

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias
Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista**

**Potencialidades das madeiras portuguesas na construção de
cordofones**

- Versão Final -

Dissertação de Mestrado em
Engenharia Florestal

Daniela Filipa Gonçalves Martins

Orientador: Prof. Dra. Maria Emília Silva

Prof. Dr. Paulo Vaz de Carvalho



Vila Real, 2015

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias
Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista**

**Potencialidades das madeiras portuguesas na construção de
cordofones**

- Versão Final -

Dissertação de Mestrado em
Engenharia Florestal

Composição do Júri:

Vila Real, 2015

Dissertação apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal, realizada sob a orientação científica do Professora Doutora Maria Emília Calvão Moreira da Silva do Departamento de Engenharia Florestal e Arquitetura Paisagista da Escola de Ciências Agrárias e Veterinária da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e do Professor Doutor Paulo Vaz de Carvalho da Universidade de Aveiro.

*As doutrinas expostas neste trabalho
são da inteira responsabilidade da autora*

Agradecimentos

O presente trabalho foi possível com a ajuda de diversas pessoas, a quem desejo manifestar o meu agradecimento.

À professora Maria Emília Silva, docente do Departamento de Engenharia Florestal da UTAD, por ter aceitado orientar a minha dissertação, pela orientação dada ao longo da realização de todo o trabalho e pelos conselhos dados para a execução do relatório final.

Ao Professor José Luís Louzada, docente do Departamento de Engenharia Florestal da UTAD, pela ajuda, pelos conselhos dados e pela disponibilidade apresentada para a realização de ensaios práticos ao longo da realização de todo o trabalho.

Ao Sr. Armindo Teixeira, pela colaboração apresentada na preparação do material, na execução do trabalho de laboratório e pelos conselhos dados na realização do trabalho, assim como a disponibilidade demonstrada.

À Maderas Barber S.L. pela disponibilidade à doação das madeiras tropicais necessárias para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento e funcionários da biblioteca da UTAD, pela ajuda prestada sempre que solicitada.

Um agradecimento especial ao meus país e em particular à minha irmã que sempre se disponibilizou para ajudar.

A todos os meus colegas e amigos pelo apoio prestado e que de uma forma ou de outra sempre me ajudaram.

A todos um muito Obrigada.

Resumo

A caracterização (anatômica, física e mecânica) de nove madeiras, três delas utilizadas habitualmente na construção de cordofones, outras cinco são madeiras portuguesas e ainda uma invasora que ocupa grande área no território nacional. Teve como objetivo determinar o potencial, das madeiras nacionais e da invasora, substituírem as madeiras utilizadas atualmente na construção de cordofones, uma vez que são espécies que se encontram em risco de extinção. Foram estudadas apenas para três partes da guitarra (fundos e ilhargas e escalas).

O estudo anatómico incluiu a observação microscópica, comprimento e dimensões transversais das fibras. Nas propriedades físicas determinaram-se densidades, teores de humidade e retrações. Nas mecânicas determinaram-se o módulo de rutura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE).

Após a caracterização das espécies compararam-se as nacionais e invasora com as utilizadas atualmente por forma a verificar aquelas que mais se assemelhavam e ainda, utilizando referências bibliográficas, relacionaram-se as características anatómicas, físicas e mecânicas com a acústica das madeiras e a qualidade do som.

Conclui-se que existem espécies que apresentam algumas das características desejadas (próximas das espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones) e também algumas apresentam boa acústica e uma boa propagação do som (quando comparadas com resultados bibliográficos)

Palavras-chave: Instrumentos Musicais; Acústica; Madeira; Anatomia; Física; Mecânica

Abstract

The characterisation (anatomic, physical and mechanical characterisation) of nine woods, three of which usually used in chordophones production, and five Portuguese woods and also an invasive species which actually occupies a large area in the national territory, the main objective is to determine whether the Portuguese and the invasive species' wood has the potential to take the place of the most used woods in the construction of chordophones, considering that the currently most used wood species are endangered. The focus of this study were three parts of the instrument (back plate, sides and fretboard).

The anatomical study includes the microscopic observation, fiber length and biometry. As for the physical properties it was determined densities, moisture content and shrinkage. For the mechanical properties it was determined the modulus of rupture (MOR) and the modulus of elasticity (MOE).

After the species' characterisation, the national and invasive species were compared to the most used in today's construction of chordophones so that it could be determined those which are similar to each other and, using some references, could be established the relationship between the anatomic, physical and mechanical characteristics and the acoustic properties of the wood and sound quality.

In summary, we can say that there is some species that present some of the desired characteristics, that is, very similar to those of the currently used in the production of chordophones, and there is also some species that present good acoustic and good sound propagation properties (when compared to references).

Keywords: Musical Instruments; Acoustic; Wood; Anatomy; Physics; Mechanics.

Índice

Resumo	2
Abstract	3
1. Introdução	11
2. Caracterização das espécies	12
2.1. Espécies utilizadas	12
2.1.1. <i>Acer pseudoplatanus</i>	12
2.1.2. <i>Dalbergia spruceana</i>	14
2.1.3. <i>Diospyros ebenum</i>	15
2.2. Espécies a estudar	16
2.2.1. <i>Pyrus bourgaeana</i>	16
2.2.2. <i>Quercus rotundifolia</i>	19
2.2.3. <i>Juglas regia</i>	21
2.2.4. <i>Prunus avium</i>	24
2.2.5. <i>Buxus sempervirens</i>	26
2.2.6. <i>Acacia dealbata</i>	28
3. Enquadramento teórico	31
3.1. Anatomia da madeira	31
3.1.1. Estrutura macroscópica da madeira	36
3.1.2. Estrutura microscópica da madeira	37
3.1.3. Variabilidade da madeira	38
3.2. Características e Propriedades da madeira	39
3.2.1. Propriedades físicas	39
3.2.1.1. Humidade	40
3.2.1.2. Retrações	42
3.2.1.3. Densidade	44
3.2.2. Propriedades mecânicas	46
4. A Madeira, o som e os instrumentos musicais	49
4.1. Som	49
4.1.1. Propagação do Som	49
4.2. Propriedades acústicas da madeira	50
4.3. Características gerais das madeiras utilizadas em instrumentos musicais	51

4.3.1.	A Guitarra.....	53
4.3.1.1.	Construção	53
4.3.1.1.1.	Requisitos para diferentes partes da guitarra.....	54
4.3.1.2.	Acústica	55
5.	Material e métodos.....	57
5.1.	Preparação das amostras	57
5.2.	Determinação do comprimento das fibras	58
5.3.	Dimensões transversais das fibras e percentagem de tecidos.....	60
5.4.	Determinação das características físicas – retrações e densidade	62
5.5.	Microdensitometria.....	65
5.6.	Ensaio Mecânicos – Ensaio de flexão em 3 pontos	67
6.	Resultados e discussão	69
6.1.	Resultados.....	69
6.1.1.	Características biométricas.....	69
6.1.2.	Propriedades físicas.....	71
6.1.3.	Componentes da densidade	76
6.1.4.	Ensaio mecânicos.....	85
6.2.	Discussão	87
7.	Conclusões gerais.....	91
8.	Bibliografia	93

Índice Figuras

Figura 1:Sicómoro- <i>Acer pseudoplatanus</i>	12
Figura 2: Ritidoma do sicómoro.....	13
Figura 3: Folha do sicómoro	13
Figura 4:Distribuição da espécie em Portugal.....	13
Figura 5: Madeira de <i>Acer pseudoplatanus</i>	14
Figura 6:Aspeto das folhas e fruto da <i>Dalbergia spruceana</i> Benth.....	14
Figura 7:Madeira de <i>Dalbergia suppreceana</i>	15
Figura 8:Folhas e florescência de <i>Diospyros ebenum</i>	15
Figura 9:Madeira de Ebano	16
Figura 10:Pereira brava- <i>Pyrus bourgaeana</i>	17
Figura 11: Ritidoma pereira brava.....	17
Figura 12: Floração pereira brava	17
Figura 13:Fruto da pereira brava	18
Figura 14:Distribuição da espécie em Portugal.....	18
Figura 15: Madeira de pereira brava	19
Figura 16:Azinheira- <i>Quercus rotundifolia</i>	19
Figura 17: Folha e fruto azinheira	20
Figura 18: Ritidoma da azinheira	20
Figura 19:distribuição da espécie em Portugal	20
Figura 20: Madeira de azinheira	21
Figura 21:Nogueira- <i>Juglas regia</i>	21
Figura 23: Folha nogueira	22
Figura 22: Ritidoma da nogueira.....	22
Figura 24:Fruto nogueira.....	22
Figura 25:Distribuição da espécie em Portugal.....	23
Figura 26:Madeira de azinheira.....	23
Figura 27: Cerejeira - <i>Prunus avium</i>	24
Figura 28: Ritidoma cerejeira.....	24
Figura 29:Folhas e fruto da cerejeira.....	24
Figura 30: Flores da cerejeira.....	25
Figura 31:mapa da distribuição da espécie em Portugal	25

Figura 32: Madeira de cerejeira	26
Figura 33: Buxo - <i>Buxus sempervirens</i>	26
Figura 34: Ritidoma buxo	27
Figura 35: folha do buxo	27
Figura 36: distribuição da espécie em Portugal	27
Figura 37: Madeira de buxo	28
Figura 38: Mimosa - <i>Acacia dealbata</i>	28
Figura 39: Ritidoma mimosa.....	29
Figura 40: Folhas mimosa	29
Figura 41: Flores mimosa.....	29
Figura 42: Distribuição da espécie em Portugal.....	30
Figura 43: Madeira de acácia	30
Figura 44: Principais planos e direções de referência da madeira.	32
Figura 45: Câmbio vascular em relação aos tecidos que dele derivam. (A) - inicial fusiforme; (B) - inicial radial; (C) - corte transversal; (D) - corte radial (só sistema axial); (E) - corte radial)	33
Figura 46: Diagrama de um bloco, representando o sistema axial e radial, as características básicas dos tecidos vasculares secundários e a relação com o câmbio e a periderme	33
Figura 47: Tipos de células componentes do xilema secundário, obtidas de elementos do lenho dissociado	34
Figura 48: Estrutura macroscópica da madeira resinosa:	36
Figura 49: Esquema longitudinal dos traqueídeos	37
Figura 50: Representação esquemática, lenho adulto e lenho juvenil.....	39
Figura 51: Localização da água na célula	41
Figura 52: Principais peças que compõem a guitarra	54
Figura 53: Toros das espécies em estudo	57
Figura 54: Amostras retiradas de cada espécie	58
Figura 55: Amostras de madeira na bomba de vácuo	58
Figura 56: Diferentes etapas do processo de desagregação da madeira em fibras.....	59
Figura 57: Placa de petri com fibras que serão levadas ao projetor de perfis para riscar	60
Figura 58: Processo de riscagem das fibras e sua posterior medição com curvimetro	60
Figura 59: Fotografia microscopia de corte histológico de uma espécie em estudo com a rede de pontos sobre a imagem (AMPLIAÇÃO).....	61

Figura 60:Delimitação dos vasos no programa Image-Pro (Plus) 6.2.....	61
Figura 61: Provetes utilizados na determinação das propriedades físicas	62
Figura 62:Provetes preparados para a realização do raio-x.....	65
Figura 63:Leitura da película de raio x pelo microdensitómetro	66
Figura 64: Provete colocado em 2 apoios distados entre si 28 cm.....	67
Figura 65: Provete a sofrer pressão (Martins, 2015).....	67
Figura 66:Realização do teste de flexão em 3 pontos utilizando provetes de menores dimensões	68

Índice Gráficos

Gráfico 1: Comprimento médio das fibras por porção radial de cada espécie.....	70
Gráfico 2: Humidade da madeira e retrações volumétricas das espécies em estudo	73
Gráfico 3: Humidade da madeira e retrações volumétricas das espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones	75
Gráfico 4: Humidade da madeira e retrações volumétricas de todas as espécies.....	75
Gráfico 8: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final da pau santo.....	78
Gráfico 6: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final cerejeira.....	78
Gráfico 5: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final nogueira.....	78
Gráfico 9: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final da sicómoro.....	78
Gráfico 7: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final da mimosa	78
Gráfico 11: Largura do lenho inicial e final cerejeira	79
Gráfico 10: Largura do lenho final e inicial nogueira	79
Gráfico 13: Largura do lenho final e inicial pau santo.....	80
Gráfico 12: Largura do lenho final e inicial mimosa	80
Gráfico 14: Largura do lenho final e inicial sicómoro	80
Gráfico 19: Índice de heterogeneidade sicómoro.....	81
Gráfico 18: Índice de heterogeneidade pau santo	81
Gráfico 17: Índice de heterogeneidade mimosa	81
Gráfico 16: Índice heterogeneidade cerejeira.....	81
Gráfico 15: Índice de heterogeneidade nogueira.....	81
Gráfico 23: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final ébano	82
Gráfico 22: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final pereira	82
Gráfico 20: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final azinheira.....	82
Gráfico 21: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final buxo	82
Gráfico 27: Largura de lenho inicial e final ébano.....	83
Gráfico 26: Largura de lenho inicial e final pereira	83
Gráfico 25: Largura de lenho inicial e final buxo	83
Gráfico 24: Largura de lenho inicial e final azinheira	83
Gráfico 31: índice de heterogeneidade ébano	84
Gráfico 30: Índice de heterogeneidade pereira	84
Gráfico 29: Índice de heterogeneidade buxo.....	84
Gráfico 28: Índice de heterogeneidade azinheira	84

Índice Quadros

Quadro 1: Classificação das madeiras quanto à retração, segundo as normas do LNEC (Bessa, 2000).....	44
Quadro 2: Meios de propagação do som e respetiva velocidade de propagação (Bessa, F., 2000)	50
Quadro 3: Espécies utilizadas para o estudo	57
Quadro 4: Caracterização geral das amostras de cada espécie pelos valores médios de comprimento de fibras, percentagem de vasos, fibras e raios e valor médio da dimensão das células.....	69
Quadro 5:Caracterização geral das amostras das espécies de estudo pelos valores médios das retrações	72
Quadro 6: Caracterização geral das amostras das espécies utilizadas atualmente pelos valores médios das retrações.....	74
Quadro 7:Caracterização geral das amostras de cada espécie pelos valores médios das componentes da densidade das espécies em estudo	76
Quadro 8: Caracterização geral das amostras de cada espécie pelos valores médios das componentes da densidade das espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones .	77
Quadro 9: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos em provetes com orientação longitudinal de 2x2x28cm.....	85
Quadro 10:Resultados dos ensaios de flexão em três pontos em provetes com orientação longitudinal de 2x2x28cm das espécies que são utilizadas atualmente na construção de cordofones	85
Quadro 11: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos dos provetes com orientação radial das espécies em estudo.....	86
Quadro 12: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos dos provetes com orientação radial em espécies utilizadas atualmente.....	87

1. Introdução

Auxiliar do Homem há mais de trezentos milénios, a madeira é utilizada para fabricar instrumentos musicais há mais de 10 000 anos. Para a construção dos instrumentos musicais, como aliás para as suas múltiplas utilizações, é indispensável o conhecimento das propriedades e características da madeira de forma a poder usufruir, na plenitude, todas as suas potencialidades.

A construção de instrumentos de corda emprega diferentes tipos de madeiras de acordo com a função das peças em que elas são utilizadas. Atualmente esta indústria depara-se com um problema associado à limitação de uso de algumas espécies utilizadas por correrem riscos de extinção o que, no futuro, limitará muito a disponibilidade da matéria-prima utilizada. Assim, é necessário procurar madeiras alternativas às destas espécies que terão que desempenhar as mesmas funções com mesmo nível de desempenho que este tipo de instrumentos exige, ou seja, as madeiras alternativas escolhidas tem de satisfazer um conjunto de características únicas e específicas dos cordofones.

Para fazer uma escolha correta é necessário efetuar um estudo anatómico, físico, e mecânico de madeiras mais acessíveis e compará-las com as madeira que são atualmente utilizadas para a construção destes instrumentos por forma a encontrar aquelas que mais se assemelham ao nível destas características e que as podem substituir.

Neste trabalho optou-se por estudar madeiras nacionais uma vez que será também uma forma de as valorizar. Por questões de gestão de tempo iremos estudar unicamente madeiras utilizadas em três peças da guitarra clássica: ilhargas, fundos e escalas

2. Caracterização das espécies

Neste capítulo, pretende fazer-se uma caracterização das espécies que irão ser alvo de estudo. O capítulo inicia-se com a caracterização das espécies que são utilizadas atualmente e posteriormente seguir-se-á a caracterização das espécies que serão testadas para uma possível utilização na construção de cordofones. Será feita a caracterização de ambas pois para as comparar é necessário conhecê-las.

2.1. Espécies utilizadas

2.1.1. *Acer pseudoplatanus*

É conhecido vulgarmente como sicómoro (Figura 1). Pertence à família *Sapindaceae*. Pode atingir até 30m de altura e é uma espécie de longa longevidade, sendo que normalmente atinge os 150-200 anos, embora possa ultrapassar os 300 anos. (Boas,2015).



Figura 1: Sicómoro- *Acer pseudoplatanus* (fonte: <http://www.about-garden.com/ei/en/00875-01-sycamore-maple/>)

É uma espécie caducifólia, a sua copa é ampla oval e ramos abertos. O ritidoma é liso e acinzentado que com a idade torna-se mais escamoso e fendido (Figura 2). A folha é simples, opostas, de pecíolo comprido, muitas vezes avermelhado, palmadas e divididas em 5 lóbulos sinuado-dentados (Figura 3). As flores são hermafroditas ou unissexuais, de simetria radial e cor amarelo-esverdeada, em cachos compridos e pendentes; período juvenil de 15-20 anos; fruto seco, dupla sâmara, provida de asas estreitas na base e amplas no extremo. A floração ocorre em abril, maio e a maturação do fruto no outono. (Boas,2015).



Figura 2: Ritidoma do sicómoro
(fonte:<http://www.florestar.net/padreiro/padreirotr.jpg>)



Figura 3: Folha do sicómoro
(fonte:<http://www.florestar.net/padreiro/padreirof.jpg>)

Esta espécie prefere locais frescos e regiões montanhosas, contudo suporta bem o calor e a seca, é exigente quanto ao solo, o qual deve ser fresco e profundo. Indiferente ao pH. Espécie de sombra que ocorre até aos 1600m. Necessita de humidade ambiental. Temperaturas desejáveis compreendidas entre os 2 e os 18°C. É um indicador de solos férteis. É muito resistente ao vento, tolerando alguma exposição marítima. Tem um crescimento rápido, estabelecendo-se rapidamente, inibindo o crescimento de outras plantas em seu redor. Em Portugal pode encontrar-se principalmente no litoral norte e centro. Embora seja uma espécie indígena é difícil distinguir as populações autóctones das naturalizadas (Figura 4). (Boas,2015).

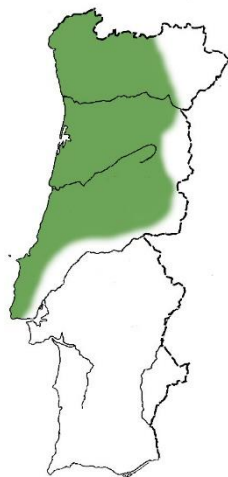


Figura 4:Distribuição da espécie em Portugal
(fonte:<http://www.florestar.net/padreiro/padreiroma.jpg>)

A sua madeira é leve e fácil de trabalhar, de cor pálida e grão fino (Figura 5), apreciada na carpintaria, tornearia, ebanisteria e fabricando-se instrumentos musicais e coronhas de armas de fogo (Boas,2015).

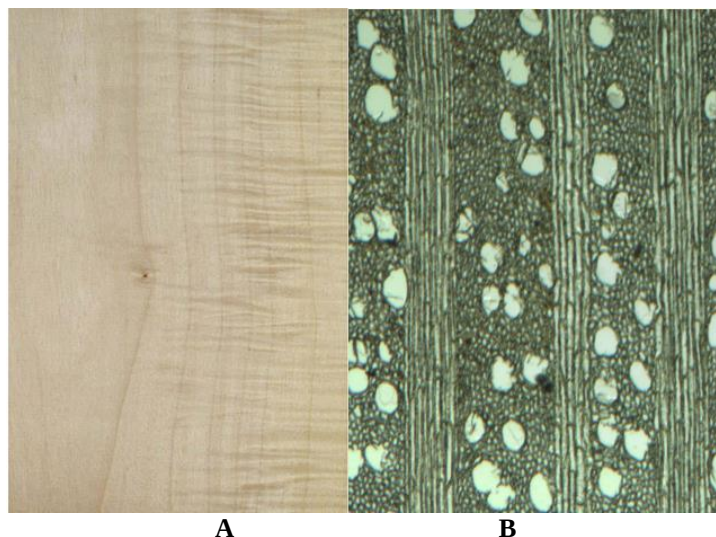


Figura 5: Madeira de *Acer pseudoplatanus* A - Aspetto macroscópico de corte longitudinal. B- Aspetto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

2.1.2. *Dalbergia spruceana*

O jacarandá do pará (*Dalbergia spruceana* Benth.), pertence à família Leguminosa-Papilionoideae. As árvores atingem uma altura de 20-40 m, com um perímetro de 1.5-2m., de casca cinza-clara. As folhas são alternas, com 5-7 folhetos porte desiguais. Os folhetos são amplamente obtuso verde, escuro acima e abaixo pálida.

As flores são brancas em panículas axilares, 0,5-1 cm de comprimento. Frutos, do tipo legume (vagem) membranáceo, podendo conter de um até três sementes, não possuindo deiscência (Worldagroforestry, 2015).

Na Figura 6 podemos ver pormenores das folhas e frutos da *Dalbergia spruceana* Benth.



Figura 6:Aspetto das folhas e fruto da *Dalbergia spruceana* Benth (fonte: <http://tropical.theferns.info/image.php?id=Dalbergia+spruceana>)

Madeira muito pesada ($1,00 \text{ g/ cm}^3$), mas fácil de trabalhar, podendo ser utilizada para marcenaria, lambris (Martins Filho, S. E. C., *n.d*) é também muito utilizada na construção de instrumentos musicais (Figura 7).

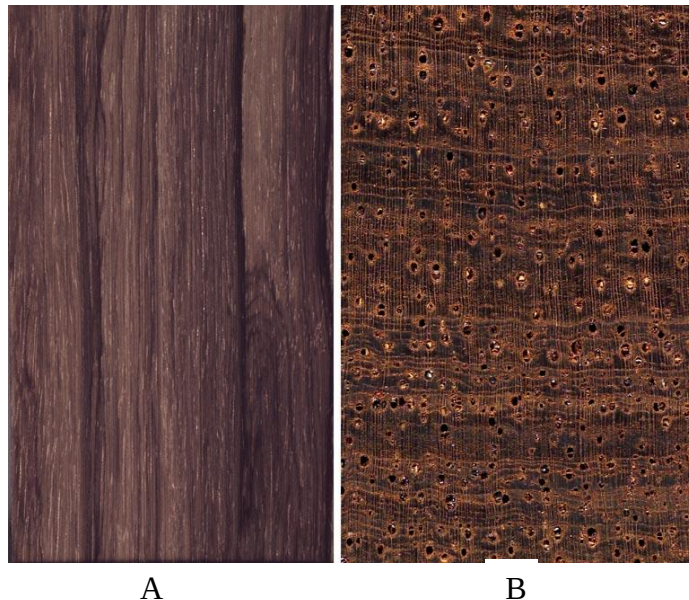


Figura 7: Madeira de *Dalbergia suppreceana* A - Aspetto macroscópico de corte longitudinal. B- Aspetto microscópico de corte transversal (ftp://delta-intkey.com/wood/images/dalspr.jpg)

2.1.3. *Diospyros ebenum*

Ébano é uma árvore perene de crescimento lento, de tamanho médio com uma copa densa. Pode crescer até 30 metros de altura. Ritidoma reto podendo atingir 90 centímetros de diâmetro, com ramos podem chegar a 2 metros de altura é preto e liso. Folhas simples; pecíolo 0,3-0,8 cm de comprimento; lâmina 5-13,5 x 1,5-4,5 cm, elípticas, ápice acuminado com ponta obtusa, base aguda a arredondado, margem inteira, nervura central, plana. (Figura 8). Uma árvore famosa, valorizado pela sua madeira preta.



Figura 8: Folhas e florescência de *Diospyros ebenum* (fonte: http://www.biotik.org/india/species/d/dioseben/dioseben_10_en.html)

A madeira de ébano é uma madeira exótica, provavelmente, mais conhecido por seu uso como escalas e claves para vários instrumentos musicais. O Cerne é um avermelhado escuro (às vezes púrpura) castanho, quase preto. O borne é amarelo pálido é claramente demarcado do cerne. Em madeiras de árvores mais velhas o cerne é preto. É uma madeira muito dura. Pode ser difícil de trabalhar por causa de sua densidade (Figura 9). (The Wood Database ,2015)

É exportado principalmente para a China para móveis e para a Europa, sendo a árvore intensamente explorada no estado selvagem. É conhecida desde os tempos mais antigos pela sua madeira preta e ainda hoje é considerado como o melhor ébano preto comercial. A planta é classificada como 'Dados insuficientes' na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (2011) (worldagroforestry, 2015).

