

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS ROSA SCHWEITZER

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE PROGÊNIES DE *Pinus taeda* E
USO DE RANQUEAMENTO PARA PREDIÇÃO DE USOS MÚLTIPLOS

CURITIBA

2020

VINICIUS ROSA SCHWEITZER

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE PROGÊNIES DE *Pinus taeda* E
USO DE RANQUEAMENTO PARA PREDIÇÃO DE USOS MÚLTIPLOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção de título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Coorientador: Prof. Dr. José Guilherme Prata
Coorientadora: Profa. Dra. Martha Andrea Brand

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Schweitzer, Vinícius Rosa

Avaliação da qualidade da madeira de progênies de *Pinus taeda* e uso de ranqueamento para predição de usos múltiplos / Vinícius Rosa Schweitzer. - Curitiba, 2020. 200 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Coorientadores: Prof. Dr. José Guilherme Prata

Profa. Dra. Martha Andrea Brand

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 09/10/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Qualidade. 2. Madeira - Química. 3. Pinus taeda. 4. Teses. I. Matos, Jorge Luis Monteiro de. II. Prata, José Guilherme. III. Brand, Martha Andrea. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.851



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **VINÍCIUS ROSA SCHWEITZER** intitulada: "**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE PROGÊNIES DE Pinus taeda E USO DE RANQUEAMENTO PARA PREDIÇÃO DE USOS MÚLTIPLOS**", sob orientação do Prof. Dr. JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 09 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica
13/10/2020 12:46:53.0
JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
13/10/2020 13:11:23.0
ROSILANI TRIANOSKI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
14/10/2020 10:27:52.0
DIMAS AGOSTINHO DA SILVA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
14/10/2020 15:13:48.0
MARCOS AURÉLIO MATHIAS DE SOUZA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
13/10/2020 14:48:24.0
ELAINE CRISTINA LENGOWSKI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO)

DEDICATÓRIA

À meus pais, família e namorada que foram fundamentais para a realização deste trabalho!

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial por ter sempre me guiado nesta trajetória tão realizadora e difícil.

À minha família, meus pais Libório Schweitzer Filho e Santusa Rosa Schweitzer, minha irmã Maria Helena Rosa Schweitzer, meu cunhado Pedro Viera pelo apoio incondicional a minha pessoa, para que eu pudesse realizar este meu sonho e meus sobrinhos Madalena e Samuel, que nasceram nesta minha vida de pós graduando e do jeito deles dão um sentido e uma energia inexplicáveis.

À minha namorada Méri Branco de Arruda, que desde o processo seletivo do mestrado em 2014, esteve ao meu lado, me ouvindo, dividindo as angustias as realizações e alegrias, seu apoio foi fundamental para esta conquista.

À minha filha/enteada Bianca Sezerino, que foi tão importante durante todo este período, da nossa maneira, dividimos, conversamos e nós fizemos importante um para o outro.

Aos meus padrinhos Bernardo e Terezinha, por terem se tornado meus pais adotivos neste período, me recebendo tão bem em sua casa nestes seis anos de pós graduação.

Agradeço ao professor Jorge Luis Monteiro de Matos, pela oportunidade de tê-lo como orientador desde o Mestrado até este momento. Agradeço pela confiança, pela amizade e conselhos. O senhor foi um exemplo para mim, dentro e fora da Universidade.

Ao professor José Guilherme Prata pela colaboração, atenção, paciência e ensinamentos que me repassaste não somente como doutorando, mas como pessoa, ter a oportunidade de ter desenvolvido os trabalhos junto ao senhor foi de grande valia para meu desenvolvimento profissional.

A professora Martha Andréia Brand, que além das colaborações dadas a elaboração deste trabalho, foi igualmente paciente e atenciosa comigo. Serei eternamente grato a sua pessoa por ter confiado em meu trabalho e em minhas capacidades, desde quando fui seu monitor, aos trabalhos que pude colaborar contigo. Sem dúvida alguma tu foi e sempre será um exemplo para mim, de postura profissional, orientadora, professora e pesquisadora, que enxerga que além de um aluno, existe uma pessoa ali buscando seu tão sonhado título.

Aos três por terem sempre se importado e respeitado a minha pessoa, e conseqüentemente minha família durante todo este período. Enfim, indo muito além do que o dever impõe.

A empresa Ribas Gestão de Agronegócios e Florestas LTDA, que através de seu gestor Ulisses Ribas Jr, forneceram o material utilizado para a elaboração deste trabalho, obrigado pela confiança.

Aos meus amigos de pós-graduação, que dividimos muito mais que cafés durante este período, em vocês encontrei apoio nos momentos difíceis, sem dúvida vocês contribuíram grandemente com meu desenvolvimento e crescimento dentro e fora da pós-graduação.

Aos técnicos de laboratório, Mariuci Torres dos Santos, Eliane Lopes da Silva e Mauro Greco Tavora pela ajuda e colaboração na realização dos ensaios e atenção dada durante toda a pesquisa.

A Universidade do Estado de Santa Catarina, que através dos alunos de iniciação científica colaboraram com a preparação do material.

A empresa Solumad, que através de suas gestoras Sabrina Andrade Martins e Elaine Andrade, cederam sua estrutura para a preparação das amostras e acima de tudo pela confiança dada a minha pessoa pela parceira que tivemos.

A Universidade do Planalto Catarinense, que através de seu reitor Kaio Amarante cederam o laboratório de química para que eu pudesse realizar alguns testes fundamentais para esta pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa durante este período que foi primordial para a realização dos trabalhos.

Aos programas de rádio Pretinho Básico e Tá Vazando, da Rede Atlântida de rádios que através de seus comunicadores foram companhia nas horas de trabalho.

Esperando não ter esquecido ninguém neste momento, deixo um agradecimento especial a todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta minha jornada.

EPÍGRAFE

“Toda ação humana, quer se torne positiva ou
negativa, precisa depender de motivação”

(Autor desconhecido)

RESUMO

Ao longo dos anos, o uso de parâmetros únicos para a avaliação da qualidade da madeira foi se tornando cada vez mais comum, sobretudo, utilizando os dados de densidade básica e silviculturais das madeiras. Entretanto, tal universalidade acabou gerando a comparação e determinação de parâmetros e de propriedades não relacionáveis. A avaliação da qualidade da madeira, visa principalmente, otimizar a utilização das árvores já estabelecidas, destinando estas, para aplicações em que suas qualidades sejam promovidas e suas deficiências, mitigadas, e também na condução de novos plantios. Estabeleceu-se como objetivo principal deste estudo a avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* proveniente de um teste de progênie, visando fornecer subsídios para tomadas de decisão em programas de melhoramento da espécie. As árvores amostradas neste estudo foram provenientes de um teste de progênie instalado no município de Otacílio Costa, Estado de Santa Catarina. A amostragem foi realizada em dez progênies que compunham o teste, as amostras possuíam 18 anos de idade, sendo procedentes de mudas geradas com sementes dos Estados Unidos. As características de densidade básica, propriedades químicas (cinzas, holocelulose, lignina, extrativos em NaOH, água quente e fria, etanol-tolueno e extrativos totais), características morfológicas das fibras e poder calorífico, foram utilizadas para a caracterização tecnológica das progênies selecionadas. O estudo também propôs a utilização da técnica do infravermelho próximo (NIRS) na determinação das propriedades das progênies, para estabelecer, através de técnica não destrutiva, a caracterização e classificação das progênies. Já a determinação da correlação de Pearson entre as propriedades medidas neste estudo, dispôs-se a determinar a interação existente entre as variáveis usadas na caracterização das progênies. A classificação das progênies foi realizada através do método dos “ranks”, onde ocorre a atribuição de notas às propriedades de interesse nas quatro aplicações de maior importância (produção de energia, painéis de madeira, madeira sólida e polpa e papel). Os resultados indicaram que, as progênies apresentaram diferenças significativas entre as propriedades de densidade básica, propriedades químicas, características morfológicas das fibras e no poder calorífico, indicando que, mesmo tendo sido conduzidas de igual maneira, o desenvolvimento de cada progênie implicou em características específicas, onde, nas aplicações de interesse, algumas são preferíveis. A técnica não destrutiva, não foi eficientemente eficaz na classificação, e separação, das progênies, porém, foi bem sucedida na determinação da densidade básica de grupos de árvores. A correlação de Pearson mostrou-se uma técnica importante na seleção das progênies estudadas, sobretudo, entre as características das fibras e das propriedades químicas das amostras. A seleção das progênies através do método dos “ranks” indicou que apesar de pouco utilizada no setor florestal, a técnica foi coerente e pode indicar com acuracidade que, as progênies 108 e 112 são as que apresentam o melhor desempenho nas quatro aplicações de interesse.

Palavras chave: *Pinus taeda*. seleção de progênies. qualidade da madeira.

