



CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ANÁLISE MULTIVARIADA DOS CARACTERES ANATÔMICOS, FÍSICO-MECÂNICO DE *Protium apiculatum* Swart

Geny R. da SILVA¹, Lucas G. M. SANTANA¹, Diego L. AGUIAR¹, Victor H. P. MOUTINHO¹, Fernando W. C. ANDRADE²

1 – Laboratório de Tecnologia da Madeira, Universidade Federal do Oeste de Pará, Brasil

2 – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

Resumo: A espécie de *Protium apiculatum* Swart é oriunda do segundo ciclo de corte da área experimental da Floresta Nacional do Tapajós – FNT. Devido as mudanças ocorridas na composição florística nos diferentes ciclos de exploração é imprescindível o estudo da caracterização tecnológica de espécies potenciais, diminuindo assim a demanda das espécies tradicionalmente comercializadas diminuindo o impacto causado na floresta. Para a caracterização anatômica coletou-se discos de madeira a dois metros de altura para cada indivíduo, onde retirou-se material para devida análise macroscópica e microscópica. Os ensaios físicos e mecânicos, o material fora coletado, desdobrado, selecionado de acordo com a orientação dos anéis de crescimento e aclimatados à 12% de umidade. Para a determinação da densidade, as amostras foram saturadas e secas em estufa para as devidas mensurações; os ensaios mecânicos foram realizados na máquina universal EMIC. A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliação da correlação entre as características anatômicas, físicas e mecânicas por meio da dispersão gráfica. Com a análise de similaridade observou-se que o diâmetro do lume e a espessura da parede da fibra são essenciais para elucidar os caracteres físicos da madeira. A PCA mostra a correlação das características anatômicas-física e anatômica-mecânicas, onde os diversos caracteres anatômicos explicam as características físicas e mecânicas da madeira.

Palavras-chave: Tecnologia da madeira, FNT, Espécie potencial.

Abstract: The species of *Protium apiculatum* Swart comes from the second cutting cycle the experimental area of the Tapajós National Forest - FNT. Due to changes in species composition in different cycles of exploitation is essential to study the technological characterization of potential species, thus decreasing the demand of the species traditionally marketed reducing the impact on the forest. For anatomical characterization collected up wooden disks to two meters in height for each individual, which withdrew due material for macroscopic and microscopic analysis. The physical and mechanical tests, the material was collected, unfolded, selected according to the orientation of growth rings and acclimated to 12% moisture content. For measuring the density, the samples were saturated and dried in an oven to the required measurements; the mechanical tests were performed on universal machine EMIC. The principal component analysis (PCA) was performed to evaluate the correlation between the anatomical, physical and mechanical characteristics by graphic dispersion. With the similarity analysis it was observed that the lumen diameter and thickness of fiber wall are essential to elucidate the physical characteristics of wood. The PCA shows the correlation of anatomical and physical-anatomical-mechanical characteristics, where many anatomical characters explain the physical and mechanical characteristics of the wood.

Keywords: Wood technology, FNT, Potential species.

1. INTRODUÇÃO

As Florestas Nacionais são unidades de uso sustentável que objetivam o uso dos recursos florestais e para a pesquisa científica, como a utilização dos produtos das florestas nativas e entre outros (BRASIL 2000). A área experimental da Floresta Nacional do Tapajós está no segundo ciclo de corte e, desde o seu primeiro ciclo, são realizados contínuos monitoramentos para avaliar o crescimento e a mudança da composição florística (REIS et al., 2010).

A cada novo ciclo, as espécies exploradas no ciclo anterior não possuem mais o mesmo nível de ocorrência, assim a tecnologia da madeira possui grande importância para a caracterização e descrição das propriedades tecnológicas da madeira das espécies pouco conhecidas.

