

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES
DE PINUS DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE**

LUIZ MARCIO MACHADO SUARDI JUNIOR

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

**BOTUCATU - SP
Fevereiro – 2016**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES
DE PINUS DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE**

LUIZ MARCIO MACHADO SUARDI JUNIOR

Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP
Fevereiro – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Suardi Junior Luiz Marcio Machado, 1984-
S939a Avaliação da qualidade da madeira de cinco espécies de Pinus destinadas à produção de celulose / Luiz Marcio Machado Suardi Junior. - Botucatu : [s.n.], 2016
viii, 56 f. : fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo
Inclui bibliografia

1. Pinus tropicais. 2. Madeira - Densidade. 3. Madeira - Qualidade. 4. Polpação alcalina por sulfato. I. Sansígolo, Cláudio Angeli. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botuca - tu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIENCIAS AGRONOMICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES DE PINUS
DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE

AUTOR: LUIZ MARCIO MACHADO SUARDI JUNIOR

ORIENTADOR: Prof. Dr. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM CIÊNCIA
FLORESTAL , pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Dep de Ciencia Florestal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

Prof. Dr. RICARDO MARQUES BARREIROS

Coordenadoria Executiva / Unidade de Itapeva

Prof. Dr. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Dep de Ciencia Florestal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

Data da realização: 05 de fevereiro de 2016.

Aos meus pais, Luiz Marcio Machado Suardi e Marcia Teresinha Romera Navarro, pela educação, carinho e dedicação aplicada em minha formação pessoal e profissional.

Aos meus irmãos Francine, Julia e Guilherme, pelo companheirismo e alegria proporcionada.

Aos meus Avós Waldemar Marcondes Suardi (In Memoriam), Nícia Terezinha Machado Suardi, Antônio Romera Navarro (In Memoriam) e Maria Terezinha Navarro por serem meus exemplos de vida.

Ao meu filho Caio Silva Suardi, por me ensinar que desde cedo são grandes as dificuldades impostas em nossas vidas, mas viver com dificuldades e superá-las é algo muito especial.

Ao meu filho Vitor Silva Suardi, pelo amor, carinho e alegria que nos proporciona a cada dia.

À minha esposa, Mariana Garcia Silva, pelo amor e companheirismo, pelo incentivo, e acima de tudo, pela Família que formamos.

Dedico!

À Deus por iluminar todos os passos dados em minha vida.

À minha esposa Mariana, meus filhos Caio e Vitor pelo por ser o meu porto seguro, pelo incentivo e carinho, em fim, por serem os meus amores.

Ao Prof. Dr. Cláudio Angeli Sansígolo pela orientação e amizade construída na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Marques Barreiros pelo incentivo e apoio para que este trabalho fosse concretizado.

Ao Grupo Jari pelo fornecimento do material, principalmente à Engenheira Florestal Tayza Karpovicz e o Técnico Florestal Misael Oliveira Santos por todo apoio logístico.

Aos funcionários do Laboratório de Celulose e Papel Liliane e Lira por todo apoio durante as análises.

À Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade de estudo.

Aos colegas Pará, Goiano e Tropeço pela receptividade e amizade.

Aos colegas de trabalho do Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”.

Por fim, aos meus familiares (Paulinho, Tia Rita, Tia Zezé) e todos aqueles que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
RESUMO	1
SUMMARY	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVOS.....	6
3 REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Espécies estudadas	7
3.2 Densidade básica da madeira	12
3.3 Polpação Kraft e seus fatores determinantes	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Caracterização da área de estudo	18
4.2 Caracterização do material.....	19
4.3 Amostragem do material.....	19
4.3.1 Inventário Piloto	19
4.3.2 Coleta do material.....	20
4.4 Preparo do material	21
4.5 Determinação dos parâmetros dendrométricos das árvores de <i>Pinus</i> spp.	22
4.6 Determinação da densidade básica da madeira de <i>Pinus</i> spp.	23
4.7 Determinação da composição química da madeira de <i>Pinus</i> spp.	25
4.8 Polpação Kraft e análises da polpa de <i>Pinus</i> spp.....	25
4.9 Análise estatística	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Parâmetros dendrométricos.....	29
5.2 Densidade básica da madeira	32
5.3 Análise da composição química da madeira de <i>Pinus</i> spp.	35
5.4 Polpação Kraft	37
6 CONCLUSÕES.....	41

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
APÊNDICE	50

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** A – Mapa da Fazenda Vale do Apiaí com o detalhe da localização dos talhões. B - Localização dos talhões implantados com as espécies utilizadas no trabalho. 19
- Figura 2.** Coleta do material em campo: A – Árvore abatida sendo mensurada e demarcada para retirada dos discos. B – Retirada dos discos nas diferentes alturas. 21
- Figura 3.** Preparo do material no laboratório: A – Discos e cascas separados. B – Disco demarcado para separação das cunhas..... 22
- Figura 4.** Sequência das atividades realizadas para obtenção da densidade básica das amostras de madeira. Respectivamente, saturação das amostras, medição da massa saturada imersa em água, medição da massa saturada, e secagem a 103 ± 2 °C.. 24
- Figura 5.** Preparação da amostra para a análise da composição química da madeira: A – Obtenção dos cavacos e palitos manualmente. B – À esquerda o Macro Moinho tipo Wiley e à direita a peneira vibratória para classificação da serragem..... 25
- Figura 6.** Variação da densidade básica em relação à altura comercial das cinco espécies de Pinus. 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média determinados através do inventário piloto.	200
Tabela 2. Condições do cozimento Kraft.	26
Tabela 3. Valores médios para os parâmetros dendrométricos de <i>Pinus</i> spp com 6,5 anos de idade.	300
Tabela 4. Densidade básica da madeira de cinco espécies de <i>Pinus</i> spp. nas diferentes posições em relação à altura comercial, na altura do DAP e a densidade básica média das árvores de cinco espécies de <i>Pinus</i>	32
Tabela 5. Valores médios da composição química da madeira de <i>Pinus</i> spp.....	35
Tabela 6. Valores médios obtidos na polpação Kraft de <i>Pinus</i> spp.....	37

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo realizar um estudo comparativo das características dendrométricas e da qualidade da madeira entre as espécies de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* e o híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH), provenientes de primeiro desbaste com 6,5 anos de idade, destinadas à produção de celulose. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) composto por 20 árvores (5 espécies x 4 repetições), portanto, foram coletadas 4 árvores por espécie de DAP médio determinado por inventário piloto. De cada árvore foram retirados 6 discos com espessura de aproximadamente 5cm, nas posições do DAP, 0 % (Base), 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da altura comercial. Foram avaliados os parâmetros dendrométricos: DAP, altura total e comercial, volume comercial sem casca e massa seca comercial por árvore; a densidade básica a composição química e a polpação kraft. Os resultados demonstraram que o híbrido PECH apresentou os maiores valores para os parâmetros dendrométricos, sendo estatisticamente superior às demais espécies para o parâmetro DAP (17,7 cm). O *Pinus elliottii* foi significativamente inferior para o volume comercial sem casca. A densidade básica da madeira não apresentou diferenças significativas, provavelmente devido a pouca idade das árvores. A espécie de PECH apresentou os piores rendimentos de polpação e consumo específico de madeira. Isso pode ter ocorrido devido o maior valor para o teor de lignina (30,25 %) e elevado teor de extrativos (4,71 %) apresentado pela espécie, e também pelo menor valor para a densidade básica da madeira (0,339 g cm⁻³). Considerando o uso da madeira de primeiro desbaste para produção de celulose, pode-se concluir que das espécies utilizadas nesse estudo, apenas a madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi desfavorável por apresentar o menor rendimento bruto e maior consumo específico de madeira.

Palavras-chave: Pinus tropicais, densidade básica, polpação Kraft.

WOOD QUALITY ASSESSMENT OF FIVE SPECIES OF PINUS FOR PULP PRODUCTION. Botucatu, 2016. 55p.

Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LUIZ MARCIO MACHADO SUARDI JUNIOR

Adviser: CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO

SUMMARY

This study aimed to carry out a comparative study of dendrometric characteristics and quality of wood between species of *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* and hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH), from first thinning with 6.5 years of age for the production of cellulose. The experimental was completely randomized design (CRD) consists of 20 trees (5 species x 4 repetitions) therefore were collected 4 trees per species average DBH determined by pilot inventory. Each tree were removed six discs with thickness of approximately 5 cm, the DBH positions, 0 % (basis), 25 %, 50 %, 75 % and 100 % of the commercial height. We evaluated the dendrometric parameters: DBH, total and commercial height, trade without shell and commercial dry mass per tree; basic chemical composition and density of the kraft delignification. The results showed that the hybrid PECH showed the highest values for the dendrometric parameters being statistically superior to the other species for the DBH parameter (17.7 cm). The *Pinus elliottii* was significantly lower for the commercial volume without bark. The basic wood density showed no significant differences, probably due to the young age of the trees. The kind of PECH showed the worst pulping yields and specific consumption of wood. This may have occurred because the greatest value for the lignin content (30.25%) and high content of extractives (4.71 %) presented by the species, and also at the lower for basic wood density (0.339 g cm^{-3}). Considering the use of the first thinning wood for pulp production, it can be said that the species used in this study, only wood of hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* was unfavorable due to the lower gross income and higher specific consumption of wood.

Keywords: Tropical Pinus, density, Kraft delignification.

1 INTRODUÇÃO

Entre os principais produtores mundiais de celulose e papel, o Brasil é referência internacional neste setor por suas práticas sustentáveis. De acordo com a BRACELPA (2012), o principal diferencial competitivo é que 100% da produção de celulose e papel do País provem de florestas plantadas que são recursos renováveis, colocando o Brasil a níveis superiores de competitividade, visto que outros países fazem uso de florestas naturais para sua produção.

As florestas plantadas do Brasil são as mais produtivas do mundo com um incremento médio anual de $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para *Eucalyptus* spp. e $31 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para *Pinus* spp. (IBÁ, 2015), sendo bastante superior à países como a Suécia e Finlândia com 5,5 e $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para folhosas e 3,5 e $2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para coníferas, respectivamente (ABRAF, 2012). Os estados que possuem a maior área plantada de *Pinus* é o Paraná com 673.769 hectares e o Estado de Santa Catarina com 541.162 hectares, seguido pelos Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo com 184.585 e 123.996 hectares, respectivamente (IBÁ, 2015).

Os povoamentos de *Pinus* spp. implantados artificialmente no Brasil desenvolvem-se rapidamente até a idade de 7 a 11 anos, quando as árvores começam a mostrar intensa competição por nutrientes minerais, água e luz. Neste momento, um primeiro desbaste se faz necessário para garantir o desenvolvimento das árvores remanescentes. A madeira proveniente do primeiro desbaste ainda não possui diâmetro suficiente para ser processada

mecanicamente podendo, então, ser destinada para indústrias de celulose e papel, carvão vegetal ou lenha.

As espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* destacam-se como as mais plantadas na região sul do País. A primeira possui grande importância na produção de resina, no entanto, sua madeira pode ser destinada à produção de celulose quando proveniente de desbastes e, posteriormente à resinagem, a madeira pode ser aproveitada em serrarias. Já a madeira de *Pinus taeda* é a principal fonte de matéria prima para a produção de celulose, podendo também ser utilizada em serrarias. Com a introdução de espécies tropicais como o *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* e *Pinus patula* a partir da década de 60, a cultura de *Pinus* expandiu-se para todo o Brasil, com espécies adequadas para cada região (SHIMIZU, 2004), tornando-se fonte de matéria prima para usos gerais.