ABSTRACT

Over the years, the use of unique parameters for the evaluation of wood quality has become increasingly common, especially using data on basic density and silvicultural wood. However, such universality ended up generating the comparison and determination of parameters and unrelated properties. The evaluation of the quality of the wood, mainly aims to optimize the use of the trees already established, assigning these, for applications where their qualities are promoted and their deficiencies, mitigated, and also in the conduction of new plantings. The main objective of this study was to assess the quality of *Pinus taeda* wood from a progeny test, aiming to provide subsidies for decision making in breeding programs of the species. The trees sampled in this study came from a progeny test installed in the municipality of Otacílio Costa, State of Santa Catarina. Sampling was performed in ten progenies that comprised the test, the samples were 18 years old, coming from seedlings generated with seeds from the United States. The characteristics of basic density, chemical properties (ash, holocellulose, lignin, extracts in NaOH, hot and cold water, ethanol-toluene and total extracts), morphological characteristics of the fibers and calorific value, were used for the technological characterization of the selected progenies. The study also proposed the use of the near infrared technique (NIRS) in determining the properties of the progenies, to establish, through a non-destructive technique, the characterization and classification of the progenies. As for the determination of Pearson's correlation between the properties measured in this study, it was willing to determine the existing interaction between the variables used in the characterization of the progenies. The progenies were classified using the "ranks" method, where the properties of interest are assigned grades in the four most important applications (energy production, wood panels, solid wood and pulp and paper). The results indicated that the progenies showed significant differences between the basic density properties, chemical properties, fiber morphological characteristics and calorific value, indicating that, even though they were conducted in the same way, the development of each progeny implied specific characteristics, where, in the applications of interest, some are preferable. The non-destructive technique was not efficient in the classification, and separation, of the progenies, however, it was successful in determining the basic density of groups of trees. Pearson's correlation proved to be an important technique in the selection of the progenies studied, especially between the characteristics of the fibers and the chemical properties of the samples. The selection of progenies using the "ranks" method, indicated that although little used in the forestry sector, the technique was coherent and can accurately indicate that progenies 108 and 112 are the ones that present the best performance in the four applications of interest.

Keywords: *Pinus taeda*. progeny selection. wood quality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	-	ÁREA DE OCORRÊNCIA NATURAL DO <i>Pinus taeda</i>	30
FIGURA 2	-	INCREMENTOS MÉDIOS ANUAIS POSSÍVEIS PARA O <i>Pinus taeda</i> NA REGIÃO DE OCORRÊNCIA NATURAL.....	32
FIGURA 3	-	ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA <i>Pinus taeda</i> NA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	35
FIGURA 4	-	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO.....	78
FIGURA 5	-	LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	83
FIGURA 6	-	LOCALIZAÇÃO DO TESTE DE PROGÊNIE.....	84
FIGURA 7	-	VISÃO GERAL DO TESTE DE PROGÊNIE.....	85
FIGURA 8	-	ALTURAS DE COLETA DOS DISCOS.....	88
FIGURA 9	-	RETIRADA DOS DISCOS EM CAMPO.....	89
FIGURA 10	-	ESQUEMA DE RETIRADA DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE.....	90
FIGURA 11	-	ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA.....	91
FIGURA 12	-	PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FIBRAS.....	93
FIGURA 13	-	FLUXOGRAMA DE PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA ANÁLISES QUÍMICAS.....	95
FIGURA 14	-	ESQUEMA DAS ETAPAS DE PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA ANÁLISES QUÍMICAS.....	97
FIGURA 15	-	ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS DAS AMOSTRAS.....	99

FIGURA 16	- ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS EM NaOH E EM ÁGUA QUENTE E FRIA DAS AMOSTRAS.....	100
FIGURA 17	- ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS EM ETANOL/TOLUENO DAS AMOSTRAS.....	101
FIGURA 18	- ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIGNINA SOLÚVEL DAS AMOSTRAS.....	103
FIGURA 19	- PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DAS AMOSTRAS ANALISADAS.....	104
FIGURA 20	- PROCEDIMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS USANDO O NIR.....	105
FIGURA 21	- ASPECTO GERAL DO PROGRAMA OPUS SPECTROSCOPY SOFTWARE® E DOS ESPECTROS DE INFRAVERMELHO OBTIDOS DAS AMOSTRAS.....	145

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	- TENDÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA PONDERADA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM SANTA CATARINA.....	57
GRÁFICO 2	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA E SEUS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO.....	108
GRÁFICO 3	- VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS AO LONGO DO FUSTE...	112
GRÁFICO 4	- VALORES MÉDIOS DO COMPRIMENTO MÉDIO DOS TRAQUEÍDEOS E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO.....	116
GRÁFICO 5	- VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO MÉDIO DOS TRAQUEÍDEOS E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO.....	119
GRÁFICO 6	- VALORES MÉDIOS DA ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO.....	121
GRÁFICO 7	- VALORES MÉDIOS DO TEOR DE CINZAS DAS PROGÊNIES.....	130
GRÁFICO 8	- VALORES MÉDIOS DO TEOR DE EXTRATIVOS EM HIDRÓXIDO DE SÓDIO DAS PROGÊNIES.....	131
GRÁFICO 9	- VALORES MÉDIOS DE EXTRATIVOS EM ÁGUA FRIA PARA AS PROGÊNIES ESTUDADAS.....	132
GRÁFICO 10	- VALORES MÉDIOS DE EXTRATIVOS EM ÁGUA QUENTE PARA AS PROGÊNIES ESTUDADAS.....	133
GRÁFICO 11	- VALORES MÉDIOS DE EXTRATIVOS EM ETANOL:TOLUENO PARA AS PROGÊNIES ESTUDADAS.....	135

GRÁFICO 12	- VALORES MÉDIOS DE EXTRATIVOS TOTAIS PARA AS PROGÊNIES ESTUDADAS.....	136
GRÁFICO 13	- VALORES MÉDIOS DA LIGNINA SOLÚVEL PARA AS PROGÊNIES ANALISADAS.....	137
GRÁFICO 14	- VALORES MÉDIOS DO TEOR DE HOLOCELULOSE OBTIDOS PARA AS PROGÊNIES ANALISADAS.....	138
GRÁFICO 15	- VALORES MÉDIOS DE PODER CALORIFICO PARA AS PROGÊNIES ESTUDADAS.....	139
GRÁFICO 16	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE ENERGÉTICA DAS PROGÊNIES ESTUDADAS.....	141
GRÁFICO 17	- PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO.....	147
GRÁFICO 18	- PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO CALCULADA.....	148
GRÁFICO 19	- PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO ESTIMADA.....	148
GRÁFICO 20	- PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO ESTIMADA X CALCULADA.....	149
GRÁFICO 21	- VARIÂNCIAS EXPLICADAS.....	150

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO <i>Pinus taeda</i> EM ÁREAS NATURAIS DOS EUA.....	31
TABELA 2	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO <i>P. taeda</i> DESCRITA POR OUTROS AUTORES.....	40
TABELA 3	- VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE <i>Pinus taeda</i> NOS ESTADOS UNIDOS.....	50
TABELA 4	- RELAÇÃO DO MODELO DE EXTRAÇÃO E SUBSTÂNCIAS POSSÍVEIS DE SEREM OBTIDAS.....	55
TABELA 5	- ÍNDICES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA E DO PAPEL.....	74
TABELA 6	- DESCRIÇÃO DOS GRUPOS.....	86
TABELA 7	- AMOSTRADAS SELECIONADAS.....	87
TABELA 8	- VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE BÁSICA OBTIDA POR PROGÊNIE AMOSTRADA.....	107
TABELA 9	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO <i>Pinus taeda</i> OBTIDA POR OUTROS AUTORES.....	109
TABELA 10	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA PARA AS SEIS ALTURAS AMOSTRADAS DAS PROGÊNIES ANALISADAS.....	110
TABELA 11	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO <i>Pinus taeda</i> EM DIFERENTES ALTURAS OBTIDAS POR OUTROS AUTORES.....	113
TABELA 12	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DAS PROGÊNIES DE <i>Pinus taeda</i> NO CAP E MÉDIA TOTAL.....	114
TABELA 13	- VALORES MÉDIOS DA ALTURA COMERCIAL, CIRCUNFERÊNCIA À ALTURA DO PEITO E DO VOLUME DAS PROGÊNIES DE <i>Pinus Taeda</i> ANALISADA.....	115
TABELA 14	- RESULTADOS MÉDIOS DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS.....	117