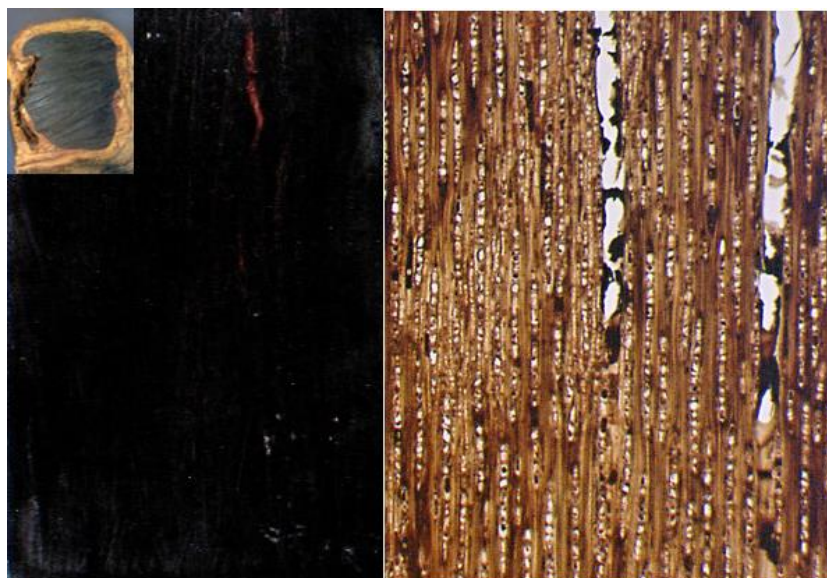


Figura 9: Madeira de Ebano A - Aspeto macroscópico de corte longitudinal.
B- Aspeto microscópico de corte tangencial (fonte: <http://delta-intkey.com/wood/images/eb-bla-t.jpg>)

2.2. Espécies a estudar

2.2.1. *Pyrus bourgaeana*

É conhecida vulgarmente como pereira brava ou escalheiro (Figura 10). Pertence à família *Rosaceae*. É uma árvore que pode atingir até 15m de altura e que tem uma longa longevidade podendo chegar aos 150 anos, no entanto, normalmente, são afetadas por doenças cedo. (Boas, 2015)



Figura 10: Pereira brava-*Pyrus bourgaeana*
(Fonte: wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Pyrus_bourgaeana_arbol.jpg)

É uma caducifólia de copa piramidal. O ritidoma é cinzento-acastanhado sendo liso quando a árvore é nova e reticulado-fendido (Figura 11) em idades mais avançadas da árvore. As folhas são orbiculares ovais, pecíolo fino. As flores reunidas em cimeiras corimbiformes na extremidade dos raminhos, tomentosas na rebentação e glabrescentes na frutificação; corolas brancas. (Figura 12). A floração ocorre na primavera e a maturação do fruto ocorre no final do verão. (Figura 13).



Figura 11: Ritidoma pereira brava (fonte: <http://www.florestar.net/pereira-brava/pereira-bravatr.jpg>)



Figura 12: Floração pereira brava
(fonte: <http://www.florestar.net/pereira-brava/pereira-bravafl.jpg>)



Figura 13: Fruto da pereira brava
(fonte: <http://www.florestar.net/pereira-brava/pereira-bravafr.jpg>)

O seu habitat é em sebes, bosques e matas abertas. Ocorre dos 0 aos 1800 m. É uma espécie de plena luz que prefere solos siliciosos. Necessita de mais de 600 mm de precipitação média anual e as temperaturas desejáveis estão entre os 2 e 18°C. Resiste bem aos frios do inverno, embora seja afetada por geadas tardias. Uma vez estabelecida, resiste à seca. Tolerância à poluição atmosférica. As árvores frequentemente rebentam pela base e podem formar densas sebes. Tem um crescimento rápido. Em Portugal é possível encontrar esta espécie no norte, em especial nas serras da Peneda e Gerês (Figura 14).

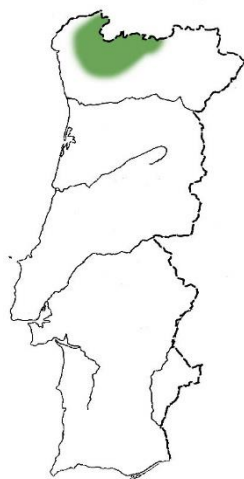
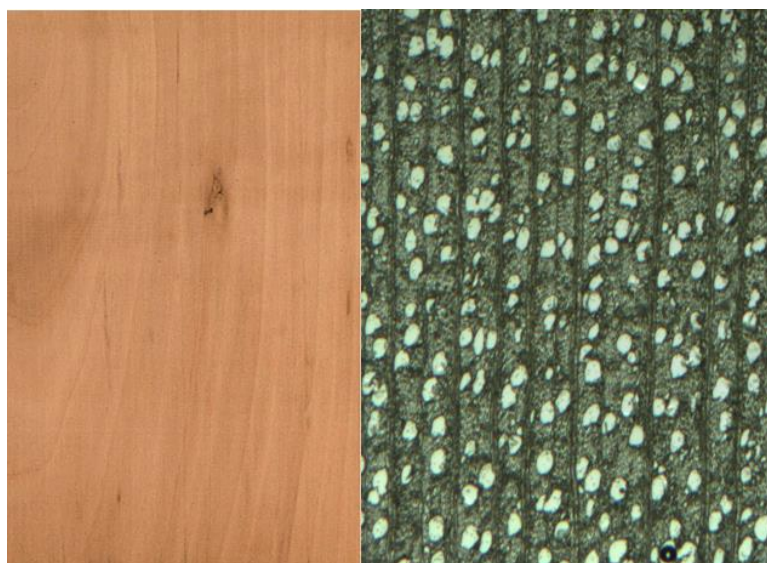


Figura 14: Distribuição da espécie em Portugal
(fonte: <http://www.florestar.net/pereira-brava/pereira-bravamapa.jpg>)

Quanto à madeira desta espécie, existem referências ao uso em marcenaria e para o fabrico de réguas e esquadros. A sua madeira é de cor clara, dura, durável, pesada e de grão fino (Boas, 2015). O Cerne é um rosa pálido ou luz marrom avermelhado. O borne é um pouco mais pálido, mas não é geralmente distinto do cerne. Por vezes é cozido no vapor para aprofundar a coloração rosa (Figura 15). A sua madeira é classificada como pouco durável, ou seja, pouca resistência ao enfraquecimento, apodrecimento. Fácil de trabalhar com ambas as ferramentas manuais e máquinas (The Wood Database, 2015).



A

B

Figura 15: Madeira de pereira brava. A - Aspeto macroscópico de corte longitudinal. B- Aspeto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

2.1.2. *Quercus rotundifolia*

Conhecida vulgarmente como azinheira (Figura 16) pertence à família *Rosaceae*. Pode atingir até 25m de altura tendo grande longevidade, normalmente ultrapassa os 300 anos, podendo, exceccionalmente, chegar aos 1000 anos.



Figura 16: Azinheira- *Quercus rotundifolia*
(fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Azinheira>
#mediaviewer/File:Quercus_ilex_rotundifolia.jpg)

É uma espécie de folha perene, com copa ampla, densa e arredondada. O ritidoma é cinzento, rijo e fendido em pequenas placas retangulares (Figura 17). A folha é simples, alternas, oblongas ou elípticas, de margem inteira ou ligeiramente sentado-espinescentes,

verde-acinzentadas na página superior e cinzento-esbranquiçadas com um denso “tapete” enfiado de pelos estrelados branco-amarelados na página inferior. O fruto desta espécie é bolota ocorrendo a sua maturação no outono (Figura 18) (Boas,2015).



Figura 17: Ritidoma da azinheira
(fonte:<http://www.florestar.net/azinheira/azinheirafr.jpg>)



Figura 18: Folha e fruto azinheira
(fonte:<http://www.florestar.net/azinheira/azinheiratr.jpg>)

Ocorre é em montados e bosques de clima mediterrânico e em altitudes que podem variar entre os 0 aos 1400 m, ou mesmo 2000m. É uma espécie de luz ou meia sombra e indiferente ao pH do solo. As precipitações médias ideais variam entre 300mm e 1500mm por ano e as temperaturas médias desejáveis entre -3°C e 11°C no inverno e entre 14 e 28°C no verão. Resiste bem às temperaturas mínimas absolutas que se dão na Península Ibérica e também à exposição marítima. É uma árvore de crescimento lento que em Portugal se encontra em grande parte do território, exceto no norte e centro litorais (Figura 19) (Boas,2015).



Figura 19:distribuição da espécie em Portugal (fonte:
<http://www.florestar.net/azinheira/azinheiramapa.jpg>)

A madeira desta espécie principalmente usada como fonte de carvão e lenha, uma vez que a madeira é muito dura sendo de difícil trabalhabilidade, mecanicamente resistente e

durável. O cerne é castanho claro a médio, embora possa haver uma boa quantidade de variação de cor, raios muito visíveis. (Figura 20) (Boas,2015).

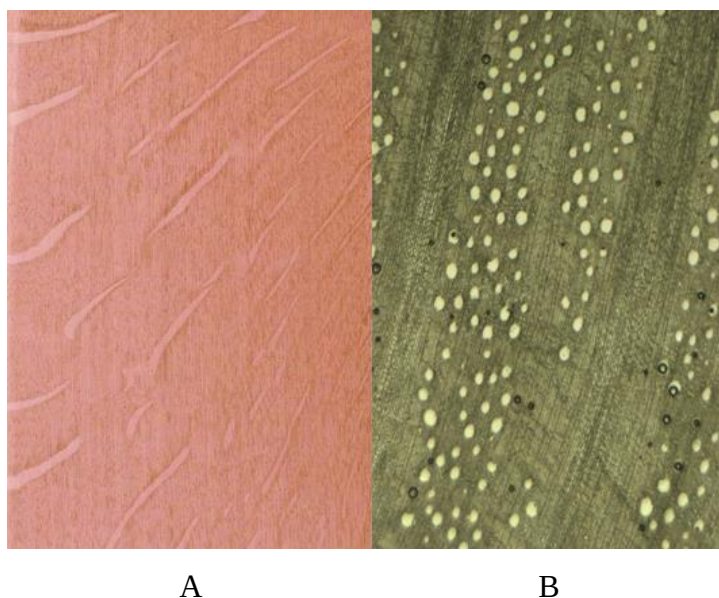


Figura 20: Madeira de azinheira A - Aspeto macroscópico de corte radial. B- Aspeto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

2.1.3. *Juglas regia*

Conhecida vulgarmente por nogueira (Figura 21). Pertence à família *Juglandaceae*. Pode atingir até 30m de altura e tem uma longa longevidade, normalmente entre os 300 e 400 anos, embora em perfeitas condições possa ultrapassar os 1000 anos.



Figura 21:Nogueira- *Juglas regia*
(fonte:<https://asplantas.wordpress.com/2010/01/26/a-nogueira-da-ombria/>)

É uma espécie caducifólia, com a copa ampla e muito ramificada e de folhagem densa. O ritidoma é liso, castanho-esverdeado em jovem, tornando-se mais cinzento e com fendas verticais à medida que envelhece (Figura 22). As folhas são alternas, imparipinuladas com 3-9

folíolos, elíptico-ovados a lanceolados, acuminados, com 6-15cm cada, glabros, inteiros ou subsinuados, o folíolo terminal é maior; verdes em ambas as faces (Figura 23). As flores masculinas reunidas em grupos de 1-5 sobre os ápices dos ramos do mesmo ano, constituídas apenas por um cálice esverdeado e um ovário peludo; fruto trima com 4-5cm de pele verde, que se desfaz exteriormente libertando a noz (endocarpo+semente) (Figura 24). A floração ocorre em abril, maio e a maturação do fruto em agosto, setembro, outubro (Boas,2015).



Figura 23: Ritidoma da noqueira
(fonte:<http://www.florestar.net/nogueira/nogueiratr.jpg>)



Figura 22: Folha noqueira
(fonte:<http://www.florestar.net/nogueira/nogueirafl.jpg>)



Figura 24: Fruto noqueira
(fonte:<http://www.florestar.net/nogueira/nogueirafr.jpg>)

O seu habitat é em terrenos húmidos e profundos, desenvolvendo-se bem nos calcários, mas suportando também os siliciosos. Dá-se bem até aos 800m, podendo mesmo chegar aos 1500m. Espécie de média luz, necessita humidade mas sem encharcar; rega moderada a abundante. Suporta grandes variações de temperatura (até -20°C), mas é sensível às geadas tardias. Em Portugal é comum encontrar esta espécie no interior norte e centro (Figura 25) (Boas,2015).

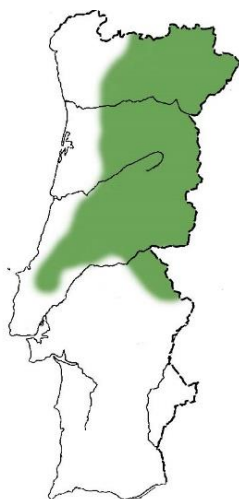


Figura 25:Distribuição da espécie em Portugal
(fonte:<http://www.florestar.net/nogueira/nogueiramapa.jpg>)

A sua madeira é considerada nobre pois apresenta características excelentes para marcenaria e ebanisteria. O cerne pode variar de um castanho mais claro pálido para um castanho chocolate escuro com listas castanhas mais escuras. A cor pode, por vezes, tem um elenco cinza, roxo, ou avermelhada. O borne é quase branca (The Wood Database,2015). É classificada como moderadamente durável em termos de resistência à degradação, embora seja suscetível ao ataque de insetos. Normalmente fácil de trabalhar (Figura 26).



Figura 26:Madeira de azinheira A - Aspeto macroscópico de corte radial. B- Aspeto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

2.1.4. *Prunus avium*

Conhecida vulgarmente como cerejeira (Figura 27). Pertence à família *Rosaceae*. Pode atingir até 30m de altura, sendo que normalmente tem entre 10 e 20m.



Figura 27: Cerejeira - *Prunus avium* (fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Prunus_avium.jpg)

A copa é ampla, algo piramidal, normalmente sem rebentos de raiz. Ritidoma liso, anelado, de cor castanho-avermelhada, que se destaca em largos aneis transversais (Figura 28). As folhas são simples, obovado-oblongas a elípticas, com 6-15 x 3-8 cm, acuminadas, crenado-serradas; pecíolo com 2-5cm, apresentando geralmente 2 glândulas vermelho-anegras junto à base do limbo; verde mate na página superior e pilosas na inferior (Figura 29). As flores são pediceladas fragrantas, reunidas em cimeiras 2-6 flores, sésseis, rodeadas na base por numerosos catafilos escariosos do gomo (Figura 30) fruto endocarpo subgloboso, liso, cor vermelha (Figura 29). A floração ocorre na primavera, desde finais de março e a maturação do fruto ocorre em maio-junho (Boas,2015).



Figura 28: Ritidoma cerejeira (fonte: <http://www.florestar.net/cerejeira/cerejeiratr.jpg>)



Figura 29: Folhas e fruto da cerejeira (fonte: <http://www.florestar.net/cerejeira/cerejeirafr.jpg>)



Figura 30: Flores da cerejeira (fonte: <http://www.florestar.net/cerejeira/cerejeirafl.jpg>)

O seu habitat é de bosques caducifólios húmidos, barrancos, margens de rios e noutros lugares frescos e profundos. Embora não sendo prejudicada por solos siliciosos, prefere os calcários. Ocorre habitualmente entre os 200 e os 1000m. Espécie de meia-sombra ou luz. Necessita de humidade, rega ligeira a moderada. Pode suportar temperaturas até -20°C. Em Portugal é possível encontrar esta espécie no norte e centro (Figura 31) (Boas,2015).

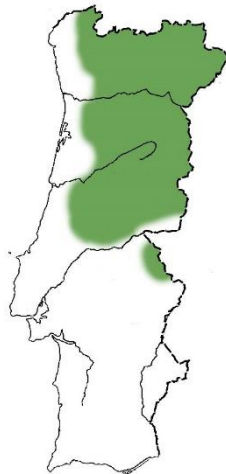


Figura 31:mapa da distribuição da espécie em Portugal (fonte: <http://www.florestar.net/cerejeira/cerejeiramapa.jpg>)

Na madeira de cerejeira o cerne é castanho rosado quando recém-cortado, escurecendo a um castanho dourado profundo com o tempo e com a exposição à luz. O borne é uma cor amarelada pálida (Figura 32). O cerne é classificado como sendo moderadamente resistente para não-durável relativamente à resistência à degradação. A cerejeira também é suscetível ao ataque de insetos. É fácil trabalhar com ambas as máquinas e ferramentas manuais. As únicas dificuldades surgem tipicamente se a madeira está manchada (The Wood Database,2015)

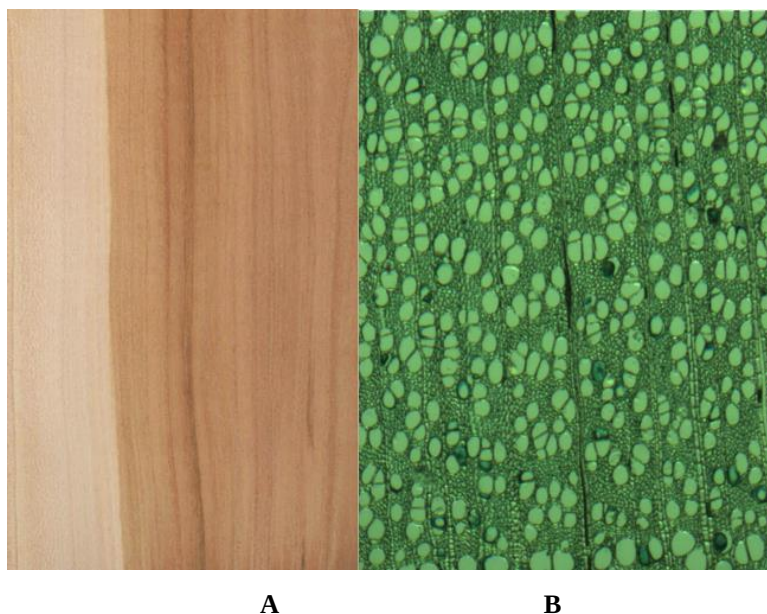


Figura 32: Madeira de cerejeira A - Aspeto macroscópico de corte longitudinal. B- Aspeto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

2.1.5. *Buxus sempervirens*

Conhecida vulgarmente como buxo (Figura 33). Pertence à família *Buxaceae*. É uma árvore pequena que atinge os 5m de altura. Tem uma longa longevidade, podendo viver até aos 600 anos.



Figura 33: Buxo - *Buxus sempervirens* (fonte: <http://pt.fantasia.wikia.com/wiki/Buxo>)

É uma árvore de folha perene e pode ser considerada um arbusto alto ou uma árvore pequena, dependendo da poda que se efetuar. O ritidoma é cinzento-acastanhado claro, ficando mais fendido e reticulado com a idade (Figura 34). As folhas são oposto-cruzadas, rijas, brilhantes, de pecíolo curto, frequentemente chanfradas no ápice, verde-escuras na página

superior e mais claras na inferior, elípticas (Figura 35). As flores são flores agrupadas na axila das folhas superiores; fruto, uma cápsula com estiletos longos e persistentes formando 3 cornículos. A floração ocorre de janeiro e maio e a maturação do fruto em setembro.



Figura 34: *Ritidoma buxo*
(fonte: <http://www.florestar.net/buxo/buxotr.jpg>)



Figura 35: folha do buxo (fonte: <http://www.florestar.net/buxo/buxof.jpg>)

O seu habitat é em leitos de cheias de rios, subcoberto de florestas e sebes; pontualmente em solos derivados de rochas ultra-básicas; por vezes escapada de cultura em solos calcários. Tolerância temperaturas até -20°C, embora prefira invernos mais amenos. Gosta de luz ou semi-sombra e solos bem drenados. Em Portugal, as populações indígenas apenas habitem alguns locais acima do rio Douro, é uma planta que se adapta sensivelmente a todo o território (Figura 36).

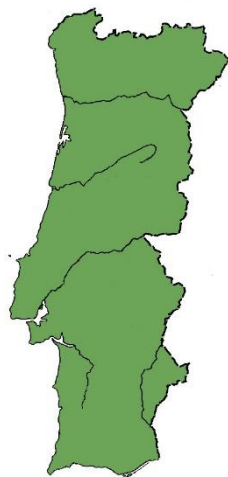


Figura 36: distribuição da espécie em Portugal (fonte: <http://www.florestar.net/pilriteiro/pilriteiromapatotal.jpg>)

A cor da madeira tende a ser um creme claro a amarelo, a qual escurece ligeiramente com a exposição prolongada à luz. O borne não se distingue do cerne (Figura 37). A sua madeira é dura, excelente para tornear, estampar por ser muito homogênea e regular, usar em pentes, tigelas, etc. as plantas indígenas do nordeste de Portugal são utilizadas no fabrico de cabos de

navalhas e também ponteiros de gaitas-de-foles (Boas,2015). Efetivamente, apesar de ter características indicadas para muitos usos, as reduzidas dimensões do tronco são um fator limitante à sua utilização para marcenaria ou carpintaria.

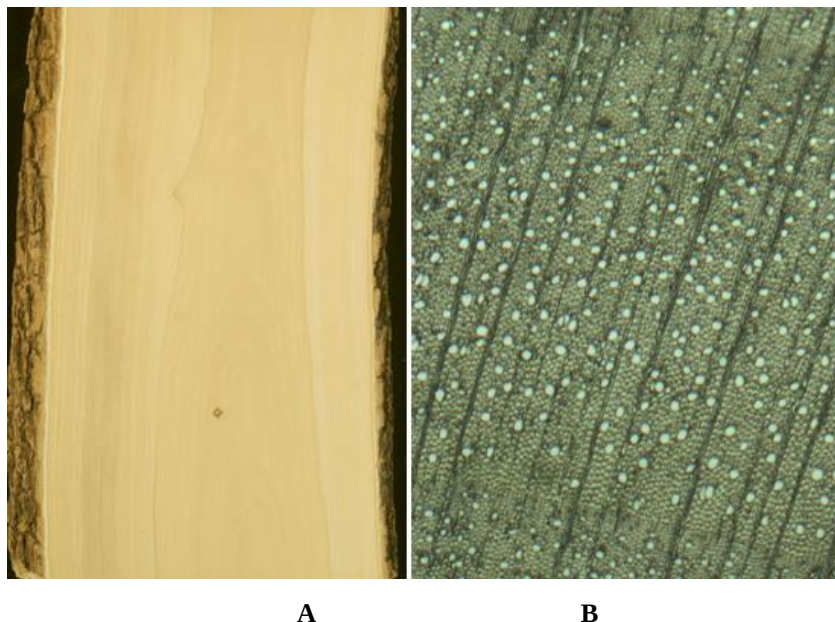


Figura 37: Madeira de buxo A - Aspetto macroscópico de corte longitudinal. B- Aspetto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

2.1.6. *Acacia dealbata*

Conhecida vulgarmente como mimosa (Figura 38). Pertence à família *Fabaceae*. Pode atingir até 30m de altura.



Figura 38: Mimosa - *Acacia dealbata* (fonte: <https://theresagreen2.wordpress.com/2011/01/29/acacia-or-mimosa/>)

É uma árvore de folha perene. Ritidoma é liso acinzentado (Figura 39). As folhas são verde-acinzentadas, recompostas, com 10-26 pares de pínulas, por sua vez com 20-50 pares de folíolos, estes com 2-5 x 0,4-0,7 mm; ráquis central da folha com glândulas apenas nas zonas de inserção das pínulas (Figura 40). As flores são amarelo-vivo reunidas em capítulos de 5-6 mm de diâmetro, formando grandes panículas (Figura 41). O fruto é uma vagem castanho-avermelhadas, comprimidas, pruinosas. A floração ocorrem de janeiro a abril.



Figura 39: Ritidoma mimosa (fonte: <http://mediciplan.blogspot.pt/2012/12/acacia-dealbata.html>)



Figura 40: Folhas mimosa (fonte: <http://mediciplan.blogspot.pt/2012/12/acacia-dealbata.html>)



Figura 41: Flores mimosa (fonte: <http://www.florestar.net/invasoras/mimosa.jpg>)

Esta espécie é uma invasora que prefere terrenos frescos dos vales, zonas montanhosas e margens de cursos de água e de vias de comunicação. Invade principalmente depois de incêndios e encontra-se distribuída por todo o território de Portugal continental e na ilha da madeira (Figura 42).

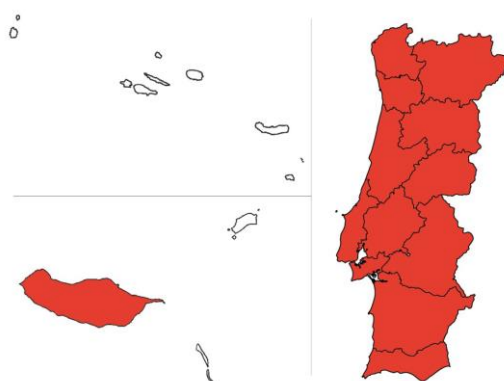


Figura 42: Distribuição da espécie em Portugal (fonte: <http://invasoras.pt/gallery/acacia-dealbata/>)

Foi introduzida em Portugal para fins ornamentais e cultivada para fixação de solos e como espécie florestal. Agora é uma praga de grande dificuldade de combate.

Como é uma invasora relativamente recente em Portugal a utilização da sua madeira não é muito usual, havendo ainda pouco conhecimento no que diz respeito às aptidões da sua madeira (Boas, 2015). No entanto existem estudos sobre o seu aproveitamento para pasta para papel ou biomassa.

Na figura 43 encontram-se duas imagens do aspeto da madeira de acácia em corte radial (A) e em corte histológico no plano transversal (B).