Dentre os processos de produção de celulose destaca-se a polpação Kraft, pela boa qualidade das fibras obtidas, pela versatilidade no uso da matéria prima e principalmente pela recuperação dos reagentes utilizados. A principal desvantagem deste processo é o baixo rendimento depurado como resultado da solubilização de grande parte da lignina e das hemiceluloses e parte da celulose. A densidade básica e a composição química, principalmente o teor de holocelulose da madeira, são fatores que influenciam o processo de polpação. Portanto, para se obter um bom rendimento torna-se necessário conhecer estes atributos da matéria prima com a finalidade de otimizar o rendimento no processo de polpação através da escolha de espécies com características apropriadas para produção de celulose. Os atributos da madeira que mais afetam o rendimento da polpação são o teor de lignina e extrativos, já a densidade básica, diminui o consumo de madeira para produzir celulose (GOMIDE et al., 2010).

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo realizar um estudo comparativo das características dendrométricas e da qualidade da madeira de cinco espécies de *Pinus* spp, provenientes de primeiro desbaste, destinadas à produção de celulose.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Determinar os parâmetros dendrométricos como o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e comercial, volume comercial sem casca e massa seca comercial da árvore das cinco espécies de *Pinus* spp.;
- Determinar a densidade básica e as propriedades químicas holocelulose, lignina e extrativos das espécies estudadas;
- Determinar o rendimento bruto e depurado, teor de rejeitos base madeira e base celulose, número kappa e consumo específico de madeira das espécies, obtidos através de processo Kraft.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Espécies estudadas

De acordo com o IBÁ (2015), no ano de 2014 a área ocupada por plantios florestais de Eucalipto e Pinus no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares, sendo 71,8% (5,56 milhões de hectares) correspondente à área de plantios de Eucalipto e 20,5% (1,59 milhão de hectares) aos plantios de Pinus, concentrada principalmente na região Sul do país (95,6%) devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira.

Segundo Shimizu (2004), por volta de 1936 foram iniciados os primeiros ensaios de introdução de Pinus no Brasil para fins silviculturais, com espécies europeias que não se adaptaram ao clima. Somente em 1948, através do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas espécies como *Pinus palustris*, *Pinus echinata*, *Pinus elliottii* e o *Pinus taeda*. Dentre essas, as duas últimas se destacaram pela facilidade nos tratamentos culturais, rápido crescimento e reprodução intensa nas regiões Sul e Sudeste do país.

O *Pinus taeda* configura-se como uma das espécies mais resistentes e versáteis do sul dos Estados Unidos em termos de habilidade para reproduzir e rápido crescimento, produz um elevado rendimento por hectare e gera diferentes produtos comercializáveis (SCHULTZ, 1997). A espécie pode ser reconhecida por diferentes nomes populares, sendo o mais comum “loblolly pine” e se destaca devido a grande distribuição

geográfica, ocorrência em estandes puros e abundantes. Em sua região de origem se desenvolve desde o nível do mar até altitudes acima de 600 metros, entre as latitudes de 29° N até 38° N e as longitudes de 75° W e 95° W. O período de crescimento vai da primavera ao verão, sendo considerada de rápido crescimento, podendo as árvores adultas atingir até 30 metros de altura. A faixa de pH ideal para o plantio varia de 4,0 a 7,0, adapta-se a qualquer textura de solo possuindo também alta tolerância ao fogo (KOCH, 1972 apud BARRICHELO et.al. 1977; USDA, 2013).

O *Pinus taeda* é uma das árvores mais plantadas em reflorestamentos no Sul do Brasil. Em áreas de altitude e frio, supera espécies de eucalipto por ser resistente às baixas temperaturas e é preferido ao *Pinus elliottii* por se desenvolver mais rapidamente (FOELKEL; FOELKEL, 2008).

Carneiro (2013) obteve altura média de 8,4 m e DAP médio de 13,8 cm para árvores de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade implantados na região de Itatinga-SP.

Vieira et al. (2011) observaram uma altura média de 11,68 m e DAP médio de 18,5 cm, para árvores da mesma espécie aos 9 anos, provenientes de primeiro desbaste na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Barrichelo et al. (1977) obtiveram altura média de 10,35 m e DAP médio de 13,5 cm para vinte procedências de *Pinus taeda*, implantadas na região de Telêmaco Borba – PR, também aos nove anos de idade.

O *Pinus elliottii* é uma espécie de conífera pertencente à família Pinaceae, gimnosperma, com característica a produção de resina em todos os seus gêneros. Nativa do sudeste dos EUA, a espécie se destacou como sendo viável em plantações comerciais para a produção de madeira e resina, principalmente na região Sul do Brasil (SHIMIZU, 2004; RODRIGUES, 2008). De acordo com a USDA (United States Department of Agriculture) o *Pinus elliottii* é comumente reconhecido como “slash pine”, e sua ocorrência é verificada nas planícies costeiras da Carolina do Sul para a Flórida e a oeste de Louisiana. A espécie é comumente associada com o *Pinus taeda*, porém, o tamanho e o número de acículas por feixe, o cone e a casca pode ser utilizados para diferenciá-los.

Segundo Shimizu (2004) a região ecológica ideal para o desenvolvimento do *Pinus elliottii* no Brasil coincide com a de *Pinus taeda*, porém, por ser de

ambiente com características mais próximas ao tropical ele perde em crescimento nas regiões mais frias comparado ao *Pinus taeda*. O mesmo autor descreve que embora a espécie seja amplamente utilizada para a fabricação de celulose e papel nos EUA, o mesmo não ocorre no Brasil, devido ao alto teor de resina na madeira. Entretanto, Foelkel et al. (1977) afirmam que existem amplas possibilidades para o uso da madeira de *Pinus elliottii* para a produção de celulose Kraft no Brasil.

Pereira e Tomaselli (2004) estudando a influencia do desbaste sobre a qualidade da madeira do *Pinus elliottii* aos 15 anos de idade verificaram valores para DAP de 18,9 e 29,5 cm, respectivamente para tratamento sem desbaste e tratamento com manutenção de 25 % da área basal. Os autores concluíram que a intensidade do desbaste pouco interferiu nas propriedades da madeira, e que, a decisão quanto à intensidade do desbaste a ser aplicado sobre o povoamento, depende da análise dos parâmetros dendrométricos, como as dimensões e forma das toras.

Rockwood et al. (2001) estudaram o desenvolvimento de diferentes procedências de *Pinus elliottii* na região sul do Brasil e observaram volumes médios por árvore variando de 0,1288 a 0,1710 m³, aos 8 anos de idade.

A partir da década de 60, deu-se início aos primeiros experimentos utilizando espécies tropicais como *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* e *Pinus patula* possibilitando a expansão da cultura de Pinus em todo o Brasil, usando-se a espécie adequada para cada região ecológica (SHIMIZU, 2004).

As espécies tropicais do gênero Pinus tendem a ser mais produtivas que as subtropicais, como o *Pinus taeda*, porém mais sensíveis às geadas, o que impede seu uso em áreas mais frias (CARNEIRO, 2013).

O *Pinus tecunumanii* é uma espécie de pinus tropical que ocorre naturalmente na América Central sob a forma de populações disjuntas, desde o México até a Nicarágua, estando divididas em dois grandes grupos, as de elevada altitude (acima de 1500 metros) e as de baixa altitude (abaixo de 150 metros) (DVORAK et. al, 2000).

De acordo com Fritzsons et al. (2012) o *Pinus tecunumanii* pode ser plantado em todas as regiões do Estado de São Paulo, exceto regiões com frequente ocorrência de geadas.

O *Pinus tecunumanii* destaca-se como uma das espécies do gênero *Pinus* mais adaptadas às condições edafoclimáticas do Brasil. Apesar disso, há poucas áreas plantadas, que pode ser justificado pela falta de conhecimento sobre a qualidade da sua madeira e oferta restrita de sementes melhoradas geneticamente (MOURA; VALE, 2002; FRITZSONS et. al., 2012).

O *Pinus maximinoi* ocorre naturalmente no México a partir da região central, na Guatemala, em Honduras, em El Salvador e no norte da Nicarágua, em altitudes que variam de 700 m a 2400 m (DVORAK; DONAHUE, 1992). De acordo com Namikawa Fier (2001), a espécie apresenta, na sua origem, árvores com troncos retos e alturas que variam de 20 a 35 m e diâmetros que podem atingir mais de um metro. As árvores adultas têm, em sua maioria, galhos horizontais que formam uma copa bastante densa e arredondada.

Shimizu (2004) descreve que no Brasil o *Pinus maximinoi* vem sendo plantado apenas em caráter experimental com material genético selvagem, havendo grande variação na forma e no vigor. Porém, com trabalhos de melhoramento genético, esses problemas podem ser eliminados rapidamente. O mesmo autor atenta que a alta frequência de árvores com “foxtail” e a baixa resistência à geadas pode se tornar um fator limitante para seu plantio no Sul do Brasil.

Fritzsons et al. (2012) relatam que as áreas preferenciais para o plantio de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo encontram-se em torno do município de Angatuba, de clima Cwa. Já as áreas de Bebedouro, São José do Rio Preto e Ilha Solteira não são recomendadas ao plantio devido ao clima quente e deficiência hídrica no inverno. Tampouco Campos do Jordão é recomendada, devido às frequentes de geadas.

Lopez-Upton et al. (2005) estudaram o crescimento de diferentes procedências de *Pinus* spp. aos 5 anos de idade plantadas no México e verificaram que o *Pinus maximinoi* apresentou os maiores valores para o DAP, altura e volume (12,0 cm, 9,34 m e 0,0620 m³ árvore⁻¹, respectivamente) em relação ao *Pinus tecunumanii* (12,5 cm, 8,73 m e 0,0533 m³ árvore⁻¹).

A superioridade do *Pinus maximinoi* em relação ao *Pinus tecunumanii* também foi observada por Hodge e Dvorak (2012) em testes de procedência e progênie em

diferentes países do hemisfério sul e obtiveram, no Brasil, DAP de 14,6 e 13,0 cm, e altura de 10,3 e 8,7 m, respectivamente para essas espécies.

Na década de 1950 já se sabia que o *Pinus elliottii* var. *elliottii* e o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* possuíam características complementares. Na mesma década, ocorreu então a primeira tentativa de cruzamento entre as duas espécies no Estado de Queensland na Austrália, com objetivo de produzir um híbrido de qualidade superior aos seus parentais (NIKLES, 2000).

De acordo com Shepherd et al. (2003) o *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e seus híbridos são os principais táxons utilizados em reflorestamentos em Queensland na Austrália, sendo que seus híbridos correspondem 70 % da área plantada pois combina características favoráveis de seus parentais proporcionando forma e crescimento superior.

No Estado de São Paulo, a empresa Pinus Brasil, iniciou no município de Buri a implantação do híbrido “eliondurensis”, ou seja, *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F₂, devidamente registrado no MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. De acordo com a empresa, o híbrido apresenta como vantagem a redução de dez anos em seu ciclo entre a implantação e o corte final. A alta precocidade e a maior produtividade por hectare, diminuição dos custos operacionais e, conseqüentemente, retorno mais rápido do investimento, fazem do cultivo um potencial gerador de recursos e investimentos na região (PINUS BRASIL, 2014).

Cappa et al. (2013) estudaram o desenvolvimento das gerações F₁ e F₂ do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região da Mesopotâmia, na Argentina, aos 10 anos de idade e verificaram superioridade de F₁ em relação à maioria das espécies puras de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Os autores obtiveram DAP de 24,1 e 21,9 cm e altura de 15,8 e 15,5 m respectivamente para as gerações F₁ e F₂, e DAP de 23,5 e 19,6 cm e altura de 15,4 e 12,9 m, respectivamente para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Dieters e Browner (2007) estudaram a produtividade das gerações F₁ e F₂ do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 15 anos de

idade em Queensland na Austrália, obtiveram um incremento médio anual semelhante (23,7 e 23,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente).

