distribuição da tensão de rotura à flexão nas amostras provenientes das duas ilhas.....	8
Figura 3.4 – Distribuição da tensão de rotura à flexão pelos diversos povoamentos (P) das duas proveniências (SM – S. Miguel; T – Terceira)	9
Figura 3.5 – Distribuição do módulo de elasticidade à flexão nas amostras provenientes das duas ilhas.....	9
Figura 3.6 – Distribuição do módulo de elasticidade pelos diversos povoamentos (P) das duas proveniências (SM – S. Miguel; T – Terceira)	10
Figura 3.7 – Distribuição da qualidade de acordo com a proveniência Ilha Terceira e o povoamento	10
Figura 3.8 – Distribuição dos provetes pelas diversas classes de resistência	11
Figura 3.9 – Causas para a não inclusão dos provetes na classe de resistência C14	11
Figura 3.10 – Provete de S. Miguel durante ensaio mecânico	12
Figura 3.11 – Relação do KAR com a tensão de rotura à flexão.....	14
Figura 3.12 – Relação do diâmetro dos nós com a tensão de rotura à flexão	14
Figura 3.13 – Relação do ratio dimensão dos nós largura da face ou canto com a tensão de rotura à flexão	14
Figura 3.14 – Relação da taxa de crescimento com a tensão de rotura à flexão.....	15
Figura 3.15 – Relação do fio com a tensão de rotura à flexão	15
Figura 3.16 – Relação da presença de medula com a tensão de rotura à flexão	16
Figura 3.17 – Relação do KAR com o módulo de elasticidade à flexão	17
Figura 3.18 – Relação do diâmetro dos nós com o módulo de elasticidade à flexão.....	17
Figura 3.19 – Relação do ratio dimensão dos nós largura da face ou canto com módulo de elasticidade à flexão	17
Figura 3.20 – Relação da taxa de crescimento com o módulo de elasticidade à flexão	18
Figura 3.21 – Relação do fio com o módulo de elasticidade à flexão.....	18
Figura 3.22 – Relação da presença de medula com o módulo de elasticidade à flexão.....	19
Figura 3.23 – Relação da taxa de crescimento com a massa volúmica.....	19
Figura 3.24 – Relação da presença de medula com a massa volúmica	20
Figura 3.25 – Causas de rejeição nas classes de qualidade definidas na NP 4305 [11] e na NF B52-001-1+A1 [12]	21
Figura 4.1 – Distribuição relativa da massa volúmica (linha a tracejado indica o limite de 310 kg/m ³)	22
Figura 4.2 – Limitação da taxa de crescimento (≤ 6 mm/ano) e relação com o critério expectável para a massa volúmica (≥ 310 kg/m ³). Probabilidade (P) associada à utilização da taxa de crescimento para cada tipo de evento: I – Provetes aceites e obedecendo ao limite para a taxa de crescimento e simultaneamente ao critério de massa volúmica; II – Provetes rejeitados não obstante obedecerem ao critério de massa volúmica; III – Provetes aceites não obedecendo no entanto ao critério de massa volúmica; IV – Provetes rejeitados não cumprindo simultaneamente o critério de massa volúmica e o da taxa de crescimento	23
Figura 4.3 – Distribuição relativa das peças ensaiadas pelas classes de qualidade CYS I e CYS II e rejeitadas	26

Figura 5.1 – Correlação entre: a) a tensão de rotura e o módulo de elasticidade estático; b) o módulo de elasticidade estático e o módulo de elasticidade dinâmico obtido pela aplicação do MTG.....	27
--	----

Índice de quadros

Quadro 1.1 – Propriedades de referência e complementares	2
Quadro 2.1 – Dados sobre os provetes enviados para ensaio	3
Quadro 2.2 – Teor de água dos provetes (determinado logo após o ensaio de flexão)	6
Quadro 3.1 – Módulo de elasticidade de provetes de criptoméria livres de defeitos [14]	12
Quadro 3.2 – Influência das singularidades da madeira nas propriedades de referência	13
Quadro 3.3 – Correlação entre a tensão de rotura à flexão e as singularidades da madeira de criptoméria. Comparação com valores obtidos para outras Resinosas (bibliografia)	13
Quadro 3.4 – Correlação entre o módulo de elasticidade à flexão e as singularidades da madeira de criptoméria. Comparação com valores obtidos para outras Resinosas (bibliografia)	16
Quadro 3.5 – Valores característicos das propriedades de referência das classes de qualidade da NP 4305 [11] e da NF B52-001-1+A1 [12]	20
Quadro 4.1 – Critérios de classificação	24
Quadro 4.2 – Valores característicos das propriedades mecânicas da madeira serrada de criptoméria relativos à classe de qualidade CYS	25

1 | Introdução

1.1 Objetivos

O presente relatório apresenta os resultados dos ensaios de caracterização mecânica e física da madeira de criptoméria proveniente da Região Autónoma dos Açores e apresenta uma proposta de norma portuguesa de classificação visual de criptoméria para fins estruturais. Caso esta norma venha a ser aprovada pelo Instituto Português da Qualidade servirá de base à marcação CE com base na norma harmonizada EN 14081-1 [1].

O presente trabalho insere-se no estudo “Caracterização mecânica da madeira de criptoméria de acordo com a normalização europeia em vigor (EN 338, EN408, EN 14081-1) e características de durabilidade após ser sujeita a aplicação de diferentes tratamentos de proteção contra térmitas subterrâneas (*Reticulitermes* spp.) e da madeira seca (*Cryptotermes brevis*)”. Este estudo foi realizado através de Ajuste Direto nº 36/AZORINA/2013 pela AZORINA, Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, SA.

O presente relatório complementa o relatório LNEC 66/2015-DE/NCE [2] e finaliza os trabalhos relativos à realização da tarefa de qualificação estrutural deste tipo de madeira.

1.2 Normalização europeia de suporte à classificação de madeira para fins estruturais

A capacitação de uma madeira para utilizações estruturais, nomeadamente de acordo com a norma europeia relativa ao projeto de estruturas de madeira (Eurocódigo 5) [3], pressupõe a existência de condições para que essa madeira seja sujeita a um processo de marcação CE segundo a norma harmonizada EN 14081-1 [1]. A marcação CE assegura a conformidade do produto de construção com o desempenho declarado pelo fabricante e a sua livre circulação em todo o Espaço Económico Europeu e na Turquia. Os princípios gerais da marcação encontram-se dispostos no Regulamento os Produtos da Construção [4] e a sua efetiva execução na ordem jurídica interna é feita pelo DL n.º 130/2013 [5].

A via da marcação CE por meio da classificação visual, via analisada no presente estudo, pressupõe o desenvolvimento de uma norma de classificação que indique classes de qualidade visuais atendendo à limitação da presença de singularidades ou em relação à sua extensão. Uma vez definidas essas classes importa atribuir valores de resistência a cada uma delas. A caracterização física e mecânica de madeira de seção retangular para fins estruturais deve obedecer aos critérios da norma europeia EN 384 [6]. Esta norma estabelece quais as propriedades a determinar experimentalmente, designadas de “propriedades de referência”, com vista à caracterização de madeira para fins estruturais.

Quadro 1.1 – Propriedades de referência e complementares

<i>Propriedades de referência</i> (determinadas experimentalmente)		<i>Propriedades complementares</i> (determinadas a partir das propriedades de referência)	
Resistência à flexão	f_m	Tração paralela às fibras	$f_{t,0}$
Módulo de elasticidade à flexão	E_0	Tração perpendicular às fibras	$f_{t,90}$
Massa volúmica	ρ	Compressão paralela às fibras	$f_{c,0}$
		Corte	f_v
		Módulo de elasticidade perpendicular às fibras	E_{90}

Os ensaios para determinação das propriedades de referência devem ser realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma europeia EN 408 [7]. O subsequente tratamento dos dados deverá ser feito de acordo com a norma EN 384 [6]. Uma vez calculados os valores característicos das propriedades de referência, as características mecânicas das classes de qualidade podem ser associadas a uma classe de resistência segundo a EN 338 ou declaradas com base nos valores obtidos experimentalmente (seção 5.2.2 da EN 14081-1+A1 [1]).

A figura 1 apresenta as possíveis vias para a marcação CE de madeira serrada para fins estruturais.

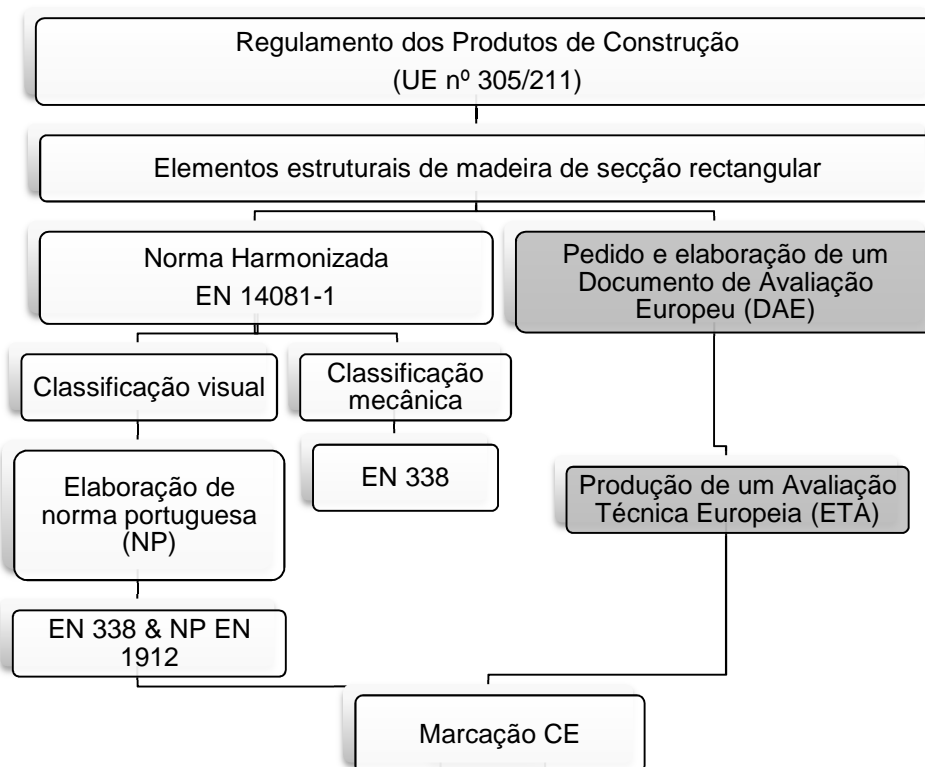


Figura 1.1 – Esquema das vias possíveis para obtenção da marcação CE

2 | Amostragem

A amostragem foi conduzida pela Azorina de acordo com os princípios definidos pelo LNEC na Nota Técnica 1/2014 – DE/NCE [9]. A amostragem considerou duas proveniências, correspondendo cada uma delas a uma ilha, tendo sido recolhidas amostras de pelo menos dois povoamentos de cada proveniência de forma a garantir a representatividade do material ensaiado. O quadro 2.1 apresenta a informação sobre o material enviado para ensaio. Informação mais pormenorizada poderá ser encontrada no Anexo I do relatório LNEC 66/2015-DE/NCE [2].

Quadro 2.1 – Dados sobre os provetes enviados para ensaio

	Proveniência				
	S. Miguel		Terceira		
	Povoamento		Povoamento		
	P1	P2	P1	P2	P3
Idade dos povoamentos (anos)	59	59	> 40	> 40	> 40
DAP médio (cm)	27,36	27,36	22,48	22,48	38,65
Número de provetes pequenos	40	40	40	-	-
Número de provetes grandes	40	40	-	33	7

DAP – Diâmetro à altura do peito

Provetes pequenos – 2000 x 100 x 40 mm³

Provetes grandes – 3000 x 150 x 50 mm³

2.1 Condicionamento e preparação dos provetes para ensaio

Os provetes foram entregues no LNEC tendo sido avaliado o seu teor de água através da utilização de um humidímetro baseado na resistência elétrica (GANN Hydromette HT 85 T com elétrodo de percussão e com precisão de 2%). Todos os provetes evidenciando um teor de água acima dos 18% foram separados e mantidos num ambiente condicionado (20°C ± 2°C de temperatura e 65% ± 5% de humidade relativa do ar) até atingirem um teor de água abaixo dos 18%.

Os provetes foram de seguida analisados visualmente para a caracterização das singularidades [2] e posteriormente ensaiados à flexão estática.

2.2 Campanha experimental

No Anexo A são apresentados os valores de massa volúmica, tensão de rotura e módulo de elasticidade global obtidos para cada um dos provetes (valores de ensaio corrigidos de acordo com os requisitos da EN 384 [6]).