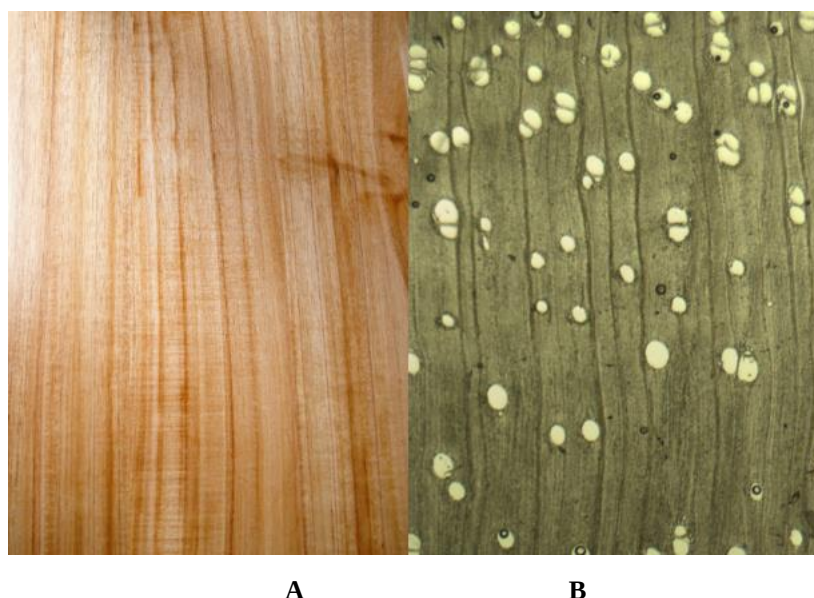


Figura 43: Madeira de acácia A - Aspeto macroscópico de corte radial. B- Aspeto microscópico de corte transversal (Martins, 2015)

3. Enquadramento teórico

Pretende-se com este enquadramento teórico mostrar a complexidade da estrutura da madeira, as suas características e propriedades anatómicas, física, mecânicas e químicas para que se possa perceber a razão porque é um material indicado para a produção de cordofones e quais as características mais importantes para que estes instrumentos musicais possam produzir som da forma pretendida

Assim, neste capítulo serão abordados alguns aspetos importantes da madeira que posteriormente ajudaram na análise e interpretação de resultados e que irá permitir obter algumas conclusões.

3.1. Anatomia da madeira

A madeira, é um material natural orgânico, anisotrópico e de estrutura celular complexa constituído por elementos histológicos diferenciados segundo as funções que desempenha. A natureza e a arquitetura desses elementos definem a estrutura anatómica da madeira, que difere de espécie para espécie. (Oliveira, 2004). Já Mathieu (1854) referia que "as aplicações tão variadas da madeira são consequência da sua composição e estrutura de que resultam as suas propriedades".

Todo o estudo da arquitetura anatómica requer a consideração de planos principais de observação, para revelação completa e espacial dos elementos constitutivos e respetiva avaliação biométrica.

Consideram-se assim, três planos fundamentais de observação:

- Plano transversal;
- Plano radial;
- Plano tangencial.

O primeiro define-se como perpendicular ao eixo axial da árvore, corresponde à secção reta do tronco, no qual se observam as formações cíclicas do lenho, denominados anéis de crescimento. Por vezes é possível ver uma formação central, de cor diferente, normalmente mais escura do que a coroa circular periférica, delimitada pela casca, que se denomina cerne, enquanto a parte restante se denomina borne. Os outros dois planos longitudinais e paralelos ao eixo axial, são definidos, como radial por passar teoricamente pela medula e seccionar perpendicularmente as camadas de crescimento, e como tangencial por ser paralelo ao plano

radial e consequentemente tangente ao contorno de uma qualquer camada de crescimento (Carvalho, 1996).

De facto existem três direções de simetria anatómica na madeira, mutuamente ortogonais (Figura 44) a direção longitudinal, no sentido das fibras, a direção radial no sentido dos anéis de crescimento e a direção tangencial aos anéis de crescimento anual.

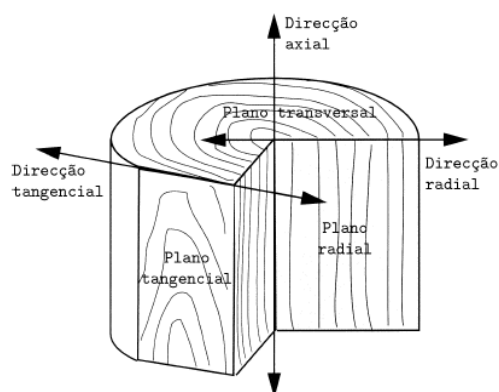


Figura 44: Principais planos e direções de referência da madeira (Chapelet, et al, 1991).

O tronco desempenha três funções na árvore, asseguradas por tecidos diferenciados: suporte da copa, transporte da seiva e reserva das substâncias alimentares. A estrutura lenhosa das plantas evoluiu ao longo do tempo, pelo que o estudo individualizado do xilema contribui para enquadrar a planta na respetiva escala evolutiva (Esteban et al. 2003). O tecido vascular primário diferencia-se a partir do corpo primário através do procâmbio e o tecido vascular secundário resulta do desenvolvimento da planta através da cavitação do câmbio vascular. O câmbio vascular é um meristema lateral que forma os tecidos vasculares secundários (Figura 45), o xilema para o interior e o floema para o exterior. As células cambiais ocorrem em dois formatos: inicial fusiforme e inicial radial (Figura 45). A inicial fusiforme é mais longa que larga e tem formato de fuso, aproximadamente prismática na parte central e em forma de cunha nas extremidades. A inicial radial varia de ligeiramente alongada a aproximadamente isodiamétrica. O sistema axial do xilema secundário deriva das células iniciais fusiformes e o sistema radial das células iniciais radiais (Figura 45) (Esteban et al. 2003).

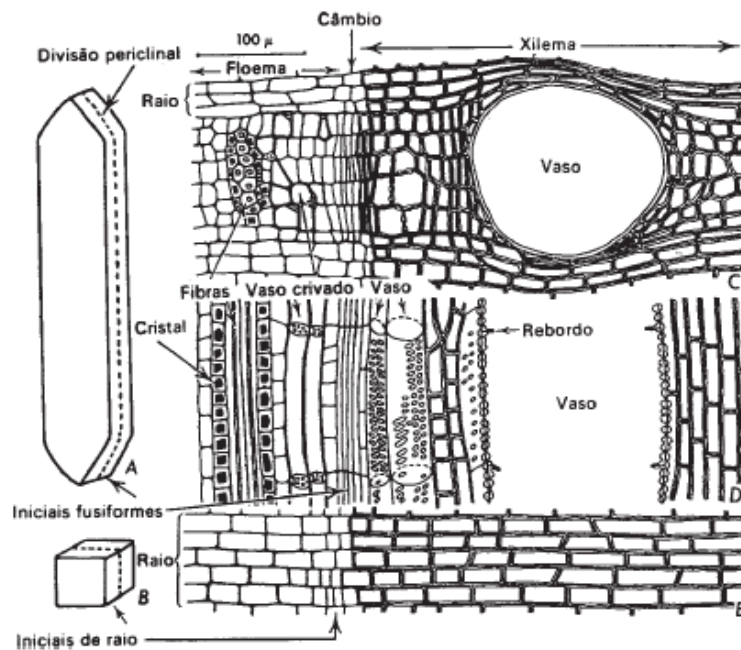


Figura 45: Câmbio vascular em relação aos tecidos que dele derivam. (A) -inicial fusiforme; (B) - inicial radial; (C) - corte transversal; (D) - corte radial (só sistema axial); (E) - corte radial) (Esau 1974)

O lenho ou xilema, é o principal tecido condutor de água das plantas vasculares e está associado a um outro tecido, com função de condução dos alimentos, designado por líber ou floema. A estes dois tecidos condutores dá-se o nome geral de tecido ou tecidos vasculares, formando um sistema vascular contínuo, que percorre toda a planta (Figura 46).

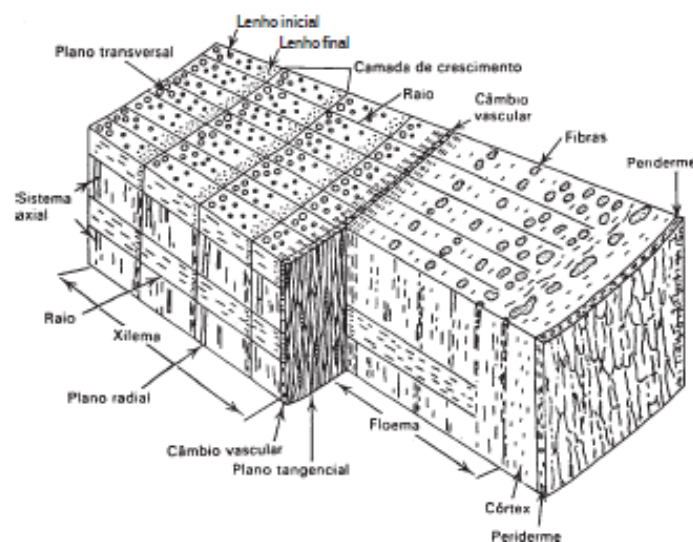


Figura 46: Diagrama de um bloco, representando o sistema axial e radial, as características básicas dos tecidos vasculares secundários e a relação com o câmbio e a periderme (Esau 1974)

A estrutura básica do xilema secundário possui dois sistemas de elementos, que diferem na orientação dos seus eixos longitudinais: um é vertical e o outro horizontal. O sistema vertical é formado por vasos, fibras e traqueídeos, parênquima lenhoso e o sistema horizontal compreende os raios.

Na figura 47 podem observar-se os diferentes tipos de células componentes do xilema secundário (Esau 1974). A estrutura do xilema secundário das resinosas é mais simples e homogênea do que das folhosas. A diferença principal está na ausência de vasos no lenho das resinosas e sua presença nas folhosas, assim como a pouca quantidade relativa de parênquima, sobretudo axial, nas resinosas (Fahn 1985).

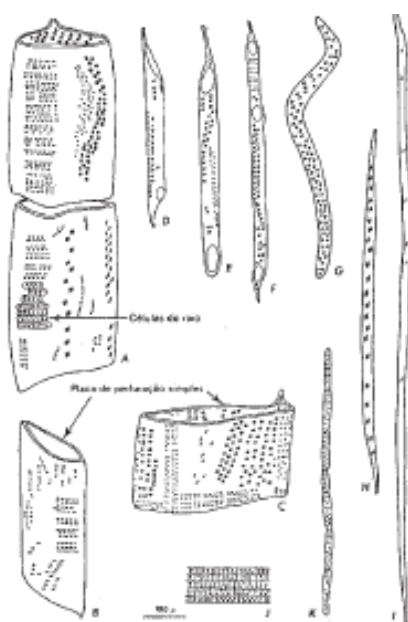


Figura 47: Tipos de células componentes do xilema secundário, obtidas de elementos do lenho dissociado. A-C, elementos de vaso largos, D-F, elementos de vaso estreitos. G, traqueídeo. H, fibrotraqueídeo. I, fibra libriforme. J, célula parenquimatosa do raio. K, feixe de parênquima axial (Esau 1974)

Os traqueídeos, que existem apenas nas resinosas, com origem nas células iniciais fusiformes, são células muito estreitas e compridas, e com função de transporte e suporte. Nas folhosas os vasos existem com função de transporte e as fibras, são células de grande espessura de parede, com função de suporte (Esau, 1974).

Os raios têm origem nas células iniciais radiais e aparecem em maior quantidade nas folhosas que nas resinosas. Os fibrotraqueídeos, com origem nas células iniciais fusiformes, têm mais função de suporte que de transporte, pois possuem um menor lúmen e maior espessamento de parede (Butterfield 2006). O parênquima, tecido com função de armazenamento, é

geralmente mais abundante nas folhosas que nas resinosas e a sua distribuição é muito importante na identificação de madeiras (Ferreirinha 1958).

Nos climas temperados, consideram-se três períodos de desenvolvimento do lenho durante um ano: repouso vegetativo, que vai desde os primeiros frios até ao início da primavera, uma formação intensa de células de grandes dimensões transversais e paredes pouco espessas e uma terceira fase, que encerra o ciclo, altura em que ocorre deficiência em água e subida de temperatura, originando células de menor calibre mas maior espessamento de parede. Fica assim formada a camada anual, correspondendo à porção de lenho que se forma num ano, com uma zona inicial (lenho inicial) e uma zona final (lenho final) (Sharp, 2004). A proporção entre lenho inicial e final pode ser afetada pela duração dos períodos de crescimento, condições climáticas e disponibilidade do solo em água e nutrientes (Gourlay 1995, Pumijumnong *et al.* 1995)

As diferenças estruturais entre cada um dos tipos de lenho conferem às camadas diferentes propriedades físicas e mecânicas. O lenho final é mais denso, menos poroso, mais resistente mecanicamente e mais retrátil do que o lenho inicial (Spear & Walker 2006).

Com o desenvolvimento da árvore, o lenho formado nos diferentes períodos de crescimento é diferente. Distinguem-se o lenho juvenil, adulto, que diferem estruturalmente, na biometria das células e organização da parede celular, e apresentam diferentes propriedades, tais como a densidade e resistência mecânica, originando características e propriedades tecnológicas diferentes. (Hakkila 1989, Zobel & van Buijtenen 1989, Chauhan *et al.* 2006).

Como refere Ferreirinha (1958), os elementos condutores das folhosas (vasos), tal como os elementos fibrosos, apresentam uma variação de comprimento do lenho juvenil para o adulto, ainda que menor relativamente às resinosas, ao mesmo tempo que aumentam de diâmetro e diminuem em número.

O lenho juvenil é menos denso do que o lenho adulto, apresenta fio inclinado e as microfibrilas da camada S2 também mais inclinadas o que o leva a ter uma menor resistência mecânica. Quimicamente, parece haver um aumento do teor de celulose do lenho juvenil para o adulto, com a correspondente diminuição do teor de lenhina (Dickison 2000).

3.1.1. Estrutura macroscópica da madeira

Como já foi referido o crescimento da madeira na árvore processa-se em duas camadas de células merismáticas, que pela sua repetida divisão, dão origem a novos tecidos e aumentam todos os anos o diâmetro do tronco. Estas camadas embrionárias, a que se dá o nome de câmbio, situam-se na periferia do tronco antes da casca (Figura 48). Durante a atividade do câmbio, as células formadas aumentam de volume, alteram as suas proporções, e evoluem para especializarem-se em diversas funções. (Oliveira,2004).

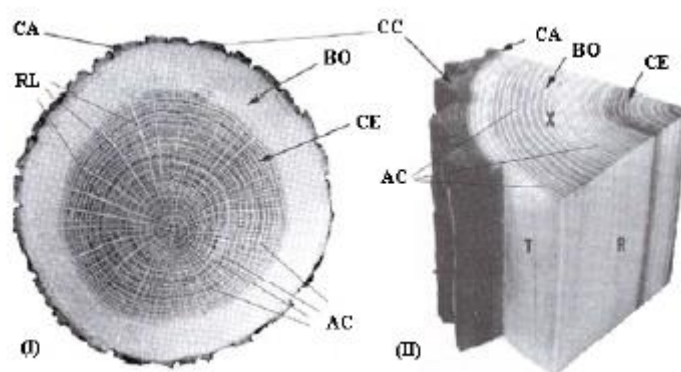


Figura 48: Estrutura macroscópica da madeira resinosa: (CC) casca; (CA) câmbio vascular; (BO) Borne; (CE) cerne; (AC) anéis de crescimento; (RL) raios lenhosos (I) (Tsoumis, 1991), (II) (Schniewind,1989).

Nas regiões temperadas o engrossamento do tronco é sazonal, pois o câmbio só entra em atividade quando condições como a temperatura e humidade são favoráveis. Ao longo do período de crescimento vegetativo, uma nova camada de lenho vai sendo produzida (Oliveira, 2004).

Contudo, esta camada anual é heterogénea devido à diferenciação das células formadas em alturas distintas do ciclo de crescimento formando-se assim o já referido lenho inicial no início do período de crescimento, com células de lúmen grandes e paredes finas, fruto de condições ambientais mais favoráveis. As células que se diferem mais tarde, formam o lenho final, e apresentam as paredes mais espessas e o lúmen mais estreito. Esta diferenciação permite-nos observar, num corte transversal do tronco, uma série de anéis que podem ser considerados aproximadamente concêntricos, correspondentes aos chamados anéis de crescimento (Oliveira, 2004).

O engrossamento sazonal do tronco vai empurrando cada vez mais para o interior as camadas de lenho mais antigas. Por outro lado, a deposição de lenhina (composto químico da madeira), nas paredes dos vasos e fibras (Folhosas) e traqueídeos (Resinosas), vai tornando estes elementos cada vez mais rijos e a deposição nestes tecidos de produtos excedentários da atividade fisiológica torna-os menos eficientes no transporte dos nutrientes. Assim, o lenho da parte central do tronco vai-se tornando inativo, constituído por células mortas de paredes lenhificadas que se impregnam de taninos, gomas e corantes e formam uma coluna cónica a que se dá o nome de cerne. Com os anos, esta zona central acompanha o crescimento da árvore, expandindo-se em altura e em largura. A camada mais externa, de formação mais recente, representa o lenho ativo e constitui o borne. Esta região ativa do tronco situa-se, numa camada relativamente estreita, compreendendo à parte mais externa do xilema, ou seja aos anéis periféricos do lenho (Oliveira, 2004).

3.1.2. Estrutura microscópica da madeira

Ao nível microscópico, o lenho das árvores Resinosas é constituído, principalmente, por dois tipos de elementos: os traqueídeos e os raios lenhosos. Os traqueídeos são células de paredes lenhificadas, muito alongadas de configuração fusiforme, alinhadas lado a lado longitudinalmente, e desempenham simultaneamente funções de suporte e de transporte da seiva. Estas células comunicam entre si através das pontuações areoladas que se situam em longas extensões de paredes celulares sobrepostas. A comunicação dos traqueídeos com os raios lenhosos é também assegurada por pontuações.

Como já foi referido durante o período de crescimento, os traqueídeos não se apresentam sempre com o mesmo aspeto (Figura 49).

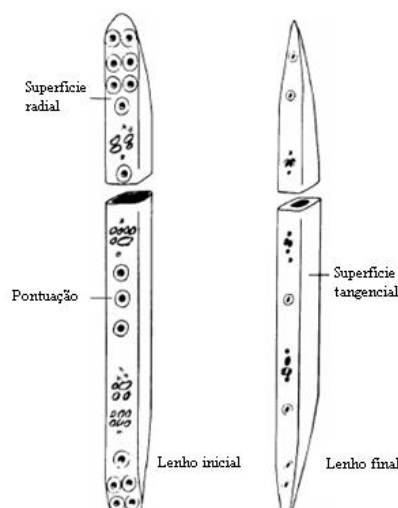


Figura 49: Esquema longitudinal dos traqueídeos (Lewin and Goldstein, 1991)

Os traqueídos formados no início do ciclo vegetativo (lenho inicial) possuem paredes finas, muitas pontuações e um lúmen largo e asseguram a condução da seiva, por seu lado, os traqueídos diferenciados no fim do ciclo (lenho final) têm paredes espessas,, poucas pontuações e um lúmen reduzido assegurando essencialmente as funções de suporte. Assim, em geral, os anéis das resinosas produzidas em cada ano distinguem-se facilmente num corte transversal do tronco pela existência destes dois tipos de lenho com características distintas (Oliveira, 2004).

O número de anéis que se mantém ativo varia de espécie para espécie, devido sobretudo às características do próprio lenho.

3.1.3. Variabilidade da madeira

Como já foi referido a madeira é um material natural de origem biológica e portanto apresenta uma variabilidade significativa que condiciona em muito a sua utilização. Pode dizer-se que existem três níveis de variabilidade: a que ocorre entre espécies; a que existe dentro da espécie, ou seja, entre árvores e a que se verifica no interior de cada árvore (Xavier, 2003). A variabilidade natural entre espécies distintas é atribuída às diferenças genéticas entre estas; enquanto que, para uma determinada espécie a variabilidade entre árvores dessa mesma espécie pode ser quer genética quer devida a fatores do meio ambiente, tais como o clima, solo, fornecimento de água, disponibilidade de nutrientes, quer devida à interação dos fatores genéticos com os ambientais. Por sua vez, a variabilidade que se verifica no interior de cada árvore é apenas devida aos fatores do meio ambiente que condicionam o seu crescimento específico e todos os processos fisiológicos inerentes à formação do lenho. Ao longo do tronco duma árvore, o comprimento das células, a espessura das paredes celulares, o ângulo que as células formam com o eixo vertical do tronco (fio), e o ângulo das microfibrilas das paredes celulares, variam radialmente, desde a medula até à casca e axialmente, da base para o topo. Esta variabilidade na estrutura interna duma árvore, traduz-se também na distinção entre o lenho juvenil, formado nos primeiros anos de vida da árvore (parte interior do tronco) e o lenho adulto, formado no estado adulto do seu crescimento, parte exterior do tronco, (Figura 50).

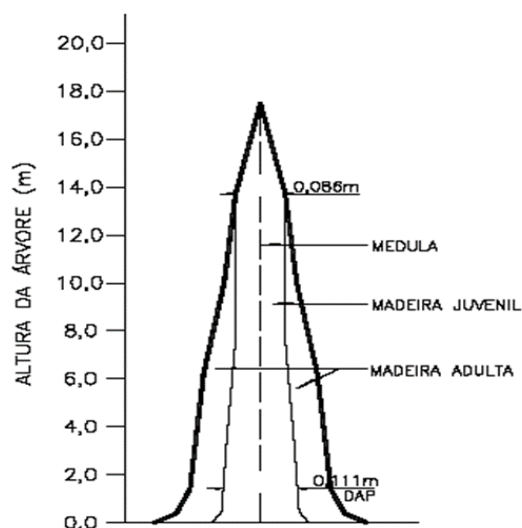


Figura 50: Representação esquemática, lenho adulto e lenho juvenil
(http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000100003)

De um modo geral, pode afirmar-se que o lenho juvenil das resinosas quando comparado com o lenho adulto é caracterizado por apresentar traqueídeos mais curtos, com diâmetros mais reduzidos e paredes finas, densidades médias relativamente baixas, uma reduzida percentagem de lenho final e uma pequena diferenciação dos lenhos formados no início e fim da estação. Além disso, o lenho juvenil apresenta frequentemente fio inclinado, elevadas retrações longitudinais e reduzida resistência mecânica. Contudo, apesar do lenho adulto ser dotado de características diversas das do lenho juvenil, não existe uma linha de separação bem definida entre estes dois tipos de lenho, há como que um contínuo de lenho, ou seja não há uma boa distinção entre o lenho juvenil e o lenho adulto, é como que uma transição gradual, isto acontece pelo facto de as alterações de um lenho para o outro serem normalmente feitas de forma gradual de um ano para o outro, no entanto existe uma zona de transição que possui características intermédias. Concluindo o acima referido pode dizer-se que como resultado da origem natural da madeira as propriedades físicas e mecânicas da madeira têm um grau de variabilidade elevado (Xavier, 2003)

3.2.Características e Propriedades da madeira

3.2.1. Propriedades físicas

Uma das grandes limitações práticas da madeira é a sua heterogeneidade, anisotropia e higroscopicidade. Nem mesmo dois blocos de madeira de uma mesma árvore são iguais. Estas diferenças podem ser atribuídas às condições ecológicas do ano em que se formou, à localização

da amostra no tronco (altura, distância da medula, posição do anel de crescimento), aos defeitos da madeira, etc. (Burger & Richter 1991).

Esau (1974), afirma que a composição do lenho, a estrutura e a organização dos seus elementos constituintes são os fatores que determinam as propriedades físicas da madeira e a sua aptidão para o uso comercial.

De seguida abordam-se algumas das características e propriedades da madeira que podem estar na origem da definição da sua utilização.

3.2.1.1. Humidade

A madeira é caracteristicamente higroscópica, isto é, tende permanentemente a equilibrar o seu teor de humidade com o estado higrométrico e a temperatura do ambiente em que se encontra (Esteves, 2009).

Da humidade da madeira dependem quase todas as propriedades de resistência, a maior ou menor aptidão para a laboração, o poder calorífico e a resistência ao ataque de fungos (Kollmann, 1959). A humidade influencia tanto a densidade como a retratabilidade da madeira, sendo a sua determinação indispensável, principalmente quando se pretende conhecer as suas aplicações tecnológicas, pois a conservação, abertura de fendas, deformação de peças, condições de serragem, resistência mecânica dependem do teor de humidade da madeira (Kollmann, 1959).

A humidade da madeira nas árvores em pé varia de 30 a 300%, dependendo de diferentes fatores, sendo eles, a espécie, a localização da árvore ou a estação do ano, pois esta varia conforme as condições a que a árvore está exposta. Mesmo que seja a mesma espécie e estejam em locais próximos, a humidade irá variar de uma árvore para a outra (Giordano, 1971).

No cerne das resinosas existe uma humidade mais baixa do que no borne. Nas folhosas as diferenças não são tão acentuadas. A diferença de humidade entre o borne e o cerne deve-se principalmente à existência de mais extrativos no cerne, pelo que por um lado dificulta a entrada de água nesta zona da árvore e por outro diminui o número de radicais hidroxilo disponíveis para as moléculas de água se ligarem e por consequência o teor de humidade será menor (Machado, 2006).

A variação de humidade na direção vertical também é mais acentuada nas resinosas do que nas folhosas aumentando da base para o topo da árvore situação que não se verifica nas

folhosas tendo portanto tendência para que as diferenças de humidade sejam comparativamente menores. (Machado, 2006)

A humidade existente na madeira encontra-se em três formas básicas, água livre, localizada no lúmen das células, em estado líquido e água de embebição, localizada no interior das paredes celulares e água de composição (Figura 51). Em teoria, a água livre pode ser retirada facilmente, passando de uma célula para a outra até atingir a superfície externa da madeira. Relativamente à água de embebição as moléculas de água, mantem-se unida às microfibras das paredes das células sendo a sua remoção mais difícil e o processo mais lento, sendo necessário mais energia neste processo (Machado, 2006).



Figura 51: Localização da água na célula (Machado, 2006)

Partindo do estado verde, uma peça de madeira colocada ao ar vai gradualmente perdendo peso, ou seja perdendo água, secando, numa primeira fase sem perceptível variação de dimensão. Tal fase corresponde, portanto, apenas à evaporação da denominada água livre. Mas, a partir deste estado, acontece que a continuação do processo de secagem vai provocar a remoção de parte da água que satura as paredes celulares, água de embebição, fenómeno conjugado com a redução da espessura dessas paredes e, conseqüentemente, das dimensões, sobretudo transversais (tangencial e radial) das células (Machado, 2006).