3.2 Densidade básica da madeira

A densidade da madeira pode ser expressa através da densidade aparente, que, segundo Petrucci (1980) é definida pelo peso por unidade de volume aparente da madeira, ambos em um determinado teor de umidade. Já a densidade básica da madeira corresponde à relação entre o peso da madeira seca em estufa a 103 ± 2°C e o seu respectivo volume em estado de completa saturação de água (HIGA et al., 1973).

A densidade básica da madeira é tida, pelas indústrias de base florestal, como uma das mais importantes propriedades, por ser de fácil determinação e por estar correlacionada com rendimentos e características de diversos produtos, além de ser alterada através de práticas silviculturais (ZOBEL, 1961).

Barrichelo (1979) descreve que dentre as várias maneiras de se expressar a densidade da madeira, a mais usual é a densidade básica. De acordo com Foelkel et al. (1992) a densidade básica da madeira pode variar com o gênero, a espécie, dentro da mesma espécie, com a idade da floresta, com o local de plantio, nos sentidos base-topo e medula-casca.

Sousa et al. (2007) estudaram a influencia da idade sobre a densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* e observaram tendência do aumento dessas propriedades em função da idade, sendo que a densidade mínima e máxima foram obtidas nas idades de 9 e 20 anos (0,350 e 0,460 g cm⁻³, respectivamente).

Ballarin e Palma (2003) em estudo sobre as propriedades da madeira juvenil e adulta da madeira de *Pinus taeda* aos 37 anos, verificaram que a madeira adulta apresentou densidade aparente superior à madeira juvenil (0,674 e 0,536 g cm⁻³, respectivamente). Além disso, os autores observaram que a região entre o 14 e 18° anel de crescimento foi considerada de transição, ficando a região abaixo do 14° anel como madeira juvenil e a região acima do 18° anel como madeira adulta.

Panshin e De Zeeuw (1980) descreveram que a variação da densidade básica ao longo do fuste pode ocorrer de três formas: decréscimo uniforme da densidade com o aumento da altura do fuste; decréscimo na parte inferior do tronco, seguido de acréscimo regular com a altura; e variação positiva em direção ao topo, porém não uniforme.

Trianoski et al. (2013), estudando a variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais, observaram que as espécies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* apresentaram diferença estatística significativa apenas entre os extremos (0% e 100% da altura comercial) e as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus maximinoi* apresentaram diferenças estatísticas significativas entre mais posições ao longo do fuste.

Segundo Vale et al. (1995), nos processos tecnológicos, é altamente desejável se ter madeira com densidade mais homogênea possível, pois esse fato dá ao processo melhor rendimento e melhor qualidade ao produto final.

Shymoyama (1990), citado por Berger (2000), destaca que com o aumento da densidade básica a capacidade do digestor também aumenta em massa, levando a um aumento da produção de polpa celulósica, porém, este aumento pode aumentar o consumo de reagentes, dificultar a impregnação do licor nos cavacos e aumentar a quantidade de rejeitos.

Higa et al. (1973) observaram valores de densidade básica de 0,319 g.cm⁻³ para *Pinus elliottii* e de 0,331 g cm⁻³ para *Pinus taeda* aos 7 anos de idade. Já Andrade (2006) obteve valores de 0,348, 0,368 e 0,371 g cm⁻³ para *Pinus taeda* aos 8 anos de idade em povoamentos de alta, média e baixa produtividade, respectivamente.

Moura et al. (1998) estudaram a variação da densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* aos 12 anos de idade implantadas na região de Planaltina-DF e obtiveram valor médio de 0,420 g cm⁻³. Torres et al. (2005) obteve valor pouco superior (0,466 g.cm⁻³) para a mesma espécie na mesma idade em procedências da Colômbia.

Lima et al. (1990) observou valores de 0,395 g cm⁻³ para *Pinus tecunumanii* aos 5 anos de idade na região de Pontal-ES.

Klock (2000) obteve densidade básica da madeira de 0,409 g cm⁻³ para *Pinus maximinoi* aos 11 anos de idade na região de Ventania-PR. Iwakiri et al. (2001)

verificaram densidade básica de $0,483 \text{ g cm}^{-3}$ para a mesma região aos 10 anos de idade. Trianoski et al. (2013) obteve $0,467 \text{ g cm}^{-3}$ para a espécie aos 18 anos de idade.

Com relação aos híbridos do gênero *Pinus*, Almeida et al. (2014) verificaram que a densidade básica foi de $0,320 \text{ g.cm}^{-3}$ para o híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 7 anos de idade na região de Buri-SP. Rezende et. al. (2008) verificou valores em torno de $0,400 \text{ g cm}^{-3}$ para o híbrido de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii* implantado na região de Agudos-SP.

3.3 Polpação Kraft e seus fatores determinantes

A polpação Kraft é o processo utilizado para transformar a madeira em fibras individualizadas, através da dissolução da lignina presente, principalmente na lamela média (VASCONCELOS, 2005). A madeira é transformada em cavacos e estes são tratados em digestor com solução aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio a elevada temperatura de uma a seis horas (DUARTE, 2007). Gomes (2009) destaca que a boa qualidade das fibras obtidas, a versatilidade no uso da matéria prima e recuperação dos reagentes utilizados são suas principais vantagens. Já para Mocelin (2005), a principal desvantagem deste processo é o baixo rendimento depurado, resultado da solubilização da lignina, hemiceluloses e parte da celulose.

Os principais fatores que influenciam o rendimento na polpação kraft estão relacionados ao processo industrial e à matéria-prima. Desta última, a densidade básica se destaca como fator determinante na escolha da espécie por influenciar na impregnação do licor nos cavacos, no tempo de cozimento e na qualidade da celulose obtida (HASEGAWA, 2003).

Gomide et al. (2010) estudaram a correlação entre as características da madeira e o rendimento de polpação em eucalipto e obtiveram correlação negativa (-0,76) entre a densidade básica e o consumo específico de madeira. Os autores destacam a importância da densidade no processo de produção de celulose, uma vez que, madeiras mais densas proporcionam menor consumo específico de madeira, favorecendo a produção no digestor. Bittencourt (2004) estudando a otimização no processo de fabricação de celulose e

papel, utilizando madeira de diferentes idades de *Pinus taeda*, verificou que o consumo específico diminuiu em função do aumento da idade das árvores, devido a maior densidade nas maiores idades. O autor descreve ainda que, o consumo específico pode ser alterado com modificações no processo de polpação, pois, em condições mais severas de polpação o consumo específico aumenta para todas as idades. Mokfienski et al. (2003) descrevem que o consumo específico é menor para madeiras mais densas, e que, essas, requerem uma polpação mais drástica para atingirem um mesmo nível de polpação quando comparadas à madeiras mais leves.

A composição química do material lenhoso também exerce grande influencia no processo de beneficiamento da madeira e o teor de cada constituinte sofre influencia das condições ambientais (ZANUNCIO et al., 2013). Gomide et al. (2010) destacam que o teor de lignina e extrativos são importantes características de qualidade da madeira, afetando significativamente o rendimento do processo de polpação.

Vivian et al. (2015) verificaram que a madeira de *Pinus taeda* apresenta maior facilidade de polpação em comparação à madeira de *Pinus sylvestris*, principalmente por apresentar menores teores de extrativos (2,83 e 6,40 %, respectivamente) e maiores teores de holocelulose (70,46 e 67,99 %, respectivamente).

Para Andrade (2006) a avaliação da composição química da madeira é considerada fundamental, pois esses componentes exercem grandes influencias sobre os processos interferindo no rendimento e na qualidade do produto final. Gomide et al. (2010) verificaram que o teor de extrativos e lignina afetaram significativamente o rendimento em clones de *Eucalyptus* sp.

White et al. (2009) avaliaram o efeito da densidade básica e da composição química da madeira de *Pinus taeda* aos 13 anos de idade, verificaram que o conteúdo de xilanas e de lignina influenciaram negativamente o rendimento.

Cardoso et al. (2011) estudando o efeito do teor de lignina no desempenho da polpação Kraft em *Eucalyptus globulus*, verificaram que uma redução média no teor de lignina em 2,49 %, promoveu um ganho médio de 2,2 % no rendimento depurado, base madeira, e uma redução média de 1,2 % no álcali ativo.

Shimoyama e Wiecheteck (1993) estudaram a característica da madeira de *Pinus tecunumanii* na região de Anhembi-SP, para produção de papel imprensa e encontraram valores de 60,41 %, 35,49 % e 4,10 % para holocelulose, lignina e extrativos respectivamente. Os autores concluíram que a espécie possui alta viabilidade para produção de pasta termomecânica devido ao seu baixo teor de extrativos.

Bassa (2007) relata que o rendimento em polpa é uma característica extremamente importante para a indústria, pois tem efeito sobre a geração de sólidos, consumo específico de madeira e, conseqüentemente, sobre os custos de produção.

De acordo Smook (1989) apud Rigatto et al. (2004), a faixa de variação em rendimento pelo processo Kraft para coníferas, varia de 40 a 50 %, dependendo das condições. Foelkel (1976b) obteve rendimentos bruto de 49,9 % (Kappa 41,4) e 49,4 % (Kappa 40,2), para celulose não branqueável de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* aos 8 e 11 anos, respectivamente.

Vivian et al. (2015) utilizando condições de cozimento similares do presente estudo obteve resultado de 54,3 % (Kappa 58,6) no rendimento bruto para *Pinus taeda*, com 21 anos de idade.

Wright et al. (1996) estudaram árvores de *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi* com 8 anos de idade, plantados na Colômbia, obtiveram rendimento bruto em torno de 50 % (Kappa 48) para as duas espécies, em condições semelhantes à desse estudo. Já o rendimento depurado foi de aproximadamente 42 e 40 %, respectivamente para as duas espécies.

O número Kappa é uma importante informação para as indústrias, pois indica o grau de deslignificação da madeira utilizada no processo, onde um menor número kappa, para um mesmo rendimento, indica melhor eficiência na dissociação da lignina nas fibras. Segundo o IPT (1998) o número kappa pode ser afetado por fatores como tempo de cozimento, a concentração do álcali ativo, a sulfidez e a temperatura.

Segundo Smook (1990) e Sanjuan (1997) apud Bittencourt (2004), o objetivo da polpação Kraft é chegar a um número Kappa pré-estabelecido, porém, devido a diferenças na madeira, haverá sempre variações no resultado do cozimento.

Gomes (2009) descreve que o número Kappa deve estar entre 55 e 65 para polpas destinadas a fabricação de papéis extensíveis. Vasconcelos (2005), em estudo comparativo entre o processo SuperbatchTM e o convencional, utilizando a madeira de *Pinus taeda* para produção de papéis de alta resistência destinados à embalagem, realizou cozimentos para atingir número kappa 28, para polpa branqueável e 58 para polpa não-branqueável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O plantio foi realizado em abril de 2006 na Fazenda Vale do Apiaí, pertencente ao Grupo Jari, localizada no município de Buri - SP (23°47'51"S, 48°35'34"W), área total de aproximadamente 2.000 hectares e, desses, 410 hectares ocupados com reflorestamentos de *Pinus* spp. A altitude é de 590 metros e o clima é subtropical úmido, classificado como Cwa na classificação de Köppen com precipitação média anual em torno de 1200 milímetros e temperatura média anual de 21 °C, com média de 15 °C na estação fria, e 27 °C na estação quente (CEPAGRI, 2014). Os solos da região são classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média, caracterizados pela localização em relevos suavizados (declividade entre 0 e 20 %), elevada permeabilidade, baixa retenção de água e baixa coesão, sendo quimicamente ácidos e com baixa retenção de cátions (OLIVEIRA et al., 1999).

As áreas foram implantadas com a finalidade de uso múltiplo dos recursos florestais, aplicando-se o desbaste sistemático na 6ª linha de plantio entre o 6º e 8º ano de idade (conforme critérios adotados pela empresa). As espécies produtoras de resina como o *Pinus elliottii* são exploradas até o vigésimo ano quando ocorre o corte raso da floresta. Já as espécies em que a resina não é extraída, como o *Pinus taeda*, por exemplo, sofrem o corte raso com 12 anos de idade.

4.2 Caracterização do material

O material utilizado no trabalho constitui-se de árvores retiradas em diferentes talhões de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, representando as espécies mais plantadas no Brasil, *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi*, representando as espécies de Pinus tropicais e o híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) implantada recentemente na região do presente estudo e vem se destacando pela boa produtividade apresentada. Os talhões possuíam uma área de 18,5, 44,9, 40,8, 21,8, 32,7 hectares, respectivamente, para cada espécie. As árvores possuíam 6,5 anos de idade, implantadas num espaçamento de 2,5m x 2,0m, espaço vital de 5m², totalizando 2.000 árvores por hectare, coletadas em talhões sob mesma condição de solo e relevo (Figura 1).

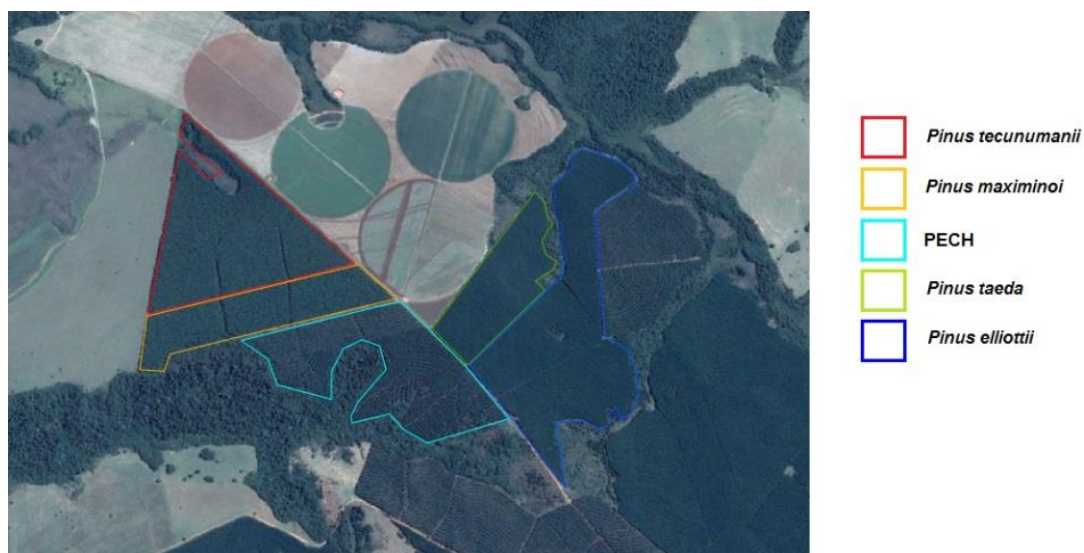


Figura 1. Localização dos talhões implantados com as espécies utilizadas no trabalho.

4.3 Amostragem do material

4.3.1 Inventário Piloto

Foi realizado um inventário piloto, com o objetivo de determinar o DAP médio das árvores, para que as árvores fossem coletadas a partir deste DAP e, desta

forma, representassem as espécies estudadas. Nesse inventário piloto, foram coletados os dados em uma parcela retangular por espécie. As parcelas retangulares encontravam-se instaladas segundo a metodologia utilizada pela empresa, possuindo uma área de 500 m², totalizando 100 plantas por hectare, onde foram mensurados com auxílio de fita métrica, os CAPs (circunferência à altura do peito obtido a 1,3m do solo) de todas as árvores que compunham a parcela, sendo posteriormente convertidos em DAP (diâmetro à altura do peito) levando-se em consideração um DAP mínimo de medição igual a 6,0 cm. Conforme o procedimento adotado pela empresa, foram mensuradas 11 alturas por parcela utilizando aparelho Vertex IV, sendo três alturas de árvores dominantes (maiores DAPs), duas alturas de árvores dominadas (menores DAPs) e mais as alturas das seis primeiras árvores da parcela.

Os resultados para as médias do DAP e altura das árvores determinados no inventário piloto, encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios do DAP e altura determinados através do inventário piloto.

Espécies	Dap médio (cm)	Altura média (m)
<i>Pinus taeda</i>	15,73	10,57
<i>Pinus elliottii</i>	14,02	8,24
<i>Pinus tecunumanii</i>	14,98	12,70
<i>Pinus maximinoi</i>	14,03	13,24
PECH	18,02	11,52

4.3.2 Coleta do material

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) composto por 20 árvores (5 espécies x 4 repetições) sendo que, de cada espécie avaliada foram abatidas 4 árvores na 6ª linha do desbaste sistemático de acordo com o procedimento utilizado pela empresa, distantes à partir de 30 metros da bordadura com base no DAP médio (\pm 1cm) de cada espécie, determinado no inventário piloto, conforme apresentado na Tabela 1. De cada árvore foram mensuradas a altura total, comercial e DAP com casca. Além disso, foram retirados 6 discos de aproximadamente 5 cm de espessura nas posições 0 % (Base), 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da altura comercial definida como sendo até 6,0 cm de diâmetro com casca,

e também do DAP (1,30 m do solo). Os discos retirados foram devidamente identificados no campo e armazenados em sacos plásticos para serem levados ao Laboratório (Figura 2).



Figura 2. Coleta do material em campo: A – Árvore abatida sendo mensurada e demarcada para retirada dos discos. B – Retirada dos discos nas diferentes alturas.

4.4 Preparo do material

Após a coleta no campo, os discos foram levados até o Laboratório de Preservação da Madeira da Unesp – Campus de Itapeva, onde foram medidos os diâmetros com e sem casca. Posteriormente, as cascas foram removidas e separadas e os discos foram cortados em quatro cunhas, passando pela medula, como pode ser visto na Figura 3. As primeiras cunhas foram utilizadas para a determinação da densidade básica, as segundas para avaliação da composição química, as terceiras foram utilizadas no processo de polpação Kraft e as quartas cunhas foram reservadas para repetição das análises, caso fosse necessária.



Figura 3. Preparo do material no laboratório: A – Discos e cascas separados. B – Disco demarcado para separação das cunhas.

4.5 Determinação dos parâmetros dendrométricos das árvores de *Pinus* spp.

Os parâmetros dendrométricos avaliados foram o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, altura comercial, volume comercial com e sem casca, porcentagem de casca e massa comercial sem casca. Esses parâmetros foram determinados através da média aritmética das quatro árvores abatidas por espécie conforme descrito anteriormente.

O volume comercial, com e sem casca das árvores abatidas foi determinado pela fórmula generalizada de Smalian, através da Equação 1:

$$V_c = \frac{\pi}{4} \cdot L \left[D_{0\%}^2 + D_{100\%}^2 + 2(D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2) \right] \quad (1)$$

Sendo que:

V_c = volume comercial sem casca, m^3 ;

L = comprimento de cada segmento da árvore, m;

D = diâmetro dos discos sem casca, a diferentes alturas da árvore, m.

A massa seca comercial da árvore foi obtida pela multiplicação do volume comercial sem casca da árvore pela densidade básica média ponderada, conforme Equação 2:

$$Ma = da \cdot V \quad (2)$$

Sendo que:

Ma = massa seca comercial da árvore, kg;

da = densidade básica média ponderada da árvore, kg m⁻³;

V = volume comercial sem casca, m³.

4.6 Determinação da densidade básica da madeira de *Pinus* spp.

A densidade básica da madeira foi determinada seguindo o método descrito por Foelkel et al. (1971), onde as cunhas foram imersas em caixa d'água até permanecerem acima do ponto de saturação das fibras (estabilizadas no fundo da caixa d'água). Após isso, foram mensuradas a massa saturada e a massa saturada imersa em água de cada uma das 4 cunhas ao longo do fuste. Em seguida, as cunhas foram secas em estufa a 105±2°C até atingirem massa constante. A densidade básica das cunhas foi obtida pela Equação 4:

$$db = \frac{m_s}{(m_u - m_i)} \quad (4)$$

Em que:

db = densidade básica de cada cunha, g cm⁻³;

m_s = massa seca em estufa a 103 ± 2 °C de cada cunha, g;

m_u = massa saturada de cada cunha, g;

m_i = massa saturada imersa em água, g.

A Figura 4 apresenta a sequência das atividades realizadas para obtenção da densidade básica das amostras de madeiras.



Figura 4. Sequência das atividades realizadas para obtenção da densidade básica das amostras de madeira. Respectivamente, saturação das amostras, medição da massa saturada imersa em água, medição da massa saturada, e secagem a 103 ± 2 °C.

Para o cálculo da densidade básica média das árvores, foi utilizada a média ponderada, pois cada cunha retirada ao longo do fuste representa uma maior ou menor porção do volume total da árvore dependendo da sua altura. A densidade básica média ponderada da árvore foi determinada através da Equação 5:

$$da = 0,5 \cdot \left[\frac{(D_{0\%}^2 + D_{2,5\%}^2) \cdot (db_{0\%} + db_{2,5\%}) + \dots + (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2) \cdot (db_{75\%} + db_{100\%})}{D_{0\%}^2 + D_{100\%}^2 + 2 \cdot (D_{2,5\%}^2 + \dots + D_{75\%}^2)} \right] \quad (5)$$

Sendo que:

da = densidade básica média ponderada da árvore, g cm^{-3} ;

D = diâmetro dos discos sem casca a diferentes alturas da árvore, cm;

db = densidade básica das amostras (cunhas) a diferentes alturas da árvore, g cm^{-3} .

4.7 Determinação da composição química da madeira de *Pinus* spp.

A amostra composta da árvore foi realizada a partir de uma das cunhas retiradas em cada disco ao longo do fuste da árvore. Manualmente, as cunhas foram cortadas em palitos para então serem reduzidos à serragem em Macro Moinho tipo Wiley. Posteriormente a serragem foi classificada através de peneira vibratória, em partículas com granulometria entre 40 e 60 Mesh conforme pode ser verificado na Figura 5.

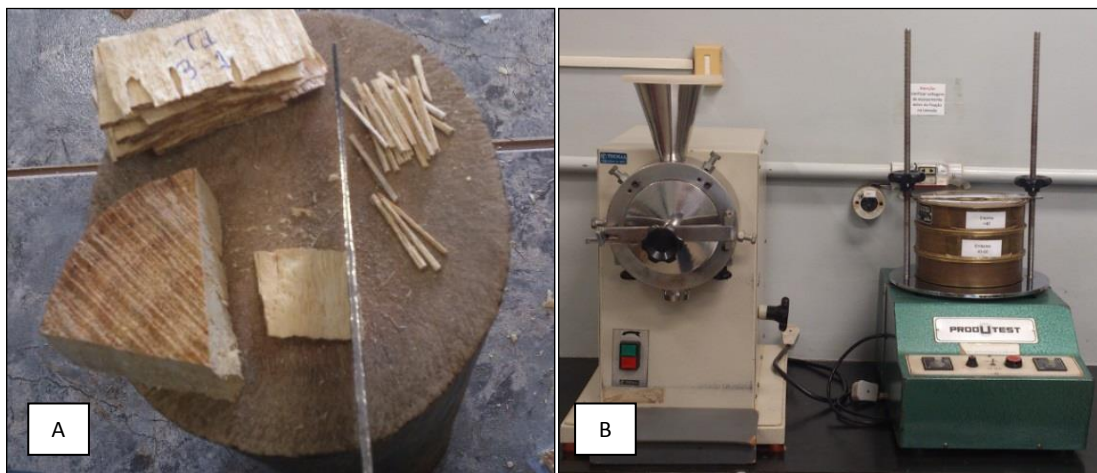


Figura 5. Preparo das amostras para as análises da composição química da madeira: A – Obtenção dos cavacos e palitos manualmente. B – À esquerda o Macro Moinho tipo Wiley e à direita a peneira vibratória para classificação da serragem.

