



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

DENSITOMETRIA DE RAIOS X NAS MADEIRAS PROVENIENTES DE PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL VISANDO USO ENERGÉTICO

Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli¹

Daniele Fernanda Dantas²

Maria Wellia da Silva Souza²

Ananias Francisco Dias Júnior³

Angel Thiane Boschiero Ferreira³

Analder Sant'Anna Neto⁴

Mario Tomazello Filho³

José Brito³

¹ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Ceeteps / Faculdade de Tecnologia - Fatec

² Tecnologia em Biocombustíveis / Faculdade de Tecnologia de Piracicaba "Deputado Roque Trevisan" / Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

³ Universidade de São Paulo

⁴ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / Universidade de São Paulo



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

DENSITOMETRIA DE RAIOS X NAS MADEIRAS PROVENIENTES DE PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL VISANDO USO ENERGÉTICO

Resumo: Este estudo teve por objetivo madeiras de plantios de restauração da Mata Atlântica para destinação energética, analisando a variação da densidade da madeira de quatro espécies florestais em função do seu crescimento diametral e a existência de influência das classes sucessionais envolvidas na dinâmica de crescimento volumétrico mássico das espécies. Para tanto, retirou-se discos de lenho amostrados a diferentes alturas do tronco (0, 25, 50, 75 e 100% da altura de fuste) de cada árvore e foram cortadas amostras radiais (2 x 1 cm), coladas em suporte de madeira e serradas no sentido transversal, originando corpos de prova radiais para avaliação do perfil radial de densidade aparente do lenho das árvores nativas por densitometria de raios X. O perfil da densidade aparente do lenho possibilitou verificar a presença de picos de densidade delimitando regiões distintas no lenho destas, com variações nos comprimentos sendo que as densidades mínima e máxima foram de 0,346; 0,517; 0,385; 0,463 g cm⁻³ e 0,982; 0,890; 0,899; 0,998 g cm⁻³, respectivamente, para canafístula (secundária inicial), aroeira pimenta (pioneira), jequitibá-branco (secundária tardia) e jatobá (climática). De modo geral, conclui-se que os perfis radiais indicaram um aumento da densidade do lenho no sentido medula-câmbio do tronco das árvores, da mesma forma, que as árvores nativas foram influenciadas de acordo com o papel que desempenham na sucessão ecológica, ou seja, as madeiras de jequitibá-branco e jatobá foram as que obtiveram maiores médias de densidade aparente.

Palavras-chave: densitometria raios X, mata atlântica, madeira para energia.

X-RAY DENSITOMETRY IN WOODS FROM FOREST RESTORATION PLANTATIONS FOR ENERGY USE

Abstract: The objective of this study was to evaluate the variation in wood density of four forest species as a function of their diametral growth and the influence of the successional classes involved in the volumetric mass growth dynamics of species. For this purpose, wood discs sampled at different heights of the trunk (0, 25, 50, 75 and 100% of tree stem height) were removed from each tree and radial (2 x 1 cm) samples were cut, glued on wood support and serrated in the transverse direction, giving rise to radial test specimens for evaluation of the radial profile of apparent wood density of native trees by X-ray densitometry. The profile of the apparent density of the wood allowed to verify the presence of peaks of density delimiting distinct regions in the wood of these, with variations in the lengths and the minimum and maximum densities were of 0,346; 0,517; 0,385; 0,463 g cm⁻³ and 0,982; 0,890; 0,899; 0,998 g cm⁻³, respectively, for canafístula (initial secondary), aroeira (pioneer) pepper, jequitibá-branco (late secondary) and jatobá (climactic). In general, it is concluded that the radial profiles indicated an increase in wood density in the medulla-cambial direction of the trunk of the trees, in the same way that the native trees were influenced according to the role they play in the ecological succession, or both jequitibá-branco and jatobá were the ones that obtained the highest mean apparent density.

Keywords: X-ray densitometry, atlantic forest, wood for energy

1. INTRODUÇÃO

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

A formação da Mata Atlântica no Brasil, um dos principais biomas presentes no Brasil, que inclui florestas ombrófilas densas, florestas semidecíduas e matas de galeria, é um dos maiores centros mundiais da biodiversidade tropical, assim como uma das mais ameaçadas pelo desmatamento e degradação (ENGEL e PARROTA, 2001). Atualmente, sua cobertura de florestas nativas possui apenas 12,5% da sua extensão original, em geral na forma de pequenos fragmentos florestais (menores do que 100 ha) isolados em meio a paisagens altamente antropizadas (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2015). Com relação às áreas protegidas, elas cobrem menos de 2% do bioma original, e as unidades de conservação de proteção integral protegem atualmente apenas 21% das florestas remanescentes (TABARELLI et al., 2005).

De acordo com Costa et al. (2014) há necessidade de desenvolver pesquisas científicas com espécies nativas com intuito de se levantar as informações dos recursos florestais disponíveis, como uso sustentável, manejo adequado, crescimento, biomassa, qualidade da madeira e etc. para elaborar um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS).

Para os biomas onde o funcionamento ecológico foi comprometido e uma grande parte da biodiversidade nativa tornou-se seriamente ameaçada, como é o caso da Mata Atlântica, é preciso realizar uma restauração ecológica em larga escala (RODRIGUES et al., 2010). Um exemplo desta abordagem é "O Pacto de Restauração da Mata Atlântica", um ambicioso programa que visa recuperar 15 milhões de hectares da Mata Atlântica brasileira até o ano de 2050 (RODRIGUES et al., 2009).

A classificação das espécies em grupos ecológicos é ferramenta essencial para a compreensão da sucessão ecológica. A grande plasticidade apresentada pelas espécies dificulta a determinação dos critérios de classificação (PAULA et al., 2004).

Segundo Budowski (1965), as espécies pioneiras e secundárias iniciais são encontradas em áreas com condições climáticas e decíduas, fazendo parte das espécies climaxes nessas áreas. Para esse autor, uma comunidade clímax é o produto final do processo sucessional, onde a relativa estabilidade não é certamente estática. Nessas comunidades, a mistura de espécies de diferentes grupos ecológicos é regra, mas geralmente ocorre o domínio de uma ou poucas espécies, sendo o endemismo também frequente nesses casos.

As espécies foram distribuídas em três grupos, segundo Gandolfi et al. (1995), sendo eles:

Pioneiras (P) - espécies que se desenvolvem em clareiras, nas bordas da floresta ou em locais abertos, sendo claramente dependentes de condições de maior luminosidade, não ocorrendo, em geral, no sub-bosque.

Secundárias iniciais (SI) - espécies que se desenvolvem em clareiras pequenas ou mais raramente no sub-bosque, em condições de algum sombreamento. Podem também ocorrer em áreas de antigas clareiras, nesse caso ao lado de espécies pioneiras.

Secundárias tardias (ST) - espécies que se desenvolvem exclusivamente em sub-bosque permanentemente sombreado e, nesse caso, pequenas árvores ou espécies arbóreas de grande porte que se desenvolvem lentamente em ambientes sombreados, podendo alcançar o dossel ou serem emergentes.

Ambientes submetidos a altos níveis de degradação apresentam barreiras físicas, químicas ou biológicas que pedem fortemente os processos sucessionais naturais (PARROTTA et al., 1997). No entanto, plantios florestais com espécies nativas

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

podem romper parcialmente tais barreiras auxiliando o processo de regeneração natural (ENGEL, PARROTTA, 2001). Contudo, depois de realizado o plantio, as variações climáticas e edáficas existentes em áreas altamente degradadas submetem as plantas a altos níveis de estresse térmico, nutricional ou biológico, reduzindo sua vitalidade e dificultando seu estabelecimento em campo (LARCHER, 2006).

A madeira apresenta diversas características possibilitando sua destinação para diferentes usos. Devido às características químicas e anatômicas, ela é um material bastante heterogêneo e isso se deve as variações nos planos que a madeira apresenta: tangencial, radial e longitudinal (NEVES, 2012). Segundo Faria (2016) é necessário estudar as características de determinada madeira, avaliando então a sua qualidade que pode ser definida como um conjunto de características e propriedades que determinam o rendimento dos produtos finais e as adequações para os usos pretendidos.

Para Lobão et al. (2010), tanto as características anatômicas que englobaram as dimensões das fibras, diâmetro, frequência e quantidade de vasos, como a densidade básica, são atributos eficientes para caracterização da qualidade da madeira e da qualificação do seu uso final.

A densidade é uma das propriedades da madeira mais importante e mais estudada, podendo variar de 0,13 a 1,40 g cm⁻³ (BURGER e RICHTER, 1991). Está diretamente relacionada ao volume vazio dos poros e, conseqüentemente, com outras propriedades físicas e mecânicas. A densidade básica é definida como a massa seca por unidade de volume saturado (BOWYER et al., 2003) sendo a forma mais utilizada, entre várias, para expressar essa característica física da matéria.

A densidade é um dos índices mais importantes para avaliar a qualidade da madeira para os mais diversos usos, pois é de fácil determinação, está relacionada com outras propriedades da madeira e possui alta herdabilidade. Esta propriedade é a consequência e não a causa da distribuição, tipos e composição dos elementos anatômicos que compõem a madeira; então, ela é uma característica que deve ser utilizada com cautela na hora de se avaliar a qualidade da madeira (FOELKEL et al., 1990).

Vários são os métodos para a determinação da densidade da madeira, entre os quais vem ganhando espaço a densitometria por raios X. Essa informação de densidade pode ser interpretada e correlacionada com parâmetros de interesse, sejam de natureza climática, dendrológica ou tecnológica. As pesquisas com esse método se desenvolveram muito, juntamente com a incorporação de técnicas computacionais na leitura dos filmes radiográficos (TOMAZELLO FILHO, 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2008). Segundo Amaral (1994), a densitometria de raios X é uma técnica que consiste na obtenção de radiografias de uma fina secção transversal de madeira sobre um filme radiográfico. Esse filme exposto à fonte de raios X e pela passagem da radiação por meio da amostra de madeira, formasse uma imagem da sua estrutura transversal.

Segundo Tomazello Filho et al. (2008), a densitometria de raios X constitui uma das mais avançadas metodologias para determinação dos perfis e dos valores de massa específica, sendo, portanto, de grande valia para a avaliação da qualidade do lenho e estudos em dendrocronologia. A densitometria de raios X tem sido apontada como um poderoso instrumento de avaliação para estudar os efeitos dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira, bem como para explicar outros resultados ligados à caracterização tecnológica, permitindo uma qualificação da matéria-prima ao

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

produto final pretendido (SILVA, 2002). Tomazello Filho et al. (2005) destacam também sua aplicação em estudos da relação da genética, fertilização, irrigação, desrama, ataque de fungos e insetos e fatores climáticos do solo, com a estrutura e qualidade da madeira.

Como vantagem ao método gravimétrico convencional, a densitometria de raios X apresenta medições a pequenas distâncias, possibilitando o registro radiográfico permanente das amostras do lenho e a alta sensibilidade e resolução, aliadas à velocidade de processamento dos dados e a interpretação, através dos perfis radiais de densidade (SILVA; LOUZADA, 2001)

Para fins energéticos, é recomendado o uso de madeiras com maior poder calorífico, pois essa propriedade está relacionada com o rendimento energético que, está relacionado com a sua constituição química, em que os teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e substâncias minerais variam de uma espécie para outra (QUIRINO et al., 2005). A idade das árvores também interfere consideravelmente, pois diversas transformações ocorrem na madeira à medida que envelhece, podendo-se citar variações nas suas composições químicas, físicas e anatômicas. A idade de uma floresta é fator muito importante para uma empresa, uma vez que há mudança nas propriedades da madeira com o aumento da sua idade (CARNEIRO et al., 2014).