Quando a humidade atingiu a fase em que toda a água livre foi retirada da estrutura celular, diz-se que se atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF), ou que a quantidade de água corresponde ao teor de saturação das fibras (TSF). Segundo Tiemann (1906) o PSF é o ponto em que o conteúdo de humidade nas paredes das células de madeira está saturado enquanto os lúmens estão vazios, ou seja, sem água livre. Este é um ponto perfeito e como tal não pode ser calculado com precisão. Para fins práticos, o valor padrão ao PSF para as madeiras que crescem em clima temperado é aproximadamente 30% (Siau, 1995). No entanto, podem ser observadas

diferenças na mesma espécie, dependendo do método de determinação e de outros fatores, tais como, teor de extrativos, proporção de borne e cerne, de lenho final e inicial, lenho de compressão e de tensão, a densidade e a temperatura. A presença de extrativos reduz o PSF (Wangaard & Granados, 1967).

O conhecimento deste ponto é importante pois é a partir dele que ocorrem as alterações físico-mecânicas da madeira, isto é, contração ou expansão, que posteriormente podem causar defeitos na madeira, tais como empenos, fissuras e por consequência alterações na resistência mecânica e física da madeira.

Sempre que uma peça de madeira é previamente seca e exposta ao meio ambiente, esta irá absorver a água dispersa no ar. Quando a madeira absorve a água do meio ambiente atinge um teor de humidade final, valor este que é função da espécie e das condições do meio, neste caso diz-se que a madeira atingiu o teor de humidade de equilíbrio com o ambiente. (Rowell, 1984) que para as condições climáticas de Portugal é assumido que anda à volta dos 12% de humidade.

3.2.1.2. Retrações

A retração é uma redução nas dimensões da madeira, ocorrendo por alteração do teor de humidade. A madeira é dimensionalmente estável quando o seu conteúdo de humidade é maior que o PSF. A instabilidade dimensional resulta da higroscopicidade da substância lenhosa (sua afinidade para a água), que só se manifesta, abaixo do PSF. Qualquer aumento do teor acima dele, resultante apenas do acréscimo da água livre não tem repercussões volumétricas (Tsoumis, 1991).

Esta instabilidade constitui um dos mais graves defeitos da madeira. Diz-se que a madeira reage inchando ao absorver humidade, retraindo-se ao perdê-la. A madeira, predominantemente anisotrópica e heterogénea, não apresenta os mesmos valores de contração segundo as três direções principais. A retração é geralmente impercetível na direção axial, máxima na tangencial e cerca de metade da retração tangencial na direção radial. O fenómeno, vulgarmente designado por “coeficiente de anisotropia”, e definido pelo valor de T/R, depende, por um lado da orientação e disposição dos tecidos no plano lenhoso e por outro, da lenhificação das paredes celulares. Quanto maior for este quociente, maior será a probabilidade de se verificarem deformações nas peças durante a secagem (Bessa, 2000).

Segundo Martensson, (1992) a diferença entre a retração tangencial (*T*) e radial (*R*) da madeira não está totalmente explicado. A explicação mais comum é a ocorrência de raios de madeira na direção radial. Supõe-se que a existência de raios de madeira tenha um efeito de impedimento no encolhimento na direção radial. Este efeito é mais pronunciado nas madeiras das folhosas do que nas madeiras das resinosas, uma vez que os raios nas resinosas são sempre unisseriados enquanto que nas folhosas, dependendo da espécie, podemos ter raios unisseriados e/ou multisseriados.

Outra teoria é baseada na diferença da retração entre o lenho inicial e final. De acordo com esta teoria a retração tangencial é definida pela retração do lenho final (mais retratável) que ao variar de dimensões arrasta o lenho inicial, enquanto que na retração radial tem mais peso a retração do lenho inicial (menos retratável) pois ela é o somatório da retração do lenho inicial com a do final mas como o lenho final, normalmente, representa muito pouco comparativamente ao lenho inicial a retração final fica mais reduzida.

Uma terceira teoria sugere uma orientação mais desordenada das microfibrilas nas paredes radiais, quando comparada com a das paredes tangenciais devida à presença das pontuações em maior número na parede radial. (Time, 1998).

A densidade afeta a anisotropia da retração. O coeficiente diminui com a densidade (Bosshard 1956; Kollmann & Côté 1968), significando que em madeiras de maior densidade, a diferença entre a retração tangencial e radial é mais pequena. O coeficiente de retração anisotrópica aumenta com o aumento do teor de humidade (Kommert, 1980).

Os extrativos reduzem o efeito de retração,, pois uma vez os espaços estejam ocupados pelos extrativos não será possível a entrada de água. Assim, se os extrativos forem removidos, aumenta-se a retração (Brown et al., 1952; Nearn, 1995).

Como dito anteriormente, a retração da madeira normalmente inicia-se quando esta atinge o PSF, continuando de maneira regular e linear até a madeira estar completamente seca. Contudo, na secagem normal de madeira em pequena ou em grande escala, a superfície da madeira seca em primeiro lugar. Quando a superfície atinge valores inferiores ao PSF, a retração inicia e portanto a madeira começa a retrair. No entanto, o interior da madeira ainda pode conter bastante água e não se retrair. Como resultado, a madeira ao ser seca, pode iniciar o processo de retração antes da humidade média da amostra inteira ser inferior ao ponto de saturação das fibras (*PSF*) (U.S.D.A., 1999).

A retração manifesta-se em todas as espécies, até mesmo em madeiras muito secas e velhas. Quanto à retração, as madeiras classificam-se em pouco retráteis, retráteis e muito

retráteis. Esta classificação é atribuída conforme a alteração que se verifica nas dimensões da madeira a quando da passagem do estado de verde para seco (Quadro 1) (Bessa, 2000).

Esta característica é vulgarmente conhecida como "trabalhar da madeira", de modo que é frequente classificar as madeiras em "madeiras que trabalham muito" e "madeiras que trabalham pouco". A estas designações vulgares correspondem as expressões técnicas de madeira "muito nervosa", "nervosa" e "pouco nervosa", que indicam o comportamento da madeira com a variação do seu teor de humidade.

Quadro 1: Classificação das madeiras quanto à retração, segundo as normas do LNEC (Bessa, 2000)

		Tangencial	Radial
Linear total %	Baixa	< 7	< 4
	Média	7 – 11	4 - 7
	Elevada	> 11	> 7
Volumétrica total %	Pouco retrátil	< 10	
	Medianamente retrátil	10 – 15	
	Muito retrátil	> 15	
Volumétrica Unitária %	Pouco nervosa	0,15 – 0,35	
	Medianamente nervosa	0,35 – 0,55	
	Muito nervosa	0,55 – 1,00	

3.2.1.3. Densidade

No que diz respeito a madeiras, a densidade, é aquela que tem um maior interesse quando se fala da qualidade desta. A densidade é definida pela massa por unidade de volume, na madeira esta apresenta uma elevada grande variabilidade uma vez que pode variar não só de espécie para espécie, mas também dentro da mesma espécie. Ou seja a densidade varia mesmo dentro da mesma espécie dependendo do local, da árvore, do nível, da idade, das características do ano de formação do anel de crescimento. Os fatores externos a que a árvore esta sujeita durante o seu crescimento influencia a densidade que esta madeira terá. Árvores da mesma espécie, que tenham crescido no mesmo local podem apresentar densidades diferentes (Zobel e Van Buijtenen, 1989).

A densidade é uma característica muito importante quando se fala de qualidade da madeira. A sua determinação pode ser feita com alguns processos simples e com a qual se relacionam a resistência mecânica, a produtividade das espécies, e muitas outras características físicas, o que lhe confere a possibilidade de ser considerada a característica chave da qualidade da madeira (Louzada, 2000).

A variabilidade da densidade tem origem em vários fatores que, isoladamente ou em interação, interferem nos processos fisiológicos de formação do lenho, resultando em

modificações anatómicas e/ou químicas da madeira que se irão traduzir na alteração da densidade. Esses fatores, que podem ser de ordem genética ou ambiental, têm efeitos diferentes na estrutura da madeira, dependendo da idade do câmbio aquando da sua formação, do estado de desenvolvimento vegetativo da árvore e das condições mecânicas internas existentes na árvore, nomeadamente das tensões de crescimento (Tsoumis, 1991).

Existe ainda um outro fator que interfere na densidade da madeira de forma significativa que é o teor de humidade que a madeira possui aquando se procede à determinação da densidade. Esta humidade é condicionada pela temperatura e o estado higrométrico do ar em que a amostra de madeira se encontra (Siau, 1995). Esta condicionante permite expressar a densidade de diferentes modos de acordo com as condições de humidade que a madeira se encontra.

Temos então:

Densidade básica (Db): define-se como a razão entre o peso anidro (P0) de uma amostra (seco em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$) e o seu volume saturado (Vs) de água. Representa a quantidade de matéria seca no volume de madeira verde existente nas árvores.

$$D_b = \frac{P_0}{V_s}$$

Apesar de apresentar um valor irreal, uma vez que não podemos ter numa amostra de madeira simultaneamente o peso anidro e o volume saturado, esta densidade é a mais utilizada pois a sua determinação é a que está mais isenta de erros de avaliação mais rápida e é facilmente comparável com outros.

Densidade normal ou a 12% (D12): é a razão entre o peso da amostra e o seu volume, ambos a 12% de humidade. É o valor mais real do ponto de vista de utilização da madeira, no entanto a sua determinação é mais morosa, pois exige a correção de pesos e volumes (obtidos a uma humidade próxima dos 12%), para uma humidade de referência de 12%.

$$D_{12} = \frac{P_{12\%H}}{V_{12\%H}}$$

Densidade anidra (D0): é a razão entre o peso e o volume da amostra seca (V0) em estufa, a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. É um valor pouco representativo do ponto de vista da utilização da madeira, uma vez que a madeira não se encontra normalmente nestas condições.

$$D_0 = \frac{P_0}{V_0}$$

Sendo a densidade uma quantificação da massa lenhosa por unidade de volume de madeira, ela está diretamente relacionada com o desenvolvimento de todos os elementos celulares que a compõem que, por sua vez, é determinado pela distância aos órgãos foliares da copa, pela distância à medula e pela localização dentro do anel de crescimento. Assim, dentro da árvore é possível definir duas direções que abrangem a variabilidade da densidade: a direção axial, associada aos diferentes níveis de altura e a direção radial, que comporta a variação existente entre os anéis de crescimento, devida a diferenças nas idades fisiológicas e cronológicas, e a variação existente dentro dos anéis de crescimento que ocorre pelas diferentes condições vegetativas que se verificam ao longo de uma época de crescimento.

3.2.2. Propriedades mecânicas

O estudo das propriedades mecânicas da madeira permitem estimar o seu comportamento quando submetida a esforços de natureza mecânica e, desta forma, definir as condições de aplicabilidade mais apropriadas para cada tipo de madeira.

As propriedades mecânicas da madeira resultam diretamente da sua anisotropia e da heterogeneidade que naturalmente apresenta. A estrutura do lenho das árvores foi orientada durante o seu crescimento para responder a ações ambientais, como a ação do vento (semelhante a um esforço de flexão) e a ação gravítica (esforço de compressão) (Pereira, 2009) o que faz com que naturalmente ela apresente resistência a estes dois tipos de esforço. No entanto, quando está em uso há outros tipos e magnitude de esforços que lhe são exigidos e que é necessário conhecer.

Os principais esforços solicitados à madeira em uso são:

- Tração paralela às fibras: A madeira possui uma elevada resistência à tração paralela às fibras.
- Compressão paralela às fibras: A resistência à compressão paralela às fibras da madeira é elevada. Como exemplo de peças sujeitas a este esforço podem-se referir os pilares.

- A resistência à tração é superior à resistência à compressão no caso de madeiras livres de defeitos
- Flexão estática: A resistência à flexão das madeiras é elevada. Exemplo de peças: vigas, vigotas
- Compressão perpendicular às fibras: A resistência à compressão perpendicular às fibras é menor que na direção paralela às fibras. Este esforço é característico nas zonas de apoio das vigas, onde se concentra toda a carga em pequenas superfícies que deveriam ser capazes de transmitir a reação sem sofrer deformações
- Tração perpendicular às fibras: A resistência à tração perpendicular às fibras da madeira é baixa (30 a 70 vezes menor que na direção paralela às fibras). Esta questão é crítica no caso de peças curvas.

Os esforços de flexão paralela às fibras despertam nas peças de madeira dois tipos de comportamento: no intradorso surgem esforços de compressão e na zona de extradorso as fibras são tracionadas. Isto leva a que ocorra na zona comprimida uma pré-rotura localizada, caso o limite de resistência à compressão seja ultrapassado. No fim, as peças rompem por rotura e estilhaçamento das fibras de extradorso quando a tensão resistente máxima à tração é ultrapassada (Pereira, 2009).

Sendo a madeira um material com comportamento viscoelástico, apresenta uma região linear elástica traduzida pela lei de Hooke, na qual as tensões são proporcionais às deformações, cuja constante de proporcionalidade se designa por Módulo de Elasticidade (MOE) ou Módulo de Young. Durante esta fase assume-se que a deformação elástica é independente do tempo, ou seja, quando uma carga é aplicada, a deformação elástica permanece constante durante o período em que a carga é mantida constante e que após a remoção da carga, a deformação é totalmente recuperada, ou seja, a deformação retorna para o valor zero.

Acima do Limite de Proporcionalidade (LP) a deformação deixa de ser proporcional à carga aplicada, passando a ocorrer deformações plásticas (irreversíveis), seguido da rutura do material.

A resistência à flexão estática é expressa pelo módulo de rotura (MOR) e pelo módulo de elasticidade (MOE) sendo que:

- Módulo de Elasticidade – MOE (ou Módulo de Young) fornece uma indicação sobre o grau de rigidez do material, em que quanto maior for o módulo, maior será a rigidez, ou

seja, menor será deformação elástica resultante da aplicação da força (corresponde à inclinação da reta de proporcionalidade);

- Módulo de Rutura MOR (ou Tensão de Rutura) é à tensão correspondente ao ponto de máxima carga atingida durante o ensaio (P_{max})

O conhecimento destes parâmetros é de extrema importância para o cálculo de estruturas e classificação de elementos estruturais, pois permite medir a rigidez da madeira e o esforço que a madeira suporta até à sua rutura.

4. A Madeira, o som e os instrumentos musicais

Sem pretender fazer um estudo exaustivo sobre som e acústica, uma vez que com este trabalho pretendemos estudar a aptidão de madeiras para a construção de instrumentos musicais não podemos deixar de abordar estes temas fazendo o seu enquadramento com as características da madeira mas tendo a noção da complexidade que eles comportam e de que não passa de uma abordagem superficial feita numa dissertação em Engenharia Florestal.

4.1.Som

O som é toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga em um meio dotado de forças internas (elástico, viscoso etc.) capaz de produzir no homem uma sensação auditiva (ABNT, 1992).

Ao encontrar uma superfície, a onda sonora sofre alterações, que estão relacionadas com o tipo de material que constitui essa superfície. Essas alterações são definidas como absorção, especialmente nas superfícies mais macias e porosas, transmissão de um lado para outro, por meio da ressonância e reflexão, quando muda a direção devido à convexidade ou concavidade da superfície sobre a qual incide, ou ainda quando a onda apresenta um determinado ângulo de incidência (ABNT, 1992).

Dentre as grandezas acústicas, as mais importantes são a intensidade, a potência e a pressão sonora. A intensidade sonora é definida como a quantidade de energia sonora que atravessa uma unidade de área durante certo tempo. Segundo Bistafa (2006), a pressão sonora é a grandeza mais importante para caracterizar os efeitos do ruído em seres humanos.

4.1.1. Propagação do Som

O som é o resultado da vibração de um corpo e propaga-se em todos os meios. O som, apenas não se propaga no vácuo. Uma vez que não se propaga no vácuo, pode dizer-se que apenas se propaga na matéria, no entanto há diferentes propagações para diferentes estados da matéria, uma vez que a sua estrutura molecular varia. A diferença da estrutura molecular da matéria influencia a velocidade de propagação do som, pode dizer-se que o som se propaga mais rapidamente nos corpos sólidos depois nos líquidos e é nos corpos gasosos que a sua propagação é mais lenta. (Bessa, F., 2000).

A elasticidade aparece como a característica mais importante do meio para a propagação do som. Um corpo com comportamento elástico conduz bem o som, ao contrário dos não elásticos que o conduzem mal. Os materiais porosos, ao terem na sua estrutura espaços livres (com ar), atenuando a energia do som, pois, no ar a propagação do som é menor daí a este tipo de material ser mau condutor de som. O quadro 2 apresenta alguns valores da velocidade de propagação do som relativos a diferentes materiais (Bessa, F., 2000).

Quadro 2: Meios de propagação do som e respetiva velocidade de propagação (Bessa, F., 2000)

Meio de propagação	velocidade de prop. som (m/s)	Temperatura (°C)
ar	331	0
ar	340	15
oxigénio	317 (min)	0
azoto	363	0
hidrogénio	1269	0
água	1428	13
vidro	5000	0
cobre	3700	0
chumbo	1250	0
aço	5000	0
pinho	6000 (Máx)	0
alumínio	5100	0

4.2. Propriedades acústicas da madeira

De acordo com Araújo (2002), as propriedades acústicas da madeira, relacionadas aos princípios de ressonância e às propriedades de radiação do som, foram aplicadas por muito tempo, apesar de não serem cientificamente comprovadas.

Segundo Bucur (1995), citado por Shimoyama (2005), a avaliação das propriedades acústicas da madeira pode indicar a anisotropia desse material, considerando sua relação com as características anatómicas.

Os valores de resistência à propagação da onda sonora devem ser devidamente estudados quando se fala na construção de instrumentos musicais, uma vez que estes valores estão intimamente ligados ao módulo de elasticidade dinâmico da madeira (Souza, 1983).

Para a fabricação de instrumentos musicais, Bucur (1995) descreve que os principais parâmetros a serem considerados na seleção de amostras são: a densidade, a velocidade de propagação do som e o decaimento vibracional. Esta última propriedade pode ser explicada da seguinte forma: quando forças agem sobre um pedaço de madeira, ele vibra. Ao cessar a força,

as sucessivas amplitudes de vibração decrescem, isto é chamado decaimento. A energia é dissipada parcialmente por radiação de som e parcialmente em forma de calor por fricção interna. O decaimento devido à radiação do som depende principalmente da razão entre a velocidade do som e a densidade.

Em instrumentos musicais a situação desejada é que a madeira possua baixo decaimento devido à fricção interna e alto decaimento devido à radiação do som (Society of Wood Science and Technology 2009).

Considerando a interdependência das propriedades da madeira, Calegari *et al.*,(2007) referem que quando a rigidez, é alta, a velocidade de propagação longitudinal também é alta, os autores citam Smith (1932) para descrever que este é o motivo pelo qual a velocidade de propagação é maior no aço do que no ar, apesar da densidade do aço ser maior. Esse comportamento pode explicar os efeitos distintos da densidade sobre a velocidade de propagação do som. A velocidade de propagação do som na direção longitudinal é diretamente proporcional a elasticidade da madeira e inversamente proporcional a densidade (Society of Wood Science and Technology 2009).

Esta afirmação é reforçada por Carrasco & Azevedo Júnior (2003), que mencionam não ser propriamente o aumento na densidade o que acarreta aumento na velocidade de propagação do som. Ao contrário, o aumento da densidade deveria provocar a diminuição da velocidade de propagação, visto que a velocidade é inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade.

4.3.Características gerais das madeiras utilizadas em instrumentos musicais

Segundo Slooten e Souza (1993), as características gerais da madeira abrangem cor, textura, figura e grã. O fabrico de instrumentos musicais exige que existam determinadas combinações destas características para cada componente do instrumento.

A cor da madeira para instrumentos musicais tem que levar em conta algumas exigências já consagradas pela tradição. No caso das guitarras, não existe necessariamente uma tonalidade específica, no entanto as tonalidades devem ser (tradicionalmente) em tons de castanho.

As diferenças de cor entre cerne e borne facilitam a distinção entre os mesmos. Isto é bastante importante, uma vez que no fabrico de instrumentos musicais deve ser utilizado o cerne (Slooten e Souza, 1993). Esta variação de cor existente entre borne e cerne (variação natural), deve-se principalmente à presença de extrativos nas células. Estes depositam-se de forma mais

acentuada no cerne, uma vez que é o que apresenta uma cor mais escura o que quer dizer que tem um teor maior de extrativos (Melo, 2002). A espessura da camada do borne é um fator limitante na seleção das espécies, uma vez que a largura mínima das tábuas para o fabrico de uma guitarra é de 20 cm. Como a madeira tem que ser perfeitamente radial, é necessário que o diâmetro mínimo do cerne seja de pelo menos 50 cm, o que significa que árvores com 5 cm de espessura na camada do borne devem ter um diâmetro de pelo menos 60 cm para permitir a largura necessária (Slooten e Souza, 1993).

O conceito de figura ou desenho que se obtém com a orientação de corte na madeira é bastante subjetivo, sendo de consequência de características naturais da espécie, presente no cerne e no borne, tais como anéis de crescimento distintos, raios diferenciados, cor, tipo de grã, etc. (Melo, 2002). O termo fio refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore (ou peça de madeira). Durante o crescimento da árvore, existem várias condições a que esta sujeita que influenciam a variação natural e o arranjo dos tecidos, originando diferentes tipos de fios. De uma forma simplificada e prática, quando se racha uma peça de madeira na direção longitudinal, ela parte segundo a direção dos tecidos anatómicos, ou seja ela parte na direção do fio. (Melo, 2002). Preferencialmente as madeiras utilizadas na confecção de instrumentos musicais devem apresentar fio-direito (Slooten e Souza, 1993).

Para além destas características é também importante na utilização da madeira para construção de instrumentos musicais a estabilidade dimensional da própria madeira. Segundo Franco & Yojo (2008) madeiras empregadas para a confecção de instrumentos musicais devem preferencialmente apresentar baixos valores de retração volumétrica, o que garantirá menor variação nas dimensões da madeira quando o instrumento for transportado para ambientes com diferentes teores de humidade. Segundo Araújo (2007) a presença de água implica em diferenças na densidade e consequentemente na resistência mecânica da madeira. Na maior parte das situações, não é possível controlar a humidade do ar e como a madeira é higroscópica, seu teor de água tende a equilibrar-se com o ambiente. Essas alterações ocasionam variações nas propriedades físico-mecânicas, que podem refletir na tocabilidade e durabilidade do instrumento

4.3.1. A Guitarra

A viola clássica define-se como um cordofone de corda dedilhada. Possui diferentes designações: viola dedilhada, guitarra hispânica, guitarra clássica, guitarra espanhola, viola, violão (Bessa, F., 2000).

Em Portugal, nos princípios do séc. XIX, o termo guitarra foi aplicado a um instrumento derivado do cistre inglês (palavra também relacionada com cítara) e que se popularizou, originando a atual guitarra portuguesa, em forma de pera, de fundo chato, montada com seis pares de cordas metálicas e cravelhame em chapa de leque, com doze parafusos de rosca sem fim. Ao executar, as cordas não são tocadas com plectro nem com os dedos mas sim, com as unhas, tal como a cítara. Neste período de transição, os métodos que existiam, referiam a designação de "viola portuguesa", para indicar que se tratava do mesmo instrumento denominado em Espanha guitarra e não daquele que em Portugal se designava por esse nome. Hoje utiliza-se, de preferência, o termo tradicional de viola (Bessa, F., 2000).

4.3.1.1. Construção

Como acontece com todos os instrumentos de cordas, o processo de fabrico da viola é longo e difícil. Existem ainda violeiros que constroem violas por processos totalmente artesanais. No entanto o aumento da procura deste instrumento levou ao aparecimento de fábricas semi-mecanizadas, em que os métodos utilizados se encontram entre o puro artesanato e a fabricação em série, e que produzem instrumentos de qualidade por vezes aceitável e de preço acessível (Bessa, F., 2000).

A construção da viola não está normalizada, e faz-se em vários tamanhos, formas e materiais, variando quase de construtor para construtor.

As principais peças que compõem uma viola são: a caixa-de-ressonância e o braço. A caixa-de-ressonância é constituída pelo tampo superior, tampo inferior, costas ou fundo e as ilhargas ou costilhas (Figura 52) (Bessa, F., 2000).

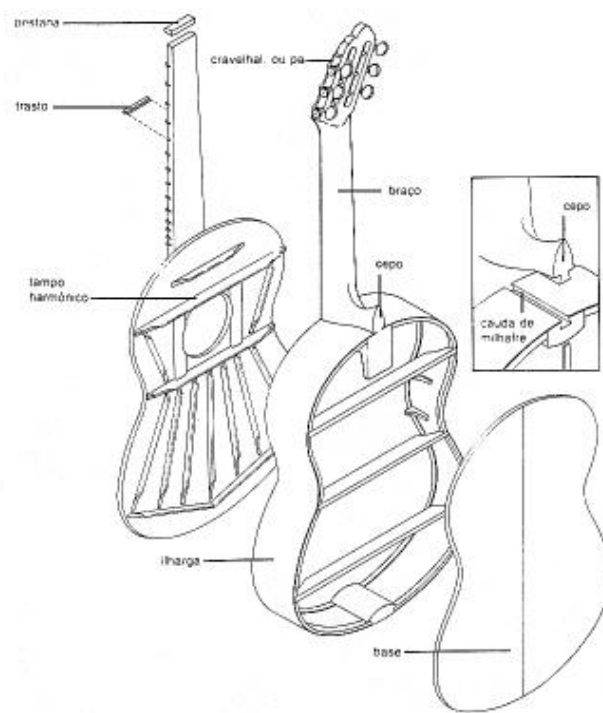


Figura 52: Principais peças que compõem a guitarra (Bessa, F., 2000)

O braço divide-se em três partes: cravelhal, pá ou cabeça do braço, braço propriamente dito e cepo. A cabeça do braço está preparada para conter as pequenas peças onde se enrolam as cordas. O braço, bastante comprido, é recoberto por uma régua de madeira dura (escala), que é a peça sobre a qual se calcam as cordas com os dedos.

Depois de coladas todas as peças que fazem parte da caixa-de-ressonância, esta é ligada ao braço e colocam-se os aros de reforço ao longo dos contornos dos tampos, no centro do fundo e na junção inferior das ilhargas. Segue-se a colocação da escala. A fase final consiste na colocação do cavalete que se cola sobre o tampo harmónico, entre a boca e o bordo, peça onde se fixam as cordas. O cavalete contém uma outra pestana onde assentam as cordas. (Bessa, F., 2000).