Os atributos químicos da madeira determinados foram: teores de extrativos totais (TAPPI T 12 wd-82), teores de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico (TAPPI T 249 cm-85) e teores de holocelulose (deslignificação com clorito de sódio).

4.8 Polpação Kraft e análises da polpa de *Pinus* spp.

Assim como para a análise da composição química, a polpação Kraft foi realizada a partir da amostra composta da árvore, representando uma repetição do tratamento. De cada amostra composta, foi retirado aproximadamente 50g de cavacos, colocadas em cápsulas de aproximadamente 200 cm³, constituída de chapa de aço inoxidável

microperfurada, amarradas com arame para que não houvesse mistura das amostras no digestor. Dessa forma, cada cápsula no digestor representou uma repetição, totalizando 4 repetições por tratamento.

A polpação Kraft foi realizada em digestor rotativo marca Regmed, com 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente, onde as cápsulas foram inseridas juntamente com o licor de cozimento previamente preparado. As condições na polpação Kraft são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Condições da polpação Kraft.

Álcali ativo, base madeira seca como Na ₂ O, %	16
Sulfidez do licor, base madeira seca, %	25
Relação licor/madeira, l kg ⁻¹	4:1
Temperatura máxima, °C	170
Tempo até temperatura máxima, min	90
Tempo na temperatura máxima, min	45

Após a polpação Kraft, as amostras de cavacos contidas nas cápsulas foram lavadas até a retirada do licor de cozimento e desfibradas em equipamento desintegrador Regmed D-3.000 com 2.000 revoluções. Após a individualização das fibras, o material foi filtrado e determinado o teor absolutamente seco para os cálculos do rendimento bruto gravimétrico (Equação 6), o teor de rejeitos base madeira (Equação 7), teor de rejeitos base celulose (Equação 8), rendimento depurado (Equação 9), número Kappa e consumo específico de madeira (Equação 10).

$$Rb = \frac{m.s.c.}{m.s.m.} \cdot 100 \quad (6)$$

Sendo que:

Rb = rendimento bruto gravimétrico, %;

m.s.c. = massa seca de celulose, g;

m.s.m. = massa seca de madeira, g.

$$R_{j_{bm}} = \frac{m.s.r.}{m.s.c.} \cdot R \quad (7)$$

Sendo que:

$R_{j_{bm}}$ = teor de rejeitos, base madeira, %;

m.s.r. = massa seca de rejeitos, g;

m.s.c. = massa seca de celulose, g;

R_b = rendimento bruto gravimétrico, %.

$$R_{j_{bc}} = \frac{m.s.r.}{m.s.c.} \cdot 100 \quad (8)$$

Sendo que:

$R_{j_{bc}}$ = teor de rejeitos, base celulose, %;

m.s.r. = massa seca de rejeitos, g;

m.s.c. = massa seca de celulose, g.

$$R_d = R_b \cdot R_{j_{bm}} \quad (9)$$

Sendo que:

R_d = rendimento depurado, %;

R_b = rendimento bruto gravimétrico, %;

$R_{j_{bm}}$ = porcentagem de rejeito, base madeira.

$$CEM = \frac{1}{R_b \times da} \quad (10)$$

Sendo que:

CEM = consumo específico, $m^3 t^{-1}$ de celulose seca;

R_b = rendimento bruto gravimétrico, %;

da = densidade básica, $t m^{-3}$.

4.9 Análise estatística

A análise exploratória dos resultados obtidos no presente trabalho para os parâmetros dendrométricos (DAP, altura total e comercial, volume com e sem casca e massa seca comercial), composição química da madeira (teores de extrativos, lignina e holocelulose) e polpação (rendimentos gravimétricos bruto e depurado, teores de rejeitos, consumo específico de madeira, número Kappa) foi realizada através de estatística descritiva, análise de variância (ANOVA) levando em consideração as espécies de Pinus estudadas, e teste de comparação de médias Tukey no nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros dendrométricos

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos parâmetros dendrométricos DAP, altura total e comercial, volume com e sem casca, porcentagem de casca e massa seca comercial das árvores das cinco espécies estudadas. Como pode ser observado, houve diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey em todos os parâmetros avaliados.

A análise de variância dos resultados para os parâmetros dendrométricos encontra-se apresentada no Apêndice A.

Tabela 3. Valores médios para os parâmetros dendrométricos de *Pinus* spp. com 6,5 anos de idade.

Espécies	DAP	H total	H com	Vc	Ma
	--- cm ---	----- m -----		----m ³ ----	--- kg ---
<i>P. taeda</i>	14,8 b (2,28)	11,6 b (2,85)	7,0 bc (4,61)	0,0776 b (2,44)	28,3 bc (8,81)
<i>P. elliottii</i>	13,7 c (4,31)	9,3 c (8,98)	5,7 c (5,86)	0,0510 c (7,82)	19,5 c (11,40)
<i>P. tecunumanii</i>	13,8 bc (2,29)	12,7 ab (11,90)	7,8 ab (14,62)	0,0741 b (18,71)	26,8 bc (25,70)
<i>P. maximinoi</i>	13,8 bc (4,58)	14,4 a (3,99)	9,1 a (4,40)	0,0881 b (10,84)	32,8 ab (11,73)
PECH	17,7 a (1,74)	12,8 ab (5,37)	9,0 a (11,63)	0,1137 a (15,37)	38,3 a (12,29)

Médias seguidas de mesma letra na coluna não deferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade. DAP = diâmetro à altura do peito; H total = altura total; H com = altura comercial; Vc = volume comercial sem casca; Ma = massa seca comercial por árvore. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (CV = %).

Comparando os resultados obtidos, pode-se verificar que, de maneira geral, o híbrido de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) apresentou parâmetros dendrométricos superiores em relação às demais espécies. Verifica-se que o DAP foi estatisticamente superior para o PECH (17,7 cm) e influenciou diretamente o volume comercial sem casca (0,1137 m³), que também foi estatisticamente superior às demais espécies avaliadas. Por outro lado, o *Pinus elliottii* apresentou-se estatisticamente inferior às demais espécies, no nos parâmetros altura total (9,3 m) e volume comercial sem casca (0,0510 m³). Já as espécies *Pinus taeda*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi* foram estatisticamente intermediários ao PECH e o *Pinus elliottii* em relação ao volume comercial sem casca (0,0776 m³, 0,0741 m³ e 0,0881 m³, respectivamente). A superioridade do PECH em relação às espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* também foi observada por Cappa et al. (2013) na região da Mesopotâmia, na Argentina.

Em relação à massa seca comercial da árvore, verifica-se que o PECH e o *Pinus maximinoi* apresentaram os maiores valores (38,3 kg árv⁻¹ e 32,8 kg árv⁻¹, respectivamente) para este parâmetro e não diferiram estatisticamente entre si, principalmente pelo maior volume observado para esses dois materiais genéticos. Já o *Pinus elliottii* obteve o

menor valor para a massa seca comercial (19,52 kg árv⁻¹) e não diferiu estatisticamente do *Pinus taeda* e do *Pinus tecunumanii* (28,30 e 26,82 kg árv⁻¹).

O coeficiente de variação apresentado pelas espécies para o parâmetro DAP foi considerado baixo de acordo com a classificação apresentada por Pimentel-Gomes e Garcia (2002), ou seja, abaixo de 10 %. Isso demonstra que a amostragem das árvores a partir do DAP médio, conforme descrito no ítem 4.3.1, foi eficiente. Além disso, observa-se que as espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* mantiveram este comportamento para o parâmetro volume comercial sem casca, o que não ocorreu com as demais espécies, que apresentaram coeficientes de variação médios. Isso ocorre pelo fato de as duas espécies serem plantadas há mais tempo no Brasil e terem passado por melhoramento genético. Shimizu (2004) descreve que trabalhos de melhoramento genético podem minimizar problemas de variação na forma e vigor em *Pinus maximinoi*. O mesmo deve ocorrer com o *Pinus tecunumanii* e o PECH, principalmente por este último estar sendo, recentemente, implantado em escala comercial na região do presente trabalho.

A produção em volume das árvores apresenta-se como um fator primordial para otimização da exploração dos recursos existentes em uma floresta, fazendo com que povoamentos mais produtivos necessitem de menor área de efetivo plantio para obter o mesmo resultado, quando comparado a povoamentos menos produtivos. Nesse sentido, o PECH apresentou-se mais favorável e relação às demais espécies por apresentar os maiores valores para o volume comercial sem casca e massa seca comercial da árvore. Já o *Pinus elliottii* apresentou volume comercial sem casca inferior estatisticamente às demais espécies. Comparando-se o volume comercial sem casca do PECH com o *Pinus elliottii* (0,1137 e 0,0510 m³, respectivamente), verifica-se que o híbrido apresentou um volume 55,1% superior, ou seja, teoricamente para se obter um mesmo volume de madeira, o *Pinus elliottii* necessitaria do dobro de área em relação ao PECH. Portanto, considerando os parâmetros dendrométricos, o plantio de *Pinus elliotti*, deve ser muito bem planejado, pois pode haver um custo muito elevado de sua madeira.

5.2 Densidade básica da madeira

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a densidade básica média da madeira e sua variação em relação à altura comercial das árvores das cinco espécies de *Pinus* spp. Pode-se observar que apenas na posição 0 % (base) da altura comercial apresentou diferença significativa no nível de 5 %, pelo teste de Tukey, entre as espécies. Esse fato pode ser explicado, segundo vários autores, dentre os quais Melo et al., 2013; Palermo et al, 2013; Andrade, 2006; Mendes, 1993, pela baixa idade das árvores, já que vários estudos revelam o aumento da densidade básica com a idade das árvores.

A análise de variância dos resultados obtidos para a densidade básica média da madeira nas diferentes posições em relação à altura comercial das árvores encontra-se apresentada no Apêndice B.

Tabela 4. Densidade básica da madeira de cinco espécies de *Pinus* nas diferentes posições em relação à altura comercial, na altura do DAP e média das árvores.

Espécies	Posição relativa à altura comercial					Altura no DAP	Média da árvore
	0%	25%	50%	75%	100%		
	----- g cm ⁻³ -----						
<i>P. taeda</i>	0,425a (7,43)	0,373a (13,54)	0,348a (10,96)	0,345a (7,65)	0,333a (7,94)	0,393a (11,08)	0,371a (10,02)
<i>P. elliottii</i>	0,416a (7,89)	0,415a (6,35)	0,380a (9,78)	0,360a (8,09)	0,343a (10,95)	0,409a (9,16)	0,394a (7,93)
<i>P. tecunumanii</i>	0,398ab (12,46)	0,360a (18,77)	0,352a (19,85)	0,343a (11,78)	0,350a (19,09)	0,362a (17,08)	0,361a (15,01)
<i>P. maximinoi</i>	0,417a (6,03)	0,356a (6,98)	0,359a (5,32)	0,367a (10,11)	0,360a (2,26)	0,367a (5,52)	0,370a (3,87)
PECH	0,345b (1,65)	0,328a (7,05)	0,351a (16,44)	0,341a (7,22)	0,326a (4,07)	0,344a (5,09)	0,339a (7,69)

Médias seguidas de mesma letra na coluna não deferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (CV = %).

Os valores da densidade básica média das árvores observados não apresentaram diferenças significativas e variaram de 0,339 g cm⁻³ para o PECH até 0,394 g cm⁻³ para o *Pinus elliottii*. Esses resultados estão de acordo com Bassa (2007), Mendes (1993)

e Namikawa et al. (1990) que obtiveram valores de densidade básica de 0,332, 0,322 e 0,385 g cm⁻³, respectivamente, para *Pinus taeda* com idades de 7 a 8 anos. Palermo et al. (2004) estudaram diferentes métodos para determinação da densidade básica em *Pinus elliottii* e encontraram valores entre 0,376 e 0,389 g cm⁻³ aos 8 anos de idade. Melo et al. (2013), entretanto, obtiveram valores inferiores para a mesma espécie aos 9 anos na região de Itajaí-SC (0,332 g cm⁻³). Os resultados obtidos por esses autores corroboram os resultados obtidos no presente trabalho.

Os resultados obtidos nesse trabalho para o *Pinus tecunumanii* apresenta-se abaixo dos valores obtidos por Moura et al. (1998), porém estes autores trabalharam com árvores aos 12 anos de idade (0,420 g cm⁻³). Já Lima et al. (1990) estudaram a densidade básica de famílias de *Pinus tecunumanii* implantadas em diferentes locais aos 5 anos de idade, também observaram um valor superior de 0,395 g cm⁻³ na região de Pontal-ES.

Almeida et al. (2014) em um estudo sobre o potencial da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) para a produção de lâminas na mesma região do presente trabalho, com 7 anos de idade, verificaram que a densidade básica foi similar à observada nesse estudo (0,320 g cm⁻³). Os mesmos autores relatam que a baixa densidade pode estar relacionada à sua alta produtividade. Rezende et al. (2008) verificaram tendência de diminuição da densidade em função da produtividade de um híbrido de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*. Os autores verificaram que para um ganho de 23% na produtividade houve uma perda de 10 % na densidade. A mesma tendência pode ser observada neste trabalho, onde o PECH foi o mais produtivo em termos de volume, conforme apresentado no item 5.1, apresentando a menor densidade básica, da mesma forma, o *Pinus elliottii* apresentou o menor volume e a maior densidade dentre as espécies.

Apesar de não haver diferença significativa entre as espécies nesta idade, deve-se dar preferência àquelas de maior densidade. Gomide et al. (2010) relatam que madeiras mais densas proporcionam um menor consumo específico (m³ t⁻¹ de celulose) favorecendo maior produção de celulose no digestor. Por outro lado Silva (2011) descreve que maiores densidades podem dificultar o processo de picagem, impregnação e penetração do licor de cozimento nos cavcos, refletindo diretamente no grau de deslignificação e rendimento depurado. Como nesse trabalho todas as espécies apresentaram valores menores que 0,400 g

cm^{-3} , portanto consideradas leves, espera-se que as madeiras avaliadas não apresentem problemas em relação à impregnação de licor nos cavacos e formação de maiores quantidades de rejeitos. Dessa forma, o *Pinus elliotii* pode representar maiores ganhos em rendimento volumétrico, ou seja, um menor consumo específico devido a sua maior densidade básica.

Com relação à variação longitudinal da densidade básica, pode-se verificar que todas as espécies obtiveram os maiores valores na posição 0% (base), exceto o PECH que diferiu estatisticamente das demais nessa posição, sendo que o maior valor foi observado na posição 50% da altura comercial. Além disso, a espécie apresentou um comportamento mais homogêneo, porém baixo em relação às demais espécies. Segundo Vale et al. (1995), nos processos tecnológicos, é altamente desejável se ter madeira com densidade mais homogênea possível, pois esse fato dá ao processo melhor rendimento e melhor qualidade ao produto final.

De maneira geral, houve um decréscimo da densidade básica no sentido longitudinal para o *Pinus taeda*, *Pinus elliotii* e *Pinus tecunumanii*, com exceção na posição 100 % para esta última. Já para o *Pinus maximinoi* observou-se um decréscimo da base até 25%, com posterior acréscimo até 75 %, reduzindo novamente na posição 100 % da altura comercial da árvore.

Na Figura 6 pode ser observado o comportamento da densidade básica das cinco espécies de *Pinus* ao longo da posição em relação à altura comercial das árvores.

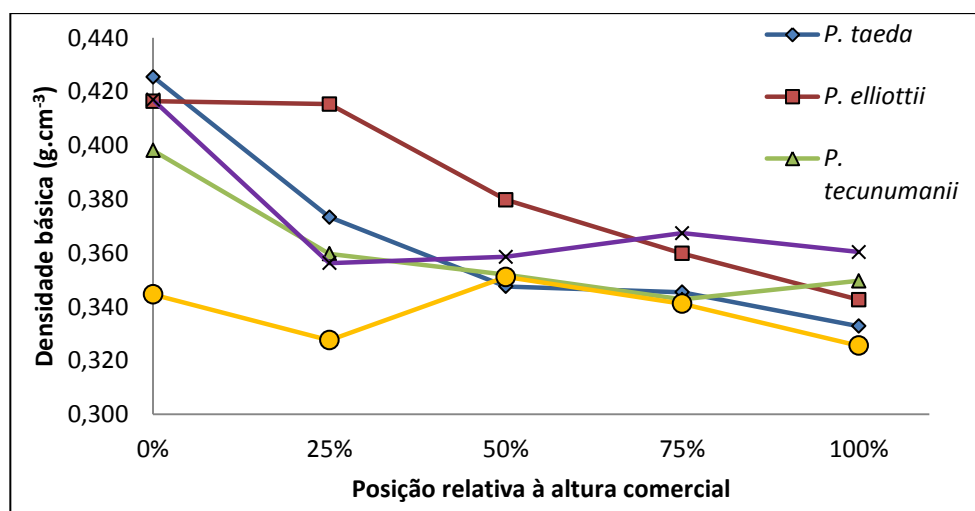


Figura 6. Variação da densidade básica em relação à altura comercial das cinco espécies de *Pinus* spp.

A densidade básica comumente possui um comportamento de decréscimo no sentido longitudinal que, de acordo com Siqueira (2004) deve-se provavelmente a fatores como a presença de lenho de compressão, maior quantidade de lenho adulto na base das árvores e menor nas alturas superiores. A mesma autora observou uma redução de 62,9% da participação do lenho tardio da base para o topo em *Pinus taeda*. Klock (2000) verificou redução semelhante para a mesma espécie (61%) e menor para *Pinus maximinoi* (37%), ambas aos 11 anos de idade.

5.3 Análise da composição química da madeira de *Pinus* spp.

A Tabela 5 apresenta os valores médios para a composição química da madeira das árvores das cinco espécies de *Pinus* estudadas. A análise de variância dos resultados obtidos para a composição química média das árvores das cinco espécies estudadas encontra-se apresentada no Apêndice C. Como se pode observar, houve diferença significativa ao nível de 5% para os componentes lignina e extrativos, pelo teste de Tukey.

Tabela 5. Valores médios da composição química da madeira de *Pinus* spp.

Espécies	Holocelulose	Lignina	Extrativos
<i>P. taeda</i>	76,09 a (0,46)	27,60 ab (2,82)	2,32 c (25,40)
<i>P. elliottii</i>	72,56 a (2,12)	26,71 b (3,37)	6,81 a (21,93)
<i>P. tecunumanii</i>	74,32 a (1,95)	26,54 b (4,87)	3,53 bc (15,73)
<i>P. maximinoi</i>	75,52 a (2,16)	27,49 ab (2,31)	2,96 bc (38,39)
PECH	70,03 a (7,74)	30,25 a (8,89)	4,71 ab (12,75)

Médias seguidas de mesma letra na coluna não deferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (CV = %).

O componente holocelulose é constituído por hemiceluloses mais celulose, sendo que a maior quantidade deste componente na madeira é desejável para o

processo de polpação Kraft, pois proporcionam maior rendimento. Desse modo, verifica-se que apesar de não haver diferença estatística entre as espécies, o PECH apresentou tendência de possuir o menor teor para este componente. Vivian et al. (2015) observaram valores de holocelulose abaixo dos obtidos neste trabalho para *Pinus taeda* (70,46 %) aos 21 anos de idade. Andrade (2006) observou valores de holocelulose de 70,70 %, para *Pinus taeda* de produtividade média aos 8 anos de idade.

A lignina é um componente indesejável no processo de polpação Kraft, sendo inclusive o objetivo deste processo, remover este componente da madeira, pois além de interferir na qualidade da polpa, quanto maior o teor de lignina na mesma, mais reagentes são consumidos no processo de branqueamento. Observa-se que nesse trabalho, o híbrido PECH diferiu estatisticamente do *Pinus elliottii* e do *Pinus tecunumanii* apresentando tendência de possuir o maior valor para este componente (30,25, 26,71 e 26,54 %). Os resultados obtidos para as espécies são semelhantes ao apresentado por Foelkel (1976b) que encontrou teor de lignina de 28,8, 29,8 e 30,8% para o *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Também se assemelham com Barbosa et al. (2014) que avaliaram a qualidade dos resíduo de serraria da espécie *Pinus elliottii* na forma de cavacos, verificaram teores de 26,75% para lignina.

Os extrativos, que também são denominados de componentes acidentais da madeira, são indesejáveis no processo de polpação, assim como a lignina, pois consomem reagentes, principalmente no início do cozimento e também interferem na qualidade da polpa celulósica. Observa-se que o *Pinus elliottii* apresentou o maior valor para extrativos (6,81 %) seguido pelo PECH (4,71 %) e não diferiram estatisticamente entre si. Esse comportamento já era esperado para essas espécies, pois as mesmas se destacam por serem utilizadas para extração comercial de resina. Já o *Pinus taeda* apresentou o menor valor para este componente (2,32 %). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Vivian et al. (2015) e Andrade (2006) que observaram valores similares ao do presente trabalho para teores de extrativos em *Pinus taeda* de 2,83 e 2,15 %, respectivamente aos 21 e 8 anos de idade.

Comparando os componentes químicos da madeira, pode-se verificar que, de maneira geral, dentre as espécies avaliadas nesse estudo, o PECH destacou-se

negativamente por apresentar tendência de menor teor de holocelulose e elevados teores de lignina e extrativos, ou seja, apresentando composição química desfavorável para a polpação Kraft. O *Pinus taeda* destacou-se por apresentar o menor valor para extrativos (2,32 %) e diferiu estatisticamente do *Pinus elliottii* e do PECH (6,81 e 4,71 %, respectivamente).

5.4 Polpação Kraft

A Tabela 6 apresenta os valores médios obtidos na polpação kraft da madeira das cinco espécies de *Pinus*. A análise de variância dos resultados obtidos na polpação Kraft da madeira das árvores de cinco espécies de *Pinus* spp. estudadas encontra-se apresentada no Apêndice D. Como pode se observar, houve diferença significativa ao nível de 5% entre os valores para o rendimento bruto e consumo específico de madeira, em função da espécie, pelo teste de Tukey.

Tabela 6. Valores médios obtidos na polpação Kraft de *Pinus* spp.

Espécies	Rb	Rj _{bm}	Rj _{bc}	Rd	CEM	Kappa
	----- % -----				-- m ³ .t ⁻¹ --	
<i>P. taeda</i>	51,49 a (5,58)	8,80 a (50,14)	16,85 a (47,31)	42,69 a (6,19)	6,38 ab (12,98)	44,90 a (11,57)
<i>P. elliottii</i>	50,43 a (5,88)	7,45 a (35,70)	14,70 a (31,72)	42,98 a (6,14)	5,95 b (7,55)	43,33 a (10,55)
<i>P. tecunumanii</i>	49,05 a (5,30)	10,03 a (35,52)	20,34 a (33,17)	39,02 a (7,92)	7,25 ab (17,37)	47,21 a (8,50)
<i>P. maximinoi</i>	51,18 a (3,02)	9,45 a (25,11)	18,45 a (24,62)	41,74 a (6,13)	6,49 ab (5,64)	44,62 a (9,63)
PECH	42,74 b (3,73)	5,92 a (63,24)	13,86 a (63,11)	36,83 a (11,11)	8,12 a (13,83)	46,66 a (6,78)

Médias seguidas de mesma letra na coluna não deferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade. Sendo: Rb = rendimento bruto; Rj_{bm} = porcentagem de rejeito base madeira; Rj_{bc} = porcentagem de rejeito base celulose; Rd = rendimento depurado; e CEM = consumo específico de madeira. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (CV = %).