De acordo com Teixeira (1997) a anatomia da madeira possui grande relevância pois ela ampara com confiabilidade a identificação de madeira afim de não haver confusão ou fraudes. A microscopia analisa os elementos dissociados e mais detalhados podendo auxiliar a taxonomia, descrição do ambiente e observação da heterogeneidade da madeira.

Com isso é necessário a caracterização tecnológica das propriedades da madeira, onde Moreira (1999) disserta que a avaliação da densidade, ou outra característica, não justifica isoladamente a qualidade e o comportamento da madeira. Por isso são indicados a avaliação conjunta das características tecnológicas, para obter embasamento na análise das características para madeira (MATOS et al., 2006).

Assim os testes mecânicos são realizados para obter os módulos de elasticidade, ruptura e de resistência da madeira, já a densidade para indicação de determinadas finalidades, e as características anatômicas para taxonomia e identificação de espécies, entre outros (LOBÃO et al., 2004). Outrossim, a análise multivariada de componentes principais permite a compreensão da influência das características estudadas com suas semelhantes (MOUTINHO 2013).

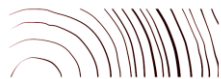
Devido ao pouco estudo e ao potencial da espécie, este trabalho objetivou caracterizar os elementos anatômicos e propriedades físico-mecânicas e realizar a análise de componentes principais sobre as propriedades tecnológicas da espécie de *Protium apiculatum* Swart.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material do estudo foi coletado na Floresta Nacional do Tapajós - FNT no km 67 da Rodovia BR 163 Cuiabá-Santarém na área experimental da EMBRAPA, nas coordenadas 55°00' W, 2°45' S.

O clima da região no sistema de Köppen é classificado como Am, ou seja, clima tropical úmido com variação térmica anual inferior a 5°C, e no sistema de Gaussen é classificado como Xeroquimênico, apresentando as mais baixas temperaturas acima de 15°C e período seco até quarenta dias. O solo predominante é o Latossolo Amarelo Distrófico, profundos e com baixa capacidade de troca catiônica (CORDEIRO 2004).

Para a caracterização anatômica utilizou-se amostras de discos de cinco indivíduos retirados a dois metros de altura, enquanto que para a caracterização físico-mecânica obteve-se pranchões devidamente orientado da primeira tora. Em paralelo retirou-se material botânico para a identificação científica da espécie por especialistas do herbário da Embrapa Amazônia Oriental e da Universidade Federal do Oeste do Pará.



As lâminas permanentes foram confeccionadas com auxílio de um micrótomo manual, marca *American Optical Corp*, modelo 36H, com os corpos de prova saturados em água. As seções histológicas nos planos longitudinal tangencial e radial foram obtidas a uma espessura de 15 μ m e o plano transversal com 20 μ m. Em seguida passando pela clarificação em hipoclorito de sódio a 2,5%, coloração em safranina e desidratação alcóolica (JOHANSEN 1940). Por fim, o material foi mantido em acetato de butila até a confecção das lâminas permanentes em bálsamo do Canadá.

Para o macerado, utilizou-se peróxido de hidrogênio e ácido acético na proporção de 1:1, sendo a amostra mantida em estufa a 60°C por tempo suficiente para a dissociação dos elementos anatômicos (FRANKLIN 1945). A obtenção das imagens de fibra, vaso e raio nos três planos e no material macerado foi utilizado microscópio trinocular acoplado a uma câmera digital modelo T1004772, obtendo-se imagens pelo programa *BELView* versão 6.2.3.0, onde a mensuração foi realizada no programa *IPWin32* versão 4.5.0.29

A avaliação das características anatômicas seguiu as normas do IAWA - International Association of Wood Anatomists Committee (IAWA 1989).

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira, realizaram-se ensaios de flexão estática, compressão paralela às fibras e dureza Janka nas superfícies transversal, tangencial e radial, assim como o teste de compressão paralela às fibras, seguindo recomendações da norma NBR 7190 (ABNT 1997).

Os testes mecânicos para determinar os valores de tensão na força máxima e o módulo de elasticidade foram feitos em máquina de ensaio universal modelo EMIC DL30000.

Foram determinadas as propriedades físicas: densidade aparente, densidade básica, contração máxima nos sentidos longitudinal, radial e tangencial e o coeficiente de anisotropia. Foram utilizados corpos de prova de 2x3x5cm nos planos radial, tangencial e longitudinal axial, respectivamente, baseando-se na norma NBR 7190 (ABNT 1997).

Na análise dos dados, utilizaram-se as técnicas de análise em componentes principais (ACP) e Análise de agrupamento ou Cluster (AA) para definir as principais variáveis contribuintes da variabilidade das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira.

Utilizou-se a média padronizada dos valores das variáveis da matriz de observações, composta por: características anatômicas, físicas e mecânicas. Desta foi obtida uma matriz de correlação R, denominada autovetores. Das covariâncias e correlações entre a transposta dos autovetores e a matriz de observações, são obtidos os n componentes principais (CP).

Como medida de dissimilaridade, com base nos escores calculados das CPs, foi utilizada a distância Euclidiana, com critério de agrupamento hierárquico, pelo método de Ward de ligação (1963).

Para facilitar o processo de agrupamento dos indivíduos e a interpretação dos dados foi utilizada uma representação gráfica através de Dendograma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espécie *Protium apiculatum* Swart, possui vasos com porosidade difusa, arranjo diagonal e/ou radial, e agrupamento predominante de vasos solitários (83,44%), ocorrendo ocasionalmente múltiplos de dois e três (9,79 – 5,97%) e raramente múltiplos de quatro (0,80%), tendo estes contorno oval e circular, diâmetro médio de 107 μ m (Tabela 1, Figura 1), elementos vasculares com comprimento médio de 291 μ m, placa de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas. As fibras possuem comprimento médio de 887 μ m,



espessura da parede de $1,23\mu\text{m}$ e diâmetro do lume $5,7\mu\text{m}$. Os raios são heterogêneos, com corpo formado por células procumbentes e quadradas, e altura média de $206\mu\text{m}$.

Tabela 1. Valores médios dos elementos anatômicos de *Protium apiculatum*

Características anatômicas quantitativas	μm			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Comprimento fibra	887,02	685,20	1122,69	93,65
Diâmetro lume	5,71	3,60	8,91	1,15
Espessura da parede da fibra	1,23	0,86	1,76	0,19
Comprimento vaso	290,50	150,57	522,06	78,18
Diâmetro do vaso	107,23	57,40	155,41	23,39
Altura do raio	206,15	114,46	369,03	55,11

Os resultados encontrados para comprimento e diâmetro do vaso são similares ao encontrado por Trevisor (2011) e os demais são dessemelhantes para a espécie de *Protium altisonii*, diferença que pode ser explicada devido a diferença de sazonalidade (LONGUI et al., 2009).

A espessura de parede e o diâmetro do lume difere com *Protium altisonii* onde o valor foi próximo a $3,62\mu\text{m}$ no trabalho de Silva (2012). E o comprimento das fibras foi semelhante ao *Protium aracouchichini* da Venezuela mais com ocorrência no Brasil de (LEÓN 2002).