4.3.1.1.1. Requisitos para diferentes partes da guitarra

Como foi dito anteriormente, a guitarra é constituída por diferentes e parte e cada uma destas parte tem uma função diferente, logo necessitam de madeiras diferentes e que possuam características adequadas às funções. Os requisitos que cada madeira deve ter para cada peça diferente são:

- Fundo e ilhargas: uma madeira “rígida”, que reflita as vibrações em todas as direções e a sua transmissão ao tampo; está associada a elevados valores de densidade, nº de raios/mm, parênquima médio a abundante, estratificação nítida dos raios e a baixos teores de humidade e retração, altura média dos raios, comprimento médio dos vasos e das fibras.
- Tampo: uma madeira “flexível”, que receba as vibrações vindas de todas as direções e deixe passar o som para o exterior; apresentando valores elevados de comprimento, largura e espessura de parede dos traqueídos em oposição a baixos valores de densidade, nº de células em altura e largura dos raios assim como baixo índice de elasticidade de traqueídos e parênquima raro.
- Braço: madeira pouco higrométrica para não empenar, não muito pesada mas resistente para aguentar a tensão das cordas; deve ter valores relativamente elevados de extrativos em oposição a valores baixos de tempo de reverberação, pontuações intervasculares, nº raios/mm, densidade e retração sobretudo axial e tangencial.
- Escala: deve refletir bem as vibrações, dar um excelente polimento para os dedos deslizarem sem atrito, resistir ao tempo e à transpiração das mãos e permitir a fixação dos trastos metálicos sem empenar ou fender; deverá ter valores elevados de densidade e extractivos, nº vasos/mm e índice de elasticidade das fibras e valores baixos de frequência, teores de humidade, retração tangencial e volumétrica, nº de células em largura nos raios e diâmetro tangencial dos vasos
- Cavalete: madeira muito “dura” para refletir as vibrações.
- Cintas e travessas: madeira “fina” e leve para melhorar a qualidade do som e evitar os harmónicos em excesso (Bessa, F., 2000).

4.3.1.2. Acústica

Acusticamente, a viola considera-se como um sistema de osciladores agrupados: as cordas emitem reduzida potência acústica mas, através do cavalete, excitam o tampo superior da caixa acústica que, por sua vez, transmite energia ao ar que existe no interior da caixa e ao tampo inferior. A emissão sonora ocorre essencialmente por meio do tampo superior da caixa-de-ressonância e pela abertura. (Martins da Silva, P., 1989).

Pode obter-se uma grande diversidade no timbre, através da forma como se ataca a corda. Com este instrumento é possível realizar todos os tipos de escalas com velocidade e

segurança absoluta. É um instrumento com possibilidades polifónicas e por isso existe muita literatura para este instrumento como solista. Também é utilizado como instrumento de acompanhamento (Martins da Silva, P., 1989).

5. Material e métodos

5.1. Preparação das amostras

A realização deste estudo contemplou a execução de vários trabalhos laboratoriais, tais como a medição do comprimento e dimensões transversais das fibras, determinação da percentagem de tecidos, cálculo de retrações, determinação da densidade e ainda determinação do módulo de rotura e módulo de elasticidade.

A fim de se medirem todas estas variáveis, foi necessário recolherem-se amostras das espécies envolvidas no estudo que irão substituir as utilizadas atualmente para as diferentes partes da guitarra. No quadro 3 é apresentado um resumo onde são indicadas para as componentes da guitarra estudadas, as espécies normalmente utilizadas e as que irão ser estudadas para uma possível alternativa às primeiras.

Quadro 3: Espécies utilizadas para o estudo

Componente da guitarra	Madeiras utilizadas	Madeiras alternativas
Ilhargas e Fundos	<i>Dalbergia spruceana</i> L. (Pau santo) <i>Acer pseudoplatanus</i> L. (Sicómoro)	<i>Acacia dealbata</i> L. (Mimosa) <i>Juglas regia</i> L. (Nogueira) <i>Prunus avium</i> L. (Cerejeira)
Escalas	<i>Diospyros ebenum</i> J. (Ébano)	<i>Buxus sempervirens</i> L. (Buxo) <i>Pyrus bourgaeana</i> L. (Pereira) <i>Quercus rotundifolia</i> L. (Azinheira)

Utilizou-se um toro de cada espécie com aproximadamente as dimensões de 80cm de comprimento por 30cm de diâmetro (Figura 53). Estes toros foram submetidos a vários cortes para se poder obter os provetes necessários para a realização de cada ensaio.



Figura 53: Toros das espécies em estudo (Martins, 2015)

5.2.Determinação do comprimento das fibras

Para determinação do comprimento das fibras, foi retirada uma rodela de cada um dos troncos e cortada uma amostra de madeira da medula até à casca (Figura 54). Estas amostras foram partidas em pequenas frações que foram colocadas individualmente em água até a madeira ficar saturada. Para esta operação ser mais rápida submeteram-se a vácuo, durante algum tempo até que todo o ar existente dentro da madeira saia e no lugar dele entre a água, as fibras saturadas facilitam, posteriormente, o corte das amostras de em pequenas estilhas (Figura 55).



Figura 54: Amostras retiradas de cada espécie (Martins, 2015)



Figura 55: Amostras de madeira na bomba de vácuo (Martins, 2015)

Depois da madeira saturada, cada amostra foi então partida em pequenas estilhas que foram colocadas num tubo de ensaio devidamente etiquetado com a letra correspondente ao nome da árvore e o número da porção a que corresponde. Em cada tubo de ensaio foi colocada uma solução de Franklin (mistura, em partes iguais de peróxido de hidrogénio (H_2O_2) a 130 v/v

e ácido acético glacial (CH_3COOH) e foram levados para uma placa de aquecimento num banho maria seco de blocos de alumínio, durante 48 horas a 70°C (Figura 56). A placa estava colocada dentro de uma hot, uma vez que ao aquecer a solução com a madeira são libertados gases substancialmente perigosos (Figura 56).



Figura 56:Diferentes etapas do processo de desagregação da madeira em fibras (Martins, 2015)

Depois de cozido, retiraram-se da placa de aquecimento e com a ajuda de uma vareta de vidro desagregaram-se os pedaços de madeira. Como a lenhina existente na lamela média da parede celular foi dissolvida esta operação permite dissociar a madeira nos seus diferentes elementos celulares. Seguidamente lavaram-se as fibras de cada tubo de ensaio separadamente e com a ajuda de uma pinça retiraram-se algumas fibras para uma placa de petri com água, levando-se, seguidamente para o projetor de perfis (Figura 57).

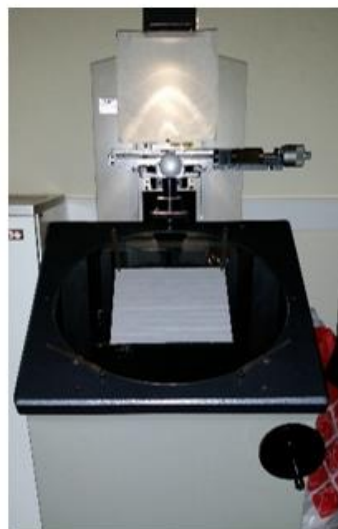


Figura 57: Placa de petri com fibras que serão levadas ao projetor de perfis para riscar (Martins, 2015)

Com a ampliação adequada, (100x), foram riscadas 50 fibras inteiras por amostra e medidas com a ajuda de um curvímetro (Figura 58).



Figura 58: Processo de riscagem das fibras e sua posterior medição com curvímetro (Martins, 2015)

5.3. Dimensões transversais das fibras e percentagem de tecidos

Após a realização de cortes histológicos de cerca de 13 μm de espessura em 2 a 3 provetes das diferentes madeiras em análise, para posterior determinação das dimensões transversais das fibras e a percentagem dos diferentes tecidos, efetuou-se, através de um sistema de análise de imagem, a aquisição de 4 imagens por corte.

Para o cálculo da percentagem de tecidos utilizou-se uma rede de pontos (40 pontos) sobreposta a cada imagem e fez-se a contagem do número de pontos que coincidia com os diferentes tecidos: vasos, fibras, raios e parênquima (Figura 59). Desta forma, obteve-se um registo da proporção que cada tecido ocupava na totalidade de pontos da imagem.

Para se obter a proporção de cada um dos tecidos em cada amostra fez-se a soma dos pontos de cada um dos tecidos das quatro fotografias que compunham cada amostra e converteu-se em percentagem.

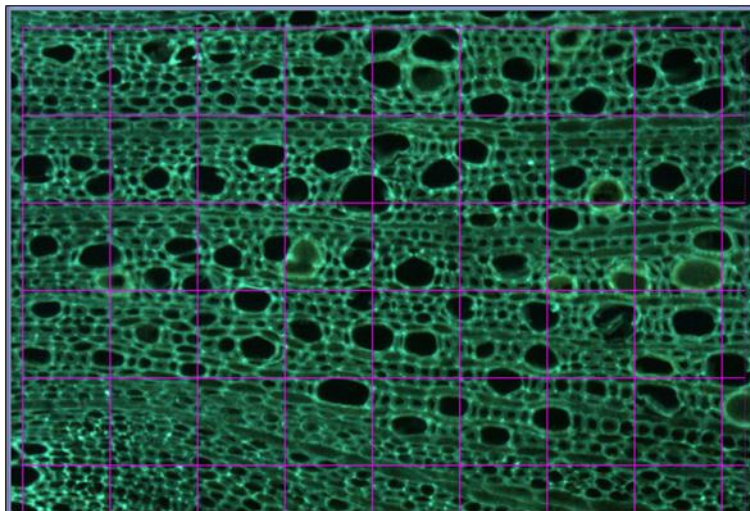


Figura 59: Fotografia microscópia de corte histológico de uma espécie em estudo com a rede de pontos sobre a imagem (AMPLIAÇÃO) (Martins,2015)

A determinação da área ocupada pelos vasos em cada amostra, foi feita nas imagens adquiridas e com auxílio do programa *Image-Pro (Plus) 6.2*. Este software permite fazer a delimitação de cada vaso e automaticamente determinar as áreas individuais fazendo o seu registo numa folha de cálculo *Excel*. Com os valores obtidos fez-se a soma das áreas dos vasos por amostra e a respetiva média (Figura 60).

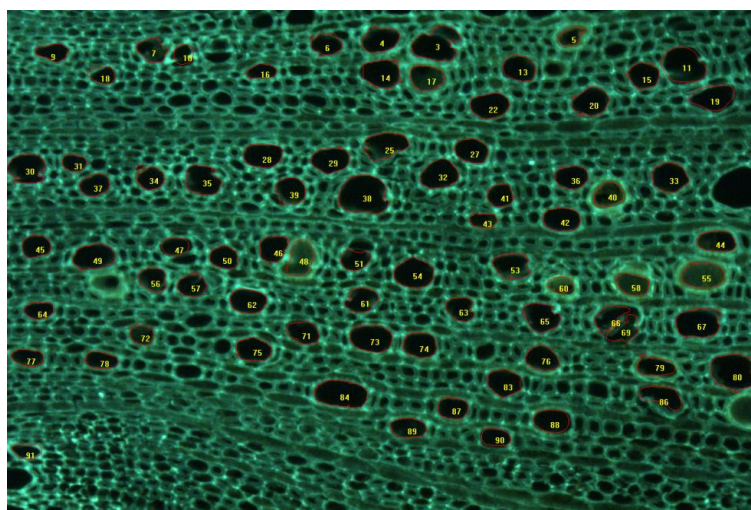


Figura 60: Delimitação dos vasos no programa Image-Pro (Plus) 6.2. (Martins,2015)

5.4.Determinação das características físicas – retrações e densidade

Para avaliação das características físicas da madeira fez-se, de cada uma das árvores, quatro provetes com as dimensões de 2x2x4cm (Figura 61), dois mais interiores e dois mais exteriores. Cada um deles foi numerado com os números 1, 2, 3 e 4, sendo que o provete 1 e 3 são os mais interiores, ou seja, mais perto da medula e o 2 e 4 são os provetes mais próximos da casca.

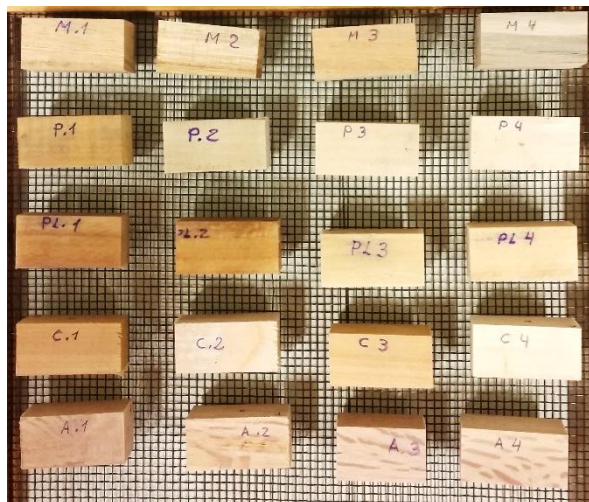


Figura 61: Provetes utilizados na determinação das propriedades físicas (Martins, 2015)

Depois de cortados e devidamente numerados marcou-se o centro de cada um dos três planos (tangencial, radial e axial), para que as medições que, posteriormente, foram feitas em diferentes etapas do processo, sejam feitas sempre no mesmo local para cada uma das direções.

Seguidamente os provetes foram colocados numa câmara climática que criou as condições ambientais a que os provetes ficaram sujeitos ao longo do trabalho. Neste caso, para uma temperatura constante de 20°C a humidade relativa iniciou-se com 90% de humidade e foi descendo sucessivamente, passando pelos 80%, 50%, 40%, estado anidra e madeira saturada (figura 61). Para cada um dos ambientes sempre que as amostras atingissem peso constante procedeu-se à medição de cada uma das dimensões (dimensão tangencial, dimensão radial e dimensão axial) na marca anteriormente feita e registou-se o peso.

Estas medições permitiu calcular uma série de características físicas da madeira que vamos passar a apresentar. Assim:

- a) Retrações tangenciais, radiais e axiais

$$\text{Retrações tangenciais} = \frac{\text{Dim tang \%h} - \text{Dim tang anidra}}{\text{Dim tang anidra}} * 100$$

$$\text{Retrações Radiais} = \frac{\text{Dim rad \%h} - \text{Dim rad anidra}}{\text{Dim rad anidra}} * 100$$

$$\text{Retrações axiais} = \frac{\text{Dim ax \%h} - \text{Dim ax anidra}}{\text{Dim ax anidra}} * 100$$

- b) Retrações totais tangenciais, radiais, axiais e volumétricas

$$T = \frac{\text{Dim tang sat} - \text{Dim tang anidra}}{\text{Dim tang anidra}} * 100$$

$$R = \frac{\text{Dim rad sat} - \text{Dim rad anidra}}{\text{Dim rad anidra}} * 100$$

$$A = \frac{\text{Dim ax sat} - \text{Dim ax anidra}}{\text{Dim ax anidra}} * 100$$

$$V = T + R + A$$

- c) Humidade da madeira

$$\%H = \frac{\text{Peso Húmido} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

- d) Coeficiente de anisotropia

$$Coef.anis = \frac{T}{R}$$

e) Coeficiente de retração

$$Coef.ret\ tang.t = \frac{Ret\ tang\ 80\% - Rte\ tang\ 40\%}{H.madeira\ 80\% - H.madeira\ 40\%}$$

$$Coef.ret\ rad.r = \frac{Ret\ rad\ 80\% - Rte\ rad\ 40\%}{H.madeira\ 80\% - H.madeira\ 40\%}$$

$$Coef.ret\ ax.a = \frac{Ret\ ax\ 80\% - Rte\ ax\ 40\%}{H.madeira\ 80\% - H.madeira\ 40\%}$$

$$Cof.ret.volumétrico.v = t + r + a$$

f) Humidades de saturação das fibras

$$St = \frac{T}{t}$$

$$Sr = \frac{R}{r}$$

$$Sa = \frac{A}{a}$$

g) Coeficiente de estabilidade ao ar (ϵ)

$$\epsilon t = \frac{Ret\ tang\ 80\% - Ret\ tang\ 40\%}{80 - 40}$$

$$\epsilon r = \frac{Ret\ rad\ 80\% - Ret\ rad40\%}{80 - 40}$$

h) Diferencial de secagem (Δs)

$$\Delta_{st} = \frac{Dim\ tang\ sat - Dim\ tang\ 12\%H}{Dime\ tang\ 12\%H} * 100$$

$$\Delta_{sr} = \frac{Dim\ rad\ sat - Dim\ rad\ 12\%H}{Dime\ rad\ 12\%H} * 100$$

i) Densidades

$$Densidade\ anidra\ D_0 = \frac{Peso\ seco}{Volume\ seco}$$

$$Densidade\ básica\ D_b = \frac{Peso\ seco}{Volume\ saturado}$$

$$Densidade\ 12\%humidadae\ D_{12\%} = DH\% \times K, onde\ K = \frac{(H\% - 12) \times (1 - v)}{100}$$

5.5. Microdensitometria

Os estudos de microdensitometria necessitaram de uma preparação rigorosa do material que foi ser utilizado. Primeiro foi necessário cortar a madeira em provetes radiais de espessura constante (Figura 62) que foram radiografados num sistema de raio X. Depois de efetuado o raio x fez-se a leitura da película e daí retiraram-se os resultados.



Figura 62:Provetes preparados para a realização do raio-x (Martins,2015)

A película de raio X foi lida por um microdensitômetro de duplo feixe JOYCE LOEBL MK3, equipado com um sistema duplo de saída de dados constituído por uma fita perfurada numa escala de 0 a 999 e, simultaneamente, um traçador de gráficos.

A película foi colocada numa mesa móvel, que se deslocou em intervalos muito pequenos, previamente fixados. Na película incidiu um feixe de luz que permitiu obter o registo contínuo de densidades óticas ao longo de toda a película. Neste caso, a leitura foi efetuada a intervalos de 100 μm , que corresponde a cerca de 2 células entre cada leitura (Figura 63).



Figura 63: Leitura da película de raio x pelo microdensitômetro (Martins, 2015)

Os dados obtidos de densidades óticas, foram registados quer graficamente quer na fita perfurada e posteriormente transferidos para um computador onde foram transformados em densidades reais através de uma equação de regressão linear, com uma precisão de 99,77%, entre a densidade ótica e a densidade real de padrões radiografados ao mesmo tempo que as amostras. Estes novos valores de densidade real foram gravados num ficheiro principal e impressos para mais tarde determinar os limites dos anéis de crescimento. No entanto, em algumas amostras onde não foi possível distinguir os anéis de crescimento e muito menos o lenho inicial do lenho final, optou-se por fazer uma divisão de cada provete em 10 porções. A determinação da percentagem de lenho inicial e lenho final em cada porção foi obtida através da média entre o mínimo e o máximo.

Os dados obtidos através do microdensitometro permitiram determinar as componentes da densidade, nomeadamente: densidade média, mínima e máxima, densidade média do lenho inicial e do lenho final, largura do anel, percentagem de lenho final, índice de heterogeneidade.

5.6. Ensaio Mecânicos – Ensaio de flexão em 3 pontos

Estes ensaios seguiram os procedimentos descritos na Norma Portuguesa NP-619, com os quais se avaliou a resistência e a rigidez da madeira através da estimativa dos Módulos de Elasticidade (MOE ou Módulo de Young) e dos Módulos de Rutura (MOR ou Tensão de Rutura).

Os ensaios executados no Laboratório de Engenharia Mecânica da UTAD e contaram com a colaboração de dois docentes da universidade na fase de preparação dos ensaios.

O objetivo destes ensaios era determinar a tensão de rotura à flexão das madeiras estudadas, de modo a saber a resistência das diferentes madeiras em estudo.

Na fase de execução dos ensaios as amostras foram colocadas em dois apoios distados entre si 28cm (Figura 64). Depois de apoiada a amostra e utilizando o comando da máquina baixava-se o hidráulico de modo a que a peça de pressão ficasse em contato com a face da amostra tal como mostra a figura 65.



Figura 64: Provete colocado em 2 apoios distados entre si 28 cm (Martins, 2015)



Figura 65: Provete a sofrer pressão (Martins, 2015)

Para uma posterior análise destes ensaios, foi necessário calcular o valor do MOE e do MOR através das seguintes fórmulas:

$$MOR = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad e \quad MOE = \frac{Pl^3}{4(bh)^2}$$

Onde:

P- representa a carga máxima registada no ensaio;

l- representa a distancia entre apoios;

- b- representa a largura da secção transversal;
h- representa a altura do provete.

Foram ainda realizados ensaios mecânicos de flexão em 3 pontos mas com provetes de menores dimensões, mais concretamente os provetes anteriormente utilizados para a microdensitometria. O procedimento é exatamente o mesmo, com uma distância entre apoios menor devido à dimensão dos provetes e à sua orientação (Figura 66).



Figura 66: Realização do teste de flexão em 3 pontos utilizando provetes de menores dimensões (Martins, 2015)

6. Resultados e discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após a realização de cada ensaio e a sua interpretação. Posteriormente realizar-se-á uma breve discussão dos resultados, utilizando como base a bibliografia disponível relativamente as matérias estudadas.

Devido à dificuldade em encontrar material, principalmente de ébano a pau-santo, não foi possível a realização de todos os ensaios para estas espécies, pelo que a comparação e a interpretação dos resultados para estas espécies será mais dificultada. Sempre que possível será feita a comparação com as espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones.

6.1. Resultados

6.1.1. Características biométricas

No quadro 4 apresentam-se os resultados relativamente às características biométricas das espécies em estudo. Relativamente às espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones não foi possível realizar estes ensaios em todas devido ao curto espaço de tempo para realização da dissertação e ao longo período de tempo que foi necessário para se conseguir encontrar amostras de ébano e pau-santo.

Quadro 4: Caracterização geral das amostras de cada espécie pelos valores médios de comprimento de fibras, percentagem de vasos, fibras e raios e valor médio da dimensão das células.

	Comp. Fibras (mm)	Vasos (%)	Fibras (%)	Raios (%)	Área dos vasos (μ m)
Cerejeira	0,92 (17)	28 (29)	56 (6)	16 (6)	937,104 (16)
Pereira	0,90 (12)	24 (18)	67 (3)	9 (57)	759,49 (25)
Mimosa	0,87 (15)	13 (35)	78 (10)	9 (42)	10 442,63 (6)
Nogueira	1,09 (18)	19 (51)	71 (6)	10 (60)	4 996,28 (25)
Azinhaira	0,96 (12)	19 (71)	66 (11)	23 (16)	3 984,27 (9)
Buxo	0,71 (10)	15 (15)	78 (2)	7 (22)	238,32 (2)
Sicómoro	1,40 (16)	21 (38)	48 (16)	31 (13)	2839,68 (21)
Ébano	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Pau Santo	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

*Valores entre parenteses: coeficiente de variação em percentagem

Analisando o quadro 4 verifica-se que a espécie que possui maior comprimento de fibras, das espécies em estudo, é a noqueira e a que possui comprimento de fibras mais pequenas é o buxo.

O gráfico 1 refere-se ao comprimento médio das fibras em cada porção estudada, ou seja a variação radial do comprimento das fibras por espécie. Verifica-se que, de uma forma geral, o comprimento médio das fibras tende a aumentar da medula até à periferia, uma vez que F0 corresponde à porção de madeira mais próximo da medula e F2/F3 à que está mais perto da casca.

Como já foi referido no capítulo de material e métodos as amostras de madeira não possuíam o mesmo tamanho pelo que não permitiu obter o mesmo número de provetes. Esta diferença no tamanho das amostras não diz respeito a grandes diferenças de idade, pois as espécies estudadas apresentam todas idades muito próximas (aproximadamente 25 anos), deve-se antes ao facto de serem espécies com ritmos de crescimento diferentes.

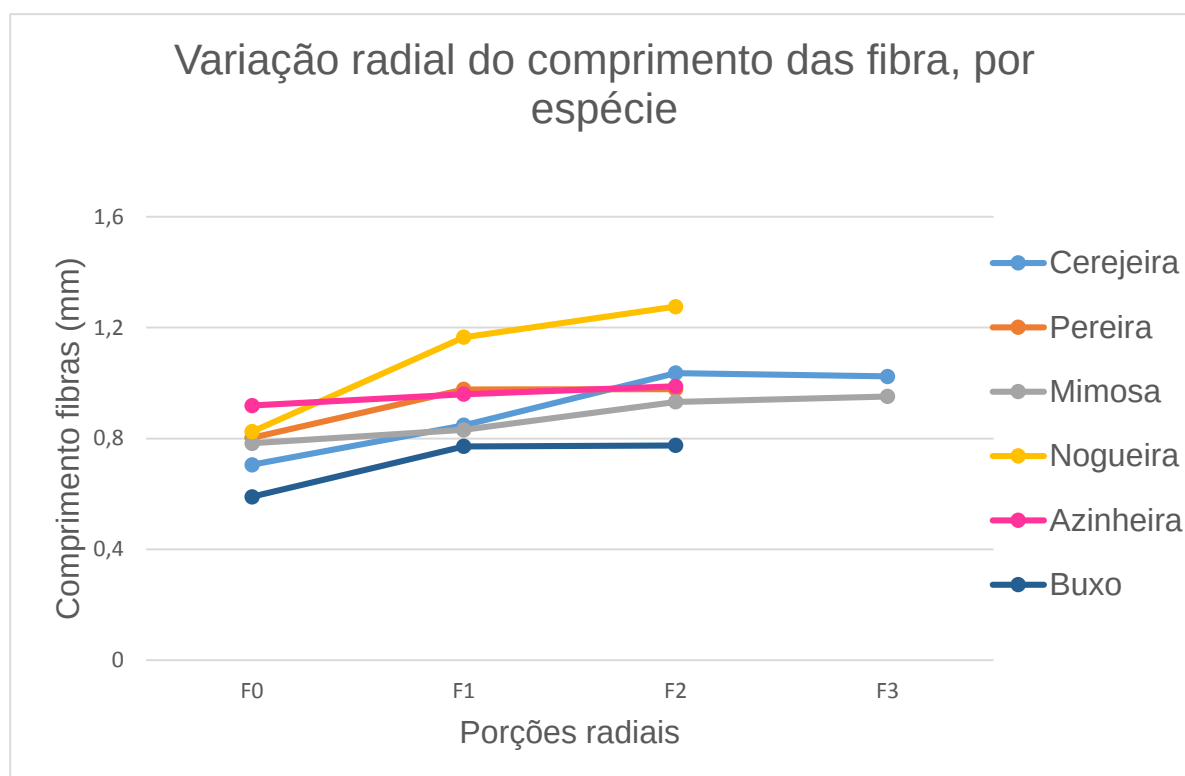


Gráfico 1: Comprimento médio das fibras por porção radial de cada espécie

O gráfico 1 comprova o que se observa no quadro 3, isto é, comprimento das fibras varia relativamente pouco entre espécies, principalmente entre azinheira, cerejeira e mimosa enquanto a nogueira e o buxo se destacam pelo maior comprimento de fibras e menor, respetivamente. No caso da azinheira não existe grande variação do comprimento entre a porção da medula e da periferia.