TABELA 15	- RESULTADOS MÉDIOS DA LARGURA (DIÂMETRO) DOS TRAQUEÍDEOS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS.....	120
TABELA 16	- RESULTADOS MÉDIOS DA ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS....	122
TABELA 17	- RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES MENSURADAS DAS FIBRAS.....	124
TABELA 18	- VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS.....	128
TABELA 19	- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO <i>Pinus taeda</i> OBTIDA POR OUTROS AUTORES.....	129
TABELA 20	- VALORES MÉDIOS DE PODER CALORIFICO DO <i>Pinus taeda</i> OBTIDOS POR OUTROS AUTORES.....	141
TABELA 21	- CORRELAÇÃO ENTRE ESPECTRO NIR EM RELAÇÃO AS PROPRIEDADES DE INTERESSE.....	144
TABELA 22	- CORRELAÇÃO DE PEARSON APLICADA ÀS VARIÁVEIS ESTUDADAS.....	152
TABELA 23	- REGRESSÃO DAS VARIÁVEIS CONSIDERADAS SIGNIFICATIVAS.....	157
TABELA 24	- INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS <i>RANKS</i> PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	159
TABELA 25	- NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	160
TABELA 26	- INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS <i>RANKS</i> PARA A UTILIZAÇÃO DE MADEIRA SÓLIDA.....	160
TABELA 27	- NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A UTILIZAÇÃO DE MADEIRA SÓLIDA.....	161
TABELA 28	- INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS <i>RANKS</i> PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUIDA.....	161
TABELA 29	- NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUIDA.....	162

TABELA 30	- INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS RANKS PARA A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL.....	163
TABELA 31	- NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL.....	165
TABELA 32	- SOMATÓRIO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AS UTILIZAÇÕES DE INTERESSE.....	166

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1	PANORAMA FLORESTAL NO BRASIL	24
3.2	IMPORTÂNCIA DO GÊNERO <i>Pinus</i> PARA A INDÚSTRIA	26
3.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO GÊNERO <i>Pinus</i>	28
3.4	CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus taeda</i> L.....	29
3.5	PESQUISAS REALIZADAS COM <i>Pinus taeda</i> NA ÁREA DE QUALIDADE DA MADEIRA	38
3.6	QUALIDADE DA MADEIRA	42
3.6.1	Fatores que afetam a qualidade da madeira	44
3.6.1.1	Fatores inerentes à madeira.....	46
3.6.1.1.1	Teor de umidade	46
3.6.1.1.2	Espécie.....	47
3.6.1.1.3	Idade	47
3.6.1.1.4	Posição na árvore.....	48
3.6.1.1.5	Lenho juvenil e adulto.....	49
3.6.1.1.6	Largura e uniformidade dos anéis de crescimento	51
3.6.1.1.7	Madeira de reação.....	53
3.6.1.1.8	Defeitos	54
3.6.1.1.9	Extrativos.....	54
3.6.1.2	Fatores inerentes ao meio.....	55
3.6.1.2.1	Práticas silviculturais	55
3.6.1.2.2	Espaçamento	56

3.6.1.2.3	Desbaste	58
3.6.1.2.4	Poda	58
3.6.1.2.5	Adubação, irrigação e drenagem.....	59
3.6.1.2.6	Localização geográfica.....	61
3.6.1.2.7	Sítio de crescimento	61
3.6.1.2.8	Taxa de crescimento	62
3.6.2	Propriedades físicas	64
3.6.3	Propriedades químicas.....	65
3.6.3.1	Componentes fundamentais.....	66
3.6.3.1.1	Celulose	66
3.6.3.1.2	Polioses ou hemiceluloses	67
3.6.3.1.3	Lignina.....	68
3.6.3.2	Componentes acidentais	68
3.6.3.2.1	Extrativos.....	69
3.6.3.2.2	Teor de cinzas.....	70
3.6.4	Propriedades anatômicas.....	71
3.6.5	Poder calorífico.....	74
3.7	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR).....	76
3.8	TESTES ESTATÍSTICOS E CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES	80
4	MATERIAL E MÉTODOS	83
4.1	ÁREA EXPERIMENTAL	83
4.2	DELINEAMENTO DO TESTE DE PROGÊNIE E AMOSTRAGEM DO MATERIAL	85
4.3	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA	91
4.3.1	Determinação da densidade básica	91
4.3.2	Caracterização dendrométrica e volumétrica	92
4.3.3	Caracterização morfológica dos traqueídeos	92

4.3.4	Determinação das propriedades químicas da madeira	94
4.3.4.1	Teor de umidade	97
4.3.4.2	Teor de cinzas	98
4.3.4.3	Determinação do material solúvel em água quente e fria.....	99
4.3.4.4	Determinação do material solúvel em NaOH a 1%	100
4.3.4.5	Solubilidade em etanol-tolueno	101
4.3.4.6	Determinação de lignina solúvel em ácido	102
4.3.5	Caracterização do poder calorífico superior das amostras.....	103
4.3.6	Caracterização das amostras utilizando infravermelho próximo (NIR) .	104
4.3.7	Análises estatísticas e índice de seleção aplicado aos resultados.....	106
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	107
5.1	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA.....	107
5.1.1	Densidade básica	107
5.1.2	Densidade básica por altura.....	109
5.1.3	Características dendrométricas e volumétrica.....	114
5.1.4	Características morfológicas e relações entre as dimensões dos traqueídeos	116
5.1.4.1	Comprimento médio dos traqueídeos.....	116
5.1.4.2	Largura dos traqueídeos	118
5.1.4.3	Espessura da parede dos traqueídeos.....	121
5.1.4.4	Relações entre as dimensões dos traqueídeos.....	123
5.1.5	Propriedades químicas.....	127
5.1.6	Caracterização do poder calorífico superior das progênies.....	139
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ATRAVÉS DO ESPECTRO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.....	142
5.3	CORRELAÇÃO DE PEARSON E RELAÇÕES DAS VARIÁVEIS MEDIDAS	151
5.4	SELEÇÃO DAS PROGÊNIES EM RAZÃO DE SUA APLICAÇÃO.....	159

6	CONCLUSÕES	168
7	RECOMENDAÇÕES	170
	REFERÊNCIAS	171
	ANEXO I – LEI Nº 5.106	192
	ANEXO II – CROQUI DA ÁREA	194
	ANEXO III – MASSA ESPECÍFICA BÁSICA NAS SEIS ALTURAS	
	AMOSTRAS	195

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande competitividade no mercado interno e externo de produtos florestais, isto se dá por suas características edafoclimáticas e do desenvolvimento tecnológico aplicado nas áreas de silvicultura, manejo florestal e tecnologia da madeira.

A atividade florestal e a cadeia produtiva a essa associada se caracterizam pela grande diversidade de produtos, compreendendo um elevado conjunto de atividades e de segmentos que englobam desde o cultivo das árvores até a transformação da madeira em celulose, papel, painéis, pisos, carvão vegetal, móveis, madeira serrada e de produtos não madeireiros.

As atividades descritas possuem sua própria cadeia produtiva e mercado próprio, as condições para seu desenvolvimento estão associadas a uma única base florestal, tornando estas indústrias e empresas interdependentes e que possuem uma dinâmica específica de produção, determinada não somente pela área reflorestada, mas pela oferta de madeira e pela produtividade geral das florestas.

Segundo a *Global Forest Resources Assessment*, publicação emitida pela FAO (2015), as florestas mundiais cobrem aproximadamente 4 bilhões de hectares, sendo que os cinco países com as maiores áreas são, em ordem, Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China, que juntos somam mais de 54% da área de florestas em todo mundo.

O documento informa ainda que 93% (3,75 bilhões de ha) da área de florestas em todo o mundo são compostas por florestas nativas e 7% (290 milhões de ha) por florestas plantadas (FAO, 2015).

No ano de 2019 as florestas plantadas cobriam cerca de 131 milhões de ha, o que representava 3% da área global de florestas, deste total, 45% das florestas plantadas são manejadas intensamente, utilizando uma ou duas espécies principais para fins produtivos (MADEIRA TOTAL, 2020).

O Brasil tem aumentado a sua área de florestas plantadas nos últimos anos, contudo a taxa geométrica média (TGM) anual das florestas plantadas é de 1,8%, inferior à taxa média mundial que é de 2,1%. Atualmente o país ocupa o nono lugar em termos de florestas plantadas, correspondendo a aproximadamente 2,7% dos plantios florestais no mundo (EMBRAPA, 2017).

Apesar disto, o Brasil possui vantagens comerciais para a produção de florestas plantadas em relação a outros países, uma delas é a maior produtividade mundial de coníferas e folhosas em plantios florestais, com a base na produção de madeira, o que permite ao país aumentar sua participação global caso haja condições favoráveis para isto.

A comprovação disto é mostrada através da evolução da área coberta por florestas no Brasil, segundo a Embrapa (2017), a cobertura de florestas plantadas no Brasil aumentou 171% entre 1970 e 2018, fato motivado, pela necessidade da substituição da utilização de madeiras nativas nos processos industriais, este índice torna-se mais expressivo quando comparado a evolução dos estabelecimentos agrícolas do País, que no mesmo período aumentou sua ocupação em 42% (EBC, 2019).