Visando o entendimento sobre os efeitos de práticas silviculturais em madeiras de espécies provenientes de plantios de restauração da Mata Atlântica para destinação energética é que este trabalho de pesquisa teve por objetivos analisar a variação da densidade da madeira de quatro espécies florestais em função do seu crescimento diametral. Objetivou-se ainda estudar a existência de influência das classes sucessionais envolvidas na dinâmica de crescimento volumétrico mássico das espécies.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

As espécies florestais nativas utilizadas neste estudo são provenientes de plantios de restauração da Mata Atlântica, que foi instalado em março de 2004, através de convênio entre ESALQ/IPEF e Petrobrás, na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi da Universidade de São Paulo, em área destinada à Reserva Legal ao longo do reservatório de Barra Bonita.

O ensaio está localizado a 22°40' de latitude Sul e 48°10' de longitude Oeste, a 455 m de altitude em solo arenoso e profundo. O clima é mesotérmico Cwa (Köppen), com verões quentes e chuvosos e invernos moderadamente frios e secos, a temperatura média anual é de 23,0°C e a precipitação média anual 1.100 mm com pequeno déficit hídrico anual de 20 mm nos meses secos (abril a setembro).

Situa-se dentro de domínio do Bioma Mata Atlântica, em área classificada como Floresta Mesófila Semidecidual (CESAR, 1988). O solo predominante é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 1999), contendo 5% de silte, 13% de argila e 82% de areia.

A instalação foi realizada em área plana, de pastagem de *Urochloa decumbens* que foi eliminada de forma mecanizada aplicando-se herbicida (princípio ativo

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

glifosato) em área total, na dose de 7 L ha⁻¹. O preparo de solo foi realizado com um subsolador DMB, a 60 cm de profundidade, com distância de 3 metros entre as linhas de preparo. O controle de formigas cortadeiras, dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, foi feito de forma sistemática em ambos os tratamentos, semestralmente, com isca formicida a base de sulfluramida.

As mudas para plantio foram produzidas no Viveiro Camará, em Ibaté/SP, em tubetes de prolipropileno com 50 cm³, e estando com idades de 120 a 180 dias na data de plantio.

O ensaio está testando 20 espécies nativas locais e possui delineamento fatorial completo 2³, com três fatores de estudo e dois níveis de cada fator, totalizando oito tratamentos, em blocos ao acaso com 4 repetições (32 parcelas experimentais). Há ainda duas parcelas adicionais por bloco: a testemunha, que não possui nenhum tipo de tratamento e possibilita a comparação das parcelas plantadas com a não ocorrência do plantio (Linha de Base); e uma parcela com fins destrutivos e amostrais, para servirem de fonte de material para estudos de biomassa da parte aérea e raízes.

Os dois níveis de cada um destes três fatores de estudo são: i) Arranjo de espécie (proporção de pioneiras e não pioneiras): 50:50% e 66:34%; ii) Espaçamento de plantio: 3 m x 1 m, com 3.333 plantas ha⁻¹ e 3 m x 2 m, 1.667 plantas ha⁻¹ e iii) Tecnologia silvicultural: manejo usual e manejo intensivo.

O Quadro 1 contém as espécies utilizadas neste estudo e a indicação dos grupos sucessionais.

Nome popular	Nome científico	Família	Grupo sucessional
Canafístula	<i>Peltophorum dubium</i>	Fabaceae (Caesalpinoideae)	Secundária inicial*
Aroeira pimenta	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	Pioneira*
Jequitibá-branco	<i>Cariniana estrellensis</i>	Lecythidaceae	Secundária tardia
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae (Caesalpinoideae)	Climácica

Quadro 1. Relação das 4 espécies nativas utilizadas no ensaio, com nome popular, científico e família botânica. As espécies com (*) representam aquelas consideradas pioneiras na instalação do ensaio em março de 2004

Nem todos tratamentos foram utilizados para realização deste estudo, utilizando-se especificamente, apenas o arranjo de 50% de pioneiras e 50% de não pioneiras, e o espaçamento de 3 m x 2 m, por serem os mais utilizados em áreas de restauração no Estado de São Paulo. Cada parcela é composta de 14 linhas por 15 plantas, no espaçamento de 3 m x 2 m, totalizando uma área total de 1260 m², com 210 plantas. A área útil, onde são realizadas as avaliações, tem 12 linhas por 11 plantas, devido à bordadura simples entre-linhas e duplas entre-plantas, totalizando 792 m² e 132 plantas. As linhas de bordadura existem para evitar que determinado tratamento aplicado a uma parcela interfira na parcela vizinha. As espécies foram distribuídas de forma aleatória dentro das parcelas totais, sempre numa disposição alternada de pioneira e não pioneira, na linha.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Quanto à tecnologia silvicultural, utilizaram-se dois níveis/tratamentos, (silvicultura usual e silvicultura intensiva) em quatro repetições por tratamento (blocos). O tratamento usual consistiu em adubação de base e capina mecânica na linha de plantio até dois anos, e, o intensivo teve adubações complementares e capina química em área total até dois anos.

Todavia, os anos de 2014 e 2015 foram marcados por uma histórica crise hídrica no Estado de São Paulo, o que pode ter influenciado nos mecanismos de crescimento e desenvolvimento dos indivíduos. Dessa forma, de posse dos dados meteorológicos, foi calculado o balanço hídrico da região para esse período (Figura 1), de acordo com metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por Sentelhas et al. (1998) e usando o valor de 300 mm, como a capacidade de água disponível (CAD) no solo, decorrente da classe do solo.

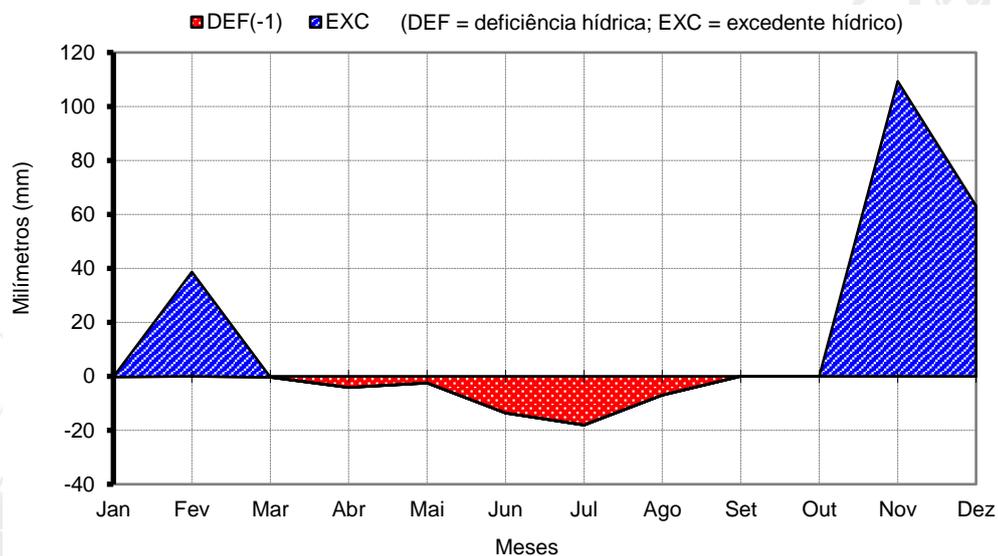


Figura 1. Extrato do balanço hídrico mensal, com base em dados de janeiro de 2014 a dezembro de 2015.

Observa-se déficit hídrico a partir do mês de março até o mês de outubro, com maior acentuação nos meses de junho e julho. De outubro a março ocorreu um excedente hídrico no solo.

2.2 Coleta de material

O material lenhoso para estudo foi obtido a partir da amostragem aleatória em função do abate de 4 indivíduos de cada uma das 4 espécies no ano de 2016. Dessa forma, as parcelas foram instaladas para fins destrutivos em espaçamento 3 m x 2 m em um sistema de manejo máximo.

As árvores selecionadas, logo que abatidas, tiveram suas secções transversais retiradas na forma de discos: uma de base (junto ao colo da árvore) e as outras a 25,

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

50, 75 e 100% da altura do fuste (H_f) até o diâmetro aproximado de 3 cm na transição tronco-copa, em um total de 20 amostras.

O material foi identificado e encaminhado aos Laboratórios de Química, Celulose e Energia da ESALQ/USP para as análises subseqüentes.

2.3 Amostragens dos discos de madeira

Dos discos de lenho amostrados a diferentes alturas do tronco (0, 25, 50, 75 e 100% da H_f) de cada árvore (4), foram cortadas amostras radiais (2 x 1 cm), coladas em suporte de madeira e serradas no sentido transversal em equipamento de serra dupla circular paralela, originando corpos de prova radiais para avaliação do perfil radial de densidade aparente (densitometria de raios X).

Após serem cortadas foram levadas para o climatizador para aguardar fazer as análises de densitometria de raios X.

2.4 Perfil radial da densidade aparente do lenho

Para a determinação do perfil radial de densidade aparente do lenho por densitometria de raios X foram utilizadas as amostras do lenho (1,7 mm de espessura) cortadas no equipamento de dupla-serra circular paralela acondicionadas em sala de climatização (20°C, 60% UR, 24h). As amostras do lenho das árvores foram encaixadas no suporte metálico e transferidas para o compartimento interno blindado do equipamento QTRS, da Quintek Measurement Systems, EUA (Figura 2 A). No processo de escaneamento das amostras do lenho, segue-se a sua autocalibração e a varredura da seção transversal radial do lenho por um feixe de raios X colimado (Figura 2 B). Os valores de raios X (leitura a distância de 80 μ m) que atravessam a amostra do lenho são transformados em densidade aparente, através do software QMS, sendo construído o perfil radial de densidade aparente do lenho pelo arquivo *.DAT gerado pelo software QMS, lido pelo software Excel (Figura 2 C). Além do perfil radial de densidade aparente, é determinada a densidade aparente máxima, mínima e média da amostra do lenho das árvores (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998; QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS - QMS, 1999; TOMAZELLO FILHO, 2008; DOUNGPET, 2005; CHAGAS, 2013; FERREIRA, 2013).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

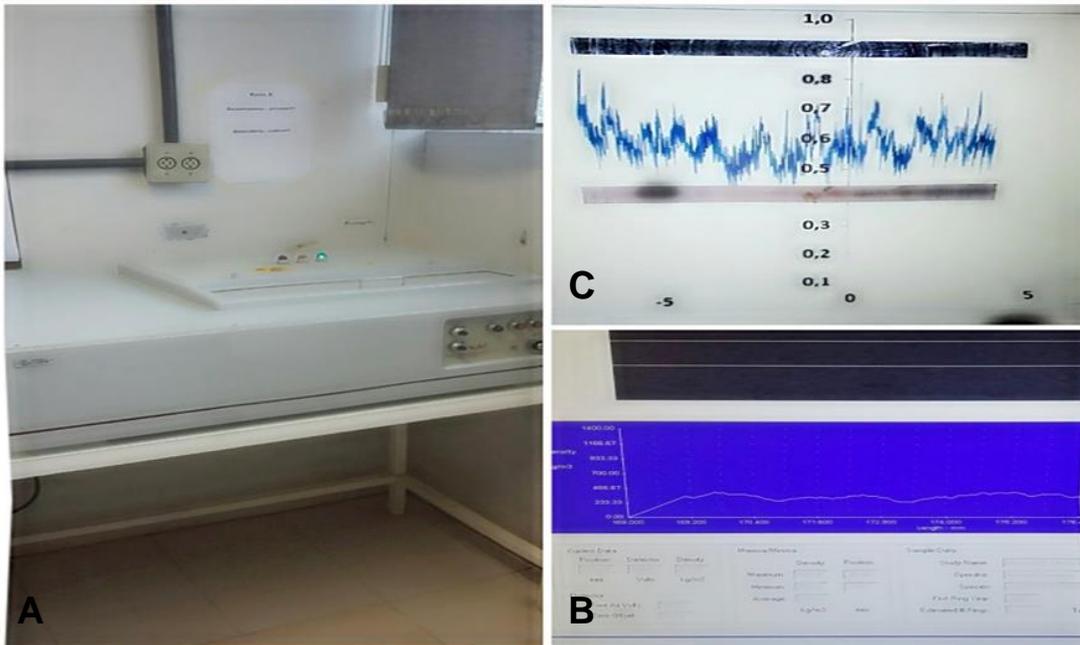
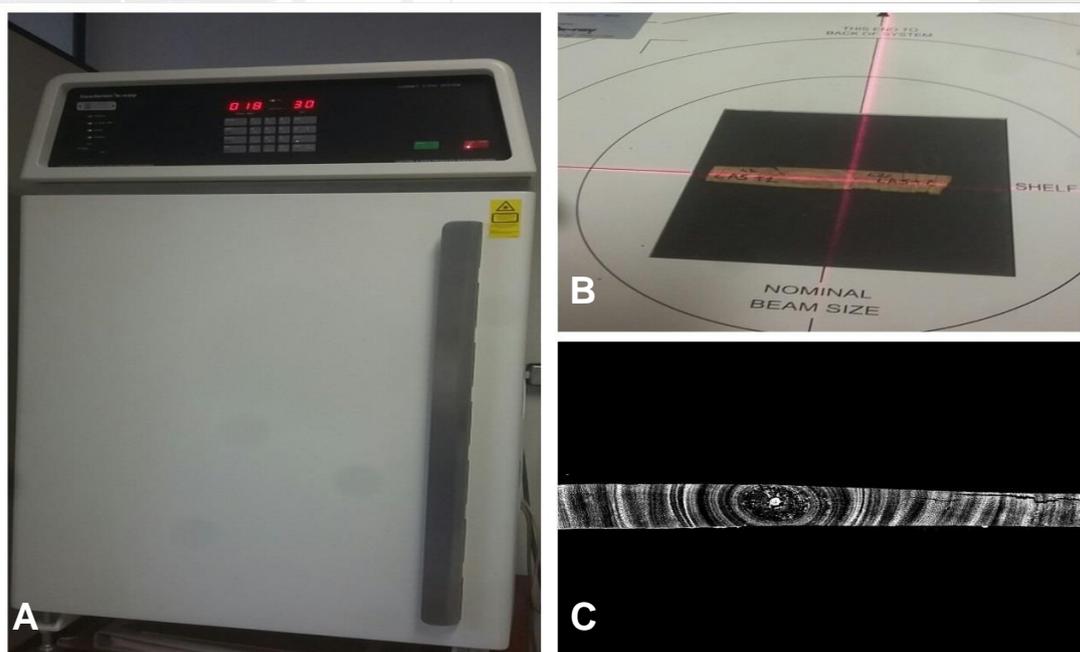


Figura 2. Aparelho QTRS para a determinação do perfil radial de densidade aparente da madeira (A); escaneamento da seção transversal radial do lenho (B) e gráfico densidade aparente da madeira ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) (C).

As amostras da seção transversal do lenho das árvores utilizadas na construção do perfil radial aparente do lenho, foram inseridas na câmara de irradiação do equipamento Faxitron X-ray, LX-60 no tempo de exposição de 19 s, 30 kV e a 55,4 cm da fonte, através da aplicação da sua imagem digital; e salvas em arquivos *.JPG (Figura 3) (FAXITRON, 2013).



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Figura 3. Equipamento de raios X digital Faxitron modelo LX-60 (A); amostra do lenho na câmara de irradiação do equipamento (B) e imagem digital da madeira(C).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das densidades básica e aparente encontradas para as amostras do lenho das árvores de canafístula, aroeira pimenta, jequitibá-branco e jatobá estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade básica, aparente (descritas na literatura) e aparente por densitometria de raios X de amostras de madeira das árvores nativas

Árvore	Densidade da madeira		Densitometria de raios X	
	Básica ¹	Aparente ²	Aparente (Média)	(Mín. - Máx.)
Canafístula	0,45	0,50	0,576	0,346 - 0,982
Aroeira pimenta	0,44	0,63	0,655	0,517 - 0,890
Jequitibá-branco	0,39	0,78	0,706	0,385 - 0,899
Jatobá	0,50	0,96	0,775	0,463 - 0,998

¹Densidade básica da madeira - Lorenzi (1992), Lorenzi (2002a, b).

²Densidade aparente da madeira - Campoe (2008).

Como ilustração, os perfis densitométricos e imagens de raios X do lenho das amostras podem ser observados nas Figuras 4-7, respeitando-se o diâmetro das amostras de disco de cada árvore/espécie estudada.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

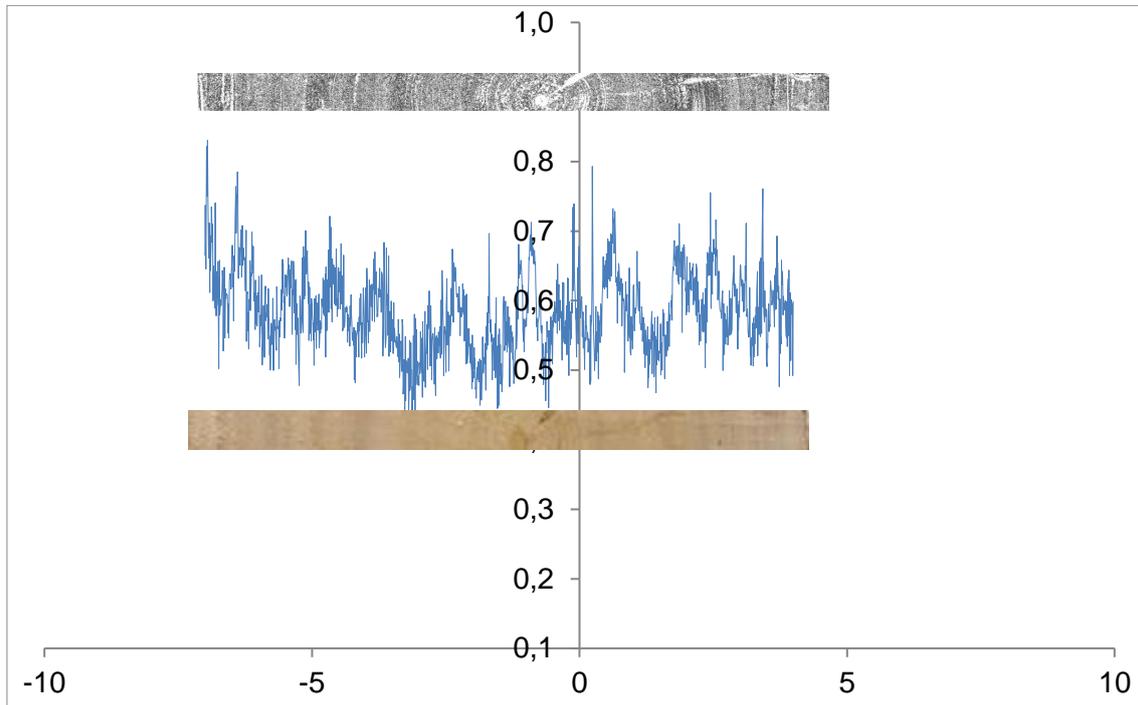


Figura 4. Variação radial da densidade aparente (g cm^{-3}) e imagens de raios X do lenho da madeira de *Schinus terebinthifolius* (aroeira pimenta) no sentido casca-casca.

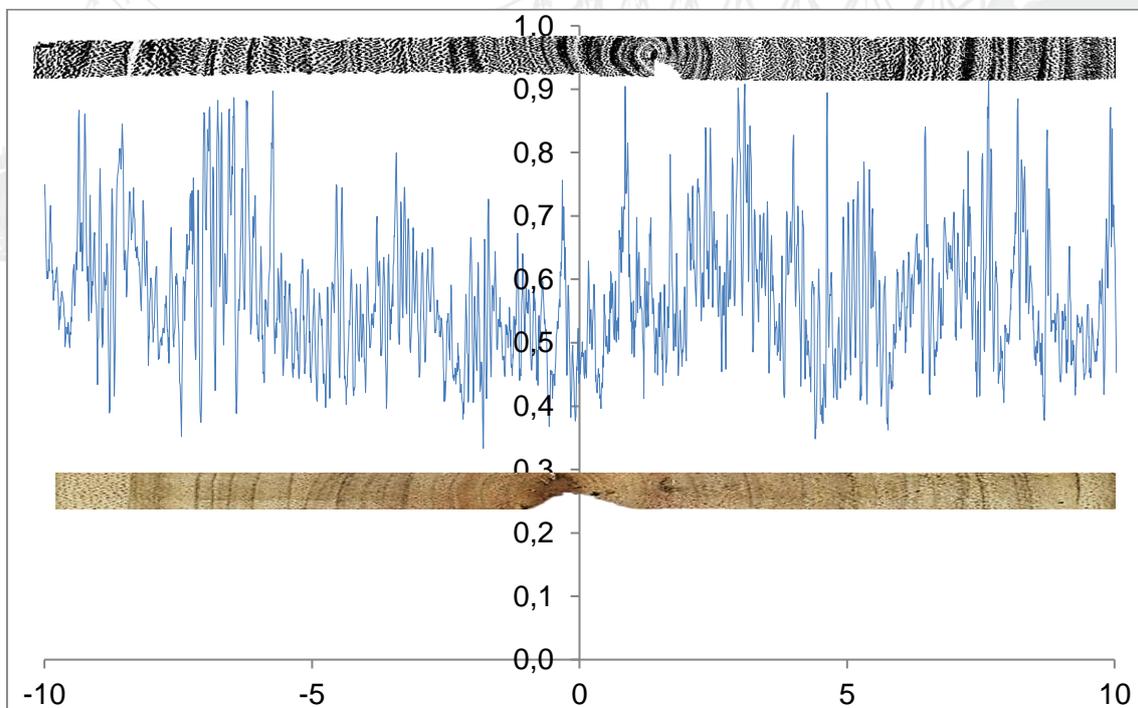


Figura 5. Variação radial da densidade aparente (g cm^{-3}) e imagens de raios X do lenho da madeira de *Peltophorum dubium* (Canafístula) no sentido casca-casca.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

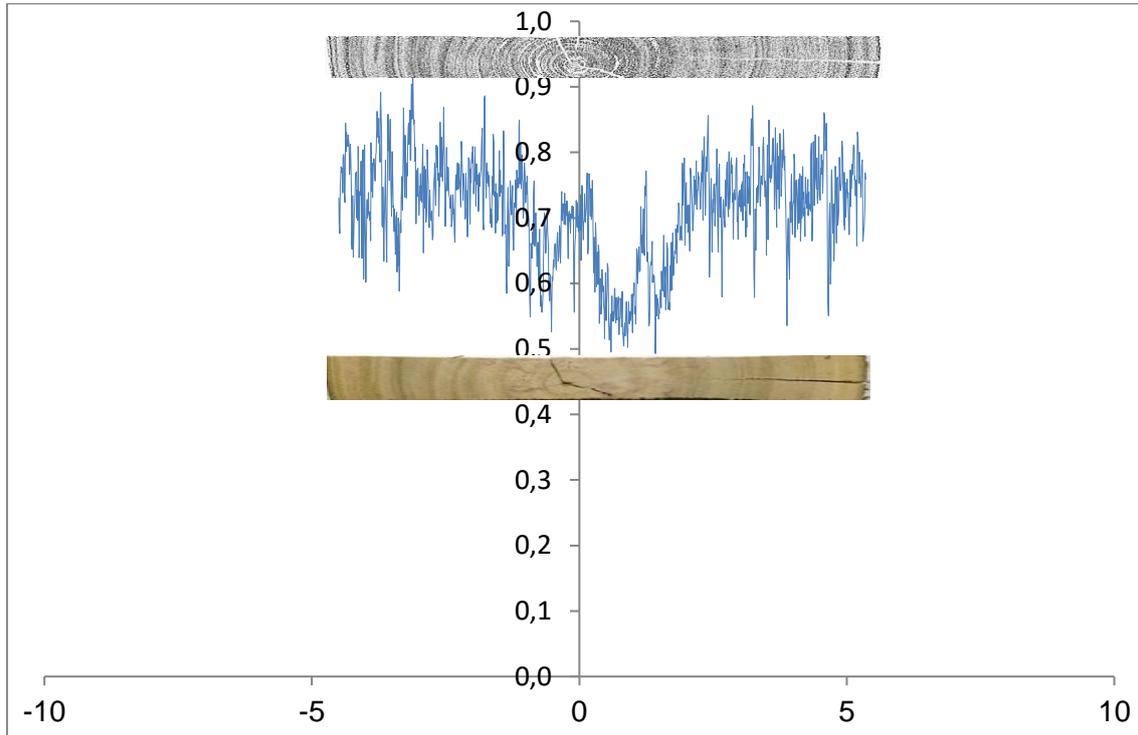


Figura 6. Variação radial da densidade aparente (g cm^{-3}) e imagens de raios X do lenho da madeira de *Cariniana estrellensis* (Jequitibá-branco) no sentido casca-casca.

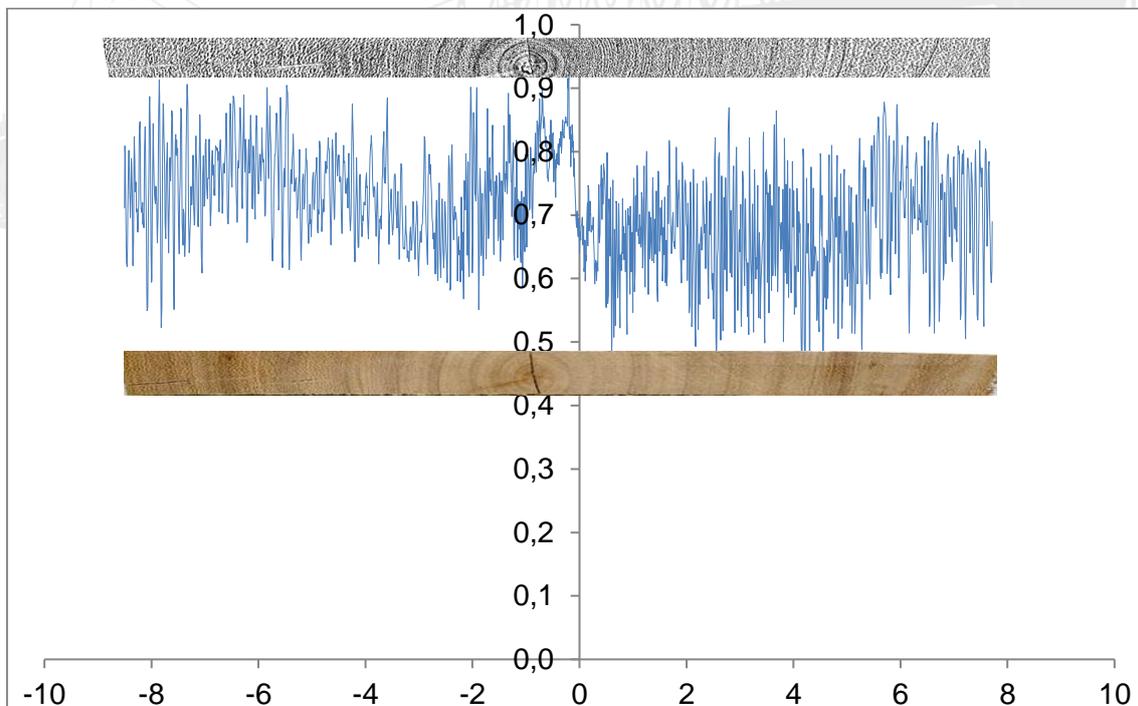


Figura 7. Variação radial da densidade aparente (g cm^{-3}) e imagens de raios X do lenho da madeira de *Hymenaea courbaril* (Jatobá) no sentido casca-casca.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Observa-se na Tabela 1 que todas as densidades básicas médias encontradas na literatura foram menores que ambas as densidades aparentes. As densidades aparentes através do método convencional foram muito semelhantes às calculadas por densitometria de raios X, exceto para a árvore de jatobá (climácica), que apresentou densidade aparente média menor quando obtida por densitometria ($0,775 \text{ g cm}^{-3}$). No entanto, sua densidade aparente máxima atingiu o valor de $0,998 \text{ g cm}^{-3}$. As diferenças nos resultados podem estar associadas as quantidades de madeira juvenil e adulta e a idade das árvores, sendo que a madeira juvenil formada na madeira de árvores jovens apresenta, geralmente, menor densidade que a das árvores adultas (SETTE JR et al., 2009).

O perfil da densidade aparente do lenho possibilitou verificar importantes respostas das árvores estudadas, como a presença de picos de densidade delimitando regiões distintas no lenho destas, com variações nos comprimentos sendo que as densidades aparentes mínima e máxima foram de $0,346$; $0,517$; $0,385$; $0,463 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,982$; $0,890$; e $0,899$; $0,998 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente, para canafístula (secundária inicial), aroeira pimenta (pioneira), jequitibá-branco (secundária tardia) e jatobá.

Observou-se que houve aumento da densidade aparente no sentido medula-casca em todas as amostras, indicando a presença nítida da região medular. Para a espécie jatobá, constatou-se tendência para valores mais altos de densidade próximo à medula o que está associado, provavelmente, à presença de nó. Segundo Tomazello Filho et al. (2008), há ocorrência de menores valores de densidade aparente do lenho na região central, com aumento gradativo em direção à casca; oscilações dos valores radiais devido aos elementos de vaso de maior diâmetro; picos de densidade nas camadas de crescimento de fibras espessadas; e menor diâmetro dos vasos.

As amostras que mais se mostraram estáveis com relação as suas densidades aparentes foram as espécies aroeira pimenta e canafístula, assim como as amostras de jequitibá-branco e jatobá se mostraram instáveis com destaque para a região medular, embora ambas tenham apresentado densidade média aparente radial maior, quando comparadas às demais. No caso da amostra de jequitibá-branco os baixos índices de densidade observados próximo à medula, na Figura 6, podem ser atribuídos à presença de trincas, que a torna extremamente frágil.

A presença de picos de alta e baixa densidades, os quais se sobressaem de forma anormal entre os demais, em alguns perfis de densidade, indica a presença de defeitos na madeira e de crescimento rápido. Segundo Tomazello Filho et al. (2001), as árvores mostram uma reação às variáveis ambientais que afetam seus inúmeros processos fisiológicos, tais como respiração, fluxo de seiva, transpiração, taxa de divisões celulares entre outros fatores, refletindo na atividade cambial e na anatomia do lenho.

A formação de faixas de crescimento constituída de lenhos de maior e menor densidade é, provavelmente, resultado da sazonalidade da atividade cambial do tronco das árvores, face às variações climáticas, principalmente ligadas às estações com maior e menor disponibilidade de água, temperatura e fotoperíodo. Para Oliveira et al. (2011), os resultados mostraram uma correlação positiva entre os dados de precipitação e o incremento anual da madeira de *Eucalyptus grandis*, denotando o potencial dendroclimatológico da espécie na região de estudo.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

4. CONCLUSÕES

A técnica de densitometria de raios X possibilitou a análise precisa das variações radiais da densidade do lenho de árvores de plantios de restauração florestal. Os resultados deste estudo permitem concluir que os perfis radiais indicaram um aumento da densidade do lenho no sentido medula-câmbio do tronco das árvores, salvo algumas variações decorrentes de defeitos da madeira e de crescimento.

A variação radial da densidade indicou, da mesma forma, que as árvores nativas foram influenciadas de acordo com o papel que desempenham na sucessão ecológica, ou seja, as madeiras de jequitibá-branco (secundária tardia) e jatobá (climácica) foram as que obtiveram maiores médias de densidade aparente.

Os picos de densidade mais próximos da casca, correspondentes aos penúltimos incrementos radiais anuais destas árvores, demonstraram menores valores de incremento assim como maiores valores de densidade aparente.

Os resultados demonstram que a análise da densidade pela densitometria de raios X pode ser aplicada com sucesso em árvores de restauração florestal e é um método promissor para a aplicação no procedimento de qualificação da madeira para uso energético.

5. AGRADECIMENTOS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. C. B. Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela técnica de microdensitometria de raios X. Revista de Ciência e Tecnologia, v.6, n.11/12, p.17-23, 1998.

BOWYER, J. L. et al. Forest products and wood science. An Introduction. New York: Blackwell Publishing, 2003. 554p.

BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional processes. Turrialba, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo: Nobel, 1991.157p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

CAMPOE, O. C. Efeito de práticas silviculturais sobre a produtividade primária líquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica. 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CESAR, O. Composição florística, fitossociologia e ciclagem de nutrientes em mata mesófila semidecídua (Fazenda Barreiro Rico, Município de Anhembi, SP). 1988. 223 p. Tese (Livre-Docência) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1988.

CHAGAS, M. P. Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo. 2013. 160 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

COSTA, T. G. et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no Cerrado para produção de carvão vegetal. *Cerne*, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, jan./mar. 2014.

DOUNGPE, M. Environment and genetic effects on wood quality of *Populus*. 2005. 263p. Dissertation (Doctor of Philosophy)-North Carolina State University, Raleigh, 2005.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 152, p. 169-181, 2001.

FARIA, M. C. G. Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado: caracterização anatômica, física e energética. 2016. 103 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

FAXITRON. MX20 Digital Radiography System. Disponível em: <<http://www.faxitron.com/sites/default/files/pdf/MX20-Datasheet-WEB.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2013.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

FERREIRA, A. T. B. Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de *Eucalyptus* sp. e de *Corymbia* sp. Piracicaba. 2013. 135 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FOELKEL, C. E. B. et al. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p.719-728.

GANDOLFI, S. et al. Estudo florístico e caráter sucessional das espécies arbustivoarbóreas de uma floresta mesófila semidecidual no município de Guarulhos, SP. Revista Brasileira de Biologia, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

LOBÃO, M. S. et al. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatômicas e usos da madeira. Cerne, Lavras, v. 16, p. 97-105, 2010.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, Editora Plantarum. 1992, 352p.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, v. 02. 2002a. 368p.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4.ed. Nova Odessa: Plantarum, v.1. 2002b. 368p.

PARROTTA, J. A. Catalyzing native forest regeneration degraded tropical lands. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 99, p. 1-7, 1997.

PAULA, A. de. et al. Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, MG, Brasil. Acta Botanica Brasilica, v. 18, n. 3, p. 407-423. 2004.

QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS. QMS Tree Ring Analyzer Model QTRS-01X:users guide.Knoxville, 1999. 72p.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira, n.89, p.100-106, 2005.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

RODRIGUES, R. R. et al. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: ESALQ, LERF; Instituto BioAtlântica, 2009.

RODRIGUES, R. R. et al. Large-scale ecological restoration of highdiversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 2010, doi:10.1016/j.foreco.2010.07.005 In Press.

SENTELHAS, P. C. et al. BHBRASIL: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras. Piracicaba: ESALQ, 1998. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo>>. Acesso em: 20/03/2017

SETTE JÚNIOR, C.R. et al. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* w.hill, aos 24 meses de idade. *Floresta*, v.39, n.3, p.535-546, 2009.

SILVA, J. C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. 2002. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.

SILVA, M. E. C. M; LOUZADA, J. L. P. C. Utilização da microdensitometria por raios X na avaliação qualitativa da madeira de choupo (*Populus x euramericana*.cv I.214). In: SIMPÓSIO DEL CHOPO, 1., 2001. Zamora. Proceedings... Zamora, 2001. p.469-478.

SOS Mata Atlântica-Fundação SOS Mata Atlântica; INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2013-2014. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2015, 60p.

TABARELLI, M. et al. Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic forest. *Conservation Biology*, Cambridge, v. 19, p. 695–700. 2005.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. C. The water balance. Centeron: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

TOMAZELLO FILHO, M. Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. 2006. 135 p. Tese (Livre-Docência) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt Wood. *Maderas: Ciência y Tecnología*, v.10, n.2, p.139-149, 2008.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Manual de aplicação densitometria de raios-X em amostras de madeira, Crad e Cerd. Departamento de Ciências Florestais, ESALQ – USP. Piracicaba-SP. 32 p. 2005.



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