Relativamente à percentagem de tecidos observa-se que a mimosa e o buxo são as espécies com menor número de vasos (13 e 15 % respetivamente) e maior percentagem de fibras (78%) no entanto a mimosa tem vasos maiores com uma área média de 10 442,63 μm^2 enquanto que o buxo tem os vasos menores de entre as 9 espécies com uma área média de 238,32 μm^2 .

O sicómoro é a espécie que apresenta menor percentagem de fibras, maior percentagem de raios e possui poucos vasos mas grandes.

6.1.2. Propriedades físicas

No quadro 5 são apresentados resultados obtido na realização dos ensaios relativos às retrações das espécies que estão em estudo para poderem vir a substituir as que são utilizadas atualmente.

Relativamente às retrações totais a azinheira é a espécie que apresenta um maior valor da retração volumétrica enquanto que a mimosa é a que apresenta menor. A azinheira apresenta um coeficiente de anisotropia menor do que um, ou seja, tem retrações tangenciais menores do que as radiais assim como humidades de saturação das fibras (HSF) exageradamente elevadas mostrando que as amostras de azinheira utilizadas neste estudo tiveram um comportamento muito diferente daquilo que é a normalidade.

A nogueira e o buxo são as amostras que apresentam coeficientes de anisotropia mais próximos da unidade o que significa que são as espécies com menos probabilidades de empenos.

De entre as espécies estudadas a cerejeira, a pereira e a azinheira apresentam HSF muito elevados enquanto que a nogueira, a mimosa e o buxo apresentam valores considerados normais entre os 25 a 30% de humidade.

Quadro 5: Caracterização geral das amostras das espécies de estudo pelos valores médios das retrações

Espécies Caract. Físicas		Cerejeira	Pereira	Azinheira	Nogueira	Mimosa	Buxo
Retrações totais	T	16,933 (20,4)	12,874 (14,1)	11,076 (17,3)	9,236 (13,5)	8,934 (20,3)	9,041 (25,3)
	R	5,393 (11,7)	5,607 (21,4)	12,510 (9,7)	4,976 (9,2)	3,943 (28,1)	6,330 (23,5)
	A	1,051 (50,6)	0,613 (70,9)	0,795 (38,1)	0,296 (36,9)	0,634 (16,2)	0,366 (48,5)
	V	23,377 (17,9)	19,034 (15,8)	24,381 (11,9)	14,508 (12,0)	13,512 (21,8)	15,737 (22,0)
Coeficiente de Retração	T	0,407 (26,9)	0,278 (10,0)	0,153 (39,5)	0,308 (6,3)	0,343 (16,7)	0,349 (16,0)
	R	0,162 (10,0)	0,132 (6,1)	0,261 (25,3)	0,175 (3,4)	0,158 (22,7)	0,253 (12,0)
	A	0,028 (86,2)	0,017 (35,1)	0,011 (53,0)	0,006 (23,5)	0,021 (50,8)	0,012 (37,1)
	V	0,597 (25,2)	0,427 (4,0)	0,425 (26,2)	0,490 (3,8)	0,522 (16,0)	0,614 (11,9)
Humidade de Saturação da Fibras	T	42,3 (16,9)	46,8 (19,9)	90,3 (67,2)	29,9 (10,6)	26,9 (29,5)	25,6 (11,6)
	R	33,2 (7,8)	42,2 (16,1)	50,2 (25,7)	28,4 (12,0)	26,1 (33,5)	24,8 (12,1)
	V	39,7 (13,7)	44,8 (17,2)	61,0 (31,6)	29,6 (10,5)	26,6 (28,0)	25,4 (11,0)
Coeficiente de Anisotropia		3,154 (19,7)	2,149 (19,4)	0,884 (12,9)	1,851 (4,6)	2,307 (9,7)	1,429 (13,9)
Coeficiente de Estabilidade	T	0,074 (30,5)	0,051 (9,8)	0,031 (38,3)	0,064 (3,9)	0,064 (19,4)	0,080 (9,5)
	R	0,029 (13,5)	0,024 (6,3)	0,052 (22,5)	0,037 (4,8)	0,030 (25,0)	0,058 (10,2)
Diferencial de Secagem	T	11,951 (28,7)	10,420 (12,2)	7,875 (23,7)	4,907 (16,5)	5,331 (18,8)	5,345 (11,5)
	R	3,122 (43,0)	4,100 (20,6)	10,788 (15,8)	2,333 (24,4)	1,444 (18,0)	3,530 (8,2)

*Valores entre parênteses: coeficiente de variação em percentagem

Tal como o quadro 5 também o gráfico 2 mostra que a noqueira, a mimosa e o buxo têm os menores diferenciais de secagem com valores relativamente pequenos que significam quanto a madeira retrai desde o ponto de HSF até à humidade de 12% (humidade de equilíbrio da madeira em utilização)

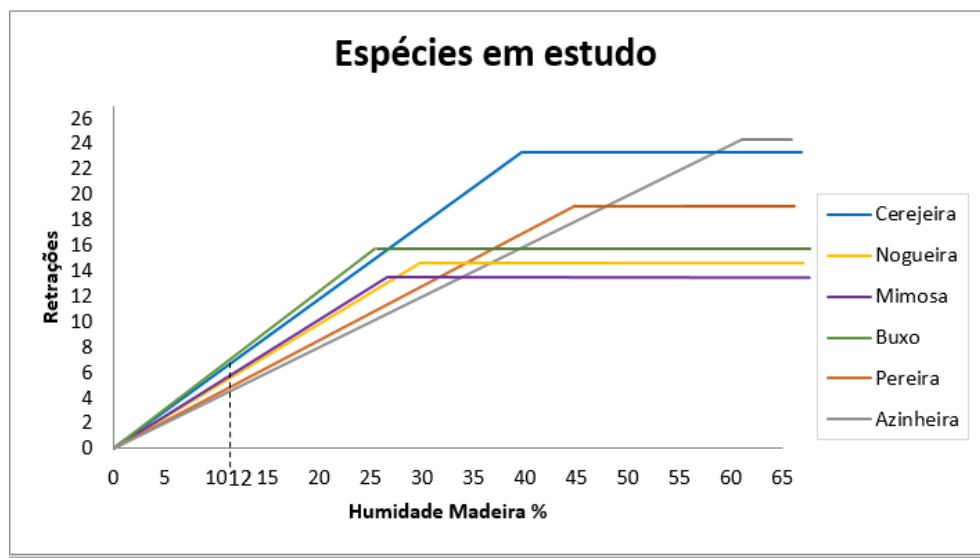


Gráfico 2: Umidade da madeira e retrações volumétricas das espécies em estudo

Quadro 6: Caracterização geral das amostras das espécies utilizadas atualmente pelos valores médios das retrações

Espécies Caract. Físicas		Sicómoro	Ébano	Pau Santo
Retrações totais	T	13,106 (23,7)	8,035 (13,5)	7,834 (30,9)
	R	4,428 (17,3)	4,731 (32,6)	4,115 (41,6)
	A	0,237 (24,9)	0,493 (57,1)	0,449 (49,4)
	V	17,772 (13,4)	13,260 (17,7)	12,398 (31,6)
Coeficiente de Retração	T	0,349 (8,1)	0,446 (1,8)	0,429 (2,9)
	R	0,152 (15,3)	0,279 (16,7)	0,251 (7,8)
	A	0,005 (46,6)	0,020 (94,5)	0,024 (61,3)
	V	0,506 (1,3)	0,745 (2,2)	0,704 (2,5)
Humidade de Saturação da Fibras	T	37,247 (16,4)	18,032 (15,3)	18,200 (2,8)
	R	29,004 (5,3)	16,746 (16,4)	16,148 (34,4)
	V	35,114 (12,5)	17,778 (15,5)	17,555 (29,2)
Coeficiente de Anisotropia		3,116 (39,1)	1,754 (19,5)	1,950 (11,5)
Coeficiente de Estabilidade	T	0,070 (6,7)	0,082 (20,8)	0,079 (38,7)
	R	0,031 (17,1)	0,052 (38,4)	0,047 (43,2)
Diferencial de Secagem	T	7,027 (26,9)	3,834 (33,7)	3,878 (58,2)
	R	1,770 (20,6)	2,271 (37,0)	2,143 (47,3)

*Valores entre parenteses: coeficiente de variação em percentagem

O gráfico 3 mostra que o ébano e o pau santo têm comportamentos muito idênticos enquanto que o sicómoro tem retrações mais elevadas e também diferenciais de secagem maiores que as outras duas espécies.

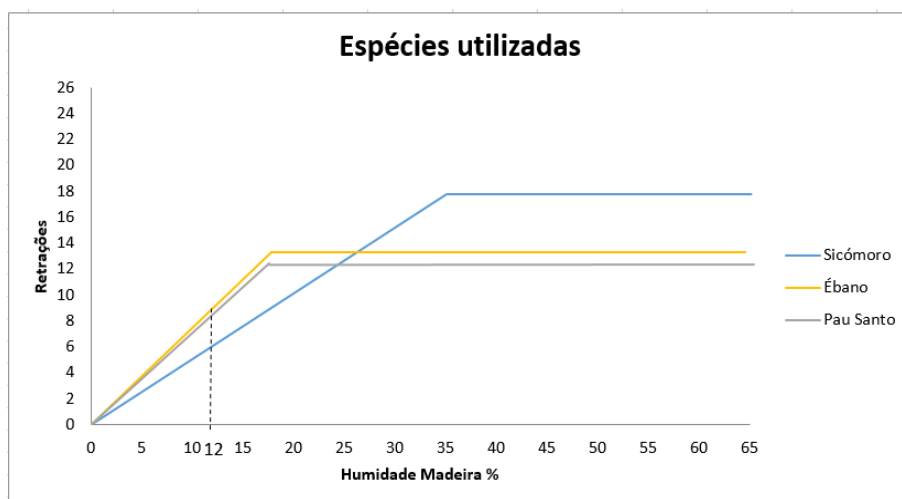


Gráfico 3: Umidade da madeira e retrações volumétricas das espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones

No gráfico 4 estão representadas as curvas de retrações para todas as 9 espécies onde é possível ver que, para este parâmetro, há dois grupos distintos: um constituído pela azinheira, a cerejeira, a pereira e o sicômoro e outro formado pelo buxo, nogueira mimosa, ébano e pau santo

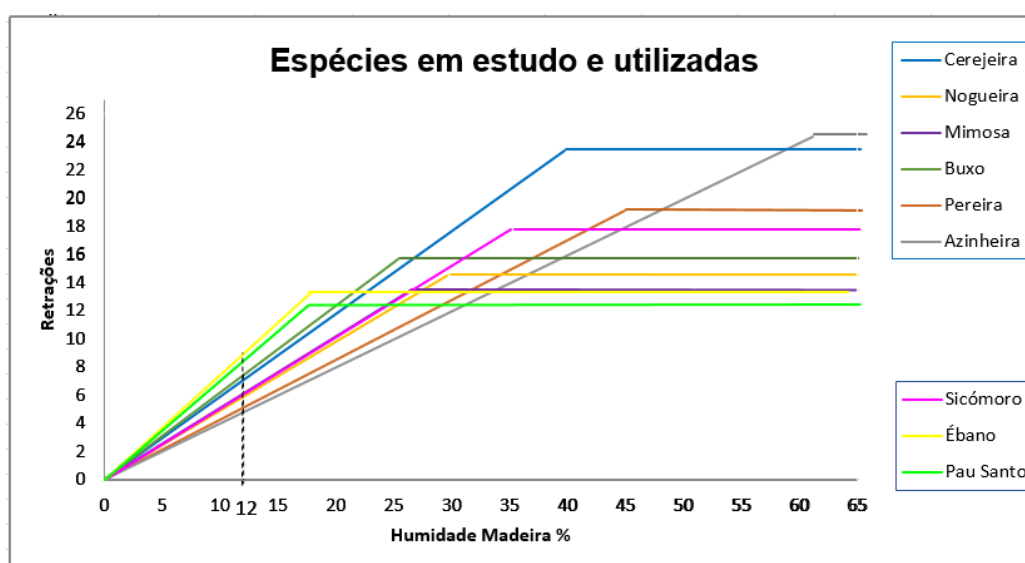


Gráfico 4: Umidade da madeira e retrações volumétricas de todas as espécies

Quando comparamos os resultados do quadro 5 com os apresentados no quadro 6 relativo aos ensaios das retrações para as espécies que são utilizadas atualmente na construção de cordofone verificamos que as três espécies normalmente utilizadas apresentam valores mais idênticos à nogueira, mimosa e buxo, com retrações baixas, HSF volumétrica muito baixas para o ébano e o pau santo com valores à volta dos 17%, já o sicômoro mostrou HSF volumétrica maiores à volta dos 37%.

6.1.3. Componentes da densidade

Como foi referido no capítulo de material e métodos fizeram-se estudos de densidade ao longo de provetes radiais retirados de cada espécie. Estes estudos permitem obter resultados que dão a conhecer a densidade da madeira e suas componentes, mas também a variação da densidade ao longo do provete. No quadro 7 são apresentados os resultados obtidos para as espécies que estão a ser estudadas

Na maior parte dos casos as componentes da densidade obtidas dizem respeito aos anéis de crescimento existentes. No entanto, como alguns dos provetes eram muito homogéneos e não era possível diferenciar o lenho inicial do lenho final com exatidão tendo-se optado por fazer a análise não anel a anel mas antes em 10 porções iguais do provete.

No quadro 7 são apresentados os resultados obtidos através da microdensitometria das espécies estudadas que poderão ser alternativas às utilizadas atualmente na construção de cordofones.

Analisando os resultados apresentados verificamos que a azinheira é a espécie que apresenta uma densidade média mais elevada ($1,001 \text{ g/cm}^3$) e a nogueira a menos densa ($0,608 \text{ g/cm}^3$).

Uma das características importantes na madeira para cordofones é a homogeneidade da madeira e a sua regularidade. O índice de heterogeneidade (IH) indica a homogeneidade da madeira e, pela análise do quadro 7 verificamos que o buxo para além de ser bastante denso ($D_{med} = 0,956$) é a que apresenta menor IH (0,025) indicando ser uma madeira homogénea.

Quadro 7:Caracterização geral das amostras de cada espécie pelos valores médios das componentes da densidade das espécies em estudo

	Dméd	Dmin	Dmáx	DLI	DLF	LLI	LLF	PLF	IH
Nogueira	0,608 (8,8)	0,488 (12,6)	0,709 (63,4)	0,562 (10,5)	0,644 (7,2)	3,970 (30,4)	5,050 (24,1)	55,974 (23,9)	0,049 (20,9)
Pereira	0,747 (4,0)	0,654 (4,0)	0,832 (6,2)	0,711 (2,9)	0,780 (5,4)	4,600 (33,9)	5,110 (31,0)	52,594 (30,9)	0,040 (33,4)
Cerejeira	0,699 (11,6)	0,586 (15,8)	0,808 (8,8)	0,658 (12,5)	0,737 (10,4)	5,010 (21,5)	5,340 (20,6)	51,574 (20,4)	0,048 (18,4)
Mimosa	0,700 (20,1)	0,482 (36,3)	0,967 (12,7)	0,624 (23,7)	0,811 (16,3)	9,430 (16,9)	6,420 (24,8)	40,515 (24,7)	0,112 (24,9)
Buxo	0,956 (10,3)	0,909 (11,3)	1,001 (9,5)	0,936 (10,8)	0,980 (9,5)	2,360 (23,2)	1,890 (29,8)	44,430 (29,1)	0,025 (51,5)
Azinheira	1,001 (6,3)	0,911 (7,2)	1,099 (3,5)	0,965 (6,2)	1,048 (3,9)	5,670 (41,8)	5,100 (46,8)	47,327 (46,8)	0,046 (25,9)

*Valores entre parenteses: coeficiente de variação em percentagem

A regularidade da madeira pode, indiretamente, ser vista pelos coeficientes de variação (valores entre parênteses) das variáveis largura do lenho inicial (LLI) e largura do lenho final (LLF). No caso da madeira de buxo os coeficientes de variação destas características são relativamente baixos (23% e 30%) mostrando que os anéis de crescimento têm uma largura mais ou menos constante ao longo da amostra.

A madeira de mimosa é a mais heterogênea com um IH de 0,112 e é também a que possui anéis de crescimento maiores.

As madeiras de cerejeira, nogueira e pereira apresentam, para estas características, valores muito idênticos.

Como já foi referido fizeram-se as mesmas determinações para as madeiras normalmente utilizadas estando os resultados apresentados no quadro 8.

Quadro 8: Caracterização geral das amostras de cada espécie pelos valores médios das componentes da densidade das espécies utilizadas atualmente na construção de cordofones

	Dméd	Dmin	Dmáx	DLI	DLF	LLI	LLF	PLF	IH
Sicómoro	0,685 (5,2)	0,569 (13,5)	0,774 (3,3)	0,632 (9,4)	0,714 (4,7)	3,480 (34,9)	5,810 (20,7)	62,557 (20,8)	0,047 (39,4)
Ébano	1,089 (2,8)	1,017 (5,3)	1,143 (3,1)	1,051 (3,8)	1,113 (3,1)	2,510 (52,5)	3,550 (38,1)	58,468 (37,5)	0,033 (47,9)
Pau Santo	0,971 (4,9)	0,809 (12,5)	1,049 (4,1)	0,866 (10,1)	0,998 (5,0)	1,300 (72,7)	3,930 (23,7)	75,189 (23,7)	0,059 (30,3)

O ébano é a madeira mais densa, mais homogênea e aparentemente regular. Das três madeiras o ébano é a madeira que tem menor percentagem de lenho final sendo no entanto bastante elevada (58,5 %).

Aparentemente a madeira de sicómoro é a mais parecida, para estas características às madeiras de cerejeira, nogueira e pereira.

A seguir são apresentados os gráficos de densidade média e densidade de lenho final e inicial; largura do lenho inicial e final e ainda o índice de heterogeneidade para cada uma das espécies, tanto as que estão a ser estudadas como as que são utilizadas atualmente onde se pode comprovar o que foi referido atrás.

Para facilitar a interpretação, agrupou-se as espécies de acordo com a parte da guitarra onde poderá ser utilizada, ou seja, apresentam-se os gráficos das espécies utilizadas para

determinada componente da guitarra junto dos gráficos das espécies em estudo para essa mesma componente.

- **Fundos e Ilhargas**

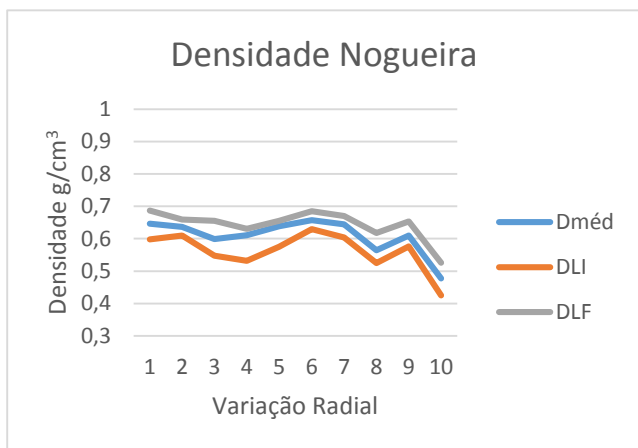


Gráfico 7: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final nogueira

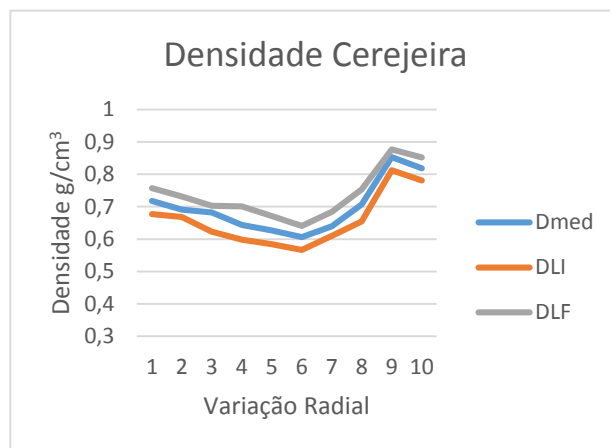


Gráfico 6: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final cerejeira

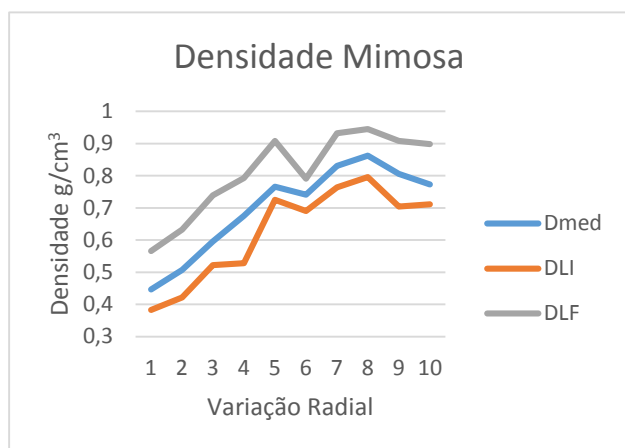


Gráfico 9: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final da mimosa

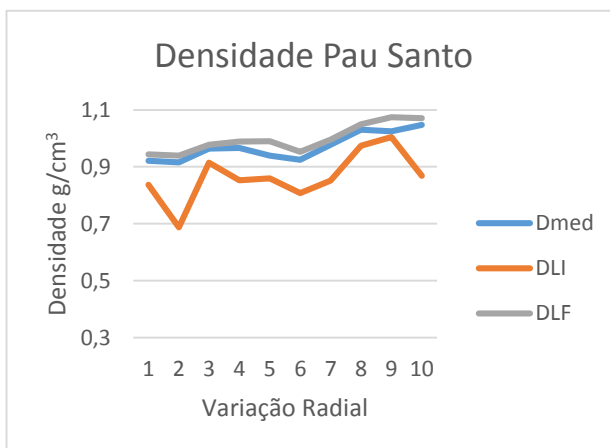


Gráfico 5: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final da pau santo

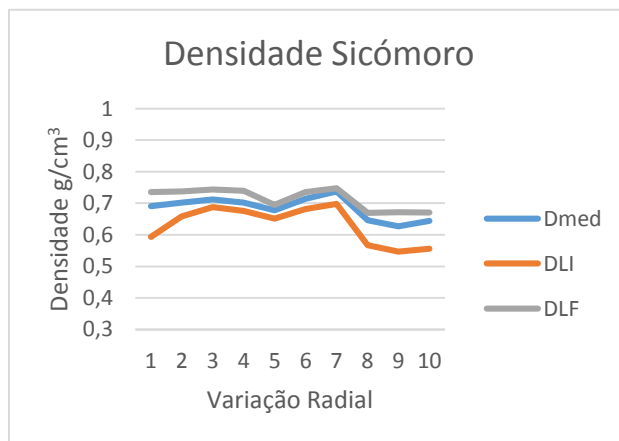


Gráfico 8: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final da sicómoro

Pela observação dos gráficos pode-se afirmar que as espécies cerejeira e sicômoro são as mais próximas para a componente densidade apesar da forma de variação radial ser ligeiramente diferente. A noqueira apresenta densidades mais baixas que as da cerejeira, mas também relativamente próximas das do sicômoro tendo as duas espécies um modelo de variação da densidade muito idêntico.

O pau-santo apresenta densidades mais elevadas não existindo nenhuma espécie das estudadas como alternativas que apresente valores próximos deste. A mimosa também apresenta densidades elevadas mas não tão elevadas como as do pau-santo e com uma variação muito grande.

De um modo geral, pode dizer-se que a variação radial existente nas espécies em estudo é mais elevada que a variação das espécies que atualmente são utilizadas na construção de cordofones.

Relativamente à densidade dos lenhos finais e iniciais verifica-se que a madeira de cerejeira é a que apresenta menor variação radial e densidades de lenho iniciais mais próximas das do lenho final mostrando, tal como já foi referido alguma regularidade. A madeira de mimosa mostra-se muito irregular com grandes variações na densidade do anel.

- **Fundos e Ilhargas**

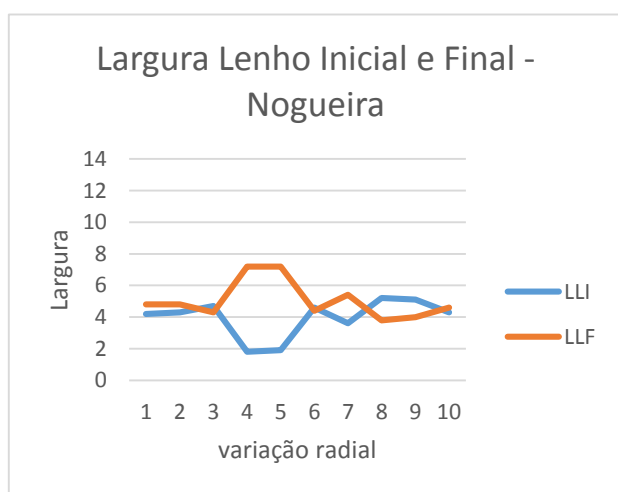


Gráfico 11: Largura do lenho final e inicial noqueira

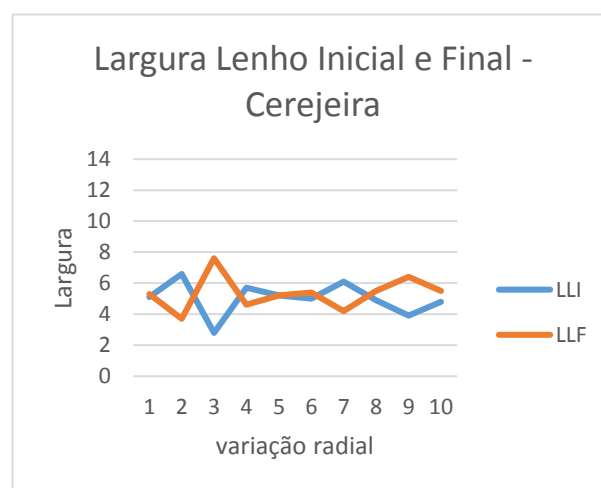


Gráfico 10: Largura do lenho inicial e final cerejeira

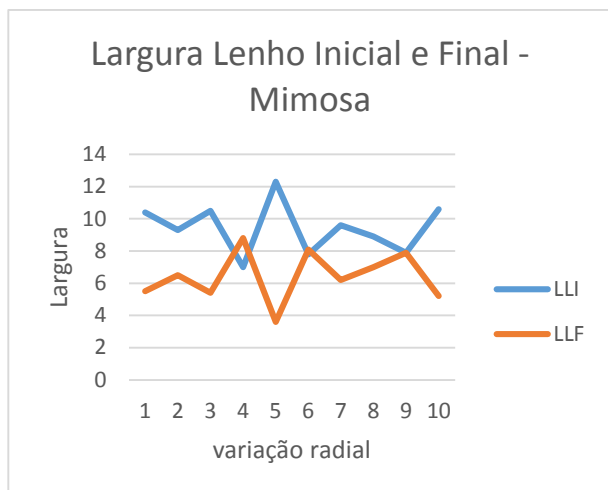


Gráfico 13: Largura do lenho final e inicial mimosa

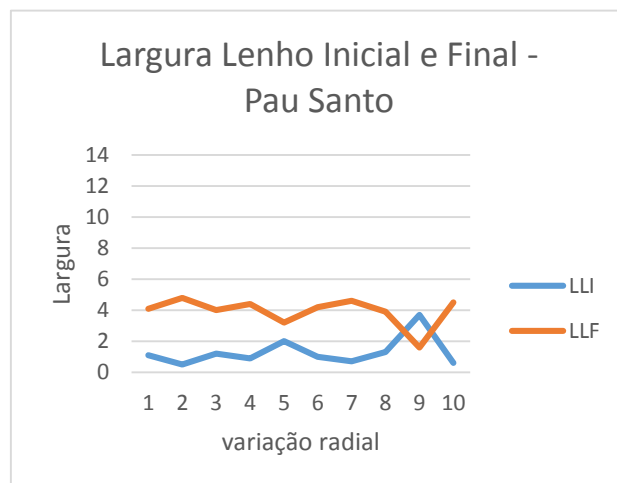


Gráfico 12: Largura do lenho final e inicial pau santo

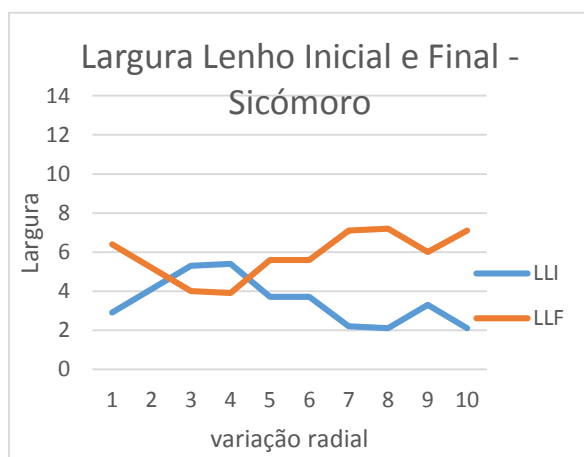


Gráfico 14: Largura do lenho final e inicial sicómoro

Comparando estas madeiras com as normalmente utilizadas pode dizer-se que apresentam comportamentos diferentes uma vez que as normalmente utilizadas têm diferenças maiores entre as larguras dos dois tipos de lenho, no entanto a nogueira será a que tem um comportamento mais semelhante à do sicómoro. Relativamente ao pau-santo, tal como aconteceu na densidade média, não existe nenhuma espécie que apresente valores próximos da largura do lenho inicial pois esta madeira é a que apresenta maiores diferenças entre a largura do lenho inicial e final. Pode ainda dizer-se que a mimosa destaca-se pela elevada largura de lenho inicial. Isto deve-se, principalmente, ao facto de esta espécie ser de rápido crescimento, pelo que faz com que tenha anéis mais largos que as outras e daí a que os lenhos iniciais e finais sejam também mais largos que o das outras espécies em estudo.

- **Fundos e Ilhargas – Índice Heterogeneidade**

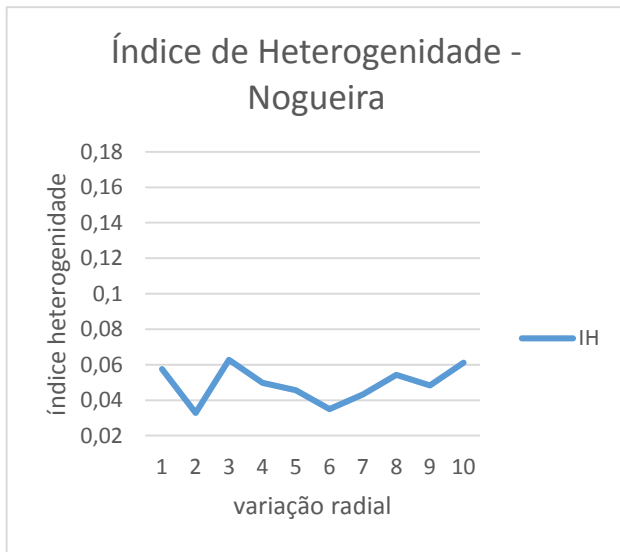


Gráfico 19: Índice de heterogeneidade nogueira

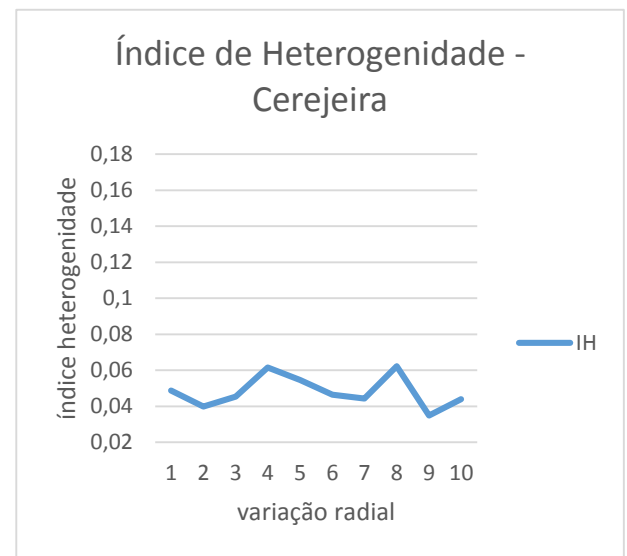


Gráfico 18: Índice heterogeneidade cerejeira

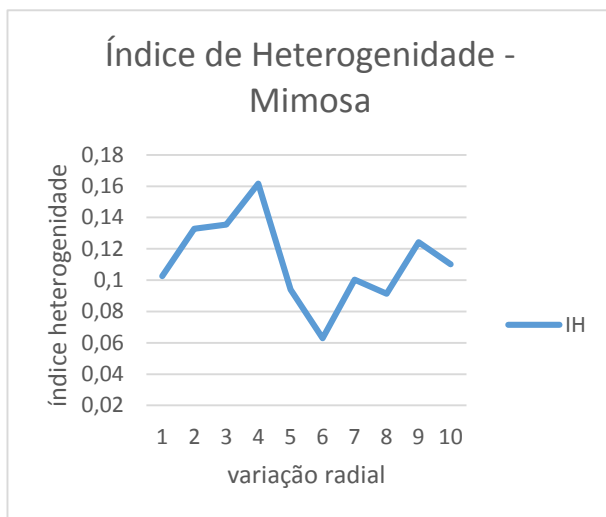


Gráfico 17: Índice de heterogeneidade mimosa

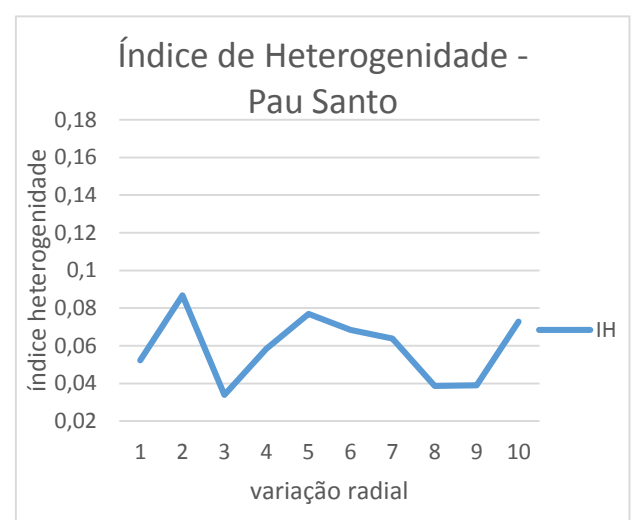


Gráfico 16: Índice de heterogeneidade pau santo

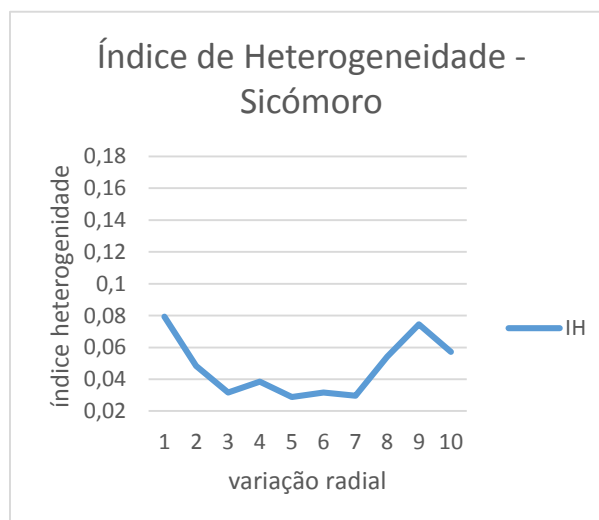


Gráfico 15: Índice de heterogeneidade sicômoro

Relativamente ao índice de heterogeneidade pode afirmar-se que tanto a cerejeira como a nogueira apresentam um índice baixo e bastante próximo do sicómoro. A mimosa apresenta um índice muito elevado, até mais elevado que o do pau-santo sendo a espécie mais heterogénea.

- **Escalas**

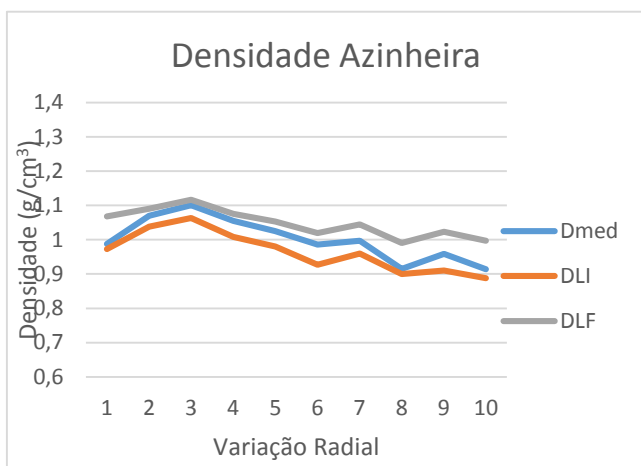


Gráfico 22: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final azinheira

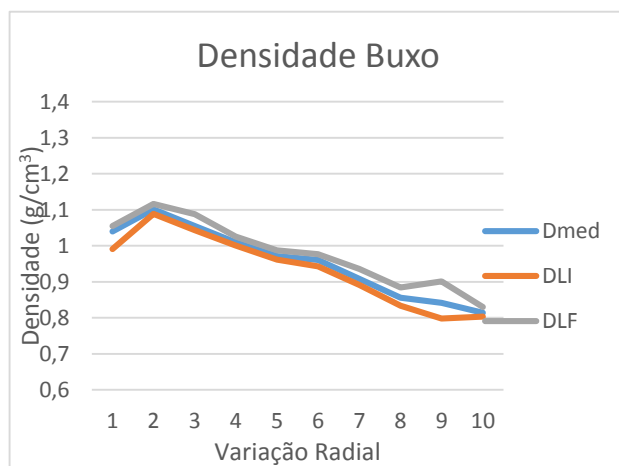


Gráfico 23: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final buxo

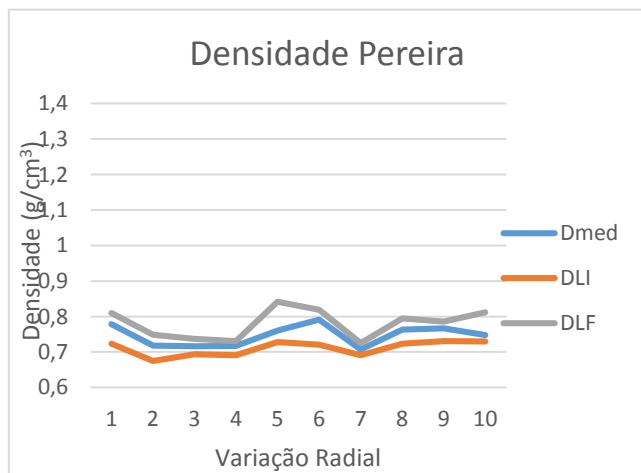


Gráfico 21: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final pereira

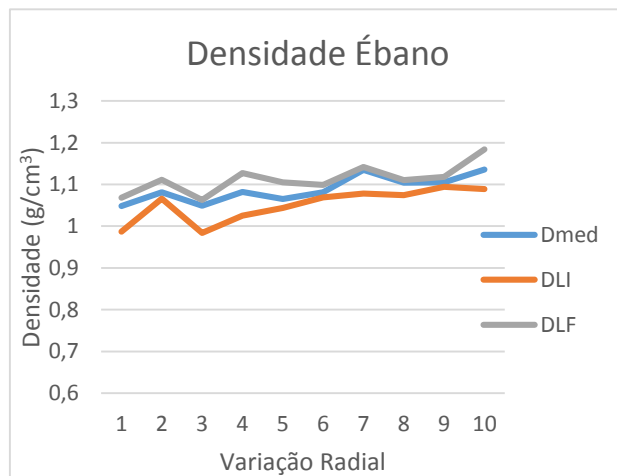


Gráfico 20: Densidade média, de lenho inicial e de lenho final ébano

Analisando as densidades das espécies que estão em estudo para as escalas pode afirmar-se que aquela que mais se aproxima do ébano é a azinheira. As densidades destas duas espécies estão relativamente próximas, sendo que onde existe uma maior diferença é na densidade do

lenho inicial. No entanto, apresenta uma elevada diferença na variação no que diz respeito à densidade média e à densidade de lenho inicial.

O buxo também apresenta densidades relativamente próximas do ébano, embora menos elevadas mas apresenta uma variação muito mais elevada diminuindo bastante da medula para a periferia. A espécie que mais se distancia do ébano é a pereira que apresenta densidades mais baixas.

- **Escalas**

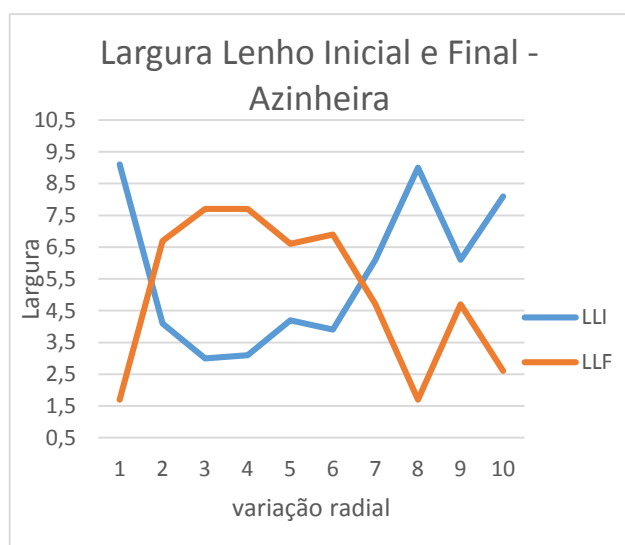


Gráfico 27: Largura de lenho inicial e final azinheira

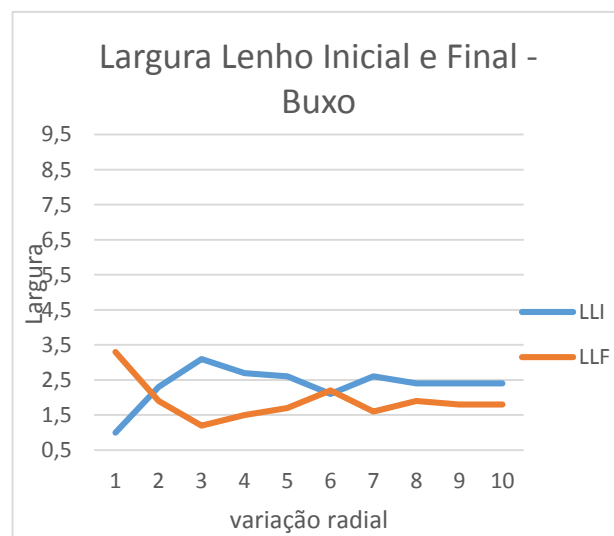


Gráfico 26: Largura de lenho inicial e final buxo

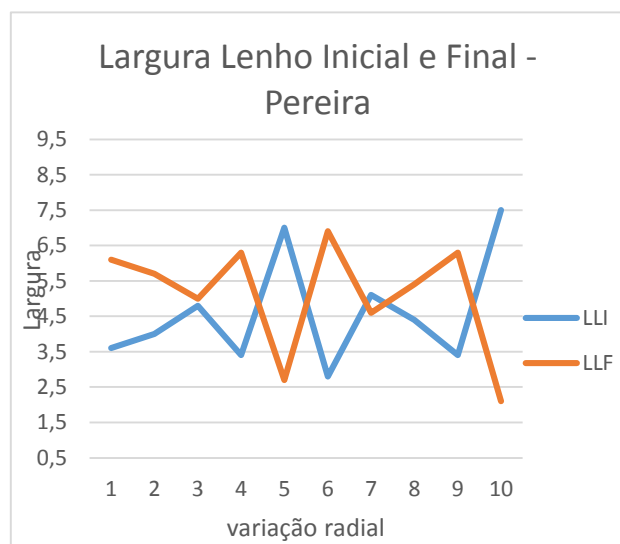


Gráfico 25: Largura de lenho inicial e final pereira

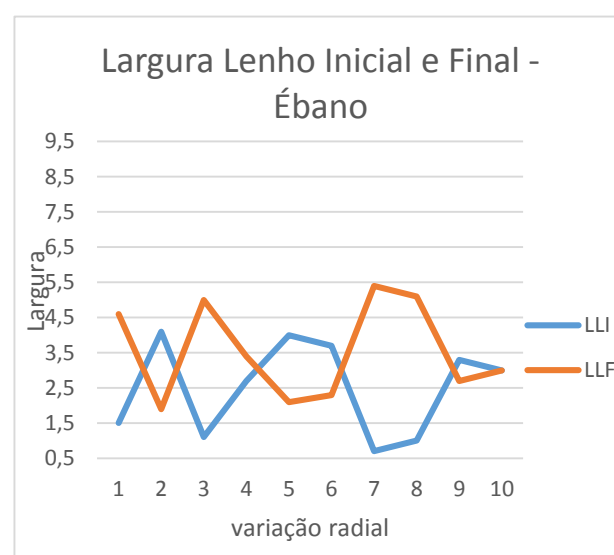


Gráfico 24: Largura de lenho inicial e final ébano

Quanto à largura do lenho inicial e lenho final pode afirmar-se que a espécie que tem larguras de anel mais próximas do ébano é o buxo. Tanto a azinheira como a pereira apresentam valores muito mais elevado que o ébano. O buxo apesar de ter valores próximos do ébano, de todas as espécies é a que apresenta largura de lenho inicial mais baixa e a azinheira a que apresenta valor de lenho inicial mais elevado.

Relativamente à variação ocorrida ao longo do provete pode dizer-se que a madeira de buxo é a mais regular, uma vez que ao longo do provete a largura dos anéis é sempre muito idêntica.

- **Escalas**

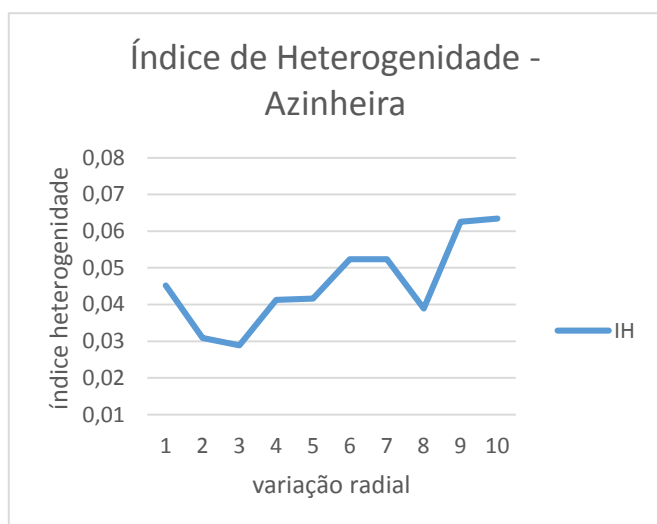


Gráfico 31: Índice de heterogeneidade azinheira

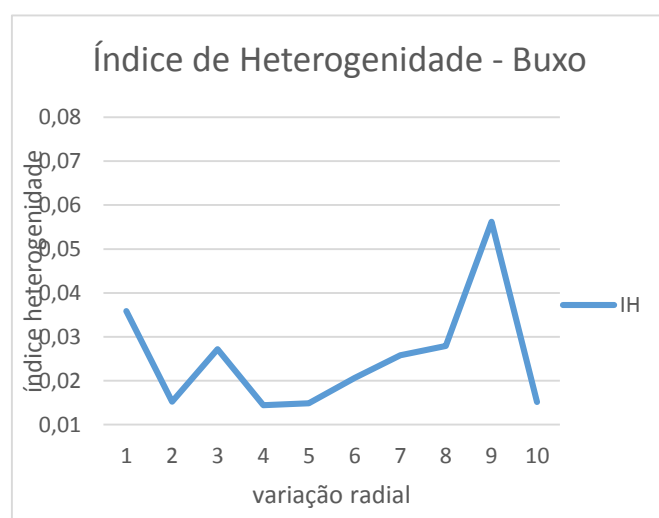


Gráfico 30: Índice de heterogeneidade buxo

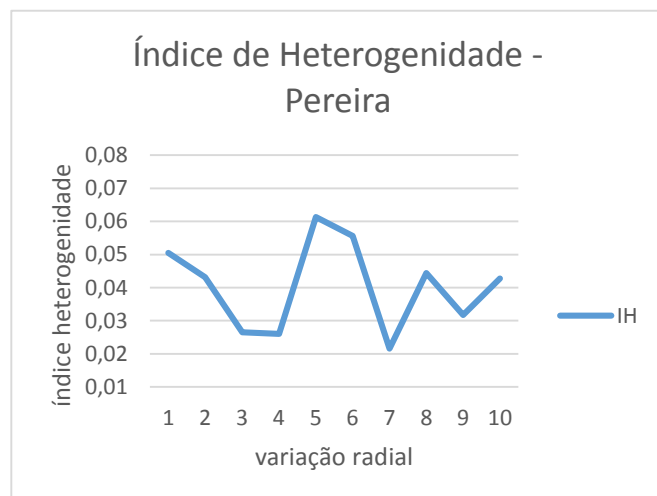


Gráfico 29: Índice de heterogeneidade pereira

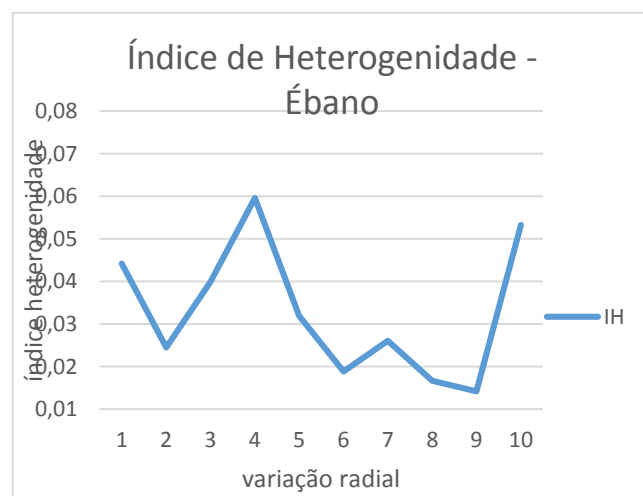


Gráfico 28: índice de heterogeneidade ébano

Como já foi referido na análise dos quadros a madeira que apresenta menor índice de heterogeneidade é o buxo tendo só na parte final um valor mais elevado que aparentemente será anormal.

Em termos médios é o buxo que apresenta valores mais próximos do ébano, no entanto olhando para o gráfico vê-se que o ébano apresenta uma maior variação radial.

6.1.4. Ensaio mecânicos

Foram realizados dois tipos de ensaios mecânicos de flexão em três pontos: ensaios com provetes maiores, de 2x2x28cm (só para as espécies alternativas) para medição da resistência longitudinal e ensaios com provetes menores utilizados na microdensitometria (para todas as espécies) para medição da resistência radial.

Nos quadros 9 e 10 são apresentados os resultados relativamente resistência longitudinal.

Quadro 9: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos em provetes com orientação longitudinal de 2x2x28cm

	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Cerejeira	18 003,04	121,95
Pereira	13 515,31	97,24
Mimosa	27 427,23	162,03
Nogueira	15 959,08	101,59
Azinheira	16 025,51	124,26
Buxo	16 289,72	109,30

Quadro 10: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos em provetes com orientação longitudinal de 2x2x28cm das espécies que são utilizadas atualmente na construção de cordofones

	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Ébano	14 709,97 (The wood database,2015)	128,60 (The wood database,2015)
Pau Santo	12 900,00 (Remade, 2015)	117,00 (Remade, 2015)
Sicómoro	14 947,82	105,77

Analisando os quadros acima podemos dizer que das espécies em estudo, a madeira de mimosa é a que apresenta um MOE e um MOR mais elevado e a pereira é a madeira que apresenta valores mais baixos destes parâmetros. Isto significa que a mimosa é a espécie que apresenta um ponto de rutura longitudinal mais elevado, ou seja, aguenta mais carga no sentido longitudinal antes de partir assim como é também aquela que apresenta um ponto de elasticidade mais elevado o que quer dizer que é a espécie que dobra mais longitudinalmente antes de partir.

Comparando os resultados entre as espécies estudadas como alternativas e as atualmente usadas, pode-se dizer que quando ao MOE as espécies em estudo que um valor superior às utilizadas sendo que para ao fundos e ilhargas a nogueira é a espécie mais próxima do sicómoro e para escalas é a azinheira a espécie mais próxima do ébano. Relativamente ao MOR as espécies que apresentam valores mais próximos para as espécies utilizadas em fundos e ilhargas é a nogueira com valores próximos do sicómoro e a cerejeira próximo do pau santo e para as escalas é a pereira que apresenta em valore próximo do ébano.

Nos quadros 11 e 12 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de flexão em três pontos no plano transversal para medição da resistência radial. No quadro 11 verifica-se a ausência de uma espécie, nogueira, isto deve-se ao facto de na análise de resultados ter-se chegado à conclusão que os provetes desta espécie apresentavam defeitos, pois os resultados obtidos nos ensaios mecânicos não tiveram os resultados esperados, normalmente, por esta espécie.

Quadro 11: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos dos provetes com orientação radial das espécies em estudo

	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Cerejeira	2 572,34	39,135
Pereira	3 304,821	64,868
Mimosa	3 652,701	55,039
Azinheira	3 858,034	67,291
Buxo	4 897,002	94,935

Quadro 12: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos dos provetes com orientação radial em espécies utilizadas atualmente

	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Ébano	4 900,941	62,752
Pau Santo	3 981,92	49,548
Sicómoro	3 292,742	60,726

Analisando os quadros verifica-se que a espécie que apresenta valores de MOE e MOR mais elevados é o buxo e a que apresenta valores mais baixos é a cerejeira. Assim, o buxo é a espécie que aguenta mais carga antes de partir assim como também é a espécie com a madeira mais elástica, a madeira dobra mais antes de partir.

Comparando os valores dos dois quadros observa-se que para os fundos e ilhargas a espécie mais próxima das utilizadas é a mimosa, tanto ao nível do MOE como do MOR. Relativamente às escalas a espécie mais próxima do ébano é o buxo em termos de MOE e a pereira em termos de MOR.

6.2.Discussão

Como já foi referido o estudo das relações entre a anatomia e propriedades da madeira é fundamental para se estabelecer a aplicabilidade das espécies fornecedoras da matéria-prima, uma vez que tais propriedades são decorrentes, principalmente, da sua estrutura anatómica (Walker *et al.* 1993). Especificamente, para a fabricação de instrumentos musicais, Bucur (1995) descreve que os principais parâmetros a serem considerados na seleção de amostras são: a densidade, a velocidade de propagação do som e o decaimento vibracional.

Segundo, Shimoyama (1990), Butterfield *et al.* (1993) e Longui (2005) a densidade está relacionada com o comprimento das fibras, sendo que, dentro das folhosas, maiores densidades são normalmente observadas em madeiras com fibras mais longas, no entanto, neste estudo tal situação não se verificou, pois a espécie com fibras mais longa é a nogueira e a espécie com densidade mais elevada é a azinheira.

Além da densidade, o arranjo celular determina outras propriedades da madeira importantes para os instrumentos musicais, como a velocidade de propagação do som.

Alguns autores informam que o parênquima axial é a principal característica a ser considerada, sendo que madeiras com melhor qualidade acústica apresentam parênquima axial do tipo paratraqueal. Segundo Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. (2000) as madeiras que são

utilizadas para a construção de cordofones apresentam parênquima paratraqueal e algumas das espécies em estudo também, como é o exemplo da mimosa, pereira e azinheira.

Brancheriau *et al.* (2006a e b) mencionam que os raios são também importantes na determinação da qualidade acústica das madeiras, sendo que os melhores resultados são encontrados em madeiras com raios pouco frequentes. De acordo com este autor, das espécies em estudo, aquela que apresentará melhor qualidade acústica será o buxo, pois é a espécie que apresenta menor percentagem de raios, já a azinheira será a espécie com menor qualidade acústica visto que é a que apresenta maior percentagem de raios e de maiores dimensões. Segundo Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. (2000) o pau santo apresenta também um valor reduzido de raios por mm.

Quanto maior as dimensões e frequência dos raios, menor a velocidade de propagação do som. Ao contrário das demais células da madeira, os raios não estão orientados longitudinalmente; supõe-se então que eles possam retardar o deslocamento da onda sonora, portanto quanto mais frequentes, altos e largos forem os raios, mais lenta será a propagação dessa onda. Além disso, raios muito largos podem fazer com que as fibras adjacentes se inclinem de forma acentuada, o que representa uma leve alteração na orientação do fio nesses espaços, isso pode contribuir para a diminuição na velocidade de propagação do som (Longui, E., 2009). Reforçando tal suposição considera-se a informação de Reiterer *et al.*, (2002) que afirmam que os raios impedem a propagação de rachaduras, portanto podem também representar barreiras que dificultam a propagação das ondas.

As espécies que são utilizadas atualmente na construção de cordofones apresentam baixa dimensão de raios o que vai ao encontro do que defende o autor. A dimensão dos raios rondam as 2-4 células de largura (Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. 2000), apesar deste parâmetro não ter feito parte deste estudo, por observação dos cortes histológicos feitos podemos dizer que algumas das espécies em estudo que se aproximam destes valores como é o caso da pereira, buxo, noqueira e cerejeira.

Brancheriau *et al.* (2006a e b) descrevem que além do parênquima axial e raios, outras características anatómicas podem ter alguma influência positiva na qualidade acústica das madeiras, como baixa frequência de vasos (com maior diâmetro).

Quanto aos vasos, Alves *et al.*, (2008a) encontraram relação entre menor frequência dessas células e maior velocidade de propagação do som. Madeiras com vasos de diâmetro reduzido mostram velocidade de propagação do som inferior àquela encontrada em madeiras com vasos de maior diâmetro mas menor frequência o que indica que a frequência dos vasos

tem uma influência maior do que o diâmetro dessas células na propagação do som (Longui, E., 2009). Por outro lado, madeiras com maior densidade possuem menor proporção de espaços vazios e tais espaços provocam a redução da velocidade de propagação do som, que se propaga melhor em sólidos (as paredes celulares) do que no ar (Shimoyama 2005). Assim os vasos atuam na determinação da velocidade de propagação do som, já que, madeiras mais porosas, ou seja, com vasos de maior diâmetro e mais frequentes, apresentam menor velocidade de propagação das ondas. Assim, neste estudo, e segundo estes autores, a espécie que apresenta maior velocidade de propagação será a mimosa pois é que apresenta menor percentagem de vasos, mas por outro lado possuem maior área. O buxo, apresenta uma percentagem reduzida de vasos e vasos com diâmetro muito reduzido o que, segundo estes autores, significa boa velocidade de propagação do som.

As fibras também influenciam a velocidade de propagação do som. De acordo com alguns autores, madeiras com fibras mais longas, com paredes mais espessas e em alta proporção apresentam maior velocidade de propagação do som (Bucur 1988, Oliveira e Sales 2000, Bucur *et al.* 2002, Huang *et al.* 2003; Pourtahmasi & Golpayegani 2009). As espécies utilizadas na construção de cordofones apresentam fibras médias grossas (Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. 2000). Como já foi referido no estudo apresentado não foram medidas as dimensões transversais das fibras e portanto não se possui informação relativa à espessura da parede, no entanto, as espécies em estudo apresentam fibras relativamente curtas sendo a nogueira a que tem fibras mais compridas e o buxo as mais curtas.

Estabelecer relações diretas entre as diferentes propriedades nem sempre é possível, uma vez que há muitos fatores que atuam em conjunto. Alves *et al.*, (2008a), encontraram relação entre maior densidade e menor frequência de vasos e maior velocidade de propagação do som. Neste caso, a espécie que apresenta maior densidade e simultaneamente menor frequência de vasos é a nogueira.

Para o módulo de elasticidade, que indica a rigidez da madeira, ocorreram correlações significativas com características das fibras, e também com as dimensões dos vasos sendo que menores dimensões dos vasos correlacionaram-se com menores valores do módulo de elasticidade (Longui, E., 2009). No presente estudo isto não verifica-se, pois a espécie com menores dimensões dos vasos é o buxo, sendo também a espécie que apresenta maior MOE.

Para instrumentos musicais, além dos altos valores de velocidade de propagação do som e módulo de elasticidade é importante que a madeira apresente grande resistência à rutura (MOR), uma vez que existem partes do instrumento que estão sujeitas a forças constantes que

podem provocar sua quebra. A espécie que apresenta o MOR mais elevado nos ensaios de resistência longitudinal é a mimosa enquanto que o buxo apresenta o maior MOR nos ensaios de resistência radial.

O estudo da retração volumétrica em madeiras para instrumentos musicais é importante, uma vez que pode indicar o comportamento da madeira ao longo do tempo, ou seja, se as peças para que a madeira irá ser utilizada vão manter a forma desejada ou se poderá apresentar algum enfraquecimento, ou ainda se existe a possibilidade da madeira desenvolver micro rachaduras em função da troca constante de humidade com o ambiente, o que pode provocar rompimento quando a madeira receber alguma força de tração. No presente estudo, verifica-se que as espécies que apresenta menor retração volumétrica são a mimosa, Nogueira e buxo sendo também estas três que apresentam menor humidade de saturação das fibras e diferenciais de secagem pelo que seriam as mais estáveis relativamente a alterações de dimensões com as variações de humidade.

7. Conclusões gerais

Quando se questiona qual é a característica ou propriedade da madeira que a vai qualificar para a produção de instrumentos musicais, conclui-se que não há uma, mas sim um conjunto e a interação entre elas, significando isto que, para a seleção de madeiras alternativas às atualmente utilizadas, deve-se avaliar um conjunto de características que compreendem características anatômicas, propriedades físicas, mecânicas, químicas e acústicas. Neste sentido teria sido útil, para atingir o objetivo a que este trabalho se propôs, ter aprofundado alguns estudos como a determinação das dimensões transversais dos elementos lenhosos (vasos, fibras e raios) e ensaios acústicos das diferentes madeiras. Teria igualmente sido útil ter conseguido maior quantidade de material para os ensaios uma vez que a variabilidade que pode existir dentro de cada espécie não foi aqui estudada uma vez que só possuíamos uma amostra para cada tipo de madeira.

Para a seleção de madeiras alternativas, deve-se também considerar a disponibilidade de mercado das mesmas e de que forma são produzidas, ou seja, devem ser retiradas de forma sustentada de nossas florestas

No entanto, este trabalho permite ficar a conhecer as características anatômicas, físicas e mecânicas de cada madeira abrindo-nos alguns caminhos sobre que madeiras poderão ser alternativas às utilizadas. De facto, algumas destas espécies apresentam aspetos positivos no que diz respeito às características que mais se adequam às madeiras utilizadas na construção de cordofones apresentando alguns valores próximos das espécies que são utilizadas atualmente.

Assim, pelos resultados obtidos neste trabalho podemos concluir que:

- A madeira de mimosa, apesar de anatomicamente e a nível da reatividade higroscópica apresentar características positivas para a sua utilização em fundos e ilhargas é uma madeira que a nível das componentes da densidade se mostra muito heterogénea e irregular a nível da largura do anel. Relativamente aos ensaios mecânicos a mimosa mostrou uma boa resistência no sentido longitudinal mas não tão grande radialmente.
- Ao nível das componentes da densidade as madeiras de cerejeira e a nogueira têm um comportamento idêntico mas diferente nas outras características, nomeadamente a nível biométrico dos elementos lenhosos, retrações e HSF (menores na nogueira) e resistência mecânica longitudinal (maior na cerejeira)

- A madeira de nogueira tem um comportamento idêntico ao sicômoro ao nível das componentes da densidade, das retrações e do comprimento das fibras mas ao nível das percentagens de tecidos apresenta algumas diferenças nomeadamente menor percentagem de vasos mas maiores.
- Como madeira alternativa ao ébano para utilização nas escalas a pereira mostrou características muito diferentes do ébano com retrações volumétricas, HSF e diferencial de secagem muito superiores. Ao nível das componentes da densidade a pereira mostrou-se uma madeira muito menos densa que o ébano e relativamente irregular e heterogenia, acontecendo o mesmo com o comportamento mecânico sendo das madeiras com menor MOR e MOE
- Para esta utilização (escalas) o buxo revelou-se a madeira mais semelhante ao ébano para todas as características. O facto de peças que normalmente se encontram de buxo serem de pequenas dimensões também não é um inconveniente para a sua utilização em escalas

8. Bibliografia

Alves, E.S.; Longui, E.L.; Amano, E. 2008a. Pernambuco wood (*Caesalpinia echinata*) used in the manufacture of bows for string instruments. *IAWA Journal* 29: 323—3357

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR12179 – Tratamento acústico em recintos fechados. [São Paulo], 1992. 9 p.

Araújo, H. J. B. 2002. Agrupamento das espécies madeiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas. 157 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Araújo, H.J.B. 2007. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. *Floresta*, Curitiba, PR, 37 (3): 399--416.

Bessa, F., 2000. Caracterização Anatômica, Física, Química e Acústica de Madeiras de Váras Espécies para a Construção de Instrumentos Musicais. Dissertação de Mestrado em Engenharia dos Materiais Lenhocelulósicos. Universidade Técnica de Lisboa-Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Bistafa, s. R. 2006. Acústica aplicada ao controle do ruído. São paulo: e. Blüncher. 368 p.

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em: <http://www.florestar.net/pereira-brava/pereira-brava.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em: <http://www.florestar.net/azinha/azinha.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em: <http://www.florestar.net/padreiro/padreiro.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em <http://www.florestar.net/nogueira/nogueira.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em: <http://www.florestar.net/cerejeira/cerejeira.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em <http://www.florestar.net/buxo/buxo.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Boas, R., 2015. Florestal.net. Disponível em: <http://www.florestar.net/invasoras/mimosa.html>. Acesso em 22 de janeiro de 2015

Bosshard, H., 1956. Über die Anisotropie der Holzschwindung. *Holz Roh - Werkst* 14 (8): 286-295. in: Tsoumis, G. (1991) - Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, 494 pp.

Brancheriau, L.; Baillères, H.; Détienne, P.; Gril, J.; Kronland, R. 2006a. Key signal and wood anatomy parameters related to the acoustic quality of wood for xylophone-type percussion instruments, *Journal of Wood Science*, 52: 270-273.

Brancheriau, L.; Baillères, H.; Détienne, P.; Kronland, R.; Metzger. 2006b. Classifying xylophone bar materials by perceptual, signal processing and wood anatomy analysis. *Annals of Forest Science* 63:73–81

Brown, H., Panshin, A. & Forsaith, C., 1952. *Textbook of Wood Technology*, Volume II. New York, 783 pp.

Bucur, V. 1988. Wood structure anisotropy estimated by acoustic invariants. *IAWA Bulletin*, Leiden 9: 67-74.

Bucur, V. 1995. *Acoustics of wood*. CRC Press. Boca Raton.

Bucur, V., P. Lanceleur & B. Roge. 2002. Acoustic properties of wood in tridimensional representation of slowness surfaces. *Ultrasonics* 40: 537--541.

Burger, L. M. & Richter, H. G., 1991. *Anatomia da madeira*. Livraria Nobel S.A. São Paulo, Brasil, 154 pp.

Butterfield, R.P. Crook, R.P. Adams, R.; Mol'ris, R. 1993. Radial variation in wood specific gravity, fibre length and vessel area for two central American hardwoods: *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation grown trees. *Iawa Journal*, Leiden, 14 (2): 153-161.

Butterfield, B., 2006. The structure of wood: form and function, 1-22 in Walker, J., 2006—Primary wood processing – principles and practice. Springer

Carvalho A., 1996. *Madeiras Portuguesas – Estrutura Anatômica, Propriedades, Utilizações*, Vol. I. Direcção Geral de Florestas, Portugal

Calegari, L.; Stangerlin, D.M.; Santini, E.J.; Haselein, C.R.; Longhi, S.J.; Carmo, P.I.O.; Silva Filho, L.C.P.; Gatto, D.A. 2007. Monitoramento do teor de umidade de madeiras de *Pinus elliottii* Engelm. e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, sob diferentes temperaturas de secagem, através do ultra-som. *Ciência Florestal*, Santa Maria 17: 399-408.

Carrasco, E.V.M.; Azevedo Júnior, A.P. 2003. Avaliação não-destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som - fundamentos físicos e resultados experimentais. *Cerne* 9: 178-191.

Denne, M.P.; Hale, M.D. 1999. Cell wall and lumen percentages in relation to wood density of *Nothofagus nervosa*. *Iawa Journal* 20: 23-26.

Dickison, W., 2000. *Integrative plant anatomy*. Harcourt Academic Press, 533pp

Esau, K., 1974. *Anatomia das plantas com sementes*. Editora Edgard Blucher Lda. S. Paulo. Brasil, 293 pp.

Esteban, L., Casasús, A., Oramas, C. & Palacios, P., 2003. *La Madera y su anatomía*. Fundacion Conde del Valle de Salazar, 327pp.

Esteves. C., M.,G., 2009. Identificação das propriedades de difusão na madeira pinus pinaster Aiton. Dissertação de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

- Fahn, A., 1985, *Anatomia Vegetal*. Ediciones Pirâmide, S. A. Madrid, 643 pp.
- Ferreirinha, M., 1958. Elementos de Anatomia de Madeiras - Folhosas Portuguesas. Junta de Investigações do Ultramar (memórias nº3). Lisboa, 160 pp.
- Fujiwara, S., Sameshima, K.; Kuroda, K.; Takamura, N. 1991. Anatomy and properties of Japanese hardwoods I. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. IAWA Bull 12: 419--424.
- Giordano, G., 1971. Tecnologia del Legno. Volume 1. Torino: Unione Tipografico Editrice. *in*: Tsoumis, G., 1991. *Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York, 494 pp.
- Gourlay, I., 1995. The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species— a review. IAWA Journal, Vol. 16 (4): 353-359.
- Holztechnologie 21 (1): 28-30. *in*: Tsoumis, G., 1991. *Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York, 494 pp.
- Huang, C.L; Lindström, H.; Nakada, R.; Ralston, J. 2003. Cell wall structure and wood properties determined by acoustics—a selective review. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin/Heidelberg 61: 321—335.
- Kollmann, F., 1959. Tecnologia de la Madera y sus Aplicaciones. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, 673 pp.
- Kollmann, F. & Côté, W., 1968. Principles of Wood Science and Technology. I. Solid Wood. Berlin. *in*: Tsoumis, G., 1991. *Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York, 494 pp.
- Kommert, R., 1980. Bemerkungen zur Quellungsanisotropie von Eichenholz.
- Lewin M. and I.S. Goldstein. 1991. “Wood structure and composition”. International Fiber Science and Technology Series, Vol. 11.
- Longui, E.L. 2005. Pau-brasil e outras espécies nativas empregadas na confecção de arcos para instrumentos de corda: um estudo comparativo. 75 p. il. Dissertação de mestrado em Biodiversidade vegetal e meio ambiente. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo.
- Longui, E.L. 2009. Potencial de madeiras nativas na fabricação de arcos para instrumentos de corda. Tese de Douturamento em Biodiversidade vegetal e meio ambiente. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo
- Louzada J.L.P.C. 2000. Variação fenotípica e genética em características estruturais na madeira de *Pinus pinaster* Ait.-Série Didáctica, Ciências Aplicadas (143), Univ. Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Machado, N., 2006. Variação dimensional da madeira devida ao seu comportamento higroscópico. Dissertação para obtenção do grau de mestre em construção de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 10-20pp.

Mårtensson, A., 1992. Mechanical behaviour of wood exposed to humidity variations.

Martins Filho¹, s. E. C.; Leão, n. V. M.; Siqueira, V. C. EMBRAPA. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44993/1/1016.pdf>. Acesso 15 fevereiro 2015

Martins da Silva, P. (1989) - *Elementos de Acústica Musical*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 231 pp.

Mathieu, 1854 in: Quilhó, T. M. G., 1981. Estrutura da madeira: técnicas laboratoriais para o estudo anatómico descrição do lenho de folhosas e resinosas para fins de identificação. Trabalho de estágio para a obtenção da licenciatura. Faculdade de Ciências de Lisboa. Lisboa, 122 pp.

Melo, J. E. 2002. Madeira: Característica e aplicações. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais/IBAMA.

Nearn, W. T., 1955. Effect of Water Soluble Extractives on the Volumetric Shrinkage and Equilibrium Moisture Content of Eleven Tropical and Domestic Woods. Penn. State Ag. Expt. Sta., Bull. 598. in: Tsoumis, G., 1991. Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, 494 pp.

Oliveira J. M., 2004. Aplicação do ensaio de Arcan na identificação do comportamento ao corte da madeira, Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, Vila Real.

Oliveira, F.G.R. & Sales, A. 2006. Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods. Bioresource Technology 97: 2443--2446. Pereira, S.S.C., 2009. Avaliação Experimental das principais propriedades mecânicas de peças estruturais em madeira antiga. Dissertação de Mestrado. Especialização em Construções Cíveis. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Pereira, S.S.C. (2009). Avaliação Experimental das principais propriedades mecânicas de peças estruturais em madeira antiga. Dissertação de Mestrado. Especialização em Construções Cíveis. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Pourtahmasi, K. & Golpayegani, A.S. 2009. Introducing Mulberry's wood (*Morus alba* L.) used in bowl shaped musical instruments of Iran. Actes de la journée d'étude *Le bois : instrument du patrimoine musical* – Cité de la Musique.

Quilhó, T.; Miranda, I.; Pereira, H. 2006. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). Iawa Journal 27; 243–254.

Reiterer, A.; Burgert, I.; Sinn, G.; Tschegg, S. 2002. The radial reinforcement of the wood and its implication on mechanical and fracture mechanical properties-A comparison between two tree species. Journal of Materials Processing Technology. 37: 935-940.

Remade, 2015. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/madeira_especies.php?num=184&title=Madeiras. Acesso 1 setembro de 2015

Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 25th June 2009. <http://delta-intkey.com>

Rowell, Roger M., 1984, The chemistry of solid wood, American chemical society, Washington D. C.

Siau, J.F., 1995, Wood: Influence of moisture on physical properties, Department of Wood Science and Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and state university.

Schniewind, A.P., 1989. Concise encyclopedia of wood and wood-based materials, Pergamon Press

Sharp, A., 2004. Formation and structure of wood, 1806-1815, in: Burley,J., Evans, J. & Youngquist, P., 2004. Encyclopedia of forest sciences. Elsevier, volume 41517- 2061.

Shimoyama, V.R.S. 1990. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp. 93p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Shimoyama, V. R. S. 2005. Estimativas de propriedades da madeira de *pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado. Tese (doutorado em engenharia florestal) – setor de ciências agrárias, universidade federal do paraná, Curitiba.

Slooten, H. J. Van der; Souza, M. R. 1993. Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para manufatura de instrumentos musicais. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,

Society of Wood Science and Technology. 2014. Disponível em: <http://www.swst.org/teach/teach2/properties2.pdf>. Acesso em 13 de setembro 2014.

Souza, M. R. de. Classificação de madeiras para instrumentos musicais. Brasília: IBDF / DEL / LPF, 1983. 21p.

The wood database, 2015. Disponível em: <http://www.wood-database.com/>. Acesso em 1 de setembro de 2015

Tiemann, H. D., 1906, Effect of moisture upon the strength and stiffness of wood, USDA Forest Service, Bulletin 70.

Time, Berit, 1998. Hygroscopic moisture transport in wood. Doctoral Thesis, Department of Bulding and Construction Engineering, Norwegian University of Science and Technilogy.

Tsoumis, G., 1991. Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, 494 pp.

U.S.D.A., 1999. Wood handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep.FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, ForestProducts Laboratory

Walker, J. C. F.; Butterfield, B. G.; Lang Rish, T. A. G.; Harris, J. M.; Uprichard, J. M. 1993. Primary Wood Processing: Principles and practice. Chapman & Hall, London.

Wangaard, F. F. & Granados, L. A., 1967. The Effect of Extractives on Water- Vapor Sorption by Wood. Wood Science and Technology 1: 253-277.

Worldagroforestry, 2015. Disponível em:

http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Diospyros_ebenum.PDF. Acesso 22 de maio de 2015

Worldagroforestry, 2015. Disponível em:

http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Dalbergia_latifolia.PDF. Acesso 22 de maio de 2015

Xavier J.C., 2003. Caracterização do comportamento ao corte do Pinus Pinaster Ait. Usando o ensaio de Iosipescu, Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, Vila Real, 2003.

Zobel, B.J. & Van Buijtenen, J.P., 1989. Wood variation: its causes and control. Berlin, Springer-Verlag. 418p.