Observa-se que o PECH foi estatisticamente inferior as demais espécies para o rendimento bruto (42,74 %), tendo rendimento de 17, 16, 15 e 13 % menor que o *Pinus taeda*, *Pinus maximinoi*, *Pinus elliottii* e *Pinus tecunumanii*, respectivamente.

Os resultados obtidos nesse trabalho para o rendimento bruto estão pouco acima dos observados por Foelkel (1976b) que verificou rendimentos bruto de 49,9 % (Kappa 41,4) e 49,4 % (Kappa 40,2) para polpa celulósica não branqueável de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* aos 8 e 11 anos respectivamente. Já Vivian et al. (2015) utilizando condições de cozimentos similares, verificou resultado acima quando comparado ao presente estudo, obtendo 54,3 % (Kappa 58,6) para o rendimento bruto, porém, para *Pinus taeda* aos 21 anos de idade. Andrade (2006) observou tendência de aumento no rendimento bruto e depurado com a idade das árvores e obteve valores de 53,02, 54,54 e 56,36 % (Kappa variou de 87 a 93) para o rendimento bruto nas idades de 8, 14 e 20 anos, respectivamente. Os valores obtidos pelo autor também se encontram acima dos valores observados no presente trabalho.

Considerando que o ganho de 1% no rendimento depurado seja significativo, em termos econômicos para a indústria de celulose, o *Pinus elliottii* e o *Pinus taeda* destacam-se por apresentarem os maiores valores para este parâmetro (42,98 e 42,69 %, respectivamente) mesmo não diferindo estatisticamente das demais espécies. Sendo assim, o *Pinus elliotti* foi 1, 3, 9 e 14 % superior ao *Pinus taeda*, *Pinus maximinoi*, *Pinus tecunumanii* e PECH, respectivamente. Esperava-se que as espécies de *Pinus taeda* e *Pinus maximinoi* apresentassem os maiores rendimentos, pelo fato de possuírem as melhores propriedades químicas da madeira para a polpação.

O PECH apresentou uma tendência a ter menor valor para o rendimento depurado (36,83 %), porém não diferiu das demais, por apresentar o menor teor de rejeitos base madeira (5,92 %) dentre as espécies. Este comportamento do PECH pode ser atribuído à sua composição química que apresentou as piores propriedades, como altos teores de lignina e extrativos, conforme apresentado e discutido no item 5.3.

O *Pinus elliotti* apresentou a maior densidade básica entre as espécies e rendimento depurado pouco superior ao *Pinus taeda*, no entanto, esse comportamento se contrapõem aos resultados obtidos por White et al. (2009) e McDonough (2011) que relataram baixa correlação entre a densidade básica da madeira e o rendimento em celulose, sendo que o último autor descreve que a densidade básica não deve ser utilizada na predição do rendimento e sim o conteúdo de xilanas e ligninas presentes na madeira.

Os teores de rejeitos base madeira obtidos nesse estudo foi considerado elevado e variaram de 5,92 a 10,03 %. Resultado semelhante foi encontrado por Wright et al. (1996), que obtiveram teor de rejeitos em torno de 9 % para as espécies de *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi* em condições semelhantes a este trabalho em relação ao álcali ativo.

O elevado teor de rejeitos base madeira obtidos no presente estudo pode ser explicado pela carga de álcali ativo utilizada (16 %). Vivian et al. (2015) verificou que o teor rejeitos diminuiu de 2,2 para 0,1 % quando a carga de álcali subiu de 16 para 18 %. Foelkel (1976b) obteve valores de 0,7 e 0,6 % para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* respectivamente, utilizando 19% de álcali ativo. Segundo o IPT (1988) a quantidade de álcali ativo necessária para atingir o ponto ideal de desfibramento é de 18 % para coníferas, portanto, maior que o utilizado no presente trabalho (16 %).

Segundo Pupo (2015), os teores de extrativos e lignina consomem grande parte do licor branco nos primeiros minutos de cozimento e quando a polpação atinge a temperatura máxima, a deslignificação pode ser prejudicada pela falta de licor, resultando em baixo rendimento e alto teor de rejeitos.

Outro fator que pode ter contribuído para o elevado teor de rejeitos, pode ter sido o elevado teor de extrativos do *Pinus elliottii* e PECH, considerando que todas as cápsulas foram inseridas em um mesmo digestor, os extrativos podem ter consumido o álcali na etapa inicial do cozimento, conforme descrito anteriormente por Pupo (2015), gerando esse resultado. Assim, acredita-se que menores teores de rejeitos devem ser obtidos, para uma mesma carga de álcali, se as espécies forem processadas separadamente, e, como consequência, melhorar o rendimento depurado para as espécies com baixo teor de extrativos.

O elevado teor de rejeitos obtidos na polpação deve ser evitado, pois, pode ocasionar uma sobrecarga no sistema de depuração ocasionando paradas no processo, significando perdas de produção, desgaste acelerado de equipamentos e até mesmo a necessidade de redução do ritmo de produção (SILVA JUNIOR, 1997). Duarte (2007) recomenda que a utilização de matérias-primas que apresentam tendência de geração de alto teor de rejeitos devem ser criteriosamente dimensionadas, privilegiando a etapa de impregnação dos cavacos, visando reduzir o teor de rejeitos.

Um outro importante parâmetro é o consumo específico de madeira (CEM) pois, indica a quantidade de volume de madeira necessária para produzir uma tonelada de polpa celulósica. O CEM está diretamente relacionado com a densidade e o rendimento obtido no processo de polpação, portanto, quanto maior for o rendimento e a densidade básica da madeira, menor será o CEM.

O *Pinus elliottii* apresentou o menor valor para o CEM ($5,95 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ de polpa produzida) e diferiu estatisticamente do PECH ($8,12 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ de polpa produzida). A primeira espécie apresentou rendimento bruto intermediário, porém a maior densidade básica entre as espécies. Já o PECH, obteve o menor rendimento bruto e a menor densidade básica, o que explica esse resultado.

Bittencourt (2004) estudando a otimização no processo de fabricação de celulose e papel, obteve um consumo específico de $6,11 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para *Pinus taeda* aos 11 anos de idade, portanto, menor que os valores obtidos nesse estudo. Bassa et al. (2007) obtiveram consumo específico pouco superior, de $7,00 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para a mesma espécie aos 9 anos de idade, provavelmente pela menor densidade ($0,332 \text{ g cm}^{-3}$) e menor rendimento bruto (43 %).

O número Kappa é uma informação importante para as indústrias, pois indica o grau de deslignificação da madeira utilizada no processo, onde o menor número indica melhor eficiência na dissociação da lignina nas fibras. Desse modo, a polpa celulósica de *Pinus elliottii* apresentou maior eficiência no processo de deslignificação (Kappa 43,33) e a polpa do *Pinus tecunumanii* a menor eficiência (Kappa 47,21). Resultado semelhante foi obtido por Bittencourt (2004) para madeira de *Pinus taeda* (Kappa 43,5) em condições de polpação semelhantes às desse estudo, porém aos 10 anos de idade. Já Foelkel (1976b) obteve Kappa, pouco abaixo para madeiras de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (Kappa 41,40 e 40,20) aos 8 e 11 anos, respectivamente, provavelmente devido à maior carga de álcali ativo (19 %).

6 CONCLUSÕES

De acordo com as avaliações feitas no presente estudo, pode-se concluir que:

1) O híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) apresentou superioridade para as os parâmetros dendrométricos DAP e volume com casca, diferindo-se estatisticamente em relação as demais espécies. As espécies de *Pinus* tropicais não apresentaram diferença estatística significativa entre si em nenhum dos parâmetros avaliados e, juntamente ao *Pinus taeda*, apresentaram-se intermediárias em relação ao PECH e o *Pinus elliottii*, que foi estatisticamente inferior a todas as espécies para a altura total e volume comercial sem casca.

2) O PECH apresentou propriedades químicas consideradas desfavoráveis, ou seja, maiores teores de lignina e extrativos, o que influenciou o rendimento bruto obtido na polpação kraft.

3) Considerando o uso da madeira de primeiro desbaste para produção de celulose, pode-se dizer que das espécies utilizadas nesse estudo, apenas a madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi desfavorável por apresentar o menor rendimento bruto e maior consumo específico de madeira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, N. F. et al. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta e Ambiente**, V. 21, n. 2, p. 261-268, abr/jun 2014.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influencia da idade e classe de produtividade**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS-ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: 2013. 148p. Disponível em <<http://www.abraflor.org.br>> Acesso em 05 de Maio de 2014.

BALLARIM, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Ávore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BARBOSA, et al. Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p.491-500, abr-jun, 2014.

BARRICHELO, L. E. G. et al. Estudos de procedência de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**, n.15, p.1-14, 1977.

BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *honderensis* para a produção de celulose kraft**. 1979. 167p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids®. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p.19-29, set.2007.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 126p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização do processo de fabricação de celulose e papel**. 2004. 73p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2004.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório estatístico 2011/2012**. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br>> Acesso em 05 de Dezembro de 2012.

CAPPA, E. P. et al. Performance of *Pinus elliotii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia region, Argentina. **New Forests**. Vol. 44, Issue 2, pp 197-218, march 2013.

CARDOSO, et al. Efeito do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. no desempenho da polpação Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 133-147, 2011.

CARNEIRO, R. L. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Pinus taeda* em Itatinga**, São Paulo. 2013. 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI. A classificação climática de Koeppen para o Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>> Acesso em: 15 jan. 2014.

DIETERS, M.; BRAUNER J. Productivity of *Pinus elliotii*, *P. caribaea*, and their F1 and F2 hybrids to 15 yers in Queensland, Australia. **Ann. For. Sci.** Vol. 64, p. 691-698, 2007.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

DVORAK, W.S.; DONAHUE, J.K. **CAMCORE Cooperative Research Review (1980-1992)**. Department of Forestry, College of Forest Resources, North Carolina State University. Raleigh, NC. CAMCORE COOPERATIVE, 1992.

DVORAK, W. S.; HODGE, G. R.; GUTIERREZ, E. A.; OSORIO, L. F.; MALAN, F. S.; STANGER, T. K. *Pinus tecunumanii*. In: CAMCORE COOPERATIVE. **Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative**. Botha Hill, South Africa: Grow Graphics, 2000a. p. 188-210.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C. E. B. et al. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **IPEF**, n.12, p. 127-142, jun. 1976a.

FOELKEL, C. E. B. et al. Celulose Kraft de *Pinus* spp. **O Papel**, ABCP, São Paulo, p. 49-67, 1976b.

FOELKEL, C. E. B. *Pinus elliottii*: fibra longa para produção de celulose Kraft. **ABTCP**, 1977. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br>> Acesso em: 26 jun. 2014.

FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice da qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O papel**, v.53, n.5, p. 35-40, maio 1992.

FOELKEL, C; FOELKEL, E. Pinus Letter: Espécies de pinus úteis ao Brasil – *Pinus taeda*, mar. 2008. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/pinusletter.html>> Acesso em: 27 dez. 2013.

FRITZSONS, E. et al. Zoneamento climático de *Pinus tecunumanii* para fins de plantio experimental no estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 341-354, out./dez. 2012.

FRITZSONS, E. et al. Zoneamento climático para plantio experimental de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 79-92, jan/mar. 2012.

GOMES, F. A. **Avaliação dos processos Kraft convencional e Lo-Solids® para madeira de *Pinus taeda***. 2009. 99p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, p.339-344, 2010.

HASEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2003.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda*. **IPEF**, n. 7, p. 79-91, 1973.

HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Growth potential and genetic parameters of four Mesoamerican pines planted in the Southern Hemisphere. **Southern Forests**, vol. 74(1), p. 27-49, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório IBÁ 2015**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em 23 set. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Celulose e papel**. 2. ed. São Paulo: 1988. v. 1. 113 p.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Morre**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 324p. 2000.

LIMA, R. T.; JETT, J. B.; DVORAK, W. S. Family stability of wood specific gravity in *Pinus tecunumanii* established on three sites in South America. **New Forests**. Vol. 3, p. 311-316, 1990.

LOPEZ-UPTON, J. et al. Provenance variation in growth characters of four subtropical pine species planted in Mexico. **New Forests**. Vol. 29, p. 1-13, 2005.

MCDONOUGH, T. J. et al. Effects of loblolly pine tree age and wood properties on lineboard-grade pulp yield and sheet properties: Part 1 – Effects on pulp yield. **Tappi Journal**, p. 45 – 53, September, 2011.

MELO, R. R. et al. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. Com diferentes idades. **Ciência da madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas/RS, v. 04, n.01, mai. 2013.

MENDES, C. J. Influência da idade em *Pinus taeda* sobre a qualidade da madeira para a produção de celulose. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.9, n.37, p. 81-90, ago. 1993.

MOCELIN, E. Z. **Antraquinona e surfactante para otimização do processo Kraft com *Pinus* spp**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MOKFIENSKI, A. et al. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2003. p. 15-38.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S.; NOGUEIRA, M. V. P. Variação da densidade básica da madeira, volume e matéria seca do tronco de *Pinus tecunumanii*, procedência de Mout Pine Ridge, Belize, em Planaltina, Distrito Federal, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 7-14, jun. 1998.

MOURA, V. P. G.; VALE, A. T. Variabilidade genética na densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* procedente do México e América Central, no Cerrado. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n.62, p. 104-113, 2002.

NAMIKAWA, I. S.; BAHR, B. R.; BARRICHELO, L. E. G. Variação da densidade básica de *Pinus taeda* L. **O Papel**, p. 45-50, fev. 1990.

NAMIKAWA FIER, I. S. **Variação genética e métodos de melhoramento para *Pinus maximinoi* H. E. Moore em Telêmaco Borba (PR)**. Curitiba, 2001. 46p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2001.

NIKLES, D. G. Experience with some *Pinus* hybrids in Queensland, Australia. In: **Symposium on Hybrid Breeding and Genetics**, 2000, Noosa. Proceedings...Noosa: Queensland Forestry Research Institute. 2000. p. 27-43.

OLIVEIRA et al. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Campinas: **IAC/Embrapa**, 1999.

PALERMO, G. P. M. et al. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, V.11, n. 1, p. 01-06, ago/dez 2004.

PALERMO, G. P. M. et al. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, N. Y., 1980. 722p.

PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 61-81, jul./dez. 2004.

PETRUCCI, E. **Madeiras**. Grêmio Politécnico, São Paulo: 1980.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PINUS BRASIL. Pinus Brasil Agro Florestal LTDA. Disponível em: <www.pinusbrasil.com.br> Acesso em 15 jan. 2014.

PUPO, C. H. **Estudo comparativo das madeiras de *Cecropia palmata* (Imbaúba) e *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose e papel**. 2015. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.

REZENDE, M. A. et al. Densidade e produtividade da madeira de híbrido e seminal de *Pinus caribaea*. **Floresta e Ambiente**, v. 15, n. 2, p. 08-17, 2008.

RIGATTO, P. A.; Dedecek, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n.2, p.267-273, 2004.

ROCKWOOD, D. L.; HUBER, D. A.; WHITE, T. L. Provenance and family variability in slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.) grown in southern Brazil and northeastern Argentina. **New Forests**. Vol 21, Issue 2, pp 115-125, march 2001.

RODRIGUES, K. C. S. A resina de Pinus no sul do Brasil: caracterização e perspectivas. **Revista da madeira**. Curitiba, n.116, set, 2008.

SCHULTZ, R. P. Loblolly pine: the ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda*). Washington: **USDA**, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1997. 250p.

SHEPHERD, M. et al. Genetic maps for *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* using AFLP and microsatellite markers. **Theoretical and Applied Genetics**. Vol. 106, Issue 8, pp 1409-1419, may 2003.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista Madeira**, Curitiba, n.83, ano14, 2004. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>> Acesso em: 26 dez. 2013.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Característica da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.9, n.27, p.63-80, ago 1993.

SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. 2011, 95p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA JUNIOR, F. G. **Polpação kraft do eucalipto com adição de antraquinona, polissulfetos e surfactantes**. 1997. 185p. Doutorado (Tese) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 1997.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. Curitiba, 2004. 43p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2004.

SOUSA, R. C. et al. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 19, n 2, p. 119-127, dez. 2007.

TORRES, L. F.; MELO, R.; COLODETTE, J. L. Bleached Kraft pulp production from *Pinus tecunumanii* (Eguiluz e Perry). **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p.489-494, 2005.

TRIANOSKI, R. et al. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 503-510, jul/set 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA,. Natural Resources Conservation Service. Disponível em: <<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PITA>> Acesso em: 27 dez. 2013.

VALE, A. T. et al. Densidade básica média em função da produtividade de penetração do pino de “Pilodyn” e da classe diamétrica e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 80-91, jan/mar. 1995.

VASCONCELOS, F. S. R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação para *Acacia***. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BONACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 3, p. 371-379, 2011.

VIVIAN, M. A. et al. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para produção de polpa celulósica Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p.183-191, mar. 2015.

WHITE, D. E. et al. Effects of specific gravity and wood chemical content on the pulp yield of loblolly pine. **Tappi Journal**, pulping, p. 31-36, abril, 2009.

WRIGHT, J. A.; JAMEEL, H.; DVORAK, W. Laboratory kraft pulping of juvenile tropical pine: *Pinus patula*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* and *P. chiapiensis*. **Tappi Journal**, vol.79, n.4, abril 1996.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755-760, out-dez., 2013.

ZOBEL, B. J. Inheritance of wood properties in conifers. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 10, p. 65-70, 1961.

APÊNDICE

APÊNDICE A : Tabela de Análise de Variância para os diferentes parâmetros dendrométricos avaliados.

Diâmetro à altura do peito - DAP)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	45.535000	11.383750	43.325	0.0000
Repetição	3	0.072000	0.024000	0.091	0.9635
erro	12	3.153000	0.262750		
Total corrigido	19	48.760000			
CV (%) =	3.46				
Média geral:	14.8000000	Número de observações:	20		
DMS: 1,15568796816973	NMS: 0,05				

Altura total)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	57.335570	14.333893	15.730	0.0001
Repetição	3	0.767855	0.255952	0.281	0.8382
erro	12	10.935270	0.911273		
Total corrigido	19	69.038695			
CV (%) =	7.85				
Média geral:	12.1655000	Número de observações:	20		
DMS: 2,15225319789977	NMS: 0,05				

Altura comercial – H com)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	31.587730	7.896932	13.670	0.0002
Repetição	3	1.330580	0.443527	0.768	0.5338
erro	12	6.932270	0.577689		
Total corrigido	19	39.850580			
CV (%) =	9.87				
Média geral:	7.7010000	Número de observações:	20		
DMS: 1,71362717712195	NMS: 0,05				

Volume comercia sem casca – Vc)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	0.008293	0.002073	21.434	0.0000
Repetição	3	0.000708	0.000236	2.441	0.1147
erro	12	0.001161	0.000097		
Total corrigido	19	0.010163			
CV (%) =	12.15				
Média geral:	0.0809350	Número de observações:	20		
DMS: 0,0221744192964169	NMS: 0,05				

Massa seca comercial – Ma)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	778.249730	194.562433	11.828	0.0004
Repetição	3	89.526655	29.842218	1.814	0.1982
erro	12	197.398670	16.449889		
Total corrigido	19	1065.175055			
CV (%) =	13.92				
Média geral:	29.1285000	Número de observações:	20		
DMS: 9,14430530502045	NMS: 0,05				

APÊNDICE B: Tabela de análise de variância para a densidade básica da madeira.

Densidade básica média ponderada da árvore – da)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	0.006175	0.001544	1.677	0.2195
Repetição	3	0.006919	0.002306	2.505	0.1087
erro	12	0.011047	0.000921		
Total corrigido	19	0.024141			
CV (%) =	8.28				
Média geral:	0.3666500	Número de observações:	20		
DMS: 0,068407656834596	NMS: 0,05				

APÊNDICE C: Tabela de análise de variância para a composição química da madeira.

Holocelulose)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	96.527050	24.131762	2.882	0.0694
Repetição	3	9.427940	3.142647	0.375	0.7724
erro	12	100.480710	8.373392		
Total corrigido	19	206.435700			
CV (%) =	3.93				
Média geral:	73.7050000	Número de observações:	20		
DMS: 6,52409015861199	NMS: 0,05				

Lignina)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	35.401370	8.850342	3.795	0.0322
Repetição	3	4.169320	1.389773	0.596	0.6296
erro	12	27.983830	2.331986		
Total corrigido	19	67.554520			
CV (%) =	5.51				
Média geral:	27.7180000	Número de observações:	20		
DMS: 3,44296163530094	NMS: 0,05				

Extrativos)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	50.127480	12.531870	12.508	0.0003
Repetição	3	1.590935	0.530312	0.529	0.6706
erro	12	12.022640	1.001887		
Total corrigido	19	63.741055			
CV (%) =	24.61				
Média geral:	4.0665000	Número de observações:	20		
DMS: 2,25672441779685	NMS: 0,05				

APÊNDICE D: Tabela de análise de variância para a polpação Kraft.**Rendimento Bruto – Rb)**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	208.723580	52.180895	11.422	0.0005
Repetição	3	31.401300	10.467100	2.291	0.1302
erro	12	54.821100	4.568425		
Total corrigido	19	294.945980			
CV (%) =	4.36				
Média geral:	48.9790000	Número de observações:	20		
DMS: 4,81895065522194	NMS: 0,05				

Rendimento depurado – Rd)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	112.204020	28.051005	2.501	0.0981
Repetição	3	5.731255	1.910418	0.170	0.9144
erro	12	134.603020	11.216918		
Total corrigido	19	252.538295			
CV (%) =	8.24				
Média geral:	40.6495000	Número de observações:	20		
DMS: 7,55102674483827	NMS: 0,05				

Teor de rejeitos base madeira – Rj_{bm})

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	43.792820	10.948205	0.957	0.4657
Repetição	3	39.146815	13.048938	1.140	0.3723
erro	12	137.341460	11.445122		
Total corrigido	19	220.281095			
CV (%) =	40.62				
Média geral:	8.3295000	Número de observações:	20		
DMS: 7,62745117682953	NMS: 0,05				

Teor de rejeitos base celulose – Rj_{bc})

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	113.224270	28.306068	0.605	0.6663
Repetição	3	122.702560	40.900853	0.875	0.4813
erro	12	561.155890	46.762991		
Total corrigido	19	797.082720			
CV (%) =	40.61				
Média geral:	16.8380000	Número de observações:	20		
DMS: 15,4177276376044	NMS: 0,05				

Consumo específico de madeira – CEM)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	11.730870	2.932717	4.389	0.0204
Repetição	3	3.578520	1.192840	1.785	0.2035
erro	12	8.018330	0.668194		
Total corrigido	19	23.327720			
CV (%) =	11.95				
Média geral:	6.8380000	Número de observações:		20	
DMS: 1,84297977595246	NMS: 0,05				

Kappa)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécie	4	97.218730	24.304682	1.347	0.3090
Repetição	3	125.615695	41.871898	2.320	0.1271
erro	12	216.574430	18.047869		
Total corrigido	19	439.408855			
CV (%) =	9.27				
Média geral:	45.8415000	Número de observações:		20	
DMS: 9,57816240430455	NMS: 0,05				