2.2.1 Ensaio de flexão estática

Antes da realização do ensaio, os provetes foram pesados e medidos (largura, espessura e comprimento). O ensaio de flexão estática foi conduzido de acordo com a EN 408 [7]. A figura 2.1 apresenta o esquema de ensaio. Os ensaios foram realizados na Unidade de Avaliação de Produtos e Sistema de Madeira – UAPM, utilizando uma máquina universal de ensaios mecânicos SHIMADZU com uma célula de carga de 250kN (classe de precisão 1).

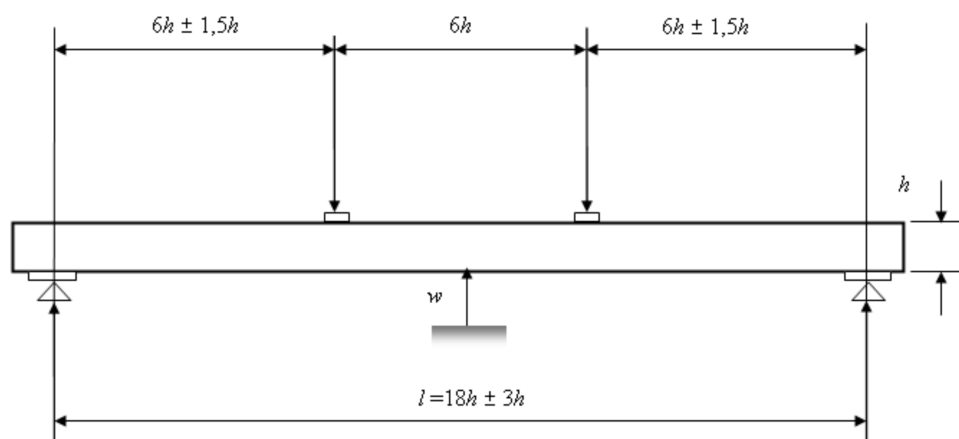


Figura 2.1 – Esquema de ensaio (h – largura do provete; w – deformação medida a meio vão)

O ensaio foi conduzido com controlo de deslocamento da cabeça da máquina. Assim, foi imposta uma velocidade de 0,12 mm/s e de 0,17 mm/s para os provetes, pequenos e grandes respetivamente, provenientes de São Miguel, e uma velocidade de 0,12 mm/s e de 0,15 mm/s para os provetes, pequenos e grandes respetivamente, provenientes da Terceira. A velocidade imposta encontra-se abaixo da velocidade máxima definida na EN 408 [7] de 0,003 h mm/s. Durante o ensaio foi registado o deslocamento a meio vão (dois LVDTs tipo DCT1000A, alcance ± 25 mm) e a força.

A determinação da resistência e do módulo de elasticidade global à flexão obedeceu ao descrito nas seções 19 e 10, respetivamente, da norma EN 408 [7]. A resistência à flexão foi determinada através da equação 1.

$$f_m = \frac{3 \times F \times a}{b \times h^2} \quad (1)$$

Onde: f_m – Tensão de rotura à flexão (N/mm²)
 F – Força de rotura (N)
 a – Distância entre um ponto de apoio e o ponto de carga mais próximo (mm)
 b – Espessura do provete (mm)
 h – Largura do provete (mm)

De acordo com a EN 384 [6], desde que o teor de água dos provetes esteja entre 8% e 18% aquando do ensaio mecânico não se torna necessário ajustar a resistência à flexão para um valor de referência de teor de água de 12%.

O módulo de elasticidade foi determinado de acordo com a equação 2.

$$E_{m,g} = \frac{3 \times a \times l^2 - 4 \times a^3}{2 \times b \times h^3 \times \left(2 \times \frac{d_2 - d_1}{F_2 - F_1} \right)} \quad (2)$$

Onde: $E_{m,g}$ – Módulo de elasticidade global à flexão (N/mm²)
 $F_2 - F_1$ – Incremento de carga na zona de comportamento elástico utilizada para ajustar uma reta de regressão linear com um coeficiente de correlação superior ou igual a 0,99 (N)
 $d_2 - d_1$ – Incremento de deformação correspondente a $F_2 - F_1$ (mm)
 a – Distância entre um ponto de apoio e o ponto de carga mais próximo (mm)
 b – Espessura do provete (mm)
 h – Largura do provete (mm)

De acordo com a EN 384 [6], torna-se necessário ajustar o valor do módulo de elasticidade à flexão dos provetes para um valor de referência de teor de água de 12%, equação 3.

$$E_{m,g,12} = E_{m,g} \times (1 + 0,01 \times (H - 12)) \quad (3)$$

Onde: $E_{m,g,12}$ – Módulo de elasticidade global à flexão a 12% de teor de água (N/mm²)

2.2.2 Ensaio de determinação da massa volúmica

Imediatamente após o ensaio de flexão foi cortado um provete com cerca de 50mm de comprimento e compreendendo toda a seção transversal. O provete foi cortado de uma zona próxima da zona de rotura tendo-se o cuidado de não conter qualquer tipo de defeito (e.g. nós), obedecendo assim aos critérios da seção 7 da EN 408 [7] relativa à recolha de amostra para ensaio de determinação da massa volúmica.

Os provetes foram pesados numa balança de 0,01g de resolução e medidas as suas dimensões usando para o efeito uma craveira de 0,01mm de resolução. De seguida foi calculada a massa volúmica através da equação 4. De acordo com a EN 384 [6], torna-se necessário ajustar o valor da massa volúmica dos provetes para um valor de referência de teor de água de 12%, equação 5.

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H} \quad (4)$$

Onde: ρ_H – Massa volúmica para o teor de água H (kg/m³)
 m_H – Massa do provete para um teor de água H (kg)
 V_H – Volume para um teor de água H (m³)

$$\rho_{12} = \rho_H \times (1 + 0,005 \times (12 - H)) \quad (5)$$

Onde: ρ_{12} – Massa volúmica a 12% de teor de água (kg/m³)

2.2.3 Ensaio de determinação do teor de água

A madeira é um material higroscópico, estando as suas propriedades físicas e mecânicas associadas ao seu teor de água. Desta forma, tal como referido anteriormente, de acordo com a EN 384 [6] torna-se necessário proceder à correção dos valores de massa volúmica e módulo de elasticidade à flexão de forma a reportar os valores obtidos a um referencial de 12% de teor de água.

Desta forma, os provetes utilizados para a determinação da massa volúmica foram após esse ensaio colocados numa estufa à temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os provetes foram mantidos nestas condições até que a diferença de peso entre duas pesagens sucessivas efetuadas com um intervalo de 2 horas fosse inferior a 0,1%; procedimento recomendado pela NP EN 13183-1:2013 [10]. O teor de água dos provetes foi calculado de acordo com a equação 6.

$$w = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

Onde: w – Teor de água (%)

m_H – Massa do provete antes da secagem (g)

m_0 – Massa do provete anidra (g)

Quadro 2.2 – Teor de água dos provetes (determinado logo após o ensaio de flexão)

		S. Miguel	Terceira
Teor de água (%)	Média	14,3	14,0
	Desvio padrão	0,67	0,60
	Valor máximo	17,6	15,7
	Valor mínimo	13,1	13,1

3 | Análise dos resultados

A análise dos resultados tendo em vista a elaboração de uma proposta de norma de classificação de madeira de criptoméria para fins estruturais teve por base as seguintes normas de classificação:

- a norma portuguesa de classificação de madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas NP 4305 [11], atendendo a tratar-se da única norma aplicável a madeira de proveniência nacional;
- a norma francesa NF B52-001-1 [12], nomeadamente a sua emenda de 2013 que inclui a classificação de madeira de criptoméria originária da Ilha da Reunião.

O ajustamento de funções densidade de probabilidade (*fdp*) obedeceu ao recomendado pelo JCSS Probabilistic Model Code [13]:

- Tensão de rotura e módulo de elasticidade à flexão – *fdp* Lognormal.
- Massa volúmica – *fdp* Normal.

3.1 Análise global

Na presente seção é feita a análise da distribuição das propriedades de referência (massa volúmica, resistência e módulo de elasticidade à flexão) pelas duas ilhas onde se procedeu à amostragem de madeira de criptoméria. Relativamente à massa volúmica, a distribuição de probabilidade Normal ajustada aos dados de ensaio não permite concluir existir uma diferença significativa entre ilhas, figura 3.1.

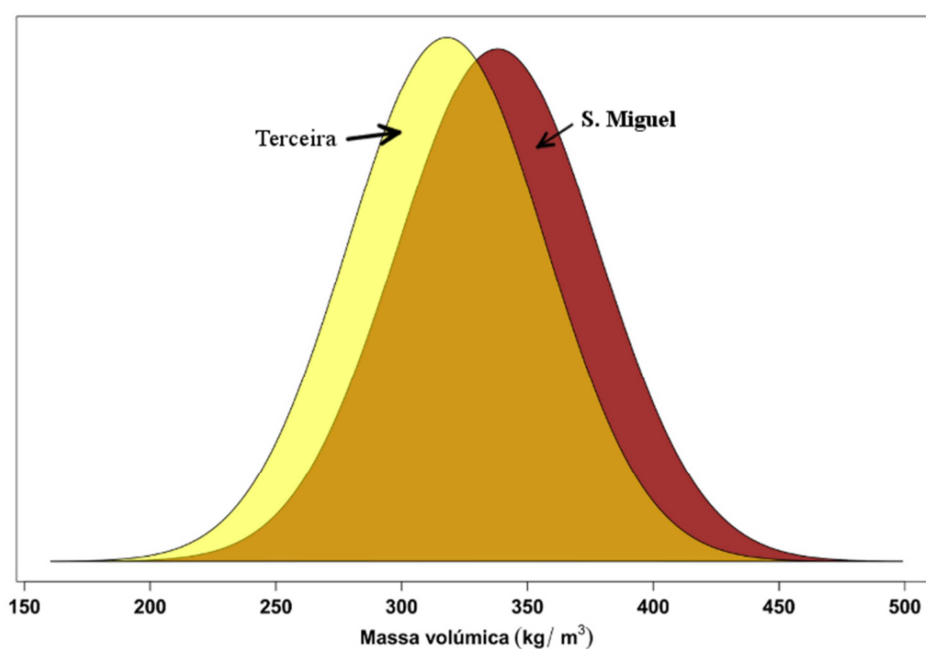


Figura 3.1 – Distribuição da massa volúmica nas amostras provenientes das duas ilhas

Analisando a distribuição por povoamentos, figura 3.2, observa-se uma diferença significativa (menor massa volúmica) no material proveniente do povoamento P3 da Ilha Terceira.

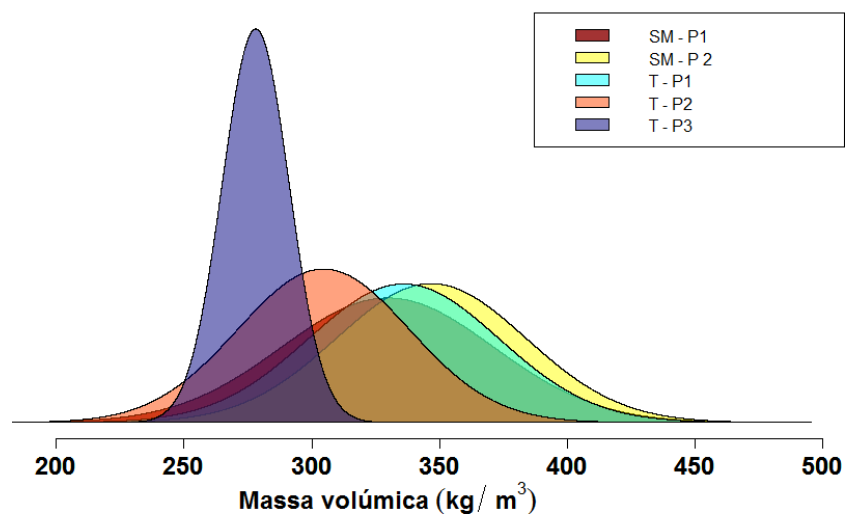


Figura 3.2 – Distribuição da massa volúmica pelos diversos povoamentos (P) das duas proveniências (SM – S. Miguel; T – Terceira)

Esta diferença está relacionada com o maior diâmetro à altura do peito das árvores provenientes deste povoamento (DAP = 38,65 cm) relativamente à mesma característica dos restantes povoamentos (22,48 cm ou 27,36 cm). Em geral para as madeiras de Resinosas¹ a um maior DAP corresponde uma maior taxa de crescimento e correspondente menor massa volúmica.

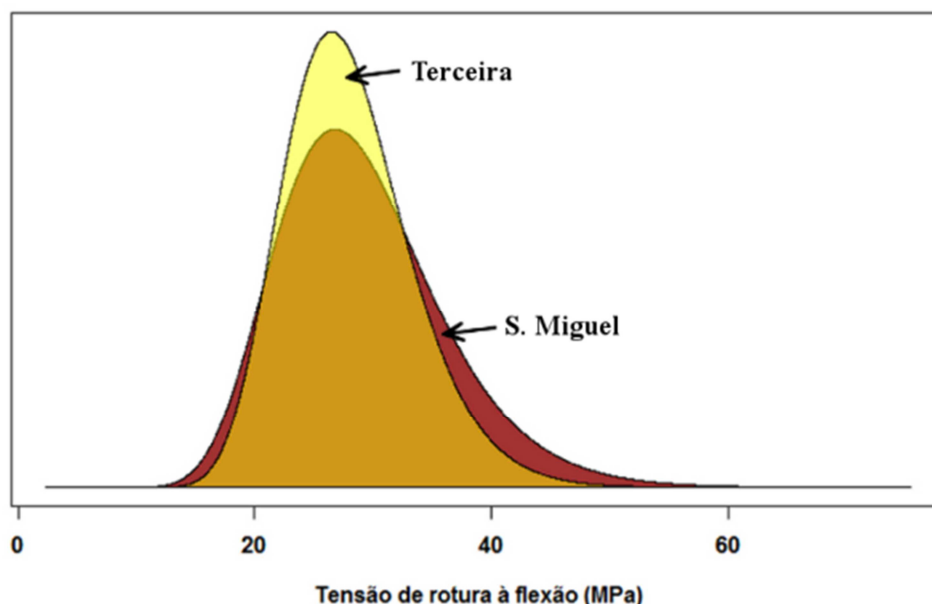


Figura 3.3 – Distribuição da tensão de rotura à flexão nas amostras provenientes das duas ilhas

¹ Resinosas – Grupo de espécies pertencentes à classe das Coníferas

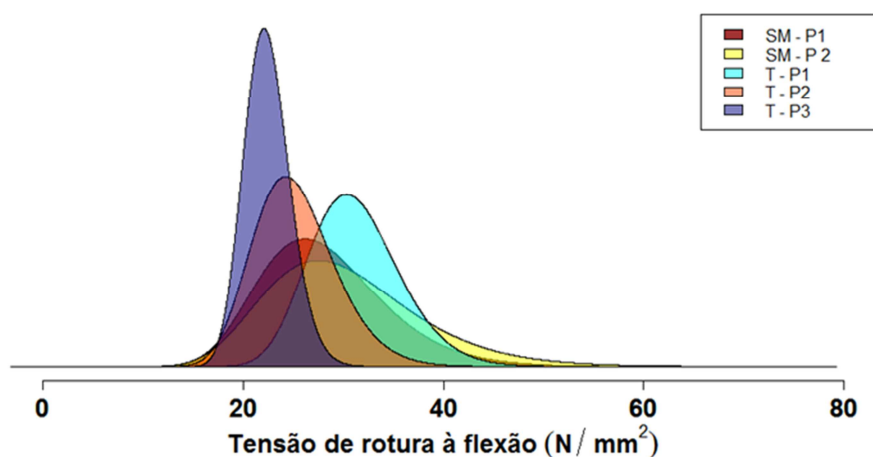


Figura 3.4 – Distribuição da tensão de rotura à flexão pelos diversos povoaamentos (P) das duas proveniências (SM – S. Miguel; T – Terceira)

As observações feitas para a massa volúmica aplicam-se igualmente à tensão de rotura, figuras 3.3 e 3.4. Relativamente ao módulo de elasticidade à flexão embora se confirme em termos gerais uma diferença não significativa entre proveniências (ilhas), figura 3.5, na Ilha Terceira os povoaamentos apresentam entre si diferenças significativas, figura 3.6.

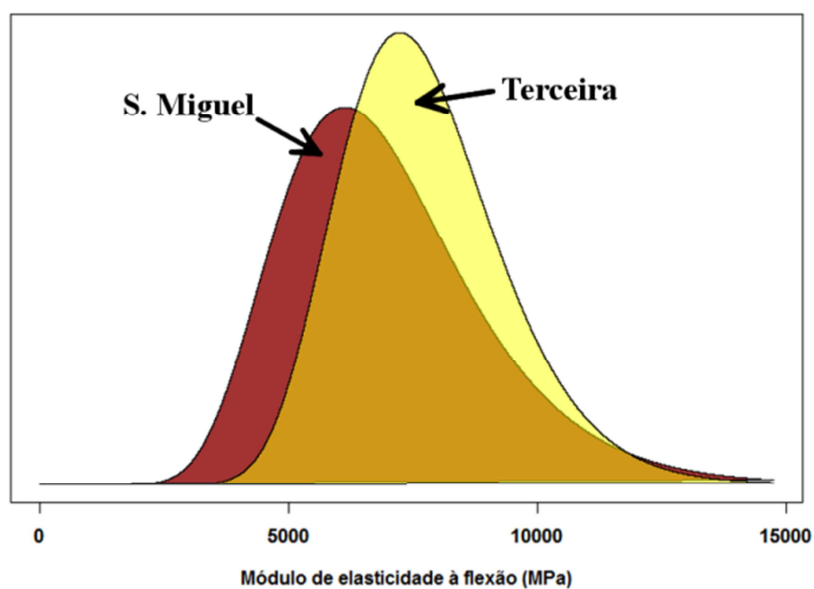


Figura 3.5 – Distribuição do módulo de elasticidade à flexão nas amostras provenientes das duas ilhas

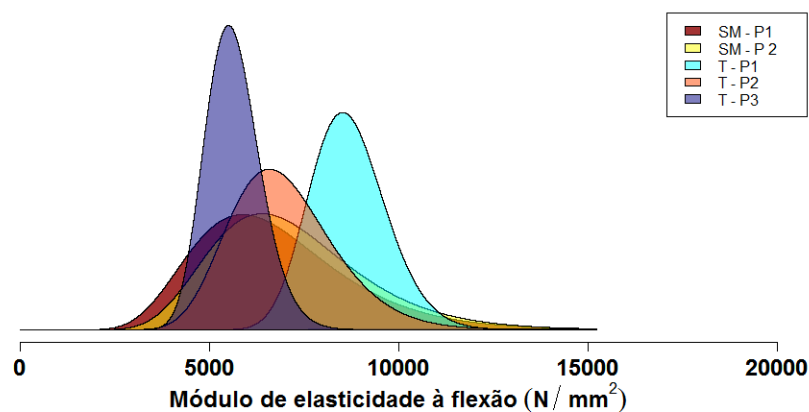


Figura 3.6 – Distribuição do módulo de elasticidade pelos diversos povoamentos (P) das duas proveniências (SM – S. Miguel; T – Terceira)

Tal como referido anteriormente, o comportamento do povoamento P3 é explicado pela mais baixa massa volúmica apresentada pelos provetes provenientes deste povoamento. Relativamente ao povoamento P1, os dados conhecidos não permitem explicar os valores mais elevados de módulo de elasticidade. Assim, não existem diferenças de massa volúmica, figura 3.2, nem de qualidade da madeira, figura 3.7, que permitam sustentar uma hipótese.

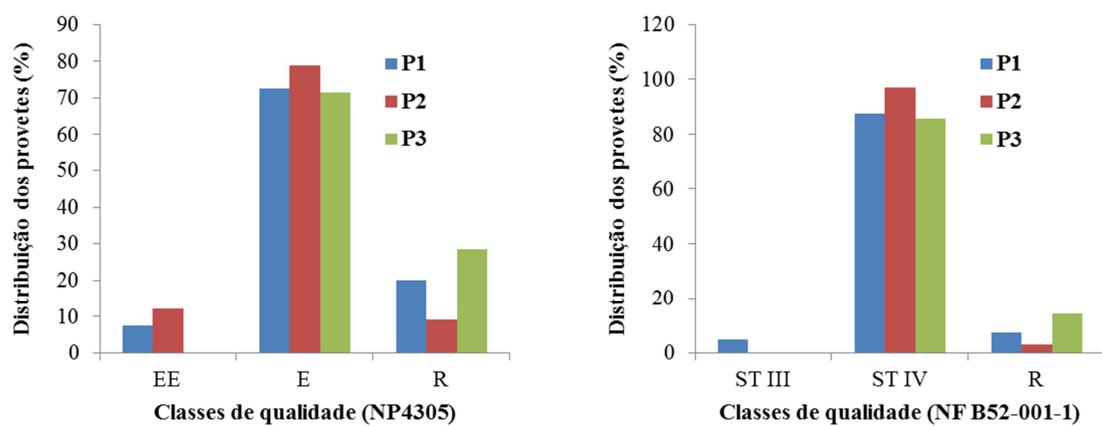


Figura 3.7 – Distribuição da qualidade de acordo com a proveniência Ilha Terceira e o povoamento

Não obstante as classes de resistência terem uma abordagem de grupo, i.e. é aceitável que uma percentagem dos provetes esteja abaixo dos requisitos impostos para as propriedades de referência (5% no caso da tensão de rotura e da massa volúmica e 50% no caso do módulo de elasticidade), é realizada a separação dos provetes pelas classes de resistência de forma a analisar de forma simples a qualidade mecânica do conjunto do material amostrado.

Assim a distribuição dos provetes pelas diversas classes de resistência permite verificar que uma elevada percentagem (40%) não consegue atingir os requisitos da classe C14 (classe inferior), figura 3.8. Refira-se que a classe ST-III e ST-IV da norma francesa correspondem respetivamente às classes de resistência C18 e C14 para a criptoméria proveniente da Ilha da Reunião.

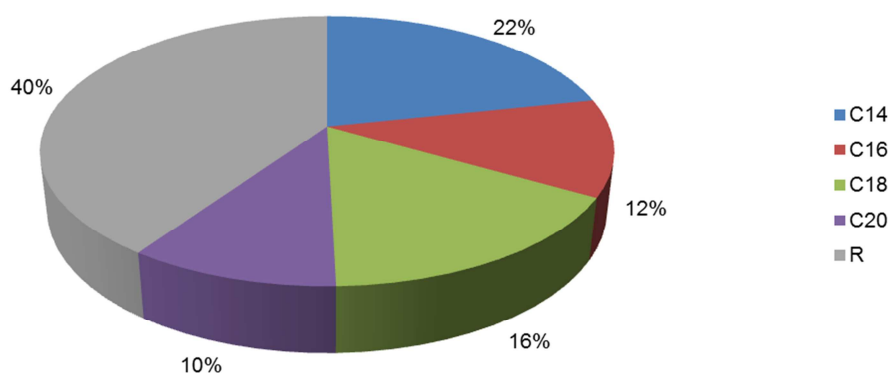


Figura 3.8 – Distribuição dos provetes pelas diversas classes de resistência

As causas de desvalorização mecânica da madeira ensaiada relativamente à classe C14 são devidas maioritariamente a um baixo valor do módulo de elasticidade (68%) e da massa volúmica (31%), figure 3.9. Realce-se que somente em 1% dos casos a tensão de rotura é o fator crítico.

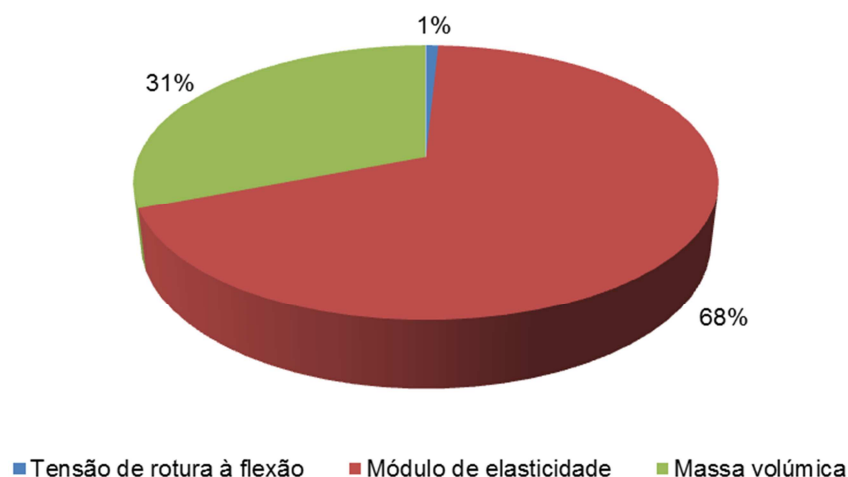


Figura 3.9 – Causas para a não inclusão dos provetes na classe de resistência C14

Os valores de módulo de elasticidade determinados no presente estudo estão de acordo com aqueles determinados para madeira limpa por defeitos por [14], quadro 3.1, e o valor médio de 3700 N/mm²

determinado no LNEC [15]. A fraca rigidez dos provetes à flexão era já perceptível no decurso dos ensaios, apresentando estes uma elevada deformabilidade (forte componente plástica) antes da ocorrência de rotura, figura 3.10. Este comportamento não pode ser considerado típico da madeira quando sujeita à flexão.

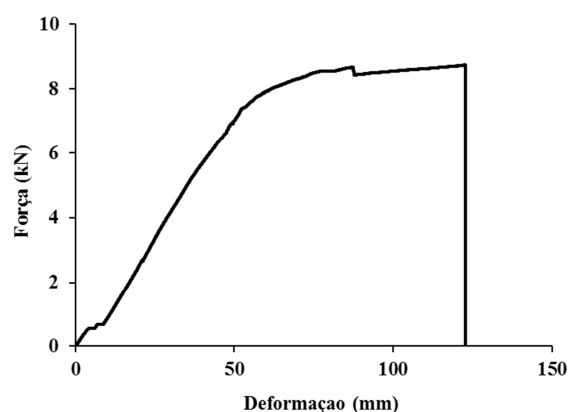


Figura 3.10 – Proвете de S. Miguel durante ensaio mecânico

Quadro 3.1 – Módulo de elasticidade de provetes de criptoméria livres de defeitos [14]

Proveniência Geral – S. Miguel	
Proveniência / idade do povoamento / taxa de crescimento	Módulo de elasticidade à flexão (N/mm ²)
Furnas Idade 43 anos Taxa de crescimento 4,1 mm	5922
Furnas Idade 41 anos Taxa de crescimento 2,5 mm	8186
Povoação Idade 40 anos Taxa de crescimento 6,3 mm	4310
Povoação Idade 47 anos Taxa de crescimento 6,0 mm	6103
Povoação Idade 46 anos Taxa de crescimento 5,2 mm	6410
Povoação Idade 28 anos Taxa de crescimento 7,0 mm	5374
Povoação Idade 33 anos Taxa de crescimento 10,1mm	2999
Povoação Idade 38 anos Taxa de crescimento 6,5 mm	3821

3.2 Influência das singularidades nas propriedades de referência

As normas de classificação visual baseiam-se em variáveis (neste caso singularidades da madeira) que apresentam uma correlação fraca (coeficiente de correlação entre 0,2 e 0,4) a média (coeficiente de correlação entre 0,4 e 0,6) com as propriedades de referência e variáveis (quadro 1.1) que não tendo correlação direta com estas propriedades afetam as possibilidades de aplicação das peças em obra, quadro 3.2. A classificação da correlação (elevada, média, fraca e muito fraca) baseia-se no critério estabelecido em [13].

Quadro 3.2 – Influência das singularidades da madeira nas propriedades de referência

Singularidades utilizadas na classificação visual de madeira para fins estruturais	
Apresentando correlação com as propriedades de referência	Não apresentando correlação com as propriedades de referência
Nós; Fio; Taxa de crescimento; Fendas; Medula; Deterioração biológica	Descaio; Empenos; Bolsas de resina e Casca inclusa

Na presente seção são analisadas as variáveis com correlação com as propriedades de referência de forma a sustentar a imposição de limites quanto à sua presença e, assim, definir as classes de qualidade a indicar na seção 4.1 do presente documento.

3.2.1 Tensão de rotura à flexão

O quadro 3.3 apresenta a correlação obtida entre as singularidades e a resistência à flexão, comparando os resultados agora obtidos para a criptoméria com resultados obtidos para outras espécies de madeira do grupo das Resinosas.

Quadro 3.3 – Correlação entre a tensão de rotura à flexão e as singularidades da madeira de criptoméria. Comparação com valores obtidos para outras Resinosas (bibliografia)

Singularidade	Coeficiente de determinação r^2	Gama de coeficientes de determinação encontrados na literatura
Nós	*	0,27 - 0,16 [16] 0,67 [18]
Taxa de crescimento	0,18 (média)	0,33 – 0,46 [17]
Fio	*	0,18 [16] 0,15 [18]

*Não existe correlação

As figuras 3.11 a 3.15 permitem observar que, com exceção da taxa de crescimento, nenhuma das singularidades observadas apresentam correlação com a tensão de rotura à flexão.

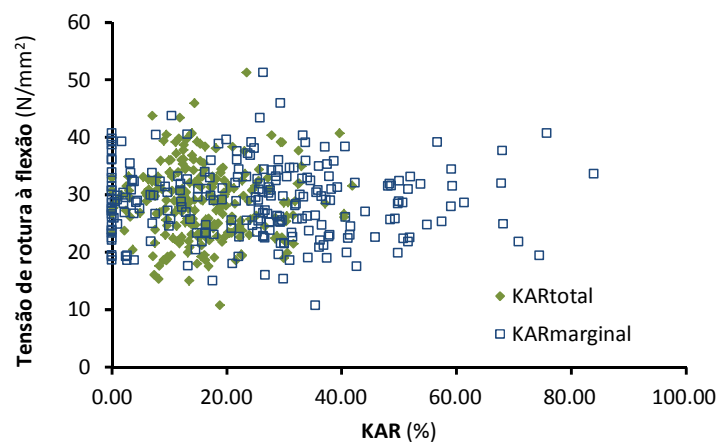


Figura 3.11 – Relação do KAR com a tensão de rotura à flexão

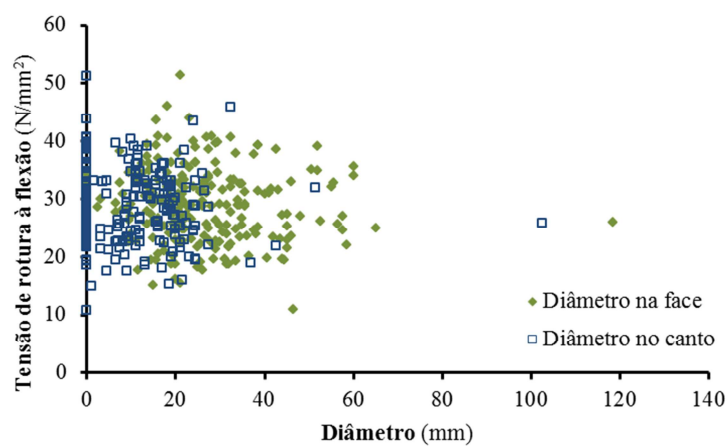


Figura 3.12 – Relação do diâmetro dos nós com a tensão de rotura à flexão

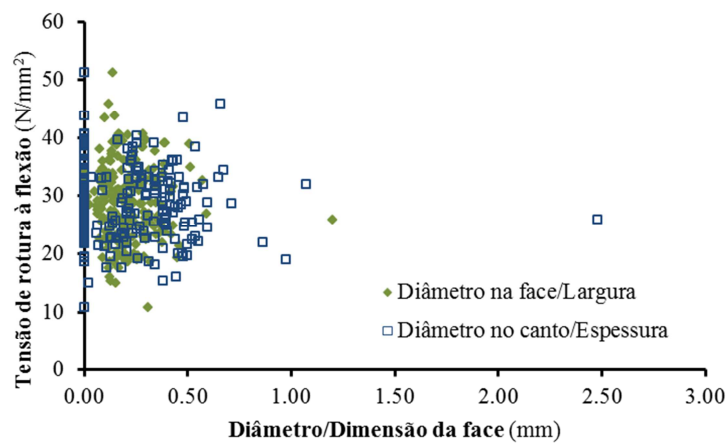


Figura 3.13 – Relação do ratio dimensão dos nós largura da face ou canto com a tensão de rotura à flexão

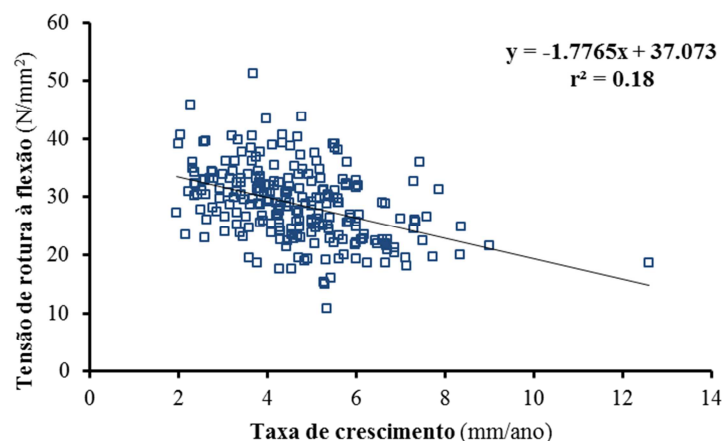


Figura 3.14 – Relação da taxa de crescimento com a tensão de rotura à flexão

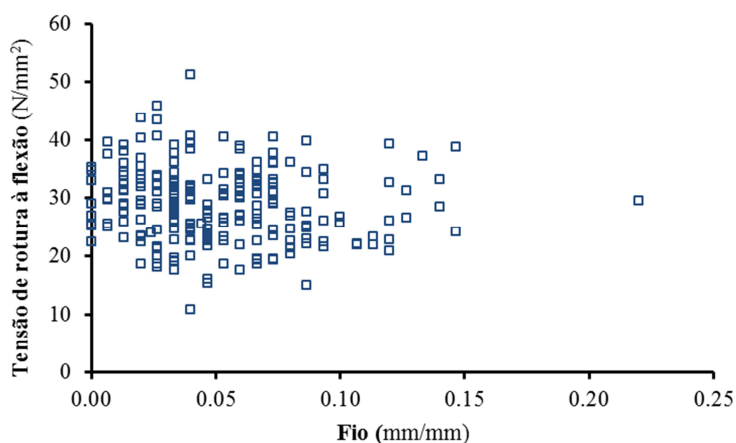


Figura 3.15 – Relação do fio com a tensão de rotura à flexão

A medula² encontra-se limitada na classe superior (classe EE) da NP 4305 [11] devido ao lenho juvenil que se lhe encontra associado. O lenho juvenil, devido às características estruturais das paredes celulares dos traqueídeos que o constitui, apresenta valores de resistência mecânica inferiores aos do lenho adulto.

A figura 3.16 permite concluir não existir uma diferença significativa no caso da criptoméria entre o conjunto das amostras com medula daquela sem presença de medula.

² Núcleo do lenho (zona central do tronco) formado por tecido primário de natureza parenquimatosa e circundado pelas camadas de crescimento

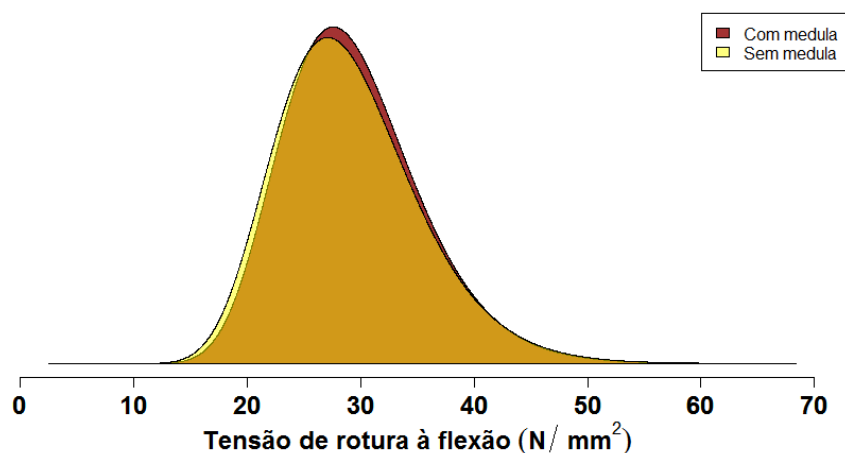


Figura 3.16 – Relação da presença de medula com a tensão de ruptura à flexão

3.2.2 Módulo de elasticidade à flexão

O quadro 3.4 apresenta a correlação obtida entre as singularidades e o módulo de elasticidade, comparando os resultados agora obtidos para a criptoméria com resultados obtidos para outras espécies de madeira do grupo das Resinosas.

Os resultados indicados no quadro 3.4 e as figuras 3.17 a 3.21 permitem concluir que somente a taxa de crescimento apresenta uma correlação significativa com o módulo de elasticidade à flexão. No entanto, a figura 3.21 permite observar que existe uma tendência para um decréscimo do módulo com o aumento do fio da madeira.

Quadro 3.4 – Correlação entre o módulo de elasticidade à flexão e as singularidades da madeira de criptoméria. Comparação com valores obtidos para outras Resinosas (bibliografia)

Singularidade	Coefficiente de determinação r^2	Gama de coeficientes de determinação encontrados na literatura
Nós	*	0,11 – 0,45 [16] 0,38 [18]
Taxa de crescimento	0,12 (fraca)	0,23 – 0,53 [16] 0,45 – 0,49 [17]
Fio	*	0,17 [16] 0,18 – 0,12 [18]

*Não existe correlação

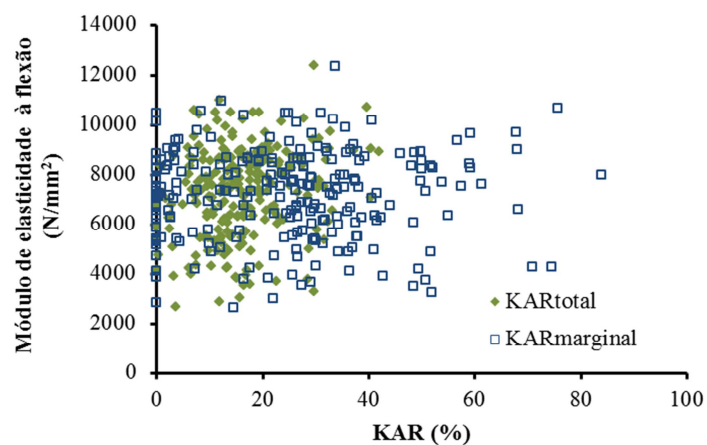


Figura 3.17 – Relação do KAR com o módulo de elasticidade à flexão

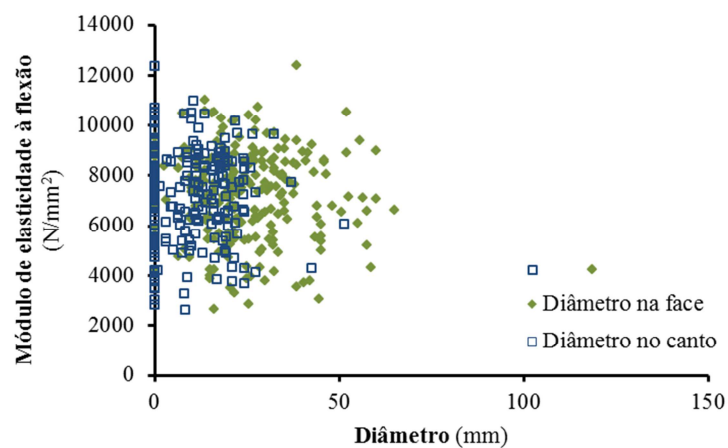


Figura 3.18 – Relação do diâmetro dos nós com o módulo de elasticidade à flexão

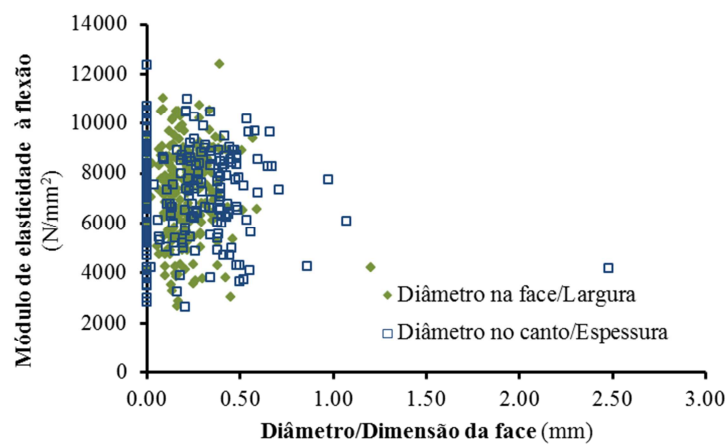


Figura 3.19 – Relação do ratio dimensão dos nós largura da face ou canto com módulo de elasticidade à flexão

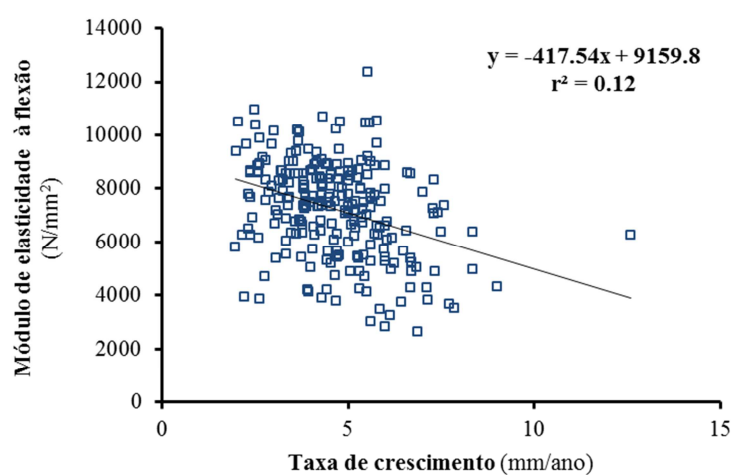


Figura 3.20 – Relação da taxa de crescimento com o módulo de elasticidade à flexão

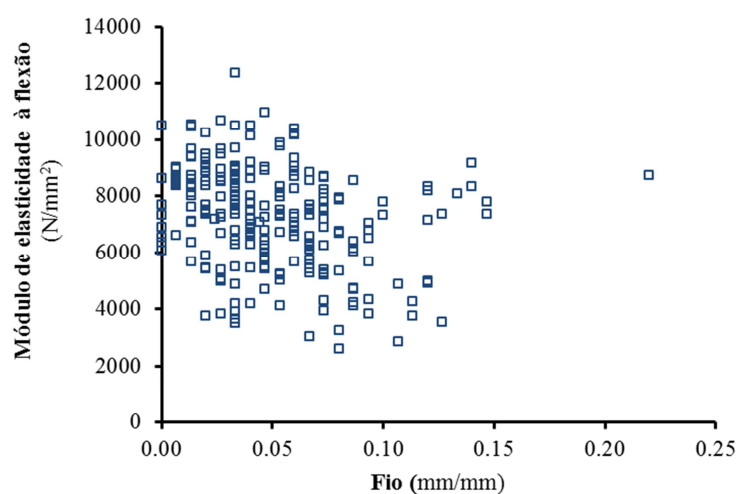


Figura 3.21 – Relação do fio com o módulo de elasticidade à flexão

A figura 3.22 permite concluir não existir uma diferença significativa entre o conjunto das amostras com medula daquela sem presença de medula.

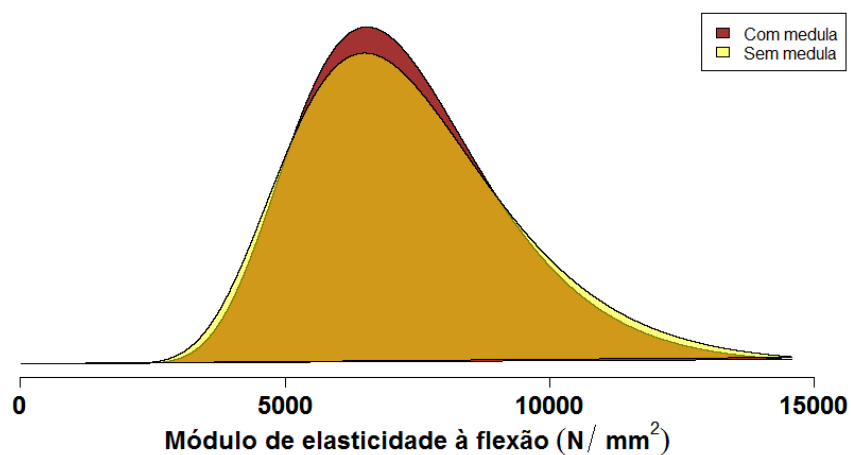


Figura 3.22 – Relação da presença de medula com o módulo de elasticidade à flexão

3.2.3 Massa volúmica

A taxa de crescimento é normalmente utilizada pelas normas de classificação de madeira para Resinosas para fins estruturais como estimador da massa volúmica. No presente estudo foi determinado um $r^2 = 0,22$ (correlação média), valor este que se situa na gama de valores observados em outros estudos (0,12 [17], 0,38 – 0,09 [16]), figura 3.23.

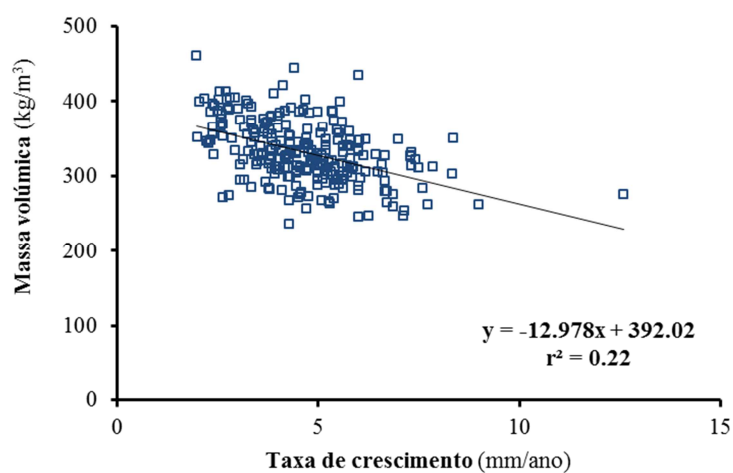


Figura 3.23 – Relação da taxa de crescimento com a massa volúmica

A figura 3.24 permite concluir não existir uma diferença significativa entre o conjunto das amostras com medula daquela sem presença de medula.

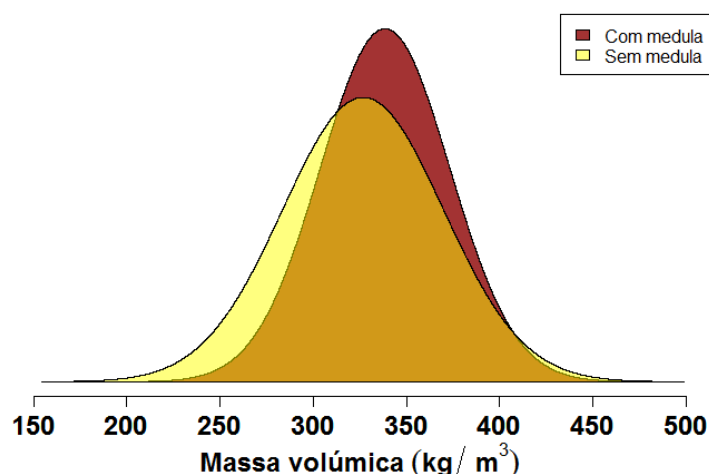


Figura 3.24 – Relação da presença de medula com a massa volúmica

3.3 Aplicação das normas NP 4305 e NF B52-001-1+A1

O quadro 3.5 apresenta os valores característicos apresentados pelas diversas classes de qualidade definidas nas normas de referência de classificação. Os resultados obtidos indicam que nenhuma das classes obedece aos requisitos da classe de resistência mais baixa definida na norma europeia EN 338 [8].

Quadro 3.5 – Valores característicos das propriedades de referência das classes de qualidade da NP 4305 [11] e da NF B52-001-1+A1 [12]

Propriedades mecânicas		Classes de qualidade			
		NP 4305		NF B52-001-1+A1	
		EE	E	ST-III	ST-IV
Tensão de rotura à flexão (N/mm ²)	$f_{m,k}$	21	18	23	19
Módulo de elasticidade à flexão (N/mm ²)					
Paralelo ao fio:					
– valor médio	$E_{o,mean}$	6900	6700	6900	6200
– valor característico	$E_{0,05}$	4600	4490	4600	4200
Massa volúmica (kg/m ³)					
– valor médio	ρ_{mean}	330	320	410	310
– valor característico	ρ_k	260	260	400	260
Classe de resistência		< C14	< C14	< C14	< C14

As causas de rejeição para as diversas classes de qualidade são apresentadas na figura 3.25.

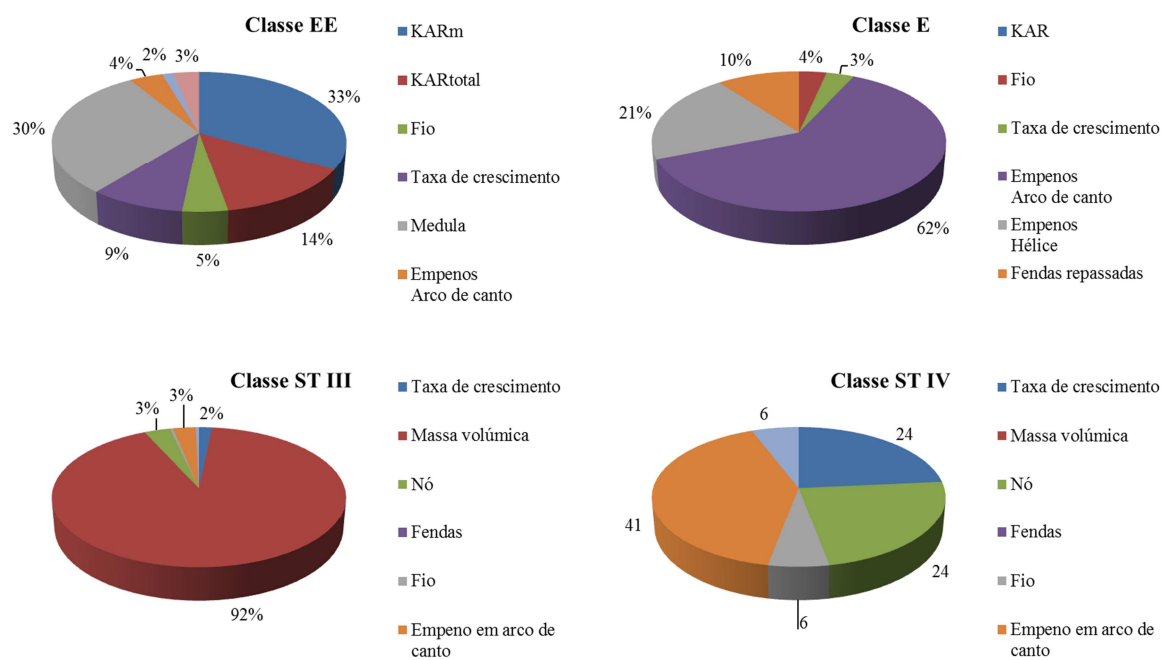


Figura 3.25 – Causas de rejeição nas classes de qualidade definidas na NP 4305 [11] e na NF B52-001-1+A1 [12]

4 | Proposta de norma de classificação visual para fins estruturais

4.1 Proposta de norma para classificação visual de madeira de criptoméria para fins estruturais

Considerando os resultados apresentados na seção 3 é proposta a criação de uma norma de classificação baseada em duas classes de qualidade. A classe superior (CYS I) é definida por apresentar peças com uma massa volúmica superior ou igual a 310 kg/m^3 . O estabelecimento deste critério, face à qualidade do material agora ensaiado, pressupõe que cerca de 68% das peças possam ser classificadas para fins estruturais na classe superior, figura 4.1.

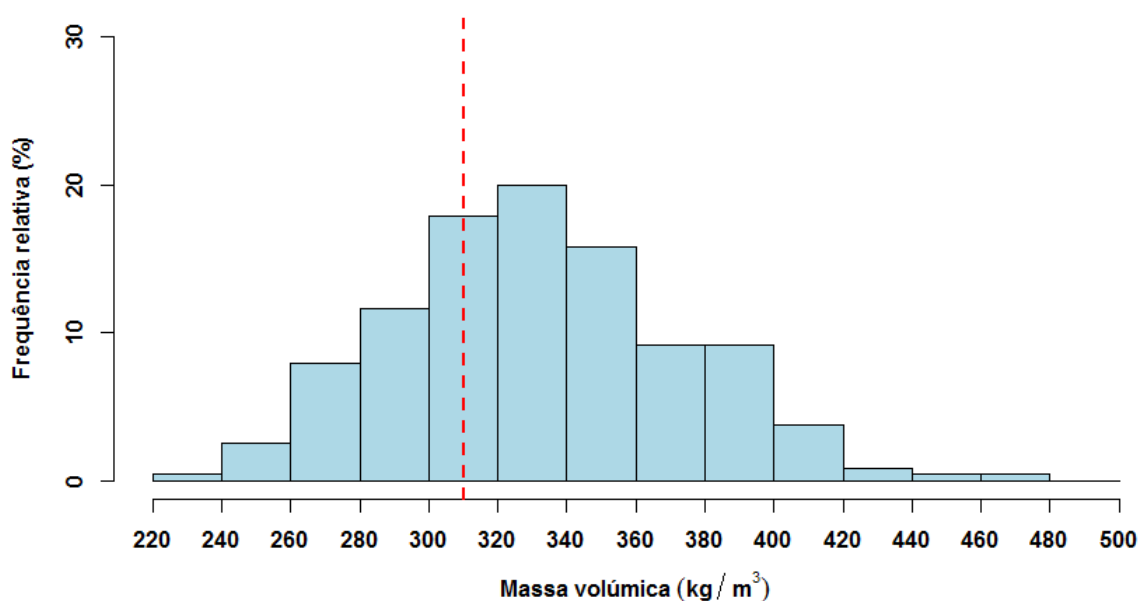


Figura 4.1 – Distribuição relativa da massa volúmica (linha a tracejado indica o limite de 310 kg/m^3)

A classificação da madeira atendendo a este limite somente poderá ser feita pela limitação da taxa de crescimento, figura 3.23, ou através da determinação direta da massa volúmica (mais morosa). Estes dois procedimentos encontram-se considerados para a classe superior (classe ST III) da norma francesa NF B52-001-1/A1 [12].

No caso da utilização da taxa de crescimento e aplicando a equação de regressão indicada na figura 3.23 limita-se a taxa de crescimento a valores inferiores ou iguais a 6 mm/ano . Analisando a figura 4.2 (transposta da figura 3.23) verifica-se que a escolha do limite de 6 mm/ano para a taxa de crescimento corresponde a uma probabilidade de 22,0% de ocorrência de provetes apresentando valores de massas volúmicas inferiores a 310 kg/m^3 . Esta situação implica um erro não aceitável associado ao

parâmetro de classificação *taxa de crescimento*. Desta forma, na classificação da classe superior (CYS I) um dos critérios impõe (tal como na norma francesa) a determinação direta da massa volúmica de forma a garantir o limite mínimo de 310 kg/m^3 . Esta imposição torna-se necessária de forma a poder propor uma classe de qualidade ajustada às classes de resistência definidas na norma europeia EN 338 [8].

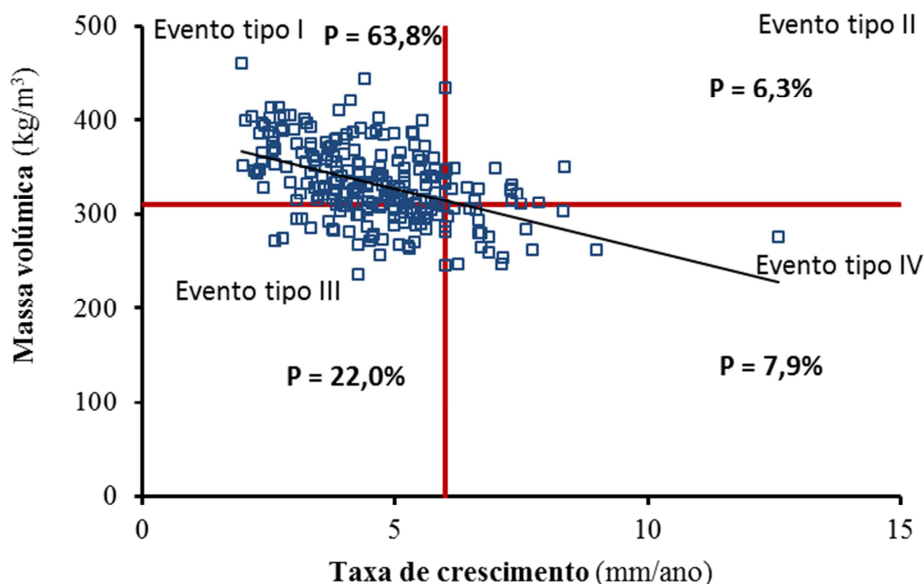


Figura 4.2 – Limitação da taxa de crescimento ($\leq 6 \text{ mm/ano}$) e relação com o critério expectável para a massa volúmica ($\geq 310 \text{ kg/m}^3$). Probabilidade (P) associada à utilização da taxa de crescimento para cada tipo de evento: I – Provetes aceites e obedecendo ao limite para a taxa de crescimento e simultaneamente ao critério de massa volúmica; II – Provetes rejeitados não obstante obedecerem ao critério de massa volúmica; III – Provetes aceites não obedecendo no entanto ao critério de massa volúmica; IV – Provetes rejeitados não cumprindo simultaneamente o critério de massa volúmica e o da taxa de crescimento

A proposta de classificação apresentada no quadro 4.1 contém ainda uma segunda classe de qualidade (classe inferior – CYS II) não englobada nas classes de resistência. Para além da questão do controlo da massa volúmica, na definição das singularidades e critérios a constar da norma foram tidos em consideração os requisitos da norma harmonizada EN 14081-1 (seção 5.2 e anexo A) [1] e os resultados da avaliação visual contidos no relatório LNEC 66/2015 [2].

O quadro 4.1 apresenta os critérios gerais de classificação sendo apresentada no quadro 4.2 os valores característicos associados às duas classes de qualidade. Na determinação do valor característico da tensão de rotura à flexão foi tido em consideração o fator k_s (considerada uma única amostra) definido na EN 384 [6].

Quadro 4.1 – Critérios de classificação

Singularidades		Classe CYS I	Classe CYS II
Nós	Na face	$\varnothing \leq 60\text{mm}; \leq 1/2 \text{ L}$	$\varnothing \leq 100\text{mm}; \leq 3/4 \text{ L}$
	No canto	$\varnothing \leq 50\text{mm}; \leq 3/4 \text{ E}$	$\varnothing \leq 50\text{mm}; \leq 3/4 \text{ E}$
Taxa de crescimento		$\leq 6\text{mm/ano}$	
Massa volúmica		$\geq 310\text{kg/m}^3$ *	$\geq 290\text{kg/m}^3$ *
Fendas	Não repassadas	Fendas cuja profundidade não ultrapasse metade da peça podem ser ignoradas	
		$\leq 1,5\text{m}$ ou $0,5 \times$ comprimento da peça**	
	Repassadas	Nos topos: $\leq 2 \times$ Largura da peça Não ocorrendo nos topos: $\leq 1\text{m}$ ou $\leq 0,25 \times$ comprimento**	
Fio		$< 1:6$	
Empenos	em arco de face (em 2m)	$< 20 \text{ mm}$	
	em arco de canto (em 2m)	$< 12 \text{ mm}$	
	em hélice (em 2m)	$< 2 \text{ mm}$ por cada 25 mm de largura da peça	
	em meia-cana	Sem restrições	
Descaio	Comprimento	$< 1/3$ do comprimento da peça ou $< 0,1 \text{ m}$ do comprimento**	
	Largura	$< 1/3$ da espessura da peça	
Casca inclusa	Não repassada	Sem restrições caso sejam mais curtas que a largura da peça Se tal não se verificar aplicam-se os limites das fendas	
	Repassada	Sem limites caso o seu comprimento seja $< 1/2$ da largura da peça Se tal não se verificar aplicam-se os limites das fendas	
Degradação biológica		Não permitidos indícios de deterioração por fungos de podridão ou insetos Permitida deterioração por fungos cromogéneos desde que a sua presença seja incipiente	
Lenho de compressão		Permitido desde que dada a sua extensão determine o desenvolvimento de empenos excessivos ou o aparecimento de fendas transversais, ou quando a madeira se destine a utilizações particularmente exigentes.	

* A um teor de água de 12%

** Aplica-se a condição mais restritiva; L – Largura da peça; E – Espessura da peça

Quadro 4.2 – Valores característicos das propriedades mecânicas da madeira serrada de criptoméria relativos à classe de qualidade CYS

Propriedades mecânicas		Classe CYS I	Classe CYS II
Flexão (N/mm ²) ^{a)}	$f_{m,k}$	19	12
Tração paralela ao fio (N/mm ²)	$f_{t,0,k}$	13	9
Tração perpendicular ao fio (N/mm ²)	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4
Compressão paralela ao fio (N/mm ²)	$f_{c,0,k}$	20	17
Compressão perpendicular ao fio (N/mm ²)	$f_{c,90,k}$	2,2	1,8
Corte (N/mm ²)	$f_{v,k}$	3,0	3,0
Módulo de elasticidade (kN/mm ²)			
Paralelo ao fio: ^{a)}			
– valor médio	$E_{0,mean}$	7	3,9
– valor característico	$E_{0,05}$	4,7	5,8
Perpendicular ao fio:			
– valor médio	$E_{90,mean}$	0,24	0,19
Módulo de distorção (kN/mm ²)	G_{mean}	0,44	0,36
Massa volúmica (kg/m ³) ^{a)}			
– valor médio	ρ_{mean}	350	290
– valor característico	ρ_k	312	250

^{a)} Características determinadas experimentalmente

A classe CYS I cumpre os requisitos da classe de resistência C14. A classe CYS II apresenta características físicas e mecânicas que a situam abaixo da classe C14 (classe mais baixa da EN 338 [8]). A figura 4.3 apresenta a representatividade estimada para as duas classes de qualidade, face aos resultados obtidos.

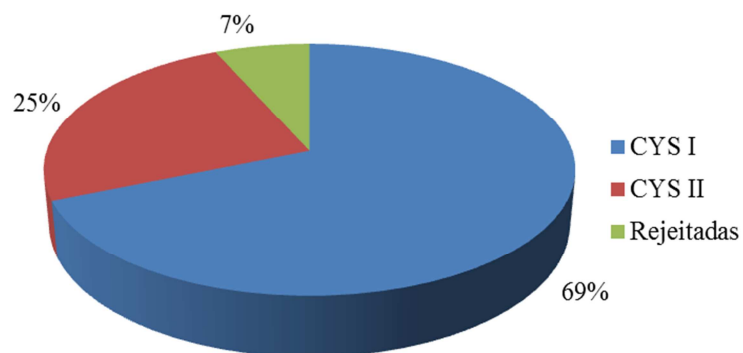


Figura 4.3 – Distribuição relativa das peças ensaiadas pelas classes de qualidade CYS I e CYS II e rejeitadas

4.2 Marcação CE

A proposta de classificação permite a marcação CE através da aplicação da norma europeia harmonizada EN 14081-1+A1. Esta marcação pressupõe a submissão ao Instituto Português de Qualidade (IPQ) de um pedido de iniciativa normativa, relativa à elaboração de uma norma de classificação de madeira de criptoméria para fins estruturais. Após a publicação da norma poderá ser submetido à Comissão Europeia de Normalização (CEN), comissão técnica TC124 *Timber Structures*, uma proposta para inclusão da classe de qualidade (e da norma de classificação) CYS I na norma europeia EN 1912 [19].

O processo de marcação CE impõe um sistema de avaliação e verificação da regularidade de desempenho 2+ com intervenção de um Organismo Notificado de Inspeção (lista de entidades portuguesas deve ser solicitada ao IPQ) – ver anexo ZA da norma harmonizada.

5 | Conclusões

O estudo realizado permite concluir que a madeira de criptoméria apresenta correlações fracas ou não existentes entre as suas propriedades físicas e mecânicas e as singularidades da madeira geralmente utilizadas na classificação visual de madeiras para fins estruturais.

Desta forma, e tal como já estabelecido pela norma francesa aplicável à madeira de criptoméria proveniente da Ilha da Reunião, torna-se necessário impor limites à massa volúmica para garantir uma variabilidade mínima e possibilitar associar uma das classes de qualidade (CYS I) a uma classe de resistência (C14).

A impossibilidade de definição de uma classe de qualidade associada a classes de resistência superiores (na norma francesa a classe ST IV é associada à classe C18) deve-se à fraca correlação entre a massa volúmica e o módulo de elasticidade. O estudo indica que não é possível definir um parâmetro visual que permita garantir uma classe acima de C14, nomeadamente que cumpra os valores característicos de módulo de elasticidade e que ao mesmo tempo garanta um mínimo de representatividade para essa classe (percentagem de peças disponíveis no mercado para essa classe de qualidade/resistência).

A possibilidade de obtenção de classes superiores fica assim aparentemente restringida à aplicação de normas de classificação mecânica. No âmbito do presente estudo esta possibilidade foi avaliada através da utilização do equipamento *Timber grader MT*. Este equipamento baseia-se na determinação do módulo de elasticidade dinâmico e da massa volúmica. Os resultados preliminares obtidos pela sua aplicação e a correlação obtida entre o módulo de elasticidade estático e a tensão de rotura à flexão sustentam a viabilidade da utilização do MTG na definição de classes de qualidade superiores à classe visual CYS I, figura 5.1.

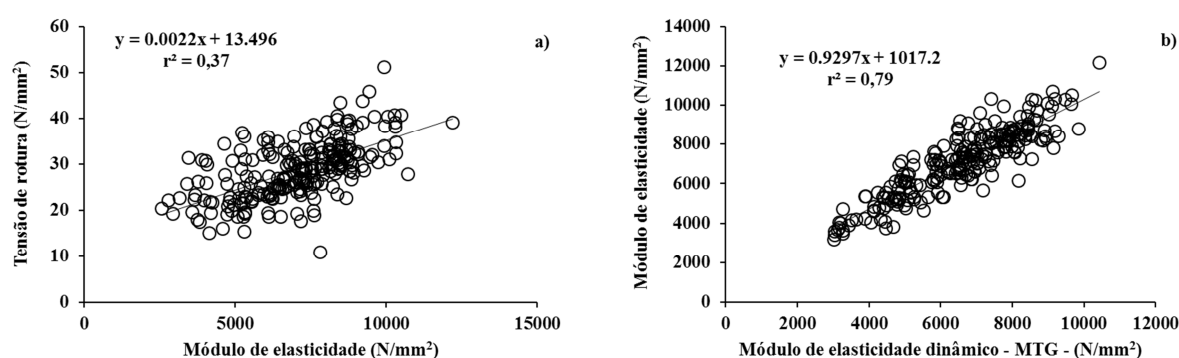


Figura 5.1 – Correlação entre: a) a tensão de rotura e o módulo de elasticidade estático; b) o módulo de elasticidade estático e o módulo de elasticidade dinâmico obtido pela aplicação do MTG

Lisboa, LNEC, abril de 2015

VISTOS

A Chefe do Núcleo de Comportamento de
Estruturas



Helena Cruz

AUTORIA



José Saporiti Machado
Investigador Auxiliar

O Diretor do Departamento de Estruturas



José Manuel Catarino



António Silva
Técnico Superior

Referências Bibliográficas

- [1] EN 14081-1:2005+A1:2011 - **Timber structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section; Part 1: General requirements**. European Committee for Standardization (CEN).
- [2] MACHADO, J. S.; SILVA, A. – **Singularidades da madeira de dimensão estrutural de criptoméria proveniente de S. Miguel e da Terceira (Região Autónoma dos Açores)**. Relatório 66/2015- DE/NCE. Documento confidencial. Lisboa: LNEC, 2015.
- [3] EN 1995-1-1:2004/A2:2014 - **Eurocode 5: Design of timber structures; Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings**. European Committee for Standardization (CEN).
- [4] REGULAMENTO (UE) nº 305/2011 - **Condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Directiva 89/106/CEE do Conselho**. 9 de Março de 2011.
- [5] Decreto-Lei n.º 130/2013.
- [6] EN 384:2010 - **Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density**. European Committee for Standardization (CEN).
- [7] EN 408:2010+A1:2012 - **Timber structures. Structural timber and glued laminated timber; Determination of some physical and mechanical properties**. European Committee for Standardization (CEN).
- [8] EN 338:2009 - **Structural timber. Strength classes**. European Committee for Standardization (CEN).
- [9] MACHADO, J. S.; NUNES, L - **Protocolo de amostragem - Madeira de Criptoméria para ensaio**. Nota Técnica 1/2014, DE-NCE. Documento confidencial. Lisboa: LNEC, 2014.
- [10] NP EN 13183-1:2013 - **Teor de água de um provete de madeira serrada; Parte 1: Determinação pelo método da secagem**. European Committee for Standardization (CEN).
- [11] NP 4305:1995 – **Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual**. Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- [12] NF B 52-001-1 :2011+A1 :2013 - **Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus - Partie 1 : bois massif**. Association Française de Normalisation (AFNOR). European Committee for Standardization (CEN).
- [13] JCSS (2006). **Probabilistic model code. Part 3.5 – Timber**. ISBN: 978-3-909386-79-6, Joint Committee on Structural Safety.
- [14] CARVALHO, A. – **Caracterização e perspetivação tecnológica das madeiras dos criptomeriais Micaelenses**. 2ª ed. Açores: Secretaria Regional da Agricultura e Florestas. Governo dos Açores, 2009. 301 p.
- [15] LNEC – **Criptoméria**. Série Madeira para construção, ficha M5. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2014. 4 p.
- [16] HANHIJÄRVI, A.; RANTAMAUNUS, A.; TURK, G. – **Potential of strength grading of timber with combined measurement**. Report of the Combigrade project – phase 1. VTT Building and Transport, Espoo, 2005. 81 p.
- [17] CRUZ, H.; MACHADO, J. S.; REIS, J. B. dos - **Portuguese maritime pine timber for structural use. Visual grading and characteristic strength values**. In 1991 International Timber Engineering Conference. Londres: TRADA, 1991. vol. 2, p.2.200-2.207.
- [18] MACHADO, J.S. – **Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (Pinus pinaster Ait.) por meio de ultra-sons**. Tese de Doutoramento. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2001, 265 p.
- [19] EN 1912:2012/AC:2013 - **Structural Timber; Strength classes; Assignment of visual grades and species**. European Committee for Standardization (CEN).

ANEXO

Características físicas e mecânicas determinadas sobre os provetes ensaiados

Identificação do provete									
LNEC	Ilha	Povoamento	Árvore	Toro	Classe diâmetro	Provete	Massa volumica	Tensão de rotura	Módulo de elasticidade
1	T	P1	A1	T2	D3	5	329,0	26,7	8846
2	T	P1	A1	T2	D3	6	332,0	29,8	8151
3	T	P1	A1	T1	D4	16	365,2	33,1	8102
4	T	P1	A1	T1	D4	17	335,7	28,6	7208
5	T	P1	A2	T4	D2	7	317,8	28,9	7878
6	T	P1	A2	T4	D2	8	329,2	31,0	8261
7	T	P1	A2	T4	D2	9	340,3	33,8	8767
8	T	P1	A2	T4	D2	10	321,9	28,8	7244
9	T	P1	A2	T3	D3	11	288,0	26,4	7394
10	T	P1	A2	T3	D3	12	282,4	34,5	8159
11	T	P1	A2	T3	D3	13	297,9	27,9	8303
12	T	P1	A2	T3	D3	14	444,2	30,8	8727
13	T	P1	A3	T3	D2	3	304,4	25,8	7649
14	T	P1	A3	T3	D2	4	294,6	28,6	7520
15	T	P1	A3	T4	D2	15	329,3	28,7	9263
16	T	P1	A4	T2	D3	1	359,5	32,0	9548
17	T	P1	A4	T2	D3	2	332,8	31,6	8692
18	T	P1	A4	T1	D4	18	283,4	26,7	7198
19	T	P1	A4	T1	D4	19	325,9	32,8	8172
20	T	P1	A4	T1	D4	20	330,5	32,7	8521
21	T	P1	A4	T1	D4	21	360,9	39,2	10293
22	T	P1	A4	T1	D4	22	421,6	38,9	8725
23	T	P1	A4	T1	D4	23	312,9	26,1	6948
24	T	P1	A5	T1	D2	24	334,6	19,0	7608
25	T	P1	A6	T3	D2	25	318,6	31,3	8595
26	T	P1	A6	T3	D2	26	312,9	33,2	8792
27	T	P1	A6	T3	D2	27	318,4	29,5	9188
28	T	P1	A6	T3	D2	28	318,5	29,9	8514
29	T	P1	A6	T4	D2	34	303,3	29,1	8487
30	T	P1	A6	T4	D2	35	309,0	31,5	8239
31	T	P1	A6	T4	D2	36	328,8	32,5	8948
32	T	P1	A6	T4	D2	37	316,2	29,7	8870
33	T	P1	A7	T4	D2	29	401,8	40,3	10067
34	T	P1	A7	T3	D2	30	399,2	39,1	12199
35	T	P1	A7	T3	D2	31	391,8	40,7	10508
36	T	P1	A7	T3	D2	32	372,7	38,1	10294
37	T	P1	A7	T3	D2	33	386,1	28,5	8800
38	T	P1	A8	T4	D2	38	340,0	34,0	8442
39	T	P1	A8	T4	D2	39	351,4	32,4	8107
40	T	P1	A8	T4	D2	40	295,2	28,6	7216
41	T	P2	A1	T2	D2	1	314,1	19,9	7595
42	T	P2	A1	T2	D2	2	305,4	25,0	8244

Identificação do provete									
LNEC	Ilha	Povoamento	Árvore	Toro	Classe diâmetro	Provete	Massa volumica	Tensão de rotura	Módulo de elasticidade
43	T	P2	A2	T1	D2	6	352,9	24,2	7157
44	T	P2	A2	T1	D2	7	323,6	29,5	8497
45	T	P2	A2	T1	D2	8	385,8	30,3	8816
46	T	P2	A3	T1	D2	3	344,2	25,2	5842
47	T	P2	A3	T1	D2	9	334,2	29,7	7855
48	T	P2	A4	T3	D2	4	326,0	31,9	8239
49	T	P2	A4	T3	D2	5	378,3	31,0	8315
50	T	P2	A5	T2	D2	10	288,6	31,1	8349
51	T	P2	A5	T2	D2	11	320,3	28,9	7834
52	T	P2	A5	T2	D2	12	304,1	28,4	8800
53	T	P2	A6	T1	D2	13	297,9	22,5	7624
54	T	P2	A6	T1	D2	14	291,6	29,8	6717
55	T	P2	A6	T1	D2	15	326,8	27,0	7145
56	T	P2	A7	T2	D2	16	297,3	26,9	6597
57	T	P2	A7	T2	D2	17	277,8	22,7	6516
58	T	P2	A8	T3	D2	18	296,0	29,1	7654
59	T	P2	A8	T3	D2	19	280,2	24,9	6462
60	T	P2	A8	T3	D2	20	322,9	25,5	6938
61	T	P2	A9	T1	D4	22	246,7	19,5	4203
62	T	P2	A9	T1	D4	21	256,1	19,5	5317
63	T	P2	A9	T1	D4	23	280,5	25,5	6439
64	T	P2	A9	T1	D4	24	236,4	17,5	3826
65	T	P2	A9	T1	D4	25	247,1	18,6	5068
66	T	P2	A9	T1	D4	26	270,1	24,6	6556
67	T	P2	A10	T1	D4	27	307,0	27,1	6611
68	T	P2	A10	T1	D4	28	307,7	21,8	5550
69	T	P2	A10	T1	D4	29	320,4	19,4	6081
70	T	P2	A10	T1	D4	30	315,3	22,7	6211
71	T	P2	A10	T1	D4	31	305,3	23,4	5932
72	T	P2	A10	T1	D4	32	312,1	26,3	7282
73	T	P2	A10	T1	D4	33	278,8	22,7	5139
74	T	P3	A11	T1	D4	34	275,0	18,6	6107
75	T	P3	A11	T1	D4	35	305,1	21,9	5539
76	T	P3	A11	T1	D4	36	266,7	21,8	4797
77	T	P3	A11	T1	D4	37	263,9	20,9	4755
78	T	P3	A11	T1	D4	38	273,0	23,0	5337
79	T	P3	A11	T1	D4	39	274,7	24,6	5095
80	T	P3	A11	T2	D3	40	287,8	26,0	7029
101	SM	P1	A8	T1	D2	1	311,3	32,6	9064
102	SM	P1	A8	T1	D2	2	310,6	17,6	7162
103	SM	P1	A8	T1	D2	3	298,4	26,9	6414
104	SM	P1	A8	T2	D2	1	340,2	22,6	8682

Identificação do provete									
LNEC	Ilha	Povoamento	Árvore	Toro	Classe diâmetro	Provete	Massa volumica	Tensão de rotura	Módulo de elasticidade
105	SM	P1	A8	T2	D2	2	301,1	25,2	6753
106	SM	P1	A8	T3	D2	1	295,2	29,9	8531
107	SM	P1	A8	T4	D2	1	326,5	28,9	8404
108	SM	P1	A9	T1	D3	1	311,8	30,8	4028
109	SM	P1	A9	T1	D3	2	341,1	27,7	4654
110	SM	P1	A9	T1	D3	3	346,3	30,9	3899
111	SM	P1	A9	T2	D2	1	385,4	35,0	6406
112	SM	P1	A9	T2	D2	2	340,0	29,0	5198
113	SM	P1	A9	T3	D2	1	327,8	24,6	7139
114	SM	P1	A9	T4	D2	1	332,6	39,2	8036
115	SM	P1	A10	T1	D3	1	310,9	27,1	6674
116	SM	P1	A10	T1	D3	2	361,7	23,8	7509
117	SM	P1	A10	T1	D3	3	296,3	23,3	5776
118	SM	P1	A10	T2	D2	1	331,4	23,3	7178
119	SM	P1	A10	T2	D2	2	324,9	19,3	7053
120	SM	P1	A10	T3	D3	1	355,2	34,4	8532
121	SM	P1	A10	T4	D2	1	274,5	28,1	8924
122	SM	P1	A11	T1	D3	1	404,7	33,2	7438
123	SM	P1	A11	T1	D3	2	372,3	36,9	5224
124	SM	P1	A11	T1	D3	3	396,6	36,1	7688
125	SM	P1	A11	T2	D2	1	379,6	33,6	7839
126	SM	P1	A11	T2	D2	2	387,8	35,3	5939
127	SM	P1	A11	T3	D2	1	369,6	30,4	9736
128	SM	P1	A11	T4	D2	1	368,1	29,0	7234
129	SM	P1	A12	T1	D3	1	350,9	24,8	6282
130	SM	P1	A12	T1	D3	2	275,1	20,4	2566
131	SM	P1	A12	T1	D3	3	262,0	21,6	4231
132	SM	P1	A12	T2	D2	2	286,9	22,5	5560
133	SM	P1	A12	T2	D2	1	302,0	20,0	4891
134	SM	P1	A12	T3	D2	1	335,4	25,7	7868
135	SM	P1	A13	T1	D3	1	391,0	34,5	4639
136	SM	P1	A13	T1	D3	2	329,2	32,1	6148
137	SM	P1	A13	T1	D3	3	392,8	32,5	6737
138	SM	P1	A13	T2	D3	1	383,3	23,0	6055
139	SM	P1	A13	T2	D3	2	353,8	25,4	7360
140	SM	P1	A13	T3	D2	1	357,3	37,7	8860
141	SM	P2	A8	T1	D2	1	374,8	36,1	5305
142	SM	P2	A8	T1	D2	2	394,3	30,4	6787
143	SM	P2	A8	T1	D2	3	347,1	35,9	7690
144	SM	P2	A8	T2	D2	1	403,5	23,5	6160
145	SM	P2	A8	T2	D2	2	384,7	32,0	7591
146	SM	P2	A8	T3	D2	1	388,9	34,3	8171

Identificação do provete									
LNEC	Ilha	Povoamento	Árvore	Toro	Classe diâmetro	Provete	Massa volumica	Tensão de rotura	Módulo de elasticidade
147	SM	P2	A8	T4	D2	1	351,3	39,2	9225
148	SM	P2	A9	T1	D2	1	314,7	23,1	6169
149	SM	P2	A9	T1	D2	2	306,1	25,8	5533
150	SM	P2	A9	T1	D2	3	263,5	15,0	4141
151	SM	P2	A9	T2	D2	1	327,4	24,8	6643
152	SM	P2	A9	T2	D2	2	279,8	18,6	5279
153	SM	P2	A9	T3	D2	1	310,1	22,5	6228
154	SM	P2	A9	T4	D2	1	313,8	26,3	7284
155	SM	P2	A10	T1	D3	1	460,8	27,2	5651
156	SM	P2	A10	T1	D3	2	434,9	32,9	5177
157	SM	P2	A13	T2	D2	1	399,0	40,7	10270
158	SM	P2	A13	T2	D2	2	336,5	25,8	7345
159	SM	P2	A13	T3	D2	1	348,5	26,2	7712
160	SM	P2	A10	T1	D3	3	396,2	32,3	7488
161	SM	P2	A10	T2	D3	1	313,6	29,2	8111
162	SM	P2	A10	T2	D3	2	376,5	38,4	9951
163	SM	P2	A10	T3	D2	1	355,1	30,3	8426
164	SM	P2	A10	T4	D2	1	413,4	33,0	8450
165	SM	P2	A11	T1	D4	1	314,8	26,6	6572
166	SM	P2	A11	T1	D4	2	355,1	33,2	6623
167	SM	P2	A11	T1	D4	3	332,1	23,8	6109
168	SM	P2	A11	T2	D3	1	316,2	18,6	6516
169	SM	P2	A11	T2	D3	2	324,4	24,7	6296
170	SM	P2	A11	T3	D3	1	353,2	39,6	8770
171	SM	P2	A11	T4	D2	1	271,2	29,0	7349
172	SM	P2	A12	T1	D2	1	302,5	25,9	4057
173	SM	P2	A12	T1	D2	2	343,8	23,3	3669
174	SM	P2	A12	T1	D2	3	300,0	19,2	2931
175	SM	P2	A12	T2	D2	1	332,1	21,5	5214
176	SM	P2	A12	T2	D2	2	329,2	22,4	3642
177	SM	P2	A12	T3	D2	1	345,4	31,9	7494
178	SM	P2	A13	T1	D3	1	347,6	35,9	6079
179	SM	P2	A13	T1	D3	2	341,3	37,2	7891
180	SM	P2	A13	T1	D3	3	345,3	28,5	8157
181	SM	P1	A1	T1	D3	1	357,3	38,3	9026
182	SM	P1	A1	T1	D3	2	333,4	34,7	6090
183	SM	P1	A1	T1	D3	3	347,5	31,9	5926
184	SM	P1	A1	T2	D2	1	390,3	33,9	9941
185	SM	P1	A1	T2	D2	2	357,5	37,6	8277
186	SM	P1	A1	T3	D2	1	384,7	34,7	10321
187	SM	P1	A2	T1	D3	1	294,2	23,9	7047
188	SM	P1	A2	T1	D3	2	265,2	15,4	5307

Identificação do provete									
LNEC	Ilha	Povoamento	Árvore	Toro	Classe diâmetro	Provete	Massa volumica	Tensão de rotura	Módulo de elasticidade
189	SM	P1	A2	T1	D3	3	293,9	16,1	4591
190	SM	P1	A2	T2	D2	1	284,6	30,9	8400
191	SM	P1	A2	T2	D2	2	284,1	29,1	7539
192	SM	P1	A2	T3	D2	1	312,1	23,4	8393
193	SM	P1	A3	T1	D2	1	362,3	24,9	5296
194	SM	P1	A3	T1	D2	2	409,6	26,7	7133
195	SM	P1	A3	T1	D2	3	348,6	22,8	4844
196	SM	P1	A3	T2	D2	1	362,2	36,2	8353
197	SM	P1	A3	T2	D2	2	350,1	27,3	6115
198	SM	P1	A3	T3	D2	1	267,7	27,6	7908
199	SM	P1	A4	T1	D3	1	355,3	31,4	7911
200	SM	P1	A4	T1	D3	2	340,6	33,2	7323
201	SM	P1	A4	T1	D3	3	348,7	29,6	6971
202	SM	P1	A4	T2	D2	1	380,1	43,4	8473
203	SM	P1	A4	T2	D2	2	365,6	36,1	8476
204	SM	P1	A4	T3	D2	1	404,6	31,5	9455
205	SM	P1	A5	T1	D3	1	283,3	31,5	6227
206	SM	P1	A5	T1	D3	2	253,6	18,0	3745
207	SM	P1	A5	T1	D3	3	245,6	19,3	5317
208	SM	P1	A5	T2	D2	1	259,7	21,2	4956
209	SM	P1	A5	T2	D2	2	279,3	21,6	5268
210	SM	P1	A5	T3	D2	1	290,9	25,3	6396
211	SM	P1	A6	T1	D4	1	327,9	30,5	7160
212	SM	P1	A6	T1	D4	2	326,7	22,6	3158
213	SM	P1	A6	T1	D4	3	303,8	33,0	6098
214	SM	P1	A6	T2	D3	1	333,9	32,5	7853
215	SM	P1	A6	T2	D3	2	322,5	25,6	6461
216	SM	P1	A7	T1	D4	1	292,9	21,8	4179
217	SM	P1	A7	T1	D4	2	286,4	22,1	2791
218	SM	P1	A7	T1	D4	3	271,5	26,2	3763
219	SM	P1	A7	T2	D3	1	310,9	25,7	3414
220	SM	P1	A7	T2	D3	2	262,4	19,6	3579
221	SM	P2	A1	T1	D3	1	295,4	30,0	6834
222	SM	P2	A1	T1	D3	2	328,4	33,1	7460
223	SM	P2	A1	T1	D3	3	306,2	29,9	4075
224	SM	P2	A1	T2	D3	1	387,2	27,8	10718
225	SM	P2	A1	T2	D3	2	339,0	32,3	10322
226	SM	P2	A1	T3	D2	1	309,3	28,8	7122
227	SM	P2	A2	T1	D3	1	413,2	33,1	8681
228	SM	P2	A2	T1	D3	2	322,8	23,7	5768
229	SM	P2	A2	T1	D3	3	330,7	25,7	4738
230	SM	P2	A2	T2	D2	1	373,9	30,0	6996

Identificação do provete									
LNEC	Ilha	Povoamento	Árvore	Toro	Classe diâmetro	Provete	Massa volumica	Tensão de rotura	Módulo de elasticidade
231	SM	P2	A2	T2	D2	2	402,0	31,0	10106
232	SM	P2	A2	T3	D2	1	387,2	10,8	7814
233	SM	P2	A3	T1	D3	1	321,5	30,7	6904
234	SM	P2	A3	T1	D3	2	374,2	27,3	5373
235	SM	P2	A3	T1	D3	3	326,0	37,8	7357
236	SM	P2	A3	T2	D2	1	366,3	39,4	8693
237	SM	P2	A3	T2	D2	2	387,2	35,5	8759
238	SM	P2	A3	T3	D2	1	400,2	40,5	8375
239	SM	P2	A4	T1	D3	1	363,4	29,1	7316
240	SM	P2	A4	T1	D3	2	347,4	22,1	3984
241	SM	P2	A4	T1	D3	3	310,8	31,1	5324
242	SM	P2	A4	T2	D2	1	365,5	34,3	8459
243	SM	P2	A4	T2	D2	2	327,1	24,7	6494
244	SM	P2	A4	T3	D2	1	375,6	32,8	8406
245	SM	P2	A5	T1	D3	1	350,0	27,5	7584
246	SM	P2	A5	T1	D3	2	305,0	19,1	4723
247	SM	P2	A5	T1	D3	3	312,2	22,8	5364
248	SM	P2	A5	T2	D2	1	344,0	45,9	9429
249	SM	P2	A5	T2	D2	2	321,1	33,8	6940
250	SM	P2	A5	T3	D2	1	349,7	25,6	7581
251	SM	P2	A6	T1	D2	1	331,4	43,8	9209
252	SM	P2	A6	T1	D2	2	322,3	36,0	6943
254	SM	P2	A6	T2	D2	1	371,0	51,3	9928
255	SM	P2	A6	T2	D2	2	358,8	40,4	9607
256	SM	P2	A7	T2	D4	1	370,5	39,8	8380
257	SM	P2	A7	T2	D4	2	385,1	38,7	7601
258	SM	P2	A7	T1	D5	1	308,1	30,7	4918
259	SM	P2	A7	T1	D5	2	312,4	31,3	3459
260	SM	P2	A7	T1	D5	3	345,9	30,8	5582
261	SM	P2	A5	T2	D3	1	340,6	32,1	9076