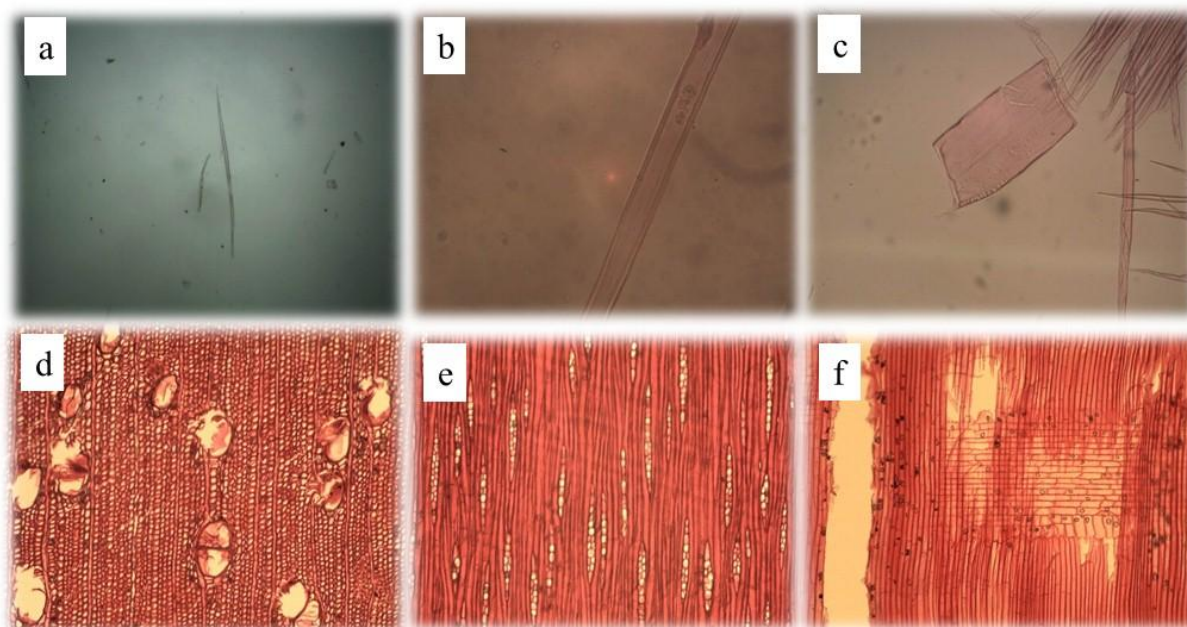


Figura 1. Caracteres anatômicos. **a-** macerado de fibra para mensuração do comprimento. **b-** macerado de parede da fibra para a mensuração da sua espessura e do lume. **c-** macerado de vaso para mensuração de comprimento e largura. **d-** Lâmina da secção transversal para visualização da porosidade, arranjo, e agrupamento dos vasos. **e-** Lâmina da secção transversal para visualização do tipo de raio e altura. **f-** Lâmina da secção longitudinal radial para visualização dos tipos de células do raio.



A densidade aparente de *Protium apiculatum* foi de $0,56\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, mais alta que madeira de *Cedrela fissilis*, madeira utilizada na movelaria (JÚNIOR, 2014).

Tabela 2. Valores médios, desvio e coeficiente de variação das propriedades físicas da madeira de *Protium apiculatum* Swart

	Densidade Aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Contração (%)				Coeficiente de Anisotropia
		Longitudinal	Tangencial	Radial	Volumétrica	
Média	0,557	0,088	8,133	4,253	0,489	1,970
Desvio	0,042	0,100	1,417	0,795	0,030	0,285
CV	7,618	113,479	17,425	18,682	6,201	14,468

De acordo com a classificação de Longsdon e Penna (2004) para o coeficiente de anisotropia, a madeira de *P. apiculatum* pode ser considerada normal, e possui potencial para usos em movelaria que permitam pequenos empenamentos. Ressalta-se que o coeficiente de anisotropia é utilizado para a qualificação da madeira em relação a problemas de secagem (BOTELHO 2011).

As propriedades mecânicas de flexão estática (Tabela 3) foram semelhantes ao *Couratari* sp., de acordo com Zenid (2009) sendo a resistência máxima da flexão de 88,8MPa. Já o módulo de elasticidade (MOE) são semelhantes a *Tectona grandis* onde obteve 13642MPa para madeira com 65 anos (FLORÉZ et al., 2014).

Tabela 3. Média da resistência mecânica de *Protium apiculatum* Swart

	Flexão estática (Mpa)		Dureza Janka (Mpa)			Compressão Paralela (MPa)
	Res. à Flexão	MOE	Transversal	Tangencial	Radial	
Média	77,895	13825,368	173,985	37,694	35,826	12867,100
Desvio	17,881	2276,358	542,581	6,962	6,004	3048,983
CV	22,955	16,465	311,856	18,470	16,758	23,696

Ao analisar a similaridade, objetivou-se mostrar como as características tecnológicas são semelhantes e considerando as propriedades físico-anatômicas analisadas (Figura 2), houve uma divisão em dois grandes grupos, o que segundo Trugilho et al. (1996), pode ser compreendido por meio da heterogeneidade da madeira. No primeiro grupo diversos caracteres anatômicos são mais próximos entre si, enquanto que no segundo grupo o diâmetro e espessura de parede da fibra são mais similares aos caracteres físicos, assim elucidada o porquê estes dados anatômicos serem fundamentais para o entendimento a densidade da madeira.

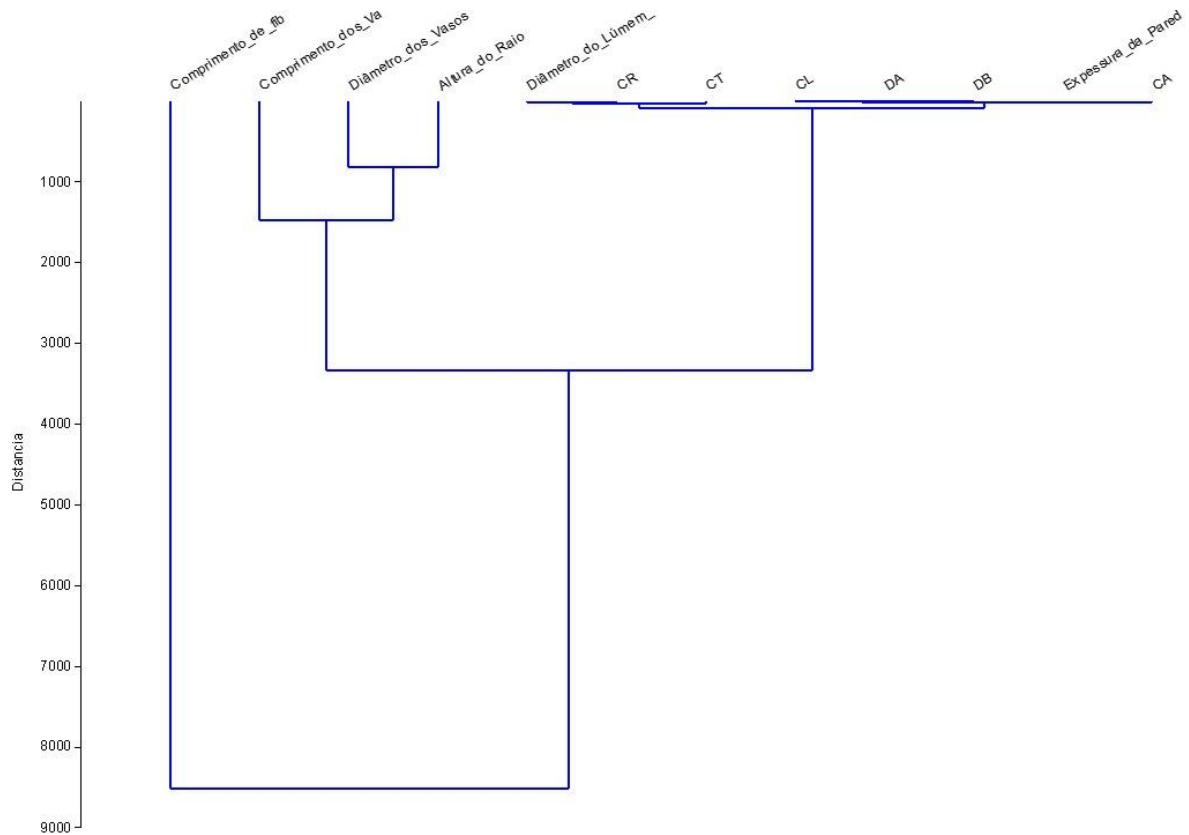
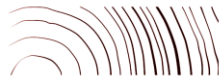


Figura 2. Análise de similaridade entre as propriedades tecnológicas de *Protium apiculatum* de acordo com o dendrograma de Cluster. Onde CR- Contração radial. CT- Contração tangencial. CL- Contração longitudinal. DA- Densidade aparente. DB- Densidade básica. CA- Coeficiente de anisotropia.

Diferentes lados eles são explicados inversamente aos valores do seu quadrante oposto. Quando os pontos forem próximos maior será a sua relação. Assim a Análise de Componentes Principais - PCA (Figura 3) permite compreender a influência de cada característica observada pela sua semelhante (MOUTINHO, 2013).

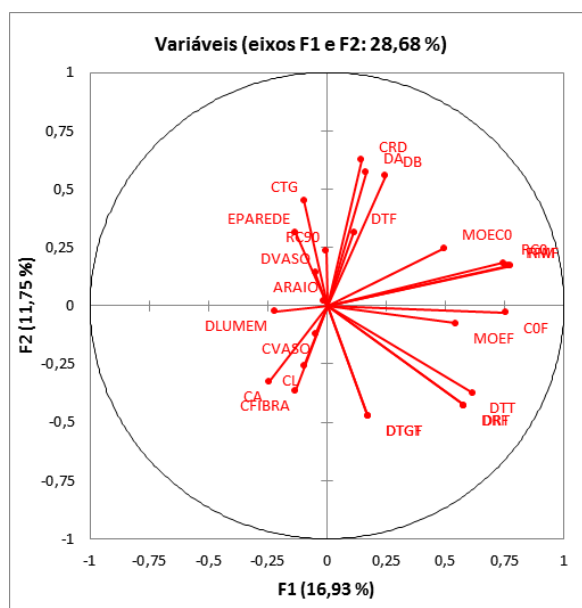


Figura 3. Análise de Componentes Principais mostrando a importância das características anatômicas, físicas e mecânicas. CTG (Contração tangencial), EPAREDE (Espessura da parede da fibra), DLUMEM (Diâmetro do lume), CFBRA (Comprimento da fibra), DVASO (Diâmetro do vaso), CVASO (Comprimento do vaso), ARAIO (Altura do raio), CL (Contração longitudinal), CA (Coeficiente de anisotropia), CRD (Contração radial), DA (Densidade aparente), DB (Densidade básica), RCO (Resistência a compressão), RFM (Flexão - Força máxima), RFFM (Resistência máxima a flexão), DTF (Dureza transversal - Força máxima), DTT (Dureza transversal - Tensão máxima), DTGF (Dureza tangencial - Força máxima), DRF (Dureza radial - Força máxima), DRT (Dureza radial - Tensão máxima), COF (Compressão paralela as fibras).

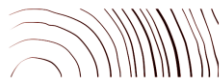
De acordo com a Análise de Componentes Principais observa-se que o comprimento da fibra, comprimento e diâmetro do vaso são inversamente proporcionais à dureza transversal (DTF). O diâmetro do lume e contração longitudinal (CL) é inversamente proporcional a densidade básica e aparente (DB e DA), isso explica onde quanto menor o lume maior é a densidade da madeira e quanto maior a densidade menor será a contração longitudinal, sendo esta quase desprezível (OLIVEIRA et al., 2010).

A resistência a compressão (RCO) e a resistência máxima a flexão (RFM) são diretamente proporcionais. E a contração tangencial (CTG) é inversamente proporcional a dureza transversal (DTT), as durezas radiais (DRF e DRT) e dureza tangencial (DTGF).

4. CONCLUSÃO

Houve similaridade entre os caracteres anatômicos onde o diâmetro do lume e a espessura da parede da fibra são essenciais para elucidar os caracteres físicos da madeira.

A Análise dos Componentes Principais mostrou a correlação entre as características anatômicas-físicas e anatômicas-mecânicas. O comprimento de fibra, comprimento e diâmetro do vaso são inversamente proporcionais à dureza transversal, e o diâmetro do lume e contração longitudinal também são inversamente proporcionais a densidade básica e aparente.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT. 1997. 107p.

BOTELHO, M. N. Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr. 2011. 27p. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

BRASIL. Lei 9985, de 18 de Julho de 2000. 2000.

CORDEIRO, A. Floresta Nacional do Tapajós - Plano de manejo. 2004

FLÓREZ, J. B., TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T., HEIN P. R., SILVA, J. R. M. D. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. Madera y bosques, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. Nature, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

IAWA Committee. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. International Association of Wood Anatomists at the Nacional Herbarium of the Nethertands – Leiden, 1989.

JOHANSEN, D. A. Plant microtechnique. Plant microtechnique. 1940.

JÚNIOR, A. F. D., de CARVALHO, A. M., DOS SANTOS, P. V., da SILVA, M. A. Usinagem da madeira de cinco espécies nativas brasileiras. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 3, 2014.

LEÓN H, W. Estudio anatómico de la madera e incidencias tecnológicas en 7 especies del género *Protium* Burm. F. (Burseraceae). Rev. For. Vzlana, v. 46, p. 73-82, 2002.

LOBÃO, M. S., LÚCIA, R. M. D., MOREIRA, M. S. S., GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Revista Árvore, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

LOBÃO, M. S., DE CASTRO, V. R., RANGEL, A., SARTO, C., FILHO, M. T., DA SILVA JÚNIOR, F. G., BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. Scientia Forestalis. v. 39, p. 467-477, 2011

LOGSDON, N. B., PENNA, J. E. Análise comparativa entre os coeficientes de anisotropia dimensional da madeira, no inchamento e na retração. Agricultura Tropical. v.8, n.1, 2004.

LONGUI, E. L., BUFOLO, A., AGUIAR, O. T., LIMA, I. L., FLORSHEIM, S. M. B. Anatomia comparada do lenho de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) JF Macbr. em dois tipos de vegetação. Hoehnea, v. 36, p. 715-724, 2009.



MATTOS, P. P. D., BORTOLI, C. D., MARCHESAN, R., ROSOT, N. C. Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Comunicado Técnico, ISSN 1517-5030. 2006.

MOREIRA, W. S. Relações entre as propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. 1999. 119p. Tese (Curso de Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MOUTINHO, V. H. P. Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia* sp. na qualidade do carvão. 2013. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz.

OLIVEIRA, J. T. S.; FILHO, M. T.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. Revista *Árvore*, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

REIS, L. P., RUSCHEL, A. R., COELHO, A. A., da LUZ, A. S., MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 64, p. 265, 2010.

SILVA, S. S. Estudo do xilema secundário de espécies da família Burseraceae produtoras de óleo. 2012. 157p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

TEIXEIRA, L. L. Identificação botânico-dendrológica e anatômica da madeira de seis espécies euxilóforas do sudoeste paranaense. 1977. 149p. Tese – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

TREVIZOR, T. T. Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical amazônica no estado do Pará. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Revista Cerne*, v. 2, n. 1, p. 15p, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

ZENID, G. J.; ROMAGNANO, L.G.F.T.; NAHUZ, M.A.R.; MIRANDA, M.J.A.C.; FERREIRA, O.P.; BRAZOLIN, B. Madeira: uso sustentável na construção civil. Instituto de pesquisas tecnológicas – IPT. 2ªed. São Paulo – SP, 2009.