De acordo com o relatório anual de 2019 (dados base 2018) da Indústria Brasileira de Árvores (IBA), a área total de florestas plantadas no Brasil somou 7,83 milhões de hectares (ha), composto principalmente por espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, com arrecadação de tributos de R\$12,8 bilhões, um aumento de 7,5% em relação a 2017, principalmente, pelo aumento na produção de celulose, madeira serrada e painéis reconstituídos. Apesar da significativa participação do setor florestal na economia nacional, a contribuição pode ser ainda melhorada, a partir de esforços conjuntos envolvendo governo, instituições de pesquisa e iniciativa privada, no desenvolvimento de tecnologias que proporcionem melhoria na qualidade das matérias-primas usadas na fabricação de produtos de origem florestal, tanto de florestas nativas como de florestas plantadas e, adequadamente manejadas.

O crescimento da área reflorestada com espécies de rápido crescimento no Brasil acompanha uma tendência mundial, pois há um aumento nas pressões exercidas sobre a exploração de florestas nativas.

No Sul do país, os reflorestamentos são compostos principalmente, por espécies do gênero *Pinus*. No ano de 2019, estes plantios somaram 1,57 milhão de hectares e concentravam-se principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná. Apesar da área plantada com o gênero ter praticamente se mantido inalterada nos últimos anos, a manufatura de produtos, como a madeira serrada, laminada, painéis reconstituídos, papel, celulose e também a bioenergia, a partir de

suas florestas, alimentam um mercado consolidado e dedicado à utilização dessas espécies, sobretudo na região citada.

A crescente substituição da madeira de espécies nativas tradicionais pela madeira dos *Pinus* plantados na região sul e sudeste do Brasil, há uma exigência cada vez maior na qualidade da madeira, que necessita ser mais homogênea e com a menor quantidade possível de defeitos (FOELKEL, 2008).

O aumento em produtividade da espécie *Pinus taeda* nos programas de melhoramento genético tem sido baseado em características fenotípicas, como: crescimento em diâmetro e altura, retidão de fuste e outras. Contudo, é importante incluir nestes programas as características físicas e mecânicas da madeira de forma que essa matéria prima venha a responder positivamente na qualidade do produto final provindo dessas florestas plantadas (ROMÃO, 2009).

Desta maneira se estabelece um desafio para a área da tecnologia da madeira, que é a de encontrar grupos de árvores que possuam características tecnológicas desejáveis, a fim de dar suporte a crescente necessidade de madeira de qualidade no mercado de base florestal e também nas pesquisas de melhoramento da espécie.

JUSTIFICATIVA

Em geral as variações verificadas nos diferentes materiais genéticos ocorrem de forma diferenciada, fazendo com que dificilmente se consiga encontrar grupos de árvores dotados de um número elevado de características desejadas (ASSIS, 2001).

De acordo com Romão (2009) considera-se importante a junção ou congregação dessas características em grupos de árvores possibilitando a seleção de árvores que tenham maior quantidade de atributos tecnológicos desejáveis na sua madeira.

Autores como Caixeta et al. (2003), Santos, Geraldi e Garcia (2003), Gonçalves (2009), Romão (2009), Moreira (2013) e França (2018), estudaram a seleção de progênies de espécies do gênero *Eucalyptus*, *Pinus* e até de espécies não comuns como as citadas, realizaram em seus trabalhos a seleção e classificação de progênies superiores baseados em índices de qualidade da madeira.

Desde o início da atividade florestal no Brasil observou-se uma demanda constante por sementes com qualidade genética superior, contudo, poucas são as empresas que investem em programas de melhoramento genético. Diante do aumento da demanda por sementes melhoradas e a diversificação do setor, verifica-se a necessidade de um programa de melhoramento e de seleção mais abrangentes e adequados à necessidade das indústrias.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da madeira de *Pinus taeda* de um teste de progênie, visando fornecer subsídios para tomadas de decisão em programas de melhoramento da espécie, baseando-se nas propriedades físicas, químicas, anatômicas e energéticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos a serem atingidos no estudo propõem-se a:

- Caracterizar tecnologicamente dez progênies de *Pinus taeda*;
- Avaliar a viabilidade da utilização do espectro do infravermelho próximo propondo uma metodologia de ensaio não destrutivo, na seleção das progênies;
- Indicar qual(is) progênie(s) são mais indicadas para a produção de celulose e papel, madeira serrada, painéis reconstituídos e de energia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PANORAMA FLORESTAL NO BRASIL

O Brasil é considerado um dos países com maior potencial florestal no planeta, fato justificado se deve pelo país possuir amplas extensões de florestas naturais, altos níveis de produtividade nas florestas nativas e florestas plantadas e pelas ótimas condições edafoclimáticas que possui (SNIF, 2018).

Atualmente no Brasil, 58% da extensão territorial do país é coberta por florestas naturais e plantadas, totalizando mais de 493 milhões de hectares (ha) (IBGE/PEVS, 2017).

As florestas naturais estão localizadas principalmente na região norte do país, denominadas de florestas tropicais, abrangem mais de 521 milhões de ha, correspondendo a mais de 60% da área total do Brasil, nos estados do Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Pará, Amapá, Roraima, Rondônia, Acre e Amazonas (TRIANOSKI, 2012).

As florestas plantadas somam cerca de 7,83 milhões de hectares, estão espalhadas por diversos estados, os com maior destaque são Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina (APRE, 2018).

As florestas plantadas corresponderem por apenas 0,9% do território nacional, elas são responsáveis pelo fornecimento de mais de 90% da madeira produzida para fins industriais (IBA, 2019).

A área de florestas plantadas vem aumentando nos últimos anos, em virtude das pressões ambientais exercidas sobre as florestas nativas, e também pelo elevado volume consumido pelas indústrias de base florestal (TRIANOSKI, 2012).

O crescimento da área de florestas plantadas foi de 6,08% entre os anos de 2012 e 2019, fato este que, aliado a alta produtividade obtida nas florestas brasileiras, coloca o Brasil como o país com a maior produtividade em florestas plantadas no mundo, refletindo diretamente na balança econômica brasileira (IBA, 2019).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Informações Florestais (SNIF) (2017) os produtos madeireiros oriundos da exploração florestal no Brasil, em 2016

somaram cerca de 16,6 bilhões, sendo que mais de 80% foram provenientes das florestas plantadas.

No mesmo período a quantidade de madeira proveniente da silvicultura equivaleu a mais de cinco vezes a quantidade oriunda de madeira de extração natural, ao todo foram 267,3 mil m³ de madeira, onde 226,6 mil m³ da extração de florestas plantadas e 40,7 mil m³ de florestas naturais, em relação ao ano anterior houve um aumento de 0,2% no volume proveniente da silvicultura e uma redução de 8,9% no volume oriundo de florestas nativas (IBGE/PEVS, 2017).

Os altos índices são reflexo do empenho em trabalhos de pesquisa e de experimentos realizados ao longo de vários anos usando diversas espécies florestais, atualmente os gêneros mais consolidados no Brasil são o *Eucalyptus* e o *Pinus* (IBA, 2019).

De toda a área reflorestada no país (7,83 milhões ha) os dois gêneros correspondem a mais de 92% dos plantios. Os plantios de *Eucalyptus* estão localizados principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso, já os plantios de *Pinus* estão em sua maioria situados nos estados da região sul (IBA, 2019).

A indústria de base florestal nacional é mundialmente reconhecida pelos excelentes índices de produtividade das suas áreas plantadas. Os reflorestamentos brasileiros apresentam a maior produtividade, que é a medida em volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, e ainda a menor rotação, que se caracteriza pelo tempo decorrido entre o plantio e a colheita das árvores, isto para as coníferas e para as folhosas (APRE, 2018).

O Brasil liderou o ranking global de produtividade florestal no ano de 2018, com produção média de 36,0 m³/ha/ano para plantios de *Eucalyptus* e 30,1 m³/ha/ano para plantios de *Pinus*, já as rotações, são variadas, devido a cada indústria possuir sua rotação ideal própria, às rotações médias são de, 12 anos para plantios de *Eucalyptus* e 18 anos para plantios de *Pinus* (IBA, 2019).

Contudo, a existência de um mercado consolidado usando espécies exóticas no Brasil não iniciou de maneira simples, tão pouco fácil, visto que havia uma cultura de que, devido as grandes extensões de florestas naturais existentes, seria uma matéria prima que não iria acabar, porém, buscando os registros históricos existentes sobre o cultivo da madeira, sobretudo na região sul do Brasil, a maior

motivação existente para a introdução das culturas, hoje consolidadas, deu-se pela drástica redução das florestas naturais de araucária existentes nesta região (KRONKA; BERTOLINI; PONCE, 2005). Outros fatores também contribuíram para esta consolidação como a similaridade nas características de cor, anéis de crescimento, tamanho de fibra e densidade entre a *Araucaria angustifolia* e o *Pinus taeda*.

As florestas de araucária (*Araucaria angustifolia*), ou também chamada de mata de araucárias, é um dos domínios morfoclimáticos existentes no Brasil, em algumas classificações mais usuais, esta formação está contida no bioma da mata atlântica, em condições originais, estendiam-se principalmente pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A formação florestal das araucárias cobria mais de 50% do estado do Paraná e de Santa Catarina, e pelo menos 20% do estado gaúcho, devido a estes números expressivos, além da cultura de exploração florestal, criou-se nestes estados, sobretudo no estado de Santa Catarina, uma série de indústrias que faziam uso da madeira da *Araucaria angustifolia*, consolidando o local como polo madeireiro nacional (SILVEIRA, 2005).

Com base nos dados expostos, a busca por um rendimento cada vez maior das florestas plantadas e nativas é de grande importância, pois geram empregos e renda, auxiliam na preservação de ecossistemas, conservação de espécies da fauna e flora e de recursos hídricos, tornando as pesquisas de melhoramento de espécies florestais ainda mais relevantes.

3.2 IMPORTÂNCIA DO GÊNERO *Pinus* PARA A INDÚSTRIA

O gênero *Pinus* constitui umas das mais importantes introduções florestais no Brasil. Os primeiros estudos com este gênero já mostravam excelentes índices de desenvolvimento nos solos brasileiros. Apesar de várias espécies terem sido plantadas, são duas que possuem maior destaque, o *P. elliottii* e o *P. taeda*. Os estados do sul do país são os que possuem maior relevância no plantio destas espécies (SCHWEITZER, 2016).

Os estados com as maiores coberturas com o gênero são, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o domínio destes estados na cultura é tão grande

que apenas estes três estados detêm mais de 88% das áreas cobertas com o gênero no país (IBA, 2019).

As florestas de *Pinus* foram voltadas para a produção de celulose e papel, mesmo nesta época, já se reconhecia o potencial de desenvolvimento da planta, que atingia ótimos níveis de crescimento e desenvolvimento, foi a partir da década de 70 que a indústria de transformação mecânica começou a fazer um maior uso da madeira do *Pinus* (MUÑIZ, 1993).

A autora complementa citando que o processo de utilização do *Pinus* nesta indústria cresceu à medida que as reservas naturais da região se esgotaram, ou eram incluídas como áreas de preservação permanente.

Shimizu (2008) relata que de acordo com o manejo aplicado, podem ser formados povoamentos de alta qualidade, com árvores de fuste reto, baixa incidência de defeitos e ramos finos, além de possuírem características a densidade da madeira também são passíveis de melhoramento. As características citadas são fundamentais para a formação de madeira de alta qualidade e rendimento nas indústrias.

A madeira de *P. taeda* é utilizada para processamento mecânico, na produção de peças serradas, confecção de móveis, embalagens, molduras e chapas de diversos tipos. Para esses usos, a qualidade da matéria-prima aumenta à medida que aumenta a densidade da madeira, dentro dos limites normais da espécie. No entanto, na produção de celulose pelo processo mecânico e semimecânico, a madeira juvenil desta espécie, de baixa densidade, é muitas vezes preferida (SHIMIZU, 2008).

Por ser uma matéria prima versátil, a madeira do *P. taeda* pode ser utilizada em diversos tipos de indústria sendo que cada uma requer um nível diferente e específico de insumo e que muito provavelmente não seriam atingidos por outras espécies ou gêneros (SHIMIZU, 2008).

A floresta de *Pinus* é diferenciada pelo seu multiuso, pois sua madeira pode ser destinada à indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados; para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis; para a indústria de papel e celulose; para a indústria de painéis de madeira e até mesmo o resíduo destas indústrias tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia (CARGNIN, 2005).

Devido a rusticidade da espécie, a grande capacidade de desenvolvimento e adaptação, facilidade na aplicação de tratamentos silviculturais e das amplas aplicações possíveis de se fazerem com a espécie, sobretudo o *P. taeda*, favoreceu fortemente o desenvolvimento da cultura (SILVEIRA, 2005).

O *P. taeda* tem sido uma das espécies preferidas para plantios em reflorestamentos comerciais nos estados do Paraná e Santa Catarina, sobretudo nas regiões mais frias, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares (SHIMIZU; MEDRADO, 2006).

De acordo com os mesmos autores esta preferência ocorre por uma série de características, entre elas: a) madeira de cor clara, variando de branca a amarelada; b) madeira de fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de impressão e outros tipos de papéis; e c) rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para agricultura e, assim, agregar valor à terra com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo e reconstituição de ambientes propícios à recomposição espontânea da vegetação nativa em locais degradados (adaptado de SHIMIZU; MEDRADO, 2006).

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO GÊNERO *Pinus*

A origem das coníferas remete a era paleozoica, período onde houve grandes mudanças no planeta.

A família *Pinaceae* e o gênero *Pinus* colonizam naturalmente grande parte do hemisfério norte, incluindo os continentes da América, Europa e Ásia, chegando algumas das 105 espécies a atravessar a linha do Equador (RICHARDSON; RUNDEL, 1998).

Segundo os mesmos autores, a família *Pinaceae* é a maior e mais importante da ordem *Coniferae*, abrangendo nove gêneros e mais de duzentas espécies.

O gênero *Pinus*, originário da América do Norte, é o que possui maior destaque nessa ordem, abrangendo espécies largamente distribuídas em países do hemisfério norte até os países tropicais e subtropicais, Índias Ocidentais, Arquipélago das Filipinas, Antilhas, Ilhas Bahamas, México, Guatemala, Honduras,

Nicarágua, com maior ocorrência nos climas temperados, mas sem ultrapassar o Equador (CIF, 2019).

Pinus é o maior gênero das coníferas com mais de 100 espécies. Inclui dois subgêneros *Strobus* (pinheiros brancos) e *Pinus* (pinheiros rígidos) (GERNANDT *et al.*, 2004).

Composto de um número grande de espécies, as quais apresentam dispersão natural e um número igualmente variado de habitats, as espécies mais plantadas no Brasil são: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* (que toleram geadas), *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii* (estes toleram déficit hídrico), sendo a maior parte dos plantios localizados nos estados da região Sul (CIF, 2019)

Atualmente a maior concentração de plantios florestais está nas regiões sul e sudeste do país, com 96% do total plantado no Brasil, isto se justifica em função da localização das principais unidades indústrias dos segmentos de celulose e papel, painéis de madeira, siderurgia a carvão vegetal e madeira mecanicamente processada, e, também pelos ótimos níveis de desenvolvimento das espécies nestas regiões (IBA, 2019).

3.4 CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus taeda* L.

A espécie *P. taeda*, pode ser encontrada na literatura mundial com diversos nomes, entre os mais conhecidos estão, *Pinus loblolly*, *black pine*, *black slash pine*, *bog pine*, *buckskin pine*, *Carolina pine*, *frankincense pine*, *kienbaum*, *loblolly pine*, *longleaf pine*, *maiden pine*, *meadow pine*, *North Carolina pine*, *pin a l'encens*, *pin taeda*, *pinho-teda*, *pino de incienso*, *pino dell'incenso*, *prop pine*, *sap pine*, *shortleaf pine*, *shortstraw pine*, *soderns gul-tall*, *southern pine*, *southern yellow pine*, *swamp pine*, *sydstaternas gul-tall*, *taeda pine*, *taeda-pijn*, *torch pine*, *Virginia pine*, *yellow pine* (USDA FOREST SERVICE, 2002).

Segundo a Escala Taxonômica a classificação da espécie é: Reino: Plantae; Divisão: Coniferophita; Classe: Pinopsida; Ordem: Pinales; Família: *Pinaceae*; Gênero: *Pinus*; Espécie: *taeda* (FOELKEL, 2008).

O *P. taeda* é umas das principais espécies ocorrendo naturalmente em toda a região sudeste dos Estados Unidos (EUA), a espécie possui grande distribuição

Perduea *et al.* (2017) citaram que o *P. taeda* pode crescer em uma ampla gama de diferentes solos texturizados, desde areias profundas até argilas de textura pesada. Com fertilização e capacidade de retenção de água variando em toda a faixa de solos, os rendimentos relatados variam também em toda a faixa.

Outra característica da região de ocorrência natural do *P. taeda*, é de que os solos da planície costeira dos estados da Geórgia e da Califórnia são geralmente mal drenados e muitas vezes inerentemente e deficiente de fósforo (P), onde o pH é geralmente baixo e ácido (por exemplo, espodossolos). Uma subamostra dos solos desta zona são os histossolos orgânicos (PERDUEA *et al.*, 2017).

Os autores complementam citando que a maioria dos solos da planície costeira baixa é frequentemente arenosa, mas os solos de melhor rendimento podem ter depositado areias embaixo da argila (por exemplo, argilosos). No interior, os solos da planície costeira superior possuem maior inclinação e elevação e a drenagem varia de excessivamente bem a muito pobre.

Em formações naturais com idade elevada, as árvores de *P. taeda* podem atingir cerca de 45 m de altura e diâmetros de até 150 cm (USDA, 1985).

A TABELA 1 apresenta o intervalo de variação das características de altura e diâmetro para árvores de diferentes idades nas áreas de ocorrência natural apresentadas na FIGURA 1. Os valores indicados apresentam o comportamento destas propriedades no início dos anos 70, vale ressaltar que a apresentação destes dados visa mostrar o comportamento da espécie em sua área de ocorrência natural, uma vez que nesta mesma década, o Brasil iniciava os plantios comerciais de *Pinus taeda* com índices bem abaixo dos apresentados pela espécie nos Estados Unidos da América.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO *P. taeda* EM ÁREAS NATURAIS DOS EUA

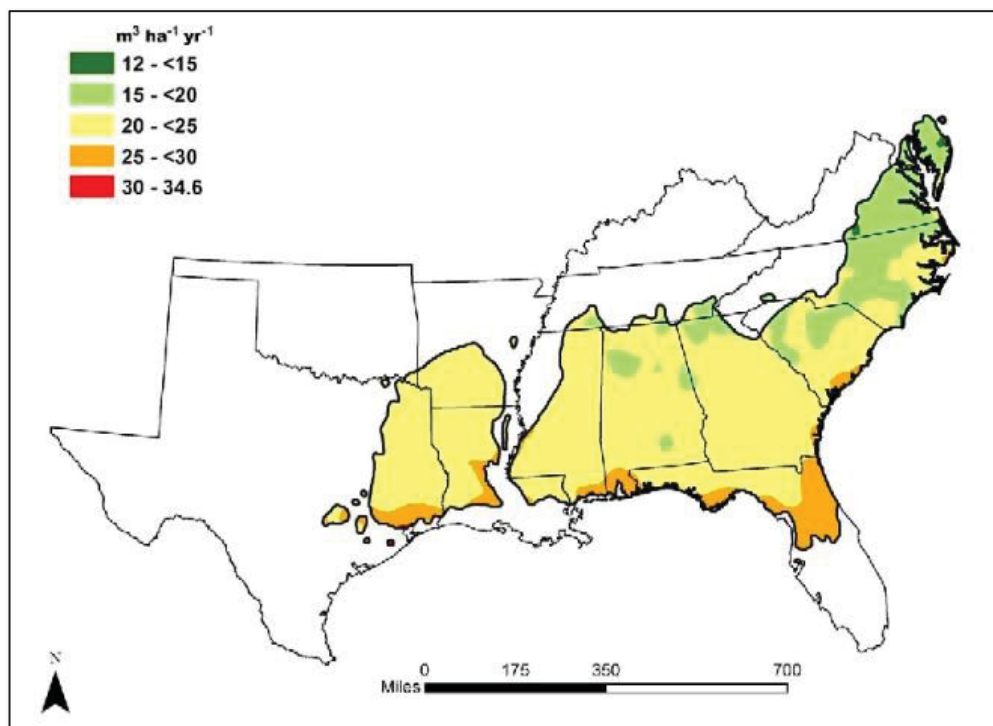
Idade (anos)	DAP (cm)	Altura (m)
20	11,68 – 21,60	9,75 – 19,50
30	16,74 – 30,23	13,72 – 27,13
40	20,57 – 37,08	16,46 – 32,92
50	23,88 – 42,67	18,29 – 36,58
60	26,42 – 47,24	19,51 – 39,01

FONTE: Adaptado de KOCH (1972).

Segundo IBA (2019) o *P. taeda* atinge uma produtividade média nos Estados Unidos de 14 m³/ha/ano, com rotação média de 25 anos, atingindo densidade média de 0,480 g/cm³.

Perduea *et al.* (2017) organizaram em um mapa, FIGURA 2, mostrando na região de ocorrência natural, os incrementos médios anuais possíveis de serem atingidos pelo *P. taeda*.

FIGURA 2 – INCREMENTOS MÉDIOS ANUAIS POSSÍVEIS PARA O *Pinus taeda* NA REGIÃO DE OCORRÊNCIA NATURAL



FONTE: Perduea *et al.* (2017).

A composição química da madeira de *P. taeda* nos EUA possui em média valores de celulose de 43,6%, lignina de 26,8%, extrativos totais com 3,2% e cinzas com 0,4%, índices próximos aos encontrados por autores em outros locais em que esta espécie é plantada, salientando que o conhecimento desta propriedade é de fundamental importância para estabelecer quais os usos que lhe serão dados (DWIVEDI *et al.*, 2009).

A cobertura florestal com o *Pinus taeda* nos EUA é estimada em 11,7 milhões de hectares, tornando a espécie a mais importante dentre as espécies de pinus plantadas comercialmente no Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Ela ocorre

desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi. (EMBRAPA, 2017).

As plantações de pinheiros no sul dos EUA estão entre as florestas mais intensivamente gerenciadas no mundo, dado a importância que a madeira do *P. taeda* possui para a economia dos EUA, servindo como matéria prima para a construção civil, ou como insumo para lenha, biomassa industrial, produção de biocombustíveis, celulose, papel, sequestro de carbono, entre outras aplicações (ZHAO *et al.* 2016).

No Brasil, espécies do gênero *Pinus* vêm sendo plantadas há mais de um século, tendo sido, inicialmente, introduzidas para fins ornamentais. Devido à imigração de povos do sul dos EUA e de regiões da Europa, onde as espécies do gênero *Pinus* ocorrem naturalmente, foram trazidas alguns indivíduos que foram usados na decoração das casas de pessoas nobres, foi somente anos depois que houve a importação de sementes de espécies de *Pinus*.

Os primeiros resultados referentes à introdução de espécies de *Pinus* no Brasil são apresentados por A. Löfgren, que foi o primeiro diretor do Instituto Florestal de São Paulo, em sua obra “Notas sobre Plantas exóticas introduzidas no estado de São Paulo”, datado de 1906. Também naquela oportunidade o autor destaca a situação de espécies de *Eucalyptus*, que foram também introduzidas por ele e que serviram de base para aquelas efetuadas por E. Navarro de Andrade, responsável pela sistematização de sua silvicultura (SILVEIRA, 2005).

Das introduções, que constituem os primórdios da pinocultura no Brasil, A. Löfgren relata também em sua obra, para 16 espécies de *Pinus* e 55 espécies de *Eucalyptus* “a verdadeira natureza, nome e sinônimos das espécies em ensaio e distribuição, seu valor utilitário, suas exigências de clima e solo e, finalmente, breves indicações sobre o cultivo e reprodução delas” (KRONCA *et al.*; 2005).

Os primeiros estudos referentes às espécies dos *Pinus* subtropicais foram realizados somente no ano de 1936, pelo Instituto Florestal de São Paulo e foi neste período que houve a introdução das primeiras sementes de *P. elliotii* var. *elliotii* e de *P. taeda*, sendo no ano de 1955 implantadas extensas áreas localizadas na rede

de estações experimentais do Instituto Florestal (KRONCA; BERTOLINI; PONCE, 2005).

Até o fim da década de 50, havia sido testada nas dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo (atual Instituto Florestal) um total de 55 espécies de *Pinus* e cerca de 10 outras coníferas (CIANCIULLI, 1961).

A atividade de reflorestar foi intensificada na década de 60, mais precisamente no ano de 1966, com os incentivos fiscais oferecidos pelo Governo Federal, a fim de solucionar o problema da falta de matéria prima para a indústria de base florestal, além de diminuir e regulamentar a exploração florestal no país (MATOS, 1997).

Segundo este mesmo autor, o resultado desta iniciativa foi imediato, havendo a ampliação da área de florestas plantadas, especialmente das exóticas, entre elas o *Pinus*.

A liberação dos incentivos fiscais por parte do governo foi direcionada para plantios de grandes áreas das espécies de *P. taeda* e de *P. elliottii*, sendo que os primeiros plantios eram voltados para a produção de celulose e papel e geravam uma matéria prima de baixa qualidade para uso em outras aplicações, apesar disso, o desenvolvimento de outros modelos de indústrias apontou alto potencial para a indústria de madeira serrada, pois ambas as espécies se destacaram pelo rápido crescimento, facilidade de aplicação de práticas silviculturais e de manejo, além da sua elevada produtividade (SCHWEITZER, 2016).

A lei de incentivos fiscais nº 5.106 de 02 de setembro 1966 (ANEXO I), concedeu benefícios para aqueles que desejassem empregar suas importâncias em florestas e reflorestamentos, obedecendo a uma série de regras estabelecidas pelo governo federal (BRASIL, 1966).

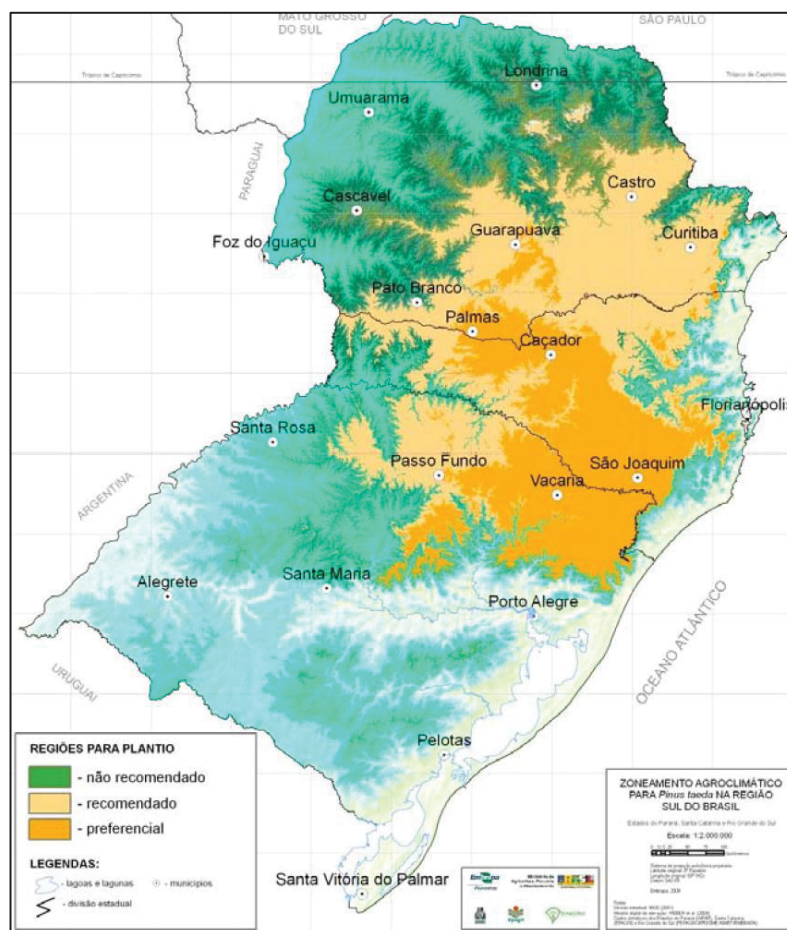
Entre as principais diretrizes estavam a realização de práticas florestais em terras que tinham justa posse, título de posse, entre outras modalidades, tivessem também, o projeto aprovado previamente pelo Ministério da Agricultura, projetos que compreendessem um plantio anual de no mínimo 10.000 árvores e que as áreas servissem de exploração econômica ou a conservação de solo e água, esta lei de possibilitou o principalmente o desenvolvimento de indústrias de base florestal, diminuindo a exploração das florestas nativas, sobretudo da *Araucaria angustifolia* (BRASIL, 1966).

A área plantada com o gênero *Pinus* no Brasil mantém-se praticamente inalterada nos últimos sete anos, flutuando no índice de 1,60 milhões de ha, o relatório da Indústria Brasileira de Árvores de 2014, dados base de 2013, cita que as florestas de *Pinus* no Brasil ocupavam 1,57 milhões de ha (IBA, 2014).

Atualmente são 1,60 milhões de ha, a diminuição na área plantada pode ser explicada pela gradativa substituição dos reflorestamentos de *Pinus* por plantios de *Eucalyptus*, principalmente em regiões que as espécies deste gênero possuem melhor desenvolvimento, como nos estados de Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso do Sul (IBA, 2019).

Nos estados da região sul, porém, a maioria dos reflorestamentos é do gênero *Pinus*, com uma área superior a 1,40 milhões de ha plantados, a região possui mais de 85% do *Pinus* plantado no país, pois se mostrou propícia ao plantio deste gênero, como mostra a FIGURA 3 (EMBRAPA, 2008).

FIGURA 3 – ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA *Pinus taeda* NA REGIÃO SUL DO BRASIL



FONTE: Adaptado de Embrapa (2008)

As condições edafoclimáticas da região sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), assim como as províncias de Misiones e Corrientes na Argentina, têm-se caracterizado como áreas de maior potencial de crescimento de *P. taeda* no mundo. Considerando os relatos de diversas empresas e instituições do setor florestal, constata-se que o *P. taeda* não somente alcança o seu maior desenvolvimento em plantios florestais nessas regiões, como também é a espécie de *Pinus* subtropical de maior crescimento em áreas expressivas (FERREIRA, 2005).

O mapa de zoneamento agroclimático mostra que áreas preferenciais para o cultivo do *P. taeda* estão localizadas nas partes de maior altitude, regiões mais frias, que correspondem a uma parte do terceiro planalto paranaense e áreas de altitude do primeiro planalto.

Também do ponto de vista climático, a espécie encontra áreas preferenciais nas serras gaúchas e planalto e serra catarinenses. Nestas regiões, não havendo restrições de solos e com uso de sementes de boa qualidade e práticas silviculturais adequadas, a espécie pode apresentar alta produtividade. Os solos mais adequados para o desenvolvimento de *P. taeda* são profundos, bem drenados, com grande espessura do horizonte (BIZON, 2006).

Bognola (2007) observou grandes variações na produtividade de *P. taeda* no Noroeste do Paraná e sul de São Paulo, em relação às condições edafoclimáticas

As áreas não recomendadas para o plantio do *P. taeda* são as áreas de transição, onde, embora não existam restrições do ponto de vista climático, o incremento volumétrico é inferior aos dos *Pinus* tropicais e inferiores às regiões preferenciais e recomendadas (EMBRAPA, 2008).

Considerando o mapa apresentado na FIGURA 3, essa diferença é observada principalmente nos limites naturais do segundo planalto paranaense, limitado a leste pela Escarpa Devoniana e a oeste pela Escarpa da Esperança, região com grandes áreas de reflorestamento. As áreas fora dos limites da classificação não são recomendadas para o seu plantio (EMBRAPA, 2008).

O plantio de *Pinus* é formado por várias ações e constitui-se em uma das mais importantes etapas para o sucesso do estabelecimento de florestas plantadas. O sistema de plantio mais adequado é definido com base no objetivo do empreendimento e no uso final da floresta, já o sucesso depende de decisões e

ações cuidadosas nas diversas etapas de sua implantação, como a escolha e a limpeza da área, o espaçamento, o controle de pragas e doenças, a definição do método de plantio e os tratamentos silviculturais (EMBRAPA, 2011).

Os fatores pré-implantação das florestas de *Pinus* são fatores fundamentais para a obtenção de altos índices de produção. No atual momento, a produção média brasileira nas florestas de *Pinus* atinge valores de 30m³/ha/ano (IBA, 2019), sendo que no fim da década de 60 os índices chegavam a apenas 10 m³/ha/ano (MATTOS, 1966).

O valor apresentado pelo IBA (2019) posiciona o Brasil como o país com a maior produtividade, medida em volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, e a menor rotação do mundo, que equivale ao tempo decorrido entre o plantio e a colheita das árvores. Segundo o mesmo autor, a produtividade média de países concorrentes como China, Canadá e países do sudeste da Ásia, chegam a valores entre 20 a 25 m³/ha/ano, com rotações que podem chegar a até 40 anos.

A madeira proveniente dos plantios de *Pinus* tem se destacado como uma excelente matéria prima para multiprodutos. O conceito de florestas multiprodutos é de em uma mesma árvore consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos, sendo essa, provavelmente, a opção que apresente maior possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais (SOARES *et al.*, 2003).

A utilização da madeira de *Pinus* no Brasil encontra-se diversificada, gerando produtos não só como lâminas, painéis compensados e madeira serrada, mas também painéis reconstituídos (MDP, MDF e OSB), destinados principalmente aos setores da construção civil, de móveis e embalagens, atendendo aos mercados interno e externo. Apesar do alto grau de diversificação atual, a cada dia surgem novos produtos e aplicações resultantes do esforço contínuo de pesquisas realizadas em universidades, institutos e empresas do país e do mundo (BORTOLETTO JR, 2006).

Neste contexto, as indústrias estão requerendo reflorestamentos mais produtivos, com árvores de qualidade superior e maior uniformidade, permitindo a destinação para variadas aplicações, porém, para que estes objetivos sejam atingidos, faz-se necessário à combinação de técnicas de silvicultura, manejo,

aliadas a qualidade das sementes utilizadas na produção das mudas e pesquisas de situação.

3.5 PESQUISAS REALIZADAS COM *Pinus taeda* NA ÁREA DE QUALIDADE DA MADEIRA

O acelerado crescimento do conhecimento sobre a espécie tornou quase que impraticável o ensino tradicional baseado exclusivamente na transmissão oral de informação. Em muitas disciplinas, transmitir todo o conteúdo relevante, dentro das cargas horárias disponíveis é inviável. Mais importante ainda, o conhecimento não é acabado, e muito do que o estudante, os mentores e os profissionais precisarão saber ainda está por ser descoberto (BEIRÃO, 1998).

O autor complementa relatando que o desafio da universidade hoje é formar indivíduos capazes de buscar conhecimentos e de saber utilizá-los. Ao contrário de anos atrás, quando o importante era dominar o conhecimento, hoje o importante é "dominar o desconhecimento", ou seja, estando diante de um problema para o qual ele não tem a resposta pronta, o profissional deve saber buscar o conhecimento pertinente e, quando não disponível, saber encontrar, ele próprio, as respostas por meio de pesquisa.

Muitas pesquisas foram desenvolvidas com as espécies do gênero *Pinus*, principalmente com a *P. taeda*, atualmente a mais importante comercialmente no país, estas pesquisas podem relatar desde características de crescimento, propriedades físicas, mecânicas, químicas e de utilização.

As principais características avaliadas em programas de melhoramento de *P. taeda* são relacionadas à produtividade e à qualidade da madeira, de acordo com o objetivo da produção (MARTINEZ *et al.*, 2012).

A avaliação das variáveis diâmetro e altura vem sendo utilizada em testes genéticos para prever a produtividade e estimar os parâmetros e ganhos com seleção. O desempenho dos materiais genéticos em diferentes locais permite avaliar a interação genótipos x ambientes e obter informações sobre adaptabilidade (DEMERRITT; GARRET, 1996), além de estabilidade e produtividade.

Couto e Vettorazo (1999), em seleção de equações de volume e peso seco comercial para *P. taeda* localizados em Telêmaco Borba, obtiveram a partir de

plantios de 6 e 11 anos, DAP de 14,1 cm e 19,4 cm, altura total de 10,6 m e 16,0 m, volume com casca de 0,078 m³ e 0,246 m³.

Klock (2000) e Mendes (2002), que avaliando diferentes espécies de *Pinus* provenientes do mesmo sítio de crescimento em Ventania – PR, obtiveram para o *P. taeda* altura total 14,96 m e 15,28 m, diâmetro médio de 28,01 cm e 28,71 cm e volume médio sem casca de 0,334 m³ e 0,340 m³, para árvores com 10 e 11 anos respectivamente.

Avaliando a variabilidade da densidade a partir de diferentes classes de sítio em diferentes idades, provenientes das regiões de Castro, Campo Largo e Guarapuava, Siqueira (2004) obteve altura entre 15,50 m e 33,90 m e DAP no intervalo de 17,8 cm a 47,70 cm.

Em estudo sobre a qualidade da madeira desta espécie com 21 anos em diferentes espaçamentos, localizados na região de Três Barras (SC), Chies (2005) obteve altura média total entre 26,08 m a 27,80 m, diâmetro médio na altura do peito 26,48 cm a 31,12 cm e incremento médio anual entre 1,32 cm/ano a 1,56 cm/ano.

Shimoyama (2005) em análise da qualidade da madeira de *P. taeda* com 28 anos, proveniente da região de Sengés (PR) encontrou altura média para o povoamento de 25,20 m e DAP médio de 35,40 cm.

Oliveira *et al.* (2006) em determinação das propriedades da madeira de *P. taeda*, em plantios com 9, 13 e 20 anos, obtiveram para plantios localizados em Sengés – PR, altura média de 12,60 m, 20,40 m e 22,30 m, e DAP médio de 19,80 cm, 27,20 cm e 33,10 cm, respectivamente.

Castelo (2007) em experimento a partir de plantios com 14 e 18 anos em diferentes espaçamentos na região de Piraí do Sul – PR obteve altura total no intervalo de variação de 16,94 m a 22,86 m e DAP entre 24,67 cm e 30,08 cm.

Romão (2009) em experimento com diferentes famílias em um teste de progênie de *P. taeda* com 10 anos obteve DAP médio de 20,73 cm e altura total média de 9,73 m.

Trianoski (2012) em estudo sobre a qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos, obteve valores médios de DAP e altura média de 33,46 cm e 17,75 m, respectivamente, para árvores de *P. taeda* com 17 anos.

As características da madeira de *P. taeda*, apresentam de maneira geral, alborno branco amarelado e cerne marrom avermelhado, grã direita, textura média, onde a formação do cerne tem início aproximadamente aos 20 anos de idade. A densidade do *P. taeda* apresenta valores baixos, constituição química e dimensionamento de traqueídeos variável, pois são diversos os fatores que afetam seu crescimento (USDA, 1985).

O levantamento realizado sobre os estudos envolvendo estas propriedades possibilitam a afirmação de que os valores médios para esta espécie são muito variáveis.

A densidade, devido a sua facilidade de mensuração, tornou-se uma das variáveis mais estudadas da espécie, alguns destes valores são citados na TABELA 2.

TABELA 2 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO *P. taeda* DESCRITA POR OUTROS AUTORES

AUTOR	LOCAL	IDADE	DB (g/cm ³)
Klock (2000)	11 anos	Ventania, PR	0,364 ~ 0,467
Chies (2005)	21 anos	Três Barras, SC	0,414 ~ 0,434
Castelo (2007)	18 anos	Pirai do Sul, PR	0,377
Xavier; Matos; Trianoski (2008)	-	-1111111	0,351 ~ 0,390
Trianoski (2010)	-	-	0,495
Trianoski <i>et al.</i> (2013)	18 anos	Ventania, PR	0,485
Schweitzer (2016)	18 anos	Ponte Alta do Norte, SC	0,361

FONTE: O autor (2020).

Em referência a composição química, apresenta extrativos totais de 3,03%, teor de lignina de 28,76%, teor de holocelulose de 68,00% e teor de cinzas de 0,17% (KLOCK, 2000).

Andrade (2006) encontrou valores entre 2,15% a 2,40% para extrativos totais, 26,55% a 28,87% para teor de lignina, teor de holocelulose entre 70,70% a 72,73% e teor de cinzas no intervalo de 0,23% a 0,28%.

Trianoski (2010) obteve teor de extrativos totais de 7,37%, teor de lignina de 29,34%, teor de holocelulose de 63,03 e teor de cinzas de 0,30%. Em 2012, Trianoski, obteve teor de extrativos totais de 3,34%, teor de holocelulose de 65,87%, teor de cinzas de 0,28% e teor de lignina de 30,51%.

Schweitzer (2016) obteve teor de extrativos totais de 3,70%, teor de holocelulose de 63,08%, teor de cinzas de 0,26% e teor de lignina de 26,94%.

O *P. taeda* possui traqueídeos longos, o que favorece a sua utilização como matéria prima para a produção de papel *kraft*, usado em sacarias e embalagens de “papelão” e também produção de celulose branqueada, com rendimento aproximado de 48% no processo sulfato (SHIMOYAMA, 2005), já no processo *kraft*, Giesel (2019) obteve rendimento médio de 54%.

Nisgoski (2005) encontrou comprimento médio entre 3,20 mm a 3,48 mm e largura de traqueídeos no intervalo de 37,22 μm a 40,42 μm e espessura de parede entre 5,90 μm e 6,67 μm .

Andrade (2006) determinou comprimento na faixa de 2,22 mm a 2,78 mm e largura de 36,60 μm a 38,51 μm .

Sousa *et al.* (2007) obtiveram comprimento entre 2,55 mm a 3,50 mm, largura de traqueídeos entre 51,90 μm a 53,14 μm e espessura de parede de 7,65 μm a 10,70 μm .

Castelo (2007) encontrou comprimento de 3,03 mm, diâmetro de 52,08 μm e espessura de parede de 8,84 μm . Já Ballarin e Lara Palma (2003) obtiveram comprimento médio de 4,20 mm para madeira juvenil e 5,32 mm para madeira adulta.

Os estudos com as espécies do gênero *Pinus* buscam aumentar a produtividade das florestas, selecionar materiais geneticamente superiores, com qualidade e maior produtividade, que causem menos impactos ambientais e que harmonizem com a sociedade, entre outros fatores.

A competitividade do setor florestal evoluiu muito nas últimas décadas, devido principalmente ao avanço tecnológico florestal e a capacitação profissional, sendo assim, a busca por informações a respeito das principais características da madeira que influenciem na produção, incluindo também os principais aspectos a serem considerados no caminho da madeira do *Pinus* da floresta até o produto final se tornam fundamentais, pois melhoram o processo como um todo e trazem consigo a necessidade de um conhecimento ainda maior dos fatores ligados a atividade e a matéria prima a ser utilizada, pois para a correta e melhor utilização da madeira é fundamental conhecê-la.

3.6 QUALIDADE DA MADEIRA

A madeira é formada através de um processo biológico que ocorre dentro da árvore viva, porém, a qualidade da madeira, é uma avaliação arbitrária de uma peça, de uