

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
CAMPUS DE SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS

AMANDA APARECIDA VIANNA ASSAD

**EFFECT OF SEED PROVENANCES ON ANNUAL INCREMENT,
PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES AND ANATOMICAL FEATURES OF 30 -
YEAR - OLD *Balfourodendron riedelianum* WOOD**

Sorocaba

2017

AMANDA APARECIDA VIANNA ASSAD
EFFECT OF SEED PROVENANCES ON ANNUAL INCREMENT,
PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES AND ANATOMICAL FEATURES OF 30 –
YEAR - OLD *Balfourodendron riedelianum* WOOD

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, para obtenção do título de mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientador:

Dr. Eduardo Luiz Longui.

Sorocaba

2017

Assad, Amanda Aparecida Vianna

Effect of seed provenances on annual increment, physicochemical properties and anatomical features of 30 year - old Balfourodendron riedelianum wood. / Amanda Aparecida Vianna Assad. -- 2017.

53 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Eduardo Luiz Longui

Banca examinadora: Eduardo Luiz Longui, Luciano Donizeti Varanda, Edenise Segala Alves.

Bibliografia

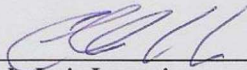
1. Qualidade da madeira de Balfourodendron riedelianum. 2. Anatomia da madeira. 3. Propriedades físico - mecânicas. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

AMANDA APARECIDA VIANNA ASSAD

EFFECT OF SEED PROVENANCES ON ANNUAL
INCREMENT, PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES AND
ANATOMICAL FEATURES OF 30-YEAR-OLD
Balfourodendron riedelianum WOOD

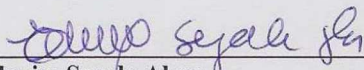
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação para obtenção do título de
mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.
Universidade Federal de São Carlos.
Sorocaba, 30 de junho de 2017.

Orientador:

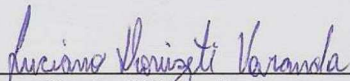


Dr. Eduardo Luiz Longui
Instituto Florestal do Estado de São Paulo

Examinadores:



Dra. Edenise Segala Alves
Instituto de Botânica de São Paulo



Dr. Luciano Donizeti Varanda
Universidade Federal de São Carlos

Dedico este trabalho á todos os estudantes que se esforçam ao máximo em busca de seus sonhos, não importando os obstáculos a serem superados.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar meus agradecimentos à minha amada mãe, Mércia, que me apoio em todos os momentos de grandes decisões profissionais e pessoais em minha vida, que me ensinou que se pode conquistar muito com trabalho duro e dedicação tendo apenas a vontade de fazer em suas mãos. Quero agradecer meu querido pai, Pedro, que aprendeu a respeitar minhas decisões e admirar meu esforço, vindo a ser um dos meus maiores suportes, exemplo de persistência, coragem, e acima de tudo, me ensinou que é possível ser mais forte quando seus motivos para lutar são pelas pessoas que se ama.

Quero agradecer com todo meu amor, meu marido Thiago, que em todo período em que permaneci estudando sem auxílio financeiro me deu todo o suporte com grande sacrifício, nunca duvidando da minha capacidade e sempre me incentivando a continuar por mais que os obstáculos fossem grandes. Ele foi capaz de acreditar em mim, até mesmo quando eu não tinha forças para isso, e sua fé em mim me fez reacender a vontade de persistir e vencer.

Meu respeitado e honrado orientador Professor Dr. Eduardo Luiz Longui, que acreditou e confiou na minha capacidade, sendo um mentor, professor e grande amigo, responsável e influenciador em meu desenvolvimento no âmbito profissional. A grande profissional, mãe e chefe de seção Dra. Sandra Monteiro Borges Florsheim, que me é um grande exemplo de força, dedicação e conquista, por ter me acolhido e permitido desenvolver meu trabalho em seu laboratório me tratando com muito carinho e respeito.

Gostaria de agradecer ao digníssimo Professor Dr. Miguel Petrere, um dos doutores mais inteligentes e dedicados que tive o prazer de conviver, e no momento em que cogitei desistir foi o precursor para me incentivar a ser sempre forte e melhor a cada dia, principalmente nas coisas que eu tinha dificuldades.

Aos meus queridos e eternos amigos, Pamela Oliveira, Luiz Philippe Dias, Admilson Barbosa, vocês foram os responsáveis por eu me sentir querida em uma cidade que me era totalmente nova e desconhecida, me apoiaram, me ajudaram e me ensinaram diversas coisas, sem vocês o meu caminho não teria sido o mesmo.

Desta forma gostaria de agradecer a todos os membros do Instituto Florestal, da Seção de Madeira e Produtos Florestais, aos técnicos Yara Rose, Sonia Regina e em

especial ao Juracy Andrade, que se tornou um grande amigo e me ajudou em todo o processo de corte da madeira neste trabalho.

Ao Professor Dr. Adriano Wagner Ballarin, da UNESP de Botucatu, pela enorme participação na execução e interpretação dos resultados dos ensaios físicos e mecânicos.

À Ana Tereza companheira de orientação que me auxiliou nas análises mecânicas.

Aos professores do programa de Pós Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis que me permitiram abrir a mente para novos horizontes, e a secretária Luciana Kawamura que sempre foi muito prestativa e supriu minhas dúvidas de prontidão.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba pela oportunidade de ser uma de suas estudantes, e a todos que de alguma forma nessa jornada me auxiliaram ou me trataram com respeito e carinho.

Com toda minha gratidão, obrigada a todos!

“A vida é um desafio, e só aqueles que enfrentam o desafio sabem realmente o que significa viver.”

Darren O'Shaughnessy.

RESUMO GERAL

ASSAD, Amanda Aparecida Vianna. Effect of seed provenances on anual increment, physicomechanical properties and Anatomical features of 30 – year - old *Balfourodendron riedelianum* wood.

2017. 53 f. Dissertação (Mestrado em “Planejamento e uso de recursos renováveis”) – Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

Com o crescimento da tecnologia na área de produtos florestais o estudo de espécies nativas é essencial para o desenvolvimento da indústria e o reflorestamento. Como grande parte da madeira empregada para as mais diversas aplicações é proveniente de florestas nativas, especialmente a floresta amazônica, a exploração sem as devidas medidas legais coloca em risco a conservação da madeira deste bioma brasileiro. Neste contexto são necessários estudos que caracterizem e avaliem a qualidade de madeiras nativas indicando seu uso mais adequado. Como exemplo cita – se o *Balfourodendron riedelianum* e o estudo de suas propriedades anatômicas, físicas e mecânicas com informações quanto à sua idade, origem das sementes e dados do plantio. O presente estudo teve como objetivos: a) determinar e avaliar o crescimento em volume e incremento anual de *Balfourodendron riedelianum* oriundo de três procedências de sementes aos 30 anos de idade; b) caracterizar a madeira de *Balfourodendron riedelianum* quanto às suas propriedades física, mecânicas e anatômicas para determinação de sua qualidade; c) verificar se existem alterações nas propriedades em função das diferentes procedências das sementes e variação radial. As mudas das árvores de *Balfourodendron riedelianum* foram plantadas a partir de sementes de polinização aberta no ano de 1984, coletadas de três populações naturais de diferentes regiões: Alvorada do Sul-PR, Gália-SP e Bauru-SP e plantadas na Estação Experimental de Luiz Antônio (EELA). Foram coletadas 36 árvores, 12 árvores de cada procedência, um tronco basal de 1,30m foi retirado de cada árvore e em seguida retirado amostras de três posições radiais, sendo próximo à medula, região intermediária e próximo à casca. A partir de metodologias comumente empregadas foram determinados o efeito da procedência das sementes em volume da árvore, volume por hectare e incremento médio anual de *Balfourodendron riedelianum*. Seguido pela determinação das variações na estrutura da madeira decorrentes das procedências das sementes e da variação radial. Também foi realizada a caracterização das propriedades físico-mecânicas determinando a

resistência da madeira e a classe de resistência. Concluiu - se que ocorreram variações no volume e nas propriedadesfísicomecânicas da madeira confirmando que as árvores foram influenciadas pela procedência. A madeira proveniente de Alvorada do Sul apresentou maior resistência e homogeneidade comparada as outras duas procedências, porém Gália e Bauru apresentaram maior incremento médio anual.

Palavras - chave: Pau-marfim. Variação radial. Classe de resistência. Qualidade da madeira. Anatomia da madeira. Propriedades da madeira.

GENERAL REVIEW

ASSAD, Amanda Aparecida Vianna. Effect of seed provenances on annual increment, physicomechanical properties and Anatomical features of 30 – year - old *Balfourodendron riedelianum* wood.

2017. 53 f. Dissertação (Mestrado em “Planejamento e uso de recursos renováveis”) – Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

From increase of technology in forest products area, studies of native species are essential for development of industry and reforestation. As most of wood used for various applications comes from native forests, especially Amazon forest, exploitation without due legal measures puts at risk the wood conservation this Brazilian biome. In this context, studies are needed to characterize and study wood native quality indicating its most appropriate use. As an example we mention *Balfourodendron riedelianum* and the study of its anatomical, physical and mechanical properties with information about its age, seed provenance and planting data. The present study had as goals: a) determine the effect of seed provenances on tree volume, volume per hectare and mean annual increment of *Balfourodendron riedelianum*. b) determine variations in properties and anatomy in function of seed provenances and radial variation. c) characterize physical-mechanical properties to know wood strength and strength class. *B. riedelianum* seedlings were grown from the seeds planted in 1984 in the state of São Paulo, cities of Gália and Bauru, and in the state of Paraná, city of Alvorada do Sul. We felled 36 randomly selected trees, 12 from each seed provenance. A butt log with 1.3 m long was removed from the base of each tree, and a central plank was cut to obtain specimens for physical and mechanical properties and anatomical features. Three radial positions were established: the nearest part of trunk center, designated as pith, a middle position, and a position close to the bark, designated as bark. From standardized methodologies, the effect of seed provenance on tree volume, volume per hectare and average annual increment of *Balfourodendron riedelianum* were determined. Followed by determination of anatomical properties variations founded due seed provenances and radial variation. We also performed characterization of physical-mechanical properties by determination of wood strength and Strength class. We conclude that there were variations in wood volume and properties corroborating that trees were influenced by seed provenance. Alvorada do

Sul wood presented higher strength and homogeneity compared to the other two provenances, whereas Gália and Bauru had the highest average annual increment.

Keywords: Pau – marfim. Radial variation. Resistance class. Quality of wood. Wood's anatomy. Wood's properties.

Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	16
1.2.1 Usos da madeira de árvores nativas	16
1.2.2. Procedência da madeira: florestas plantadas e florestas nativas	17
1.2.3 O problema do uso da madeira deflorestas nativas	18
1.2.4 Manejo florestal: uma solução alternativa	20
1.2.5 Qualidade da Madeira	20
1.2.6. Experimentos com nativas: idade, crescimento e incremento médio anual	21
1.2.7 <i>Balfourodendron riedelianum</i>	21
1.2.8 Anatomia da madeira	23
1.2.9 Xilema	23
1.2.10 Vasos	23
1.2.11 Fibras	23
1.2.12 Parênquima	24
1.2.13 Xilema Secundário	24
1.2.14 Tipos de seções empregadas no estudo da madeira	24
1.2.15 Anéis de crescimento	26
1.2.16 Elementos que influenciam no desenvolvimento do lenho	28
1.2.17 Análises Mecânicas.....	29
1.2.18 Cisalhamento paralelo à grã.....	29
1.2.19 Compressão paralela à grã	29
1.2.20 Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).....	29
1.2.21 Análise física	30
1.3 REFERÊNCIAS	31

CAPÍTULO 2 - EFFECT OF SEED PROVENANCES ON ANNUAL INCREMENT, PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES AND ANATOMICAL FEATURES OF 30 YEAR OLD <i>Balfourodendron riedelianum</i> WOOD	35
2.1 INTRODUCTION	37
2.2 MATERIALS AND METHODS	38
2.2.1 Provenances of the seeds and planting area	38
2.2.2 Mean annual increment	39
2.2.3 Sampling for physical and mechanical properties and anatomical features	40
2.2.4 Apparent density (D_{12})	40
2.2.5 Mechanical tests	40
2.2.6 Anatomical analysis	41
2.2.7 Data analysis	41
2.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	42
2.3.1 Effect of seed provenance on growth.....	45
2.3.2 Radial variation	47
2.3.3 Wood strength and Strength class	48
2.4 CONCLUSIONS.....	49
2.5 REFERENCES	51

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Este estudo foi realizado como base para oferecer informações sobre a qualidade da madeira de *Balfourodendron riedelianum* com o intuito de propiciar condições para seu uso sustentável na indústria madeireira.

O trabalho foi dividido em dois capítulos. No capítulo um contextualizou a importância das espécies nativas, a procedência das madeiras utilizadas na indústria, o manejo florestal como solução para o uso de florestas nativas brasileiras, e informações sobre as suas propriedades e relações. No capítulo dois foi apresentado o manuscrito encaminhado para o periódico “Maderas. Ciencia y tecnologia”, que possui fator de impacto de 0,994. Neste manuscrito foram discutidas informações sobre o crescimento em volume e incremento médio anual de *Balfourodendron riedelianum* oriundo de três procedências de sementes aos 30 anos de idade. Foi realizada a caracterização da madeira quanto às suas propriedades físico-mecânicas e análises anatômicas, observando alterações nas propriedades em função das diferentes procedências das sementes e variação radial.

Com base nos resultados, concluiu-se que a madeira proveniente das sementes de Alvorada do Sul possui maior resistência e homogeneidade quando comparado com o de Gália e Bauru, a madeira oriunda das sementes destas duas procedências apresentaram maior incremento médio anual. Tais informações permitem escolher qual procedência deve ser selecionada, dependendo do uso desejado.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Usos da madeira de árvores nativas

Desde primórdios relatados pelos seres humanos a madeira é utilizada para diversas aplicações, com o passar dos anos e com o desenvolvimento de tecnologias de produtos florestais tornou – se possível seu uso em construções rurais, construção civil e no segmento energético como lenha e carvão (BENJAMIN, 2006).

O Brasil é um país que se destaca por suas riquezas em biodiversidade vegetal, possuindo por volta de 33.039 espécies de angiospermas (Flora do Brasil, 2017). Muitas dessas produtoras de madeira, porém algumas espécies arbóreas se encontram pouco conhecidas devido a questões de identificação botânica, valorização de sua importância ecológica e econômica, assim como a importância das árvores frutíferas para a alimentação humana e ciclo sócio econômico e cultural. Resultando em cultivo de espécies exóticas que são pouco sustentáveis de forma ecológica e econômica. Junto desse problema ocorre o aumento das ameaças de extinção sobre as espécies nativas, pois as florestas ainda são utilizadas para suprir a necessidade de demanda dos consumidores vindos dos segmentos da construção rural e civil (BRACK, 2007).

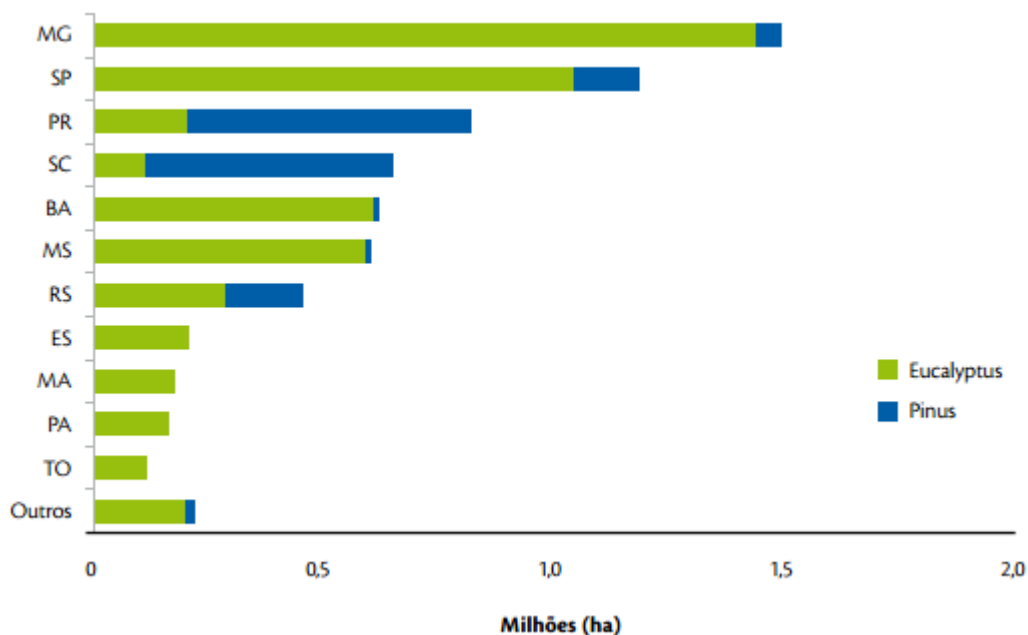
Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas (IBF, 2017) o progresso da conservação e restauração da biodiversidade de árvores brasileiras depende da sensibilização e conhecimento das espécies em relação à sua importância para o meio ambiente e para o homem.

O Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF, 2005) desenvolveu uma proposta para viabilizar um plano estadual de florestas nativas com finalidade econômica, e com relação as árvores nativas as seguintes constatações: há existência de poucos plantios com florestas nativas com fins madeireiros ou não madeireiros; surgiram iniciativas de implantação de florestas nativas há alguns anos com o intuito de comercializar produtos madeireiros e não madeireiros porém ;existe escassez de informação e estudos referentes a crescimento de florestas e árvores nativas. Os dados são escassos ou inexistentes para variáveis dendrométricas de florestas nativas implantadas, em áreas de reserva legal e em áreas não protegidas. Sendo acessíveis somente com inventários feitos em plantios de restauração que visam a quantificação de carbono (ANGELI; BARRICHELO, 2005).

1.2.2 Procedência da madeira: florestas plantadas e florestas nativas

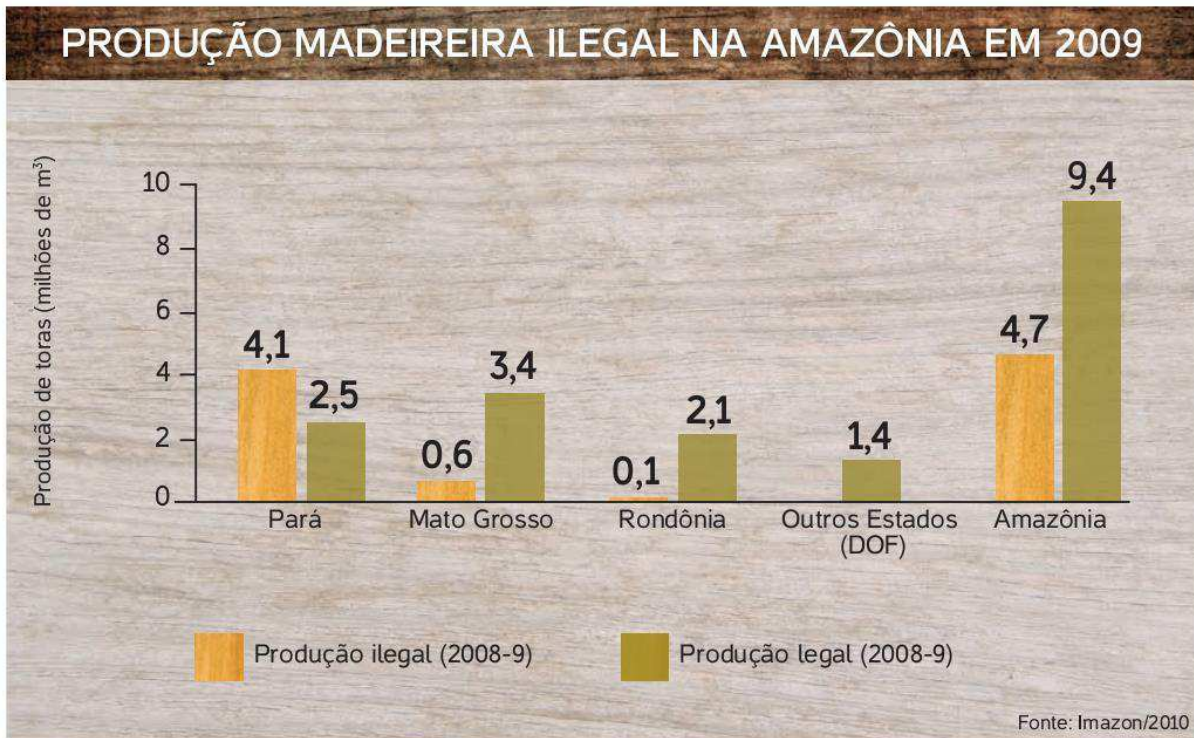
Atualmente plantios florestais (florestas com plantios dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*) têm se mostrado mais frequentes para suprir e abastecer as demandas industriais de produtos finais de papel e celulose, confecção de painéis, madeira processada em processo mecânico, fabricação de carvão vegetal e biomassa. Porém grande parte da madeira usada no Brasil e em outros países vem de florestas nativas com produção ilegal (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF, 2013; SAAB FILHO, et al., 2013).

Figura 1: Levantamento de dados da distribuição de Florestas Plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil no ano de 2012.



Fonte: Anuário Estatístico ABRAF 2013.

Figura 2: Levantamento de dados da produção de madeira ilegal de árvores nativas na Amazônia no ano de 2008 e 2009.



Fonte: SAAB FILHO et al., (2013).

1.2.3 O problema do uso da madeira deflorestas nativas

As florestas nativas são responsáveis pelo controle hídrico voltado ao consumo da vida humana e animal presentes naquele habitat, são responsáveis pelo equilíbrio climático, realizam absorção de carbono, geram alimentos e recursos genéticos.

De acordo com SAAB FILHO, et al., (2013) existem diversos fatores causadores do desmatamento de árvores nativas que são destinadas para uso de setores como:

- Produção alimentícia, para atender a demanda global onde pastos de gado são ampliados;
- Construção civil e indústria moveleira;
- Corte do lenho para produção de carvão, gerando fonte de energia alternativa.

Segundo dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 30% da madeira usada em todo o planeta não tem sua origem confirmada, sendo que o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), em agosto de 2011 e julho de 2012, apresentou dados indicando que 78% da madeira extraída no Estado do Pará era ilegal. A madeira é destinada para países da Europa e para os

Estados Unidos, sendo esta responsável por cerca de um terço do recebimento da madeira ilegal nativa brasileira (AVANCINI, 2017).

Para ter o controle do transporte e armazenamento de produtos e subprodutos florestais de origem nativa e carvão vegetal nativo foi criado a licença obrigatória Documento de Origem Florestal (DOF - Portaria MMA nº 253/2006). Neste documento deve conter dados como informações sobre a espécie, tipo do material, volume, valor do carregamento, placa de veículo, origem, destino e a rota detalhada do transporte. Este documento é necessário e acompanha o produto ou o subproduto florestal nativo (Figura 1) em transporte ferroviário, rodoviário, aéreo, fluvial e marítimo (PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017).

Figura 3: Produtos e subprodutos de floresta nativa brasileira que necessitam da emissão do DOF.



Fonte: Portal do Governo do Estado de São Paulo -Instrução normativa do IBAMA: IN Ibama 112-2006 e IN Ibama 187-2008.

O comércio ilícito de madeira nativa é um crime de difícil combate, pois os criminosos recorrem a falsificações, ou encontram brechas dentro da lei que lhes permitem movimentar mais madeira do que foi imposto dentro da legislação, alterando

os valores de quantidade de madeira transportada do local de sua origem até o destino final (AVANCINI, 2017). Os madeireiros por viverem nas regiões onde a madeira é extraída conhecemos locais e criam rotas alternativas de fuga sendo capazes de abrirem estradas clandestinas para que os caminhões fujam da polícia e da fiscalização ambiental. Outro método aplicado na ação clandestina do comércio ilegal de madeira nativa ocorre porque misturam madeira ilegal com o carregamento de madeira cortada legal usada na indústria de madeira, ou informam que a madeira ilegal é proveniente de florestas plantadas no DOF (AVANCINI, 2017).

1.2.4 Manejo florestal: uma solução alternativa

Esse método tem como característica principal possuir várias técnicas que em conjunto resultam no mínimo em impacto ambiental das florestas nativas, permitindo sua manutenção a longo prazo. O plano de manejo define as áreas, os volumes da produção e as espécies ali presentes, realizando o mapeamento das árvores, a seleção das espécies que são de valor comercial, e a preservação de exemplares para obtenção de sementes. Com o plano de manejo florestal é permitido a retirada de até 30 metros cúbicos de toras por hectare, a área total é dividida em parcelas e seu uso é determinado a cada ciclo de 35 anos. Dessa forma enquanto uma parte do plantio é direcionada ao corte, outra parte pode apresentar regeneração natural.

Com o monitoramento se obtém o manejo, onde este proporciona informações a respeito do que acontece com a floresta nativa no período de sua exploração, as técnicas de corte e arraste da madeira utilizadas não destroem a vegetação, e é um processo economicamente vantajoso comparado ao tráfico ilegal porque reduz desperdícios e proporciona condições para uso contínuo das florestas futuramente (SAAB FILHO, et al., 2013).

1.2.5 Qualidade da Madeira

Para caracterizar e quantificar a qualidade de uma madeira é necessário definir termos e especificações, dimensões, exigências consideradas básicas dentro do comércio madeireiro. As principais características determinantes para avaliar a qualidade da madeira são: a espécie da madeira, suas dimensões, o teor de umidade e defeitos naturais previstos ou após o processamento (ZENID, 2003).

No processo de determinação da espécie da madeira é necessário a identificação da anatomia da madeira. Para avaliação do teor de umidade a principal

característica a ser levada em conta é que várias propriedades da madeira podem sofrer alterações pois a madeira pode sofrer modificações quanto ao seu teor de umidade influenciado pelo ambiente e temperatura no qual se encontra ou foi estocada. Existem normas de classificação inclusive quanto a defeitos naturais apresentados na madeira como presença de nós ou bolsas de resina, e defeitos no processamento, como empenamentos e rachaduras decorrentes do procedimento de secagem (ZENID, 2003).

As características anatômicas e propriedades físicoquímicas se relacionam diretamente com a qualidade da madeira, os elementos celulares de cada espécie de madeira variam, apresentando diferenças que correspondem à números, distribuição, quantidade, e dimensões dos elementos celulares constituintes no lenho (CORADIN; CAMARGOS, 2002).

1.2.6. Experimentos com nativas: idade, crescimento e incremento médio anual

O Brasil possui uma ampla diversidade de espécies florestais nativas, mas se desconhece de boa parte das informações, inclusive estudos que forneçam dados determinando a idade das árvores, crescimento e seu incremento médio anual. Esses estudos fornecem informações sobre crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores disponibilizam diversas informações importantes que podem ser usadas para determinar os ciclos e estimativas dos cortes, e do volume para realizar exploração sustentável. Essas informações são fundamentais para o estudo de dinâmica de populações, desenvolvimento e produtividade dos ecossistemas dentro da ecologia (FIGUEIREDO et al., 2017).

1.2.7 *Balfourodendron riedelianum*

Popularmente conhecida como pau marfim, essa espécie possui ampla distribuição geográfica e habita principalmente a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, seguida por Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária) e Floresta Estacional Decidual (LIMA et al., 2011). Sua altura varia de 15 a 25 m e DAP (diâmetro à altura do peito, de 1,30 m) de 30 a 50 cm, podendo atingir 35 m de altura e 100 cm de DAP. Seu tronco é reto e cilíndrico. Classificada no grupo sucessional como espécie secundária tardia (DURIGAN; NOGUEIRA, 1990; LIMA et al., 2011).

Seu processo reprodutivo inicia por volta dos 15 anos de idade (DURIGAN et al., 1997), tendo seus frutos disseminados pelo vento, determinando dessa forma uma grande dispersão (EIBL et al., 1990).

Quanto as suas características silviculturais pode se comportar como uma espécie semi-heliófila, ou esciófila. Em seus primeiros estágios tolera sombreamento de intensidade média; e tolerante ao frio, quando jovem. Quando adulta, em florestas é capaz de tolerar temperaturas de até - 8°C (LOPEZ et al., 1987; ORTEGA, 1995).

Possui fuste bem definido, podendo ocorrer brotações a partir da cepa, após o corte (CARVALHO, 2003; GARTLANT; SALAZAR, 1992). Apresenta ramificação do tipo racemosa apresentando copa larga e arredondada, com variação irregular e achatada. Ocorre em solos com fertilidade química alta, profundos, bem drenados, e com textura que varia entre franca a argilosa, possuindo ainda tolerância em solos pedregosos e úmidos (CARVALHO, 2004).

A madeira é moderadamente pesada, apresentando baixa resistência ao apodrecimento e ao ataque de agentes xilófagos (MAINIERI; CHIMELO, 1989). O lenho possui massa específica aparente densa (0,80 a 0,90 g.cm⁻³), a 15% de umidade (JANKOWSKY et al., 1990; LABATE, 1975; MAINIERI; CHIMELO, 1989; PEREIRA; MAINIERI, 1957;). E massa específica básica 0,69 a 0,73 g.cm⁻³ (JANKOWSKY et al., 1990). Referente à sua coloração a madeira possui albúrnio com cor branca ou levemente amarelada sem demarcação bem definida, seu cerne varia nos tons branco-palha-amarelado e, amarelo-pálido-uniforme. Apresenta superfície lisa, medianamente lustrosa, com a textura fina e possui grã regular (CARVALHO, 2003).

É caracterizada como uma madeira de excelente qualidade, sendo muito utilizada para fins ornamentais, projetos de paisagismo, na construção civil e marcenaria, na fabricação de móveis, molduras, laminados decorativos, formas de sapatos, tacos, hélice de aerodelismo, lambris, e reflorestamento de matas ciliares (DURIGAN et. al., 1997; LORENZI, 1992). Estudos realizados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo, determinou que a madeira de *Balfourodendron riedelianum* é uma das melhores madeiras da nossa flora para o fabrico de hélices de avião (KUHLMANN; KUHN, 1947).

1.2.8 Anatomia da madeira

Anatomia da madeira é o estudo dos tipos de estruturas características das células que compõe o lenho, (xilema secundário) suas funções, organização, e peculiaridades (BURGER; RICHTER, 1991). O estudo da anatomia da madeira tem como objetivo conhecer esse material visando emprega-lo corretamente, identificar espécies e predizer as utilizações corretas de acordo com suas características (BURGER; RICHTER, 1991).

1.2.9 Xilema

O xilema é o tecido responsável pelo processo de transporte de água e solutos, armazenamento de nutrientes e suporte mecânico, formando junto com o floema o sistema vascular. Por esses tecidos se distribuírem por todos os órgão vegetativos e/ou reprodutivos das plantas vasculares formam juntos um sistema vascular. O xilema se distingue em dois, o xilema primário e o xilema secundário. Dessa forma o xilema primário e o xilema secundário são tecidos muito complexos, formados por células especializadas, elementos de vasos (em angiospermas), células parenquimáticas e fibras, se distinguindo entre si pela organização de suas células. (APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006).

1.2.10 Vasos

Elementos de vaso são característicos das Angiospermas, ocorrem em fileiras longitudinais se comunicando por placas de perfuração, dessa forma constituem os vasos. Realizam o transporte de água e de sais minerais (APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006). Quanto às características anatômicas dos elementos de vasos pode se afirmar que vasos mais largos e longos apresentam maior condutividade hidráulica. Dessa forma os vasos são caracterizados como mais eficientes em comparação as traqueídes que realizam a mesma função nas Gimnospermas (EVERT, 2013).

1.2.11 Fibras

Células responsáveis pela rigidez e flexibilidade da madeira, caracterizadas como células de sustentação. Apresentam forma alongada e extremidades afiladas, tendo maior dimensão no eixo longitudinal do tronco. Suas paredes variam quanto à espessura, mas podem ser mais espessas que as paredes das outras células que

constituem o xilema secundário. Existem dois tipos de fibras as libriformes com pontoações simples e fibrotraqueídes com pontoações areoladas (APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006).

1.2.12 Parênquima

As células do parênquima formam em conjunto o tecido parenquimático, são células vivas que durante o período de maturidade são capazes de se dividir, possuem paredes em sua maioria primárias, podendo ocorrer paredes secundárias. As células com as paredes primárias possuem um papel importante na regeneração e cicatrização das plantas por serem capazes de se dividir. As células parenquimáticas iniciam estruturas adventícias como por exemplo as raízes adventícias, e estão ligadas à processos metabólicos como respiração, digestão, fotossíntese, reserva, secreção. O parênquima pode ser encontrado em toda planta como tecido parenquimático do córtex, medula e raios medulares e no xilema e floema (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

1.2.13 Xilema Secundário

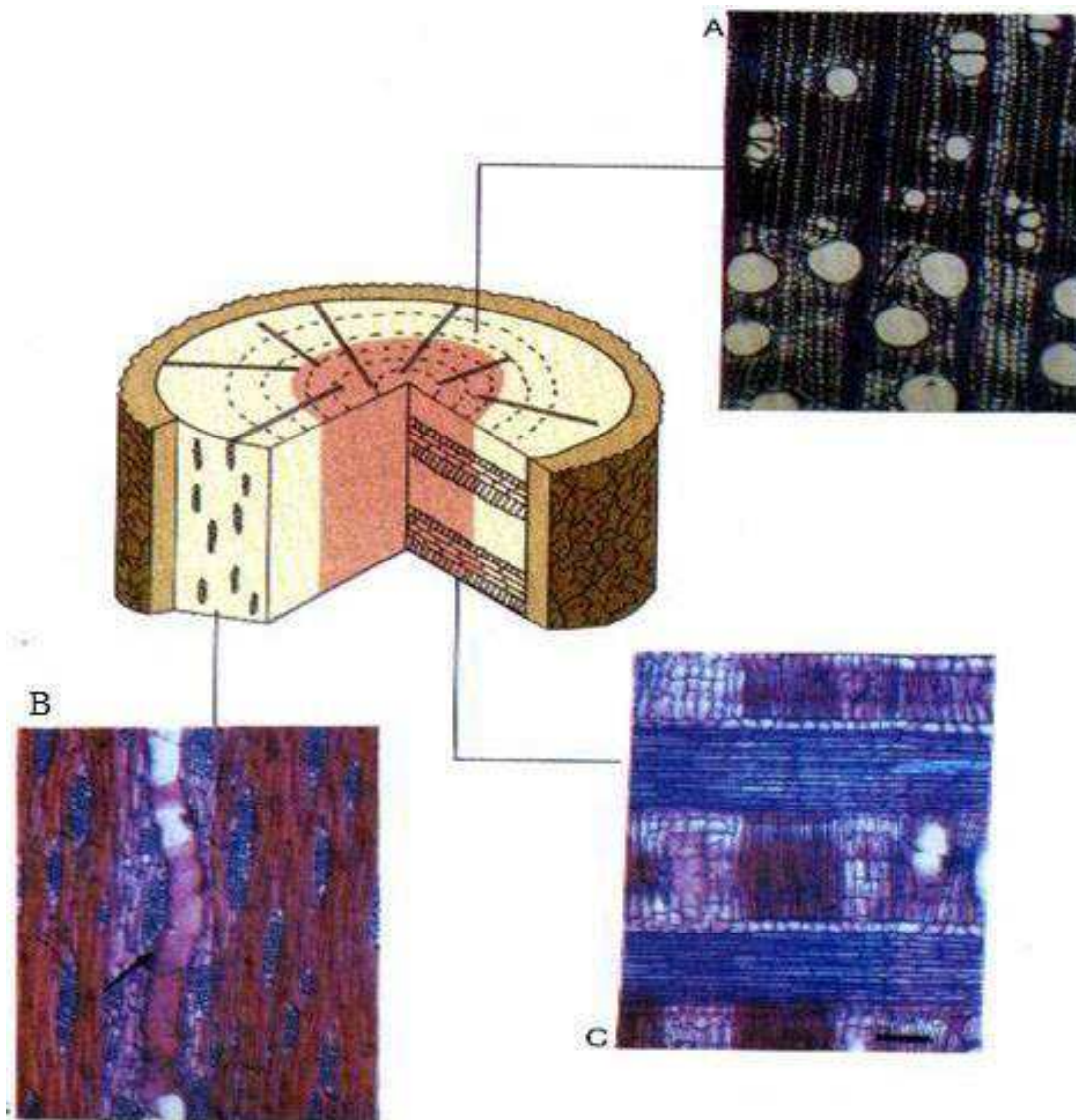
Durante o processo de crescimento das árvores diversos elementos celulares se desenvolvem a partir do xilema primário para o xilema secundário. O xilema secundário é formado a partir do câmbio, que é considerado um meristema complexo, tem em sua constituição dois sistemas, axial e radial. Uma característica indicativa de seu amadurecimento é a mudança que ocorre nos elementos traqueais mais longos para os mais curtos durante o processo inicial de seu crescimento secundário. Junto dessa mudança pode ocorrer alterações nas pontoações, na estrutura dos raios e distribuição do parênquima axial (EVERT, 2013).

1.2.14 Tipos de seções empregadas no estudo da madeira

Segundo EVERT, 2013, uma das características do xilema secundário é o arranjo de células, em um sistema de fileiras verticais ou axial, e no sistema horizontal ou radial. Todas as células do raio e do sistema axial são interconectadas umas às outras tornando a madeira um sistema tridimensional contínuo de células, estes são empregados em três tipos de seções: seção transversal, seção longitudinal radial e seção longitudinal tangencial. No corte da seção transversal pode se visualizar um ângulo reto com relação ao eixo principal da raiz ou do caule, o corte transversal revela

as células do sistema axial em suas pequenas dimensões. Na seção radial longitudinal e tangencial longitudinal é possível visualizar a extensão no sentido longitudinal das células do sistema axial, porém por ângulos diferentes já que a seção radial longitudinal é encontrada no sentido paralelo ao raio da seção transversal, e a seção tangencial longitudinal é encontrada no sentido perpendicular ao raio da seção transversal (Figura 4) (EVERT, 2013).

Figura 4: Figura esquematizando um tronco de angiosperma caracterizando os três tipos de seções. A - Seção transversal. B - seção longitudinal tangencial. C - Seção longitudinal radial (Fotos: Cátia H. Callado).



Fonte: (APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006, p. 145) Anatomia vegetal.

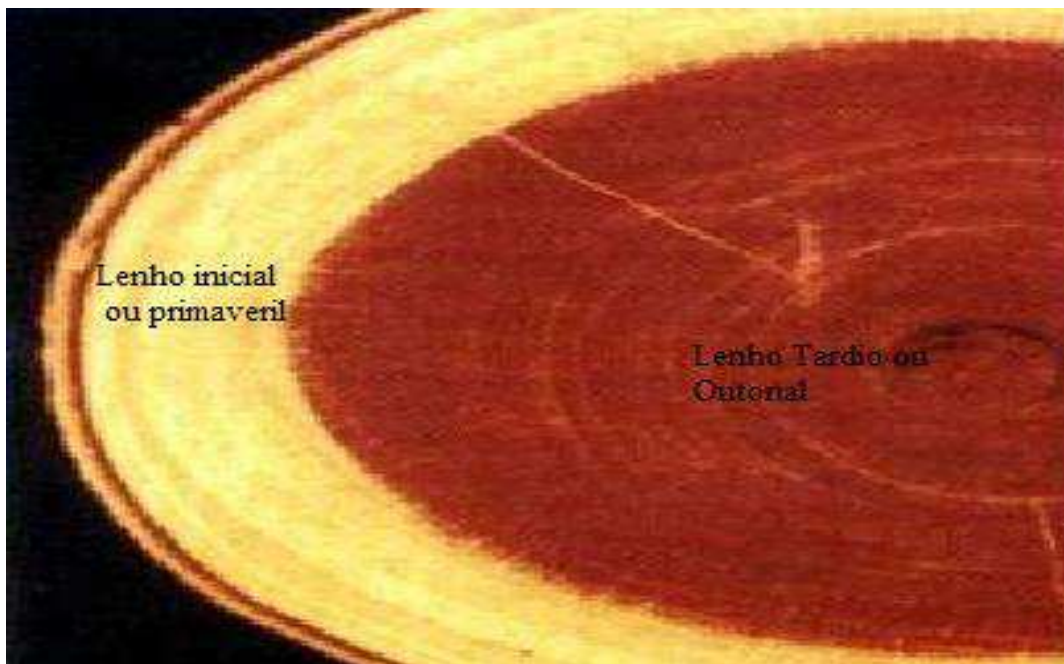
1.2.15 Anéis de crescimento

Com fácil visibilidade nos troncos de árvores de regiões temperadas a seção transversal consiste em camadas concêntricas ao redor da medula que se originam através da atividade do câmbio (APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006). Essa atividade que ocorre em árvores de regiões temperadas é caracterizada como um fenômeno sazonal, com a mudança de temperatura ao longo dos dias resulta na produção das camadas de crescimento (ou anéis de crescimento) do xilema secundário (EVERT, 2013). Podendo ser denominada anual se ocorrer em árvores que vivem em ambientes onde a alteração de temperatura é dividida com as estações,

alternando inverno e verão (árvores da América do Norte por exemplo). Outros fatores que influenciam nas mudanças da atividade cambial, influenciando na formação das camadas de crescimento são fatores ambientais, como disponibilidade hídrica ao decorrer do ano ou até mesmo danos ao lenho causadas por insetos, fungos ou queimadas (EVERT, 2013).

Distinguem-se no anel de crescimento duas regiões do lenho: inicial e tardio. Lenho inicial ou primaveril é a parte do anel correspondente ao anel produzido no início da primavera que é considerada estação de crescimento, possui células com lume maior, paredes finas e densidade mais baixa, caracterizado pela coloração mais clara. Lenho tardio ou outonal é a última camada formada no período da estação de crescimento, corresponde a menor lume e parede mais espessa dando o aspecto de lenho mais escuro (APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006).

Figura 5: Lenho inicial ou primaveril e lenho tardio ou outonal distintos pela coloração. Pau-roxo (*Pe/togyne* sp. - Leguminosae-Caesalpinioideae), (Foto: Vera R. Coradin), imagem modificada.



Fonte:(APPEZZATO DA GLÓRIA; GUERREIRO, 2006, p.155) Anatomia vegetal.

1.2.16 Elementos que influenciam no desenvolvimento do lenho

Impactos ambientais podem influenciar as células do xilema secundário causando alterações em sua estrutura, propriedade e qualidade (EVERT, 2013). O desenvolvimento da árvore é resultado de suas características genéticas e das variações externas com as quais a espécie teve contato como: períodos de seca, inundações, altitude e latitude, constituintes do solo e poluição (EVERT, 2013).

Os elementos de vasos são afetados por variações na disponibilidade de água, além de altitude e latitude, apresentando alterações em seu desenvolvimento, por exemplo quando ocorre déficit hídrico os elementos de vasos são menores do que comparados com aqueles em que as árvores possuem suprimento de água adequados, além de ficarem mais agrupados e numerosos. As fibras podem apresentar mudanças quanto ao seu tamanho ficando mais curtas em locais com alta latitude, e em locais com poluição constante todos os elementos celulares sofrem redução em seu tamanho diminuindo drasticamente a taxa de crescimento das árvores (EVERT, 2013).

1.2.17 Análises Mecânicas

A principal característica para avaliação das propriedades mecânicas é a capacidade da madeira em suportar requerimentos mecânicos. Realizando desta forma mensurações que constataam a resistência e aptidão da madeira em suportar cargas mecânicas, as análises mecânicas ainda permitem avaliar a rigidez do corpo de prova existente quando ocorrem tensões e deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear (BODIG; JAYNE, 1993).

1.2.18 Cisalhamento paralelo à grã

O cisalhamento paralelo à grã é a habilidade de um material resistir a deslocamentos ou escorregamentos internos de uma parte sobre a outra. O cisalhamento pode ser considerado um fenômeno de deformação, no qual forças agem em sentidos diferentes e provocam um deslocamento no material (KRETSCHMANN, 2010).

1.2.19 Compressão paralela à grã

A compressão é definida como duas forças ou cargas agindo ao longo de um mesmo eixo, tentando encurtar a dimensão ou reduzir o volume da amostra de madeira (SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2017). O processo de compressão é a máxima carga sustentada, no sentido em que a força é aplicada paralela à grã da amostra, apresentando uma proporção de comprimento com dimensão menor do que 11 (KRETSCHMANN, 2010).

1.2.20 Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR)

A elasticidade é a propriedade dos corpos de armazenar, sob a forma de energia potencial interna, o trabalho mecânico de deformação provocado por uma força externa, devolvendo esta energia total ou parcialmente quando desaparece a causa da deformação (GREEN et al., 1999). A elasticidade implica em deformações que são produzidas por cargas nesse processo e que são completamente recuperadas assim que a carga é removida, e quando esta carga ultrapassa um nível determinado (limite de proporcionalidade) ocorrem deformações plásticas e rupturas na madeira (KRETSCHMANN, 2010).

O módulo de elasticidade é o quociente entre a tensão aplicada a um corpo e a deformação que ela provoca, podendo ser utilizado para explicar a correlação entre

a rigidez e a flexibilidade da madeira, desde que se comparem peças com dimensões iguais (GREEN et al., 1999). O módulo de ruptura à flexão reflete a carga máxima que uma amostra pode resistir até que ocorram deformações plásticas (GREEN et al., 1999, KRETSCHMANN, 2010).

1.2.21 Análise física

A densidade de uma substância é definida como a razão entre sua massa e seu volume (GLASS; ZELINKA, 2010). Baseado nas constatações de Shimoyama (1990), podemos caracterizar a densidade por uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume. A densidade está relacionada a muitas propriedades da madeira e suas características tecnológicas no meio da produção florestal, tendo com um de seus parâmetros mais importantes as influências das demais propriedades que são encontradas nas análises anatômicas (LOBÃO et al.; 2004).

A densidade da madeira é um indicador eficiente de qualidade da madeira, onde seus valores são influenciados por diversos fatores. As variações que ocorrem nas análises de densidade podem ocorrer entre espécies, dentro de uma mesma espécie ou em uma mesma árvore, mas alterando seus resultados entre as posições do tronco. Quanto a fatores externos podem ocorrer variações no local onde a árvore cresceu (variação do tipo de solo por exemplo), as condições climáticas que ela ficou anos sujeita ou a métodos silviculturais (CHAUHAN et al.; 2006). Se a madeira apresentar alto valor de densidade significa que suas paredes celulares são mais espessas e possuem menor volume de lume, essa característica resulta em maiores valores correspondentes a inchamento e contração no lenho (POUBEL et al.; 2011).

1.3 REFERÊNCIAS

ABRAF – Associação Brasileira de produtores de florestas plantadas. **Anuário estatístico ABRAF**. 2013. 142p.

ANGELI, A.; BARRICHELO, L. E. G. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **Balfourodendron riedelianum (Pau Marfim)** 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/balfourodendron.riedelianum.asp>> Acesso em: 10 abril 2015.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Revista e atualizada. Viçosa: UFV, 2006. 438p.

AVANCINI, M. Extração ilegal de madeira: alta lucratividade dificulta repressão desse crime. **Revista pré Univesp**. n° 61. 2014. Disponível em: <<http://pre.univesp.br/extracao-ilegal-de-madeira#.WZs8ydKGOC1>> Acesso em 18 jun. 2017.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da Estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 2006.180 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de ciências agrônômicas, Universidade Estadual Júlio de mesquita filho, Botucatu, 2006.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar, Fla. Krieger, 1993. 712p.

BRACK, P.; KINUPP, V. F.; SOBRAL, M. E. G. Levantamento preliminar de espécies frutíferas de árvores e arbustos nativos com uso atual ou potencial do Rio Grande do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, [S.l.], v. 2, n. 1, maio 2007. ISSN 2236-7934. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/2286>>. Acesso em: 30 abril 2017.

BURGER, L. M. & RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo, Nobel, 1991. 154p.

CARVALHO, P. E. R. **Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*)**. Colombo: Embrapa Florestas, Circular Técnica, n. 93, 2004. 11 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica; Colombo: Embrapa Floresta, 2003. 2 v. 627 p.

CHAUHAN, S. S., DONELLY, R., HUANG, C. L., NAKADA, R., YAFANG, Y., WALKER, J. Wood Quality: in Context. In: Walker JCF. **Primary Wood Processing Principles and Practice**. 2ª ed. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand: Springer, 2006.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua Identificação**. IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília, 2002, 28p.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. **Recomposição de matas ciliares**. São Paulo: Instituto Florestal, 1990. 14p.

DURIGAN, G.; FIGLIOLIA, M. B.; KAWABATA, M.; GARRIDO, M. A. de O.; BAITELLO, J. B. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. São Paulo: Páginas & Letras, 1997. 65p.

EIBL, B. I.; SILVA, F.; OTTENWELLER, G. Caracterización bioclimática del guatambú blanco (*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.). **Yvyretá**, Eldorado, v.1, n.1, p.53-65, 1990.

EVERT, R. F. Anatomia das Plantas de Esau. **Meristemas, Células e Tecidos do Corpo da Planta**: sua Estrutura, Função e Desenvolvimento. Tradução da Terceira Edição Espanhola. ed. São Paulo: Blucher, 2013. 728 p.

FIGUEIREDO, A. F. et al. Crescimento e idade de espécies nativas regenerantes sob plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Revista Floresta e Ambiente**, 2017, 9p.

GARTLAND, H. M.; SALAZAR, W. Descripción y clave de reconocimiento de las principales especies forestales de Misiones al estado de renuevo. **Yvyretá**, v. 3, n. 3, p. 117-129, 1992.

GLASS S; ZELINKA S. L. **Moisture Relations and Physical Properties of Wood**. In: Ross R, editor. Wood Handbook. Centennial Edition. FPL-GTR-190. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; p. 4.1-4.19, 2010. Disponível em: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_04.pdf> Acesso em: 15 fev. 2017.

GREEN, D. W. et al. Mechanical properties of wood. In: United State Forest products Laboratory. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison. Chapter 4, p. 1 – 46, 1999.

IBF - Instituto Brasileiro de Florestas. **Espécies Nativas Brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/lista-de-especies-nativas.htm>> Acesso em: 13 março 2017.

JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172p.

JBRJ - Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Flora do Brasil 2020 em construção**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

KRESTSMANN, D. E. **Influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension transverse to grain strength and mode I fracture**

toughness for loblolly pine. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 2008. 25 p. Research Paper FPL-RP-647.

KUHLMANN, M.; KUHN, E. **A flora do Distrito de Ibiti.** São Paulo: Instituto de Botânica, 1947. 221p.

LABATE, J. Características tecnológicas de las maderas indígenas y cultivadas argentinas. In: COZZO, D. **Arboles forestales, maderas y silvicultura de la Argentina.** Buenos Aires: A cme, 1975. p.121-130. (Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, 2).

LIMA, I. L. et al Densidade Básica e dimensões celulares da madeira de *Balfourodendron riedelianum* em função da procedência e posição radial. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23 n. 2 p. 217-230 dez. 2011.

LOBÃO, M. S; et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore.** Viçosa, v.28, n.6, p.889-894. Nov/dez 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n6/23990.pdf>> Acesso em: 04 maio 2017.

LOPEZ, J. A; LITTLE JUNIOR, E. L.; RITZ, G. F.; ROMBOLD, J. S; HAHN, W. J. **Arboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera.** Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425p.

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

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989. 418p.

ORTEGA, L. S. de. Temperamento de luz de los arboles del alto Paraná y potencial de regeneración forestal. **Ka´a guy**, Assunción, v.11, n.1, p.16-20, 1995.

PEREIRA, J. A; MAINIERI, C. Madeiras do Brasil. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v.9, n.9, p.339-498, 1957.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Madeira legal.** 2017. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/madeiralegal/sistema-dof/o-dof/>> Acesso em: 17 jun. 2017.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M. Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011.

RAVEN, P. H; EVERT, R. F; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal.** 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1996. 738p.

SAAB FILHO, R. H. et al. Comércio de Madeira: **Caminhos para o uso responsável.** WWF Brasil, SINDIMASP, 2013, 42p.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** Piracicaba, 1990. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 93p.

ZENID, G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** 2. ed. São Paulo: IPT, 2003. 99p.

CAPÍTULO 2- EFFECT OF SEED PROVENANCES ON ANNUAL INCREMENT, PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES AND ANATOMICAL FEATURES OF 30 YEAR OLD *Balfourodendron riedelianum* WOOD

ABSTRACT

Wood is comparatively more conservative than other parts of trees, such as leaves, which present greater phenotypic plasticity. We studied the effect of seed origin on annual increment, physicomechanical properties and anatomical features of 30-year-old *Balfourodendron riedelianum* wood in a homogeneous plantation (Luiz Antônio Experimental Station (LAES)) from three natural seed provenances (Gália and Bauru in São Paulo State and Alvorada do Sul in Paraná State, Brazil). Because genotypic information is a determinant of wood formation, trees were expected develop wood structure based on their seed provenances. Our results demonstrate that variations in volume, properties and wood anatomy were influenced by seed provenance. Alvorada do Sul trees showed lower growth in volume and, thus, higher strength and homogeneity, compared to Gália and Bauru. Typical radial pattern was not observed for most variables, except modulus of elasticity and fiber length in Gália and compression parallel to the grain in Bauru that increased towards the bark. Based on the latter variable, *B. riedelianum* wood in a homogeneous planting has class C40 mechanical strength, as indicated for use in medium-sized structures, light civil construction and the manufacture of furniture.

Keywords: Pau – marfim. Guatambú. Radial variation. Strength class.

RESUMEN

La madera es comparativamente más conservadora que otras partes de los árboles, como las hojas, que presentan una mayor plasticidad fenotípica. Se estudió el efecto del origen de la semilla sobre el incremento anual, las propiedades físico-mecánicas y las características anatómicas de la madera de *Balfourodendron riedelianum* de 30 años en una plantación homogénea (LAES) de tres procedencias de semillas naturales (Gália y Bauru en São Paulo Estado y Alvorada do Sul en el Estado de Paraná, Brasil). Debido a que la información genotípica es un determinante de la formación de la madera, se esperaba que los árboles desarrollaran una estructura de madera basada en sus procedencias de semilla. Nuestros resultados demuestran que las variaciones en volumen, propiedades y anatomía de la madera fueron influenciadas por la procedencia de las semillas. Los árboles de Alvorada do Sul mostraron menor crecimiento en volumen y, por lo tanto, mayor resistencia y homogeneidad, en comparación con Gália y Bauru. El patrón radial típico no fue observado para la mayoría de las variables, excepto el módulo de la elasticidad y la longitud de la fibra en Gália y la compresión paralela al grano en Bauru que aumentó hacia la corteza. En base a esta última variable, la madera de *B. riedelianum* en plantación homogénea tiene una resistencia mecánica de clase C40, tal como se indica para su uso en estructuras medianas, construcción civil ligera y fabricación de muebles.

Palabras clave: Pau – marfim. Guatambú. Variación radial. Clase de resistencia.

2.1 INTRODUCTION

Plants, like all living beings, have the ability to adapt to meet different demands of the environments they occupy. Wood is comparatively more conservative than other parts of trees, such as leaves, which present greater phenotypic plasticity. We know that genotypic information is a determinant of wood formation. Therefore, it is expected that trees with different seed origins, though growing in the same place (different from seed origins), will still develop wood structure based on the genetic information molded by conditions of their origin, notwithstanding new environmental conditions (Longui *et al.* 2011). To test this idea, we studied the effect of seed origin on annual increment, physicomechanical properties and anatomical features of 30-year-old *Balfourodendron riedelianum* wood growing together in a homogeneous planting area (Luiz Antônio) from three seed provenances (Gália and Bauru in São Paulo State and Alvorada do Sul in Paraná, Brazil). *Balfourodendron riedelianum* (Engler) Engler (Rutaceae), popularly known as pau marfim or guatambú, is a native, no endemic species of Brazil with geographical distribution in Midwestern, southeastern and southern Brazil, as well as the Cerrado and Atlantic Forest (Pirani 2017). The species also occurs in Argentina and Paraguay, and the major threat arises from overexploitation of timber and deforestation. Accordingly, it has been identified as “endangered” (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources – IUCN 1998).

Timber produced in a sustainable manner on a worldwide scale is of great interest in order to reduce the pressure on native forests. Over the last decades, a large supply of commercial timber has come from the Brazilian Amazon Forest (Zenid *et al.* 2009), but such harvesting has endangered the conservation of this biome. Thus, to avoid the mistake of predatory wood cutting, consumption should be deliberate, and production should be acquired from companies able to prove tree origin through a management plan and the necessary documentation to comply with pertinent forestry laws (Zenid *et al.* 2009). This same concern should be adopted for timber from all Brazilian biomes. Thus, research that enables producers to comply with these conditions is essential.

In this context, the Forestry Institute of São Paulo, Brazil, has, for decades, promoted studies with several native forest species with economic potential, e.g., provenance tests, progeny tests, and tests that combine origins with progeny, base populations and forest seed orchards to *Ex situ* conservation and production of seedlings of several species (Gurgel Garrido 1997). Among the studied species, we

highlight *B. riedelianum*, which, according to Durigan *et al.* (1997), has ornamental use, as well as use for reforestation. Based on its excellent quality, Paula and Alves (2007) report that *B. riedelianum* wood has long been used in civil construction, carpentry, furniture manufacture and other applications. Despite the importance of *B. riedelianum* for logging purposes, we have little knowledge about the effects of large-scale cultivation and no detailed information on productivity, cultivation techniques, or the growth and development of a natural genetic variant available for breeding. Thus, as described above, our study with seed provenance, age and silvicultural data represents a unique opportunity to increase such knowledge by collecting seeds from three natural populations and planting in a homogeneous plantation to trees growing together and then comparing the resulting wood features after 30 years of growth.

We used our observations to determine effect of seed provenances on tree volume, volume per hectare and mean annual increment of *B. riedelianum*. To determine variations in properties and anatomy in function of seed provenances and radial variation. Finally to characterize physical-mechanical properties to know wood strength and strength class. In this way, providing information for producers interested in planting *Balfourodendron riedelianum*.

2.2 MATERIALS AND METHODS

2.2.1 Provenances of the seeds and planting area

In 1983, seeds from open-pollinated plants were collected in three natural populations (provenances) of *B. riedelianum* in the state of São Paulo, cities of Gália and Bauru, and in the state of Paraná, city of Alvorada do Sul. Seedlings were grown from the seeds planted in 1984 at the Luiz Antônio Experimental Station (LAES), city of Luiz Antônio to trees growing together. Geographic location, climatic and soil data from the four areas are presented in Table 1. The plantation was established with six blocks in linear plots of six plants at a spacing of 3 m × 3 m (Gurgel-Garrido *et al.* 1997).

Table 1. Geographic location, climatic and soil data of 30 – year – old *Balfourodendron riedelianum* in a homogeneous planting area (Luis Antônio – SP) and three seed provenances (Gália - SP, Bauru - SP, Alvorada do Sul - PR).

Area and Geographic location	Luiz Antônio (21°40'S, 47°49'W)	Gália (22°17'S, 49°33'W)	Bauru (22°18'S, 49°03'W)	Alvorada do Sul (22°46'S, 51°13'W)
Köppen climate classification	Cwa	Cwa	Cwa	Cfa
Mean precipitation (mm)*	1340	1395	1296	1368
Mean temperature (°C)*	23.5	22.0	22.5	22.1
Mean minimum temperature (°C)	16	15.6	17.2	16
Mean maximum temperature (°C)	30	28.5	27.8	28.4
Altitude (m)	550	650	530	320
Soil type and characteristic**	Dark Red Latosol. Medium texture, clayey or very clayey. High fertility. Low water holding capacity.	Red Yellow Latosol. Medium texture. Low fertility. Low water holding capacity.	Red Argisols. Medium texture to course. Low fertility. Low water holding capacity.	Red nitosol. Clayey texture to very clayey. Medium to high fertility. High water holding capacity.

Source: Sistema de Informação Hidrológicas /Agência Nacional de Águas – ANA (2017), Data of mean annual precipitation and temperature from January 1975 to December 1985. ** Zanatto *et al.* (2013) for data of Luiz Antônio. ESALQ-USP (2006) for data of Gália. Almeida *et al.* (2011) for data of Bauru. Bhering *et al.* (2007) for data of Alvorada do Sul.

2.2.2 Mean annual increment

In 2015, we evaluated all plantation trees. The diameter of about 1400 trees was measured with caliper, and height was measured with a hypsometer Vertex IV. From DBH (diameter at breast height, 1.3 m from the ground) and height values, tree volumes were calculated based on the formula proposed by Higuchi (1978) who developed volumetric equations for commercial volume measurement for some Brazilian native species, including *B. riedelianum*. The equation used was $\text{Volume} = 0.063 + 0.255 * \text{Diameter} * \text{Height}$ (Eq. 1). Then, the volume per hectare was calculated according to the spacing (3 x 3 m) by multiplying the number of plants by the average tree volume, and, finally, the volume per hectare per year was calculated by dividing volume per hectare by age of planting (30 years).

2.2.3 Sampling for physical and mechanical properties and anatomical features

We felled 36 randomly selected trees, 12 from each seed provenance. A butt log 1.3 m long was removed from the base of each tree, and a central plank was cut to obtain specimens for physical and mechanical properties and anatomical features. Three radial positions were established: the nearest part of trunk center, designated as pith, a middle position, and a position close to the bark, designated as bark totaling 108 specimens.

2.2.4 Apparent density (D_{12})

Apparent density was determined in acclimatized specimens by the ratio of their mass and volume at the current moisture content (MC) (Eq. 1). We used the model proposed by Rezende *et al.* (1988) based on the study of Kollmann and Côté (1968) to correct the obtained value to nominal 12 % equilibrium moisture content (EMC) (D_{12}). The density of the model used at any moisture content ($D_{u\%}$, ranging from 0 to 25 % MC) is relative to the density at 0 % MC (D_0). Then, D_{12} was calculated from D_0 using the following two equations:

$$D_{u\%} = D_0 (1 + 0.01u\%) \left(1 - \frac{0.0084u\%D_0}{1+0.28D_0} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$D_{12\%} = \frac{1.12D_0 + 0.2007D_0^2}{1+0.28D_0} \quad \text{Eq. 3}$$

2.2.5 Mechanical tests

We carried out the following tests: shear strength parallel to grain, compression strength parallel to grain, modulus of elasticity and modulus of rupture in bending. Tests were performed in a computer-controlled 300 kN electromechanical testing machine. Strains were evaluated using a standard mechanical strain gauge extensometer (accuracy of 0.001 mm).

Mechanical tests were performed according to (NBR 7190 1997). We used a loading speed of 2.5 MPa/min (shear strength) and 10.0 MPa/min (compression and bending). Initial results of strength and elastic properties (modulus of elasticity) were

corrected to the EMC (12 %) using a conversion coefficient of 3 % (of variation per 1 % of MC variation) for strength properties and 2 % for elastic properties.

In the Brazilian standard (NBR 7190 1997), the characteristic value of compression strength parallel to grain is used to classify the wood in the system of strength classes (Table 2), guiding the choice of the most suitable species for structural projects.

Table 2. Strength classes and characteristic values for hardwoods at 12 % MC, according to the NBR 7190.

Hardwoods					
Classes	$\sigma_{cl,k}$ (MPa)	$\sigma_{s,k}$ (MPa)	$E_{cl,m}$ (MPa)	D_b (g.cm ⁻³)	D_{12} (g.cm ⁻³)
C20	20	4	9500	0.500	0.650
C30	30	5	14,500	0.650	0.800
C40	40	6	19,500	0.750	0.950
C60	60	8	24,500	0.800	1.000

$\sigma_{cl,k}$ = Compression parallel to the grain. $\sigma_{s,k}$ = volumetric shrinkage. $E_{cl,m}$ = modulus of elasticity. D_b = basic density. D_{12} = apparent density.

Source: Authors.

2.2.6 Anatomical analysis

We cut small portions of wood from each sample for maceration using Franklin's method (Berlyn and Miksche 1976). Wood fragments were stained with aqueous safranin and mounted temporarily in a solution of water and glycerin (1:1). Samples of 2 cm³ were softened in boiling water and glycerin (4:1) for 1-2 hours. From these samples, transverse and longitudinal sections 18-25 μ m in thickness were obtained with a sliding microtome. Sections were bleached with sodium hypochlorite (60%), washed thoroughly in water, and stained with 1% safranin (Johansen 1940). Measurements followed the recommendations of the IAWA Committee (IAWA 1989). Quantitative data are based on at least 25 measurements for each feature from each tree, thus fulfilling statistical requirements for the minimum number of measurements.

2.2.7 Data analysis

We initially undertook descriptive statistical analysis and used Box Plot graphics to detect outliers. Thus, values 1.5 times higher than the 3rd quartile and values 1.5 times lower than the 1st quartile were excluded from the analysis. Normality tests were performed to check the distribution of data, and when a normal distribution was not

observed, data were square root-transformed. Then, a parametric analysis of variance (one-way analysis of variance (ANOVA) was performed. When a significant difference was observed, Tukey's test was used to identify pairs of significantly different means. We analyzed the radial variation within the same tree and also three radial positions together comparing the provenances. Pearson's correlations between variables and variables with radial position were carried out.

2.3 RESULTS AND DISCUSSION

We observed larger diameters at DBH in Gália and Bauru, while tree height did not differ among the three provenances. Tree volume, volume per hectare and mean annual increment were higher in Bauru/Gália and lower in Alvorada do Sul (Table 3).

Table 3. Silvicultural data and mean annual increment of 30-year-old *Balfourodendron riedelianum* in a homogeneous planting area (Luiz Antônio-SP) from three seed provenances (Gália – SP, Bauru- SP, and Alvorada do Sul- PR).

	Provenances		
	Gália	Bauru	Alvorada do Sul
DBH (cm)	6 (16.36a) 32	4 (16.48a) 32	4 (15.19b) 26
Height (m)	4 (16.24a) 26	2 (15.95a) 27	3 (15.64a) 23
Tree volume (m ³)	0.06 (0.18a) 0.58	0.06 (0.19a) 0.53	0.06 (0.16b) 0.41
Volume per hectare (m ³ .ha ⁻¹)	209.62	213.90	185.18
Mean annual increment (m ³ .ha ⁻¹ .year ⁻¹)	6.76	6.90	5.97

Minimum (mean) and maximum values for DBH, height and tree volume are presented. In the same row, distinct letters differ statistically ($P < 0.05$) by Tukey's test.

Source: Authors.

Wood density varied in the three provenances toward the bark. In Gália, higher density was observed in pith, whereas in Bauru and Alvorada do Sul, higher density occurred in middle position. Considering the average among three radial positions, Alvorada do Sul presented higher density, while Gália and Bauru did not differ (Table 4). Concerning shear parallel to the grain, towards the bark, Gália and Alvorada do Sul did not differ, but in Bauru, a higher value occurred in the bark. Among the provenances, Alvorada do Sul presented higher values, with no difference compared to Bauru, Bauru and Gália did not differ (Table 4). Compression parallel to the grain showed a distinct result in each provenance. In Gália, no variation was observed among the positions. In Bauru, the bark and middle positions showed the highest

values, although the middle position did not differ from the pith. Positive correlation was also observed between radial position and compression parallel to the grain ($R = 0.99$ and $P = 0.03$). In Alvorada do Sul, the highest values occurred in the middle position and bark. Comparing the means of three positions, Alvorada do Sul showed higher strength in compression, followed by Bauru, and the lowest values occurred in Gália (Table 4). Modulus of elasticity (MOE) presented the same radial pattern in Gália and Bauru with higher values in the middle and bark positions. In Gália, a positive correlation was observed ($R = 0.99$ and $P = 0.05$). In Alvorada do Sul, no difference was observed among positions. Modulus of rupture (MOR) presented the same radial pattern in the three provenances with higher values in the middle and bark positions. In the analysis among the provenances, Gália and Alvorada do Sul showed higher values of MOE, but did not differ between each other. MOR was higher and did not differ between Alvorada do Sul and Gália, and the latter did not differ from that of Bauru (Table 4).

Table 4. Physical and mechanical properties of 30-year-old *Balfourodendron riedelianum* in a homogeneous planting area (Luiz Antônio-SP) from three seed provenances (Gália-SP, Bauru-SP and Alvorada do Sul-PR).

		Gália				
Radial position	D_{12}	f_{v0}	f_{c0}	MOE	MOR	
	Pith	0.87a	16.70a	44.89a	11,801b	105.14b
	Middle	0.83b	18.61a	47.66a	13,180a	126.12a
	Bark	0.82b	18.52a	47.53a	14,226a	129.32a
	Mean	0.84B	17.97B	46.68C	13,056A	120.19AB
		Bauru				
	Pith	0.82b	17.55b	47.10b	10,760b	104.54b
	Middle	0.87a	18.12b	49.18ab	12,464a	121.37a
	Bark	0.83b	20.28a	51.73a	11,819a	123.77a
	Mean	0.84B	18.63AB	49.07B	11,659B	116.56B
		Alvorada do Sul				
D_{12}	Pith	0.90b	19.47a	50.56b	12,622a	114.17b
	Middle	0.92a	19.97a	54.11a	13,514a	126.72a
	Bark	0.88b	18.86a	53.68a	12,955a	132.67a
	Mean	0.90A	19.43A	52.77A	13,942A	124.52A

D_{12} = apparent density at 12% moisture content (g.cm^{-3}); f_{v0} = shear parallel to the grain (MPa); f_{c0} = compression parallel to the grain (MPa); MOE = modulus of elasticity (MPa); MOR = modulus of rupture (MPa). The difference between the radial positions is represented by lowercase letters, while the comparison between the provenances is represented by uppercase letters. In the same column, distinct letters differ statistically ($P < 0.05$) by Tukey's test.

Source: Authors.

Longer vessel elements occurred in Gália bark, in the middle position in Bauru, and in the middle and bark positions in Alvorada do Sul. Among provenances, shorter vessel elements occurred in Alvorada do Sul (Table 5). Larger vessels occurred in the middle position in Gália, did not differ in Bauru and were wider in the middle and bark positions in Alvorada do Sul. Larger vessels were noticed in Bauru compared to the other two provenances (Table 5). Vessel frequency was highest in Gália and Alvorada in pith and bark positions and highest in Bauru bark. Gália showed less vessel frequency than other provenances (Table 5). Higher rays occurred in Gália bark and in middle and bark positions in Alvorada, without variation in Bauru. No variation was noted among provenances (Table 5). Ray width was larger in the middle and bark positions in Gália and Bauru, with no variation in Alvorada. Larger rays occurred in Gália, with no variation in Bauru (Table 5). Radially, ray frequency only varied in Gália, with higher frequency in pith and middle position. Among provenances, the highest value occurred in Gália and the lowest in Alvorada (Table 5). Fiber length increased gradually from pith to bark in Gália. It was longer in the middle position in Bauru and in middle and bark positions in Alvorada. Longer fibers occurred in Gália, with no difference in Alvorada do Sul (Table 5). Fiber diameter and fiber wall thickness did not vary in Gália or Alvorada do Sul. Fibers with smaller diameters occurred in the middle position in Bauru. In addition, Bauru fibers had thinner walls in pith and middle positions. Larger fiber diameter occurred in Gália, with no difference in Bauru (Table 5). Fiber wall thickness did not vary among the three provenances (Table 5).

Table 5. Anatomical features of 30-year-old *Balfourodendron riedelianum* in a homogeneous planting area (Luiz Antônio-SP) from three seed provenances (Gália-SP, Bauru-SP and Alvorada do Sul-PR).

Radial position	Gália								
	VEL	VD	VF	RH	RW	RF	FL	FD	FWT
Pith	302b	48b	45a	215b	28b	7.0a	1128c	15.1a	4.7a
Middle	319b	51a	42b	216b	30a	7.0a	1257b	15.4a	4.7a
Bark	347a	49b	46a	235a	31a	6.5b	1325a	15.0a	4.7a
Mean	321A	50B	44B	221A	30A	6.8A	1240A	15.2A	4.7A
	Bauru								
Pith	290b	54a	45b	214a	28b	6.4a	1128b	15.1a	4.5b
Middle	324a	54a	44b	224a	30a	6.4a	1280a	14.2b	4.6ab
Bark	336a	53a	53a	227a	29ab	6.6a	1181b	15.3a	4.8a
Mean	312A	53A	47A	220A	29AB	6.4B	1193B	14.8AB	4.6A
	Alvorada do Sul								
Pith	284ab	47b	47ab	208b	28a	6.1a	1167b	14.6a	4.5a
Middle	306a	50a	45b	225a	29a	6.0a	1238a	14.5a	4.7a
Bark	299b	49ab	48a	219ab	29a	6.3a	1265a	14.5a	4.6a
Mean	295B	49B	46A	217A	28B	6.1C	1216AB	14.5B	4.6A

VEL = vessel element length; VD = vessel diameter; VF = vessel frequency; RH = ray height; RW = ray width; RF = ray frequency; FL fiber length; FD = fiber diameter; FWT = fiber wall thickness. Difference between radial positions is represented by lowercase letters, while comparison between provenances is represented by uppercase letters. In the same column, distinct letters differ statistically ($P < 0.05$) by Tukey's test.

Source: Authors.

2.3.1 Effect of seed provenance on growth

The increment difference among provenances may be associated with climate type and soil characteristics. Data in Table 1 show that Alvorada do Sul (Cfa) has a different climate compared to other provenances and the planting area (Cwa), although precipitation and temperature means do not show much difference. It is possible that water holding capacity contributed to the results because Alvorada do Sul soil presents high water holding capacity, and plants were adapted to this condition, while in Gália, Bauru and Luiz Antônio, soil has low water holding capacity. Climate and soil differences may have influenced growth, leading to a smaller increment in Alvorada do Sul compared to other provenances.

Consequently, lower growth in Alvorada do Sul, also described by Sebbenn *et al.* (2007) for *B. riedelianum* in the same area as that of the present investigation, should be related to denser wood compared to Gália and Bauru. King *et al.* (2005), studying the relationship among tree growth, light absorption and wood density in

Malaysian forests, report a negative relationship between wood volume for a given biomass unit and its density. According to Harris (1981), faster growth of Gymnosperm or Angiosperm trees results in lower wood density. The growth of *B. riedelianum* is slow to moderate (Carvalho 2004). The highest volumetric productivities were mentioned by Garrido *et al.* (1982) and Gurgel Filho *et al.* (1982) in a 26-year-old plantation ($12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$), nearly twice that of our study (Table 3). However, our values were higher than those in other studies, with younger trees, reported for southern and southeastern Brazil, e.g., Carvalho (2004), but in analyses of mean annual increment, other factors, such as spacing, soil type and age of planting, should be considered.

Anatomical differences are potential producers of variations in growth. Larger vessels were observed in Bauru, although in increment, Bauru did not differ statistically from Gália. Thus, higher growth of Bauru, especially compared to Alvorada do Sul, can be explained by higher potential of hydraulic conductivity which, as a consequence, positively influences photosynthetic rate, since according to Hacke *et al.* (2005), larger vessels conduct water more efficiently than narrower ones. In addition, narrower and less frequent rays in Alvorada compared to the other two provenances may have also contributed to lower growth. This result can be explained by rays which primarily consist of parenchyma cells which can store starch which, according to Costa *et al.* (2006), is mobilized for cambial reactivation after a period of dormancy. According to Carvalho (2004), *B. riedelianum* is a deciduous species. Therefore, the process of growth resumption is accelerated. From April through September, Luiz Antônio experiences a water deficit (Longui *et al.* 2011). Thus, a smaller volume and frequency of rays can be a competitive disadvantage in growth for Alvorada trees. Sebbenn *et al.* (2009) reported faster growth and higher survival rate, while Longui *et al.* (2011) observed wider rays, in *Gallesia integrifolia*, also planted in Luiz Antônio, in similar studies with different provenances.

We did not find studies with accurate data for cutting *B. riedelianum* trees since wood sold in the markets come from natural forests without knowledge of tree age. Studying the potential of native species (Brazilian) for the production of sawn wood, Silva (2013) reported that *B. riedelianum* has medium need of thinning and is suitable for planting in high silt content soils. Moreover, we found no data about the presence or content of silt in soils of studied areas. Silva (2013) did not indicate the potential production cycle for *B. riedelianum* (wood density $730 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), but suggested about 45

years for *Hymenaeacourbaril* (750 kg.m⁻³) and 25 years for *Myroxylon peruiferum* (780 kg.m⁻³). In this context, we asked if *B. riedelianum* at 30 years of age would be ready for cutting. We emphasize that trees collected for the present study, on average, presented DBH ≈16 cm, but many trees were over 20 cm, and others reached DBH of 32 cm (Table 3). Although the tree trunk is usually straight, diameters found at 30 years of age may not be suitable for cutting. It is possible that trees with larger diameters could develop with more regular thinning since it would increase the spacing between trees and possibly allow greater growth. As one proposal to consider for the management of a reforestation species, Campbell (1999) reported that the ideal age for cutting can be determined by current annual increment (CAI), which measures how much the forest has grown in volume in the last year and mean annual increment (MAI), i.e., wood volume growing on one hectare of forest during one year on average since the forest has been planted. Campbell (1999) suggests that trees should be cut when CAI values are equal to those of MAI, when planting reaches the maximum wood volumetric production by area by year.

2.3.2 Radial variation

The most expected pattern towards bark is an increase in density (physical property) and, consequently, an increase in mechanical properties since these are influenced by wood density, as well as an increase in fiber length and fiber wall thickness, increase in vessel diameter and decrease in vessel frequency (Baas *et al.* 2004, Hoadley 2000, Lachenbruch, *B.*; Moore *J. R.*; Evans, *R.* 2011). We observed a positive correlation between density and shear parallel to the grain ($R = 0.99$ and $P = 0.03$) and between MOR and fiber length ($R = 0.99$ and $P = 0.04$) in Alvorada do Sul. However, the expected pattern was not clearly noticed in *B. riedelianum* since a gradual increase was noted only in Gália for modulus of elasticity and in Bauru for compression parallel to the grain, both having positive correlations with radial position, as previously reported, in addition to fiber length, which gradually increased towards the bark in Gália. Other properties and anatomical features did not show the typical radial pattern, as described by Lachenbruch, *Moore and Evans* (2011).

In general, when considering the means values among properties in three radial positions, Alvorada do Sul presented more resistant wood when compared to Gália and Bauru. Also, values of density and compression in Alvorada were highest among the three provenances, while shear values did not differ from those of Bauru, and MOE

and MOR values did not differ from those of Gália. Wood from Alvorada do Sul was the most homogeneous and absent of radial variation in six variables, including shear, MOE, ray width and frequency and fiber diameter and wall thickness. Gália did not vary in four variables, including shear, compression, fiber diameter and wall thickness. Bauru was the most heterogeneous wood, with no variation in three variables, all anatomical: vessel diameter, ray height and ray frequency. Thus, Alvorada do Sul is the provenance with the highest value in properties and homogeneity, whereas Gália and Bauru provenances show the greatest mean annual increment.

2.3.3 Wood strength and Strength class

We did not find many studies about wood structure or physical and mechanical properties of *B. riedelianum*. Consequently, we compared the values of our study with those described by Mainieri and Chimelo (1989), Carvalho (2004) and Lima *et al.* (2011). The lack of studies about wood quality in a homogeneous plantation with determined age and spacings is precisely the same information producers need in order to cultivate *B. riedelianum* for commercial purposes.

Our density values are close to those reported by Mainieri and Chimelo (1989), who reported a density of 0.84 g.cm⁻³ at 15% MC, but did not mention the origin or age of *B. riedelianum*. Lima *et al.* (2011) studied the same planting of *B. riedelianum* at 24 years and found a basic density of 0.60 g.cm⁻³ (near the pith) to 0.65 g.cm⁻³ (close to the bark), and Alvorada (0.66 g.cm⁻³) did not differ from Gália (0.64 g.cm⁻³). Apart from the methodology for density determination which differed from that of Lima, we noticed a difference related to the age of tree samples collected. Therefore, development promoted a higher density for Alvorada do Sul compared to the other two provenances. According to Mainieri *et al.* (1983), *B. riedelianum* wood is classified as heavy wood since it has specific gravity between 750 - 950 kg.m⁻³. According to Brunelli (1997), because of the light coloration of wood, nice appearance and appropriate mechanical strength, *B. riedelianum* wood can be used to manufacture furniture. We note little or no variation in color between heartwood and sapwood, which is characteristic of *B. Riedelianum*. According to Carvalho (2004), sapwood is white in color or slightly yellowish, while heartwood is white-yellowish straw, darkening to uniform pale yellow.

Our results for shear parallel to the grain (16.70 - 20.28 MPa, means) were higher than those reported by Mainieri and Chimelo (1989), who described 13 MPa for *B. riedelianum* green wood (above 20% moisture), but the age was not mentioned. In

our study, the tests were performed with samples at 12% EMC, indicating dry wood. The values of mechanical properties are lower when determined in green woods, as seen in several species tabulated by Kretschmann (2010).

Our results for compression parallel to the grain (44.89 - 54.11 MPa, means) were lower than those presented by Mainieri and Chimelo (1989) at 15% EMC (58.90 MPa), but since we did not have other information from the study cited above, we could not establish a clearer comparison. We may have studied trees younger than those studied by Mainieri and Chimelo (1989).

According to NBR 7190 (1997), *B. riedelianum* wood falls into strength class C40, since the values of compression varied between 44.89 MPa in the pith of Gália and 54.11 MPa in the middle position of Alvorada do Sul. Zenid (2009) report that the use of strength classes eliminates the need to specify wood species with regard to mechanical strength. However, knowledge of species is still essential when it is necessary to use wood that is naturally resistant or permeable to preservative solutions, or when it is necessary to know the workability and decorativeness of wood.

For modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR), Mainieri and Chimelo (1989) reported MOE of 11493 in green wood and MOR of 137 at 15 % moisture content. Meanwhile, our values at 12% were higher for MOE (11659 – 13942 MPa, means) and lower for MOR (116 - 124 MPa). Here again, we have to consider difference in moisture and absence of other information from tree planting the woods of which were tested and described by Mainieri and Chimelo (1989).

2.4 CONCLUSIONS

We found variations in volume, properties and anatomy of wood confirming that trees were influenced by seed provenance. Alvorada do Sul showed lower growth in volume compared to Gália and Bauru. This result generally influenced variations in properties. Alvorada do Sul wood presented higher strength and homogeneity than the other two seed provenances. Thus, Alvorada do Sul is the provenance with the highest value in properties and homogeneity, whereas Gália and Bauru provenances show the greatest mean annual increment. Typical radial pattern was not observed for most variables, except MOE and fiber length in Gália and compression parallel to the grain in Bauru that increased towards the bark. Based on compression parallel to the grain, 30-year-old *Balfourodendron riedelianum* wood in a homogeneous planting has medium to high mechanical strength (reached a medium to upper strength class - C40),

and as such, it is indicated for use in medium-sized structures and light civil construction, as well as the manufacture of furniture.

2.5 REFERENCES

- Agência Nacional de Águas – ANA. 2017. **Sistema de Informação Hidrológicas Data of mean annual precipitation and temperature from January 1975 to December 1985**. <<http://hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em: 07 maio 2017.
- ALMEIDA, E. M. R.; TONIATO, M. T. Z.; DURIGAN, G. **Plano de Manejo da Estação Ecológica de Bauru**. Instituto Florestal. Secretaria do Meio Ambiental, São Paulo, abril 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**. Design of wooden structures (in Portuguese). Rio de Janeiro, 1997.
- BASS, P; EWERS, F. W.; DAVIS, S. D.; WHELEER, E. A. 2004. Evolution of xylem physiology: **Evolution of plant physiology**. London: Elsevier Academic Press. p. 273-295.
- BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Ames. USA: Iowa State University, 1997 p. 121-276.
- BHERING, S. B. et al. **Mapa do solo do estado do Paraná**. Embrapa Solos. EMBRAPA. Rio de Janeiro, 2007 p. 1-73.
- BRUNELLI, A. A.; LEAL, J. J.; LONGO, F.G. Madeiras: **material para o design**. SCTDE, São Paulo, 1997.
- CAMPBELL, H. Forestry economics: **principles and practice**. St. Lucia: University of Queensland. Austrália, 1999, p. 1 – 34.
- CARVALHO, P. E. R. Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*). **Colombo: Embrapa Florestas**. Circular Técnica, 1999 p.1 - 11.
- CARVALHO, P. E. R. **Pau-marfim (Balfourodendron riedelianum)**. Colombo: Embrapa Florestas, Circular Técnica, n. 93. 11 p. 2004.
- COSTA, C. G. et al. Xilema. **Anatomia Vegetal**. Editora UFV, Brasil, 2006.
- DURIGAN, G. et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. Páginas & Letras, São Paulo, 1997.
- ESALQ – USP – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz – Universidade de São Paulo. Parcelas permanentes de 40 ha de florestas do estado de São Paulo: uma experiência multidisciplinar. Piracicaba. 2006.
- GARRIDO, M. A. O.; NOGUEIRA, J. C. B.; GARRIDO, L. M. A. G. 1982. Características silviculturais do pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum* Engl.). In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS. Campos do Jordão. **Anais**. São Paulo: Instituto Florestal. Publicado na Silvicultura. 16 A. (parte 2): p.1081-1085.

GURGEL GARRIDO, L. M. A. et al. **Variabilidade genética de características silviculturais de *Liquidambarstyraciflua* L. em teste de origens em Paraguaçu Paulista-SP.** Revista Instituto Florestal. Páginas & Letras, 1997, p.125-132.

GURGEL FILHO, O. A.; MORAES, J. L.; GARRIDO, L. M. A. G. 1982. Silvicultura de essências indígenas sob povoamentos homóclitos coetâneos experimentais. VI - Pau marfim (*Balfourodendron riedelianum* Eng.). In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS. Campos do Jordão. **Anais.** São Paulo: Instituto Florestal. Publicado na Silvicultura. 16 A. (parte 2): p.867-872.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S.; PITTERMANN, J. Efficiency versus safety tradeoffs for water conduction in angiosperm vessels versus gymnosperm tracheids. In: N.M. Holbrook & M.A. Zwienniecki (eds.). **Vascular transport in plants.** Elsevier Incorporated. Amsterdam, 2005, p.333-354.

HARRIS, F. **The effect of competition on stand, tree, and wood growth and structure in subtropical *Eucalyptus grandis* plantations.** PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW, Australia, 2007.

HIGUCHI, N. **Tabelas de volume, para povoamentos nativos de canafístula (Leguminosae), cedro (Meliaceae), pau-marfim (Rutaceae) e canelas (Lauraceae) no extremo oeste.** Tese Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Brasil, 2005.

HOADLEY, B. **Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology.** 2 ed. Newtown: Taunton Press. EUA, 2000.

IAWA Committee. International Association of Wood Anatomists. **List microscope features of hardwood identification.** *IAWA Bulletin*, 1989, p.219-332.

International Union for Conservation of Nature – IUCN. 1998. Americas Regional Workshop (Conservation & Sustainable Management of Trees, Costa Rica, November 1996). *Balfourodendron riedelianum*. **The IUCN Red List of Threatened Species.** Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32987A9741568.en>> Acesso em: 02 maio 2017.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique.** New York: McGraw- Hill. 1940, p.1 – 533.

KRETSCHMANN, D. E. **Mechanical properties of wood.** In: Ross R. (ed) *Wood Handbook.* 100 ed, Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory;. General Technical Report FPL-GTR-190, 2010.

KING, D. A. et al. **Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia.** *Functional Ecology*, 2005, p.445-453.

KOLLMANN, F.; COTE, W.A. **Principles of wood science and technology.** Springer – Verlag, Berlin, 1968.

LACHEMBRUCH, B.; MOORE J. R.; EVANS, R. Radial variation in wood structure and function in woody plants, and hypotheses for its occurrence. (Chapter 5) In: Meinzer

F.C; Lanchenbruch B; Dawson T.E. **Size-and age-related changes in tree structure and function**. New York: Springer. , 2011, p.121-164.

LIMA, I. L. et al. **Densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Balfourodendron riedelianum* em função da procedência e posição radial**. Revista do Instituto Florestal, 2011, p.217-230.

LONGUI, E.L. et al. **Seed provenance influences the wood structure of *Gallesia integrifolia***. IAWA Journal, 2011, 361-374.

MAINIERI, C. et al. **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras**. São Paulo: IPT; 1983.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1989.

PAULA, J. E.; ALVEZ, J. L. H. 897 madeiras nativas do Brasil: **anatomia-dendrologia, dendrometria-produção-uso**. Cinco Continentes, Porto Alegre, 2007.

PIRANI, J. R.; GROppo, M.; DIAS, P. 2017. **Rutaceae Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB343>>. Acesso em 28 março 2017.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J. F.; FERRAZ, E. S. B. **Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade**. IPEF 1988, p.33 - 40.

SEBBENN, A. M. et al. **Conservação ex situ e pomar de sementes em banco de germoplasma de *Balfourodendron riedelianum***. Revista do Instituto Florestal, 2007, p.101-112.

SEBBENN, A. M. et al. **Comportamento da variação genética entre e dentro de procedências e progênes de *Gallesia integrifolia* Vell. Moq. Para caracteres quantitativos**. Revista do Instituto Florestal. 2009, p.151 - 163.

SILVA, C. C. **Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal**. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil, 2013.

ZANATTO, A. C. S et al. **Plano de manejo da Estação Ecológica de Jataí**. Fundação Florestal/Secretaria do Meio Ambiente, 2013, 302p.

ZENID G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009, p.1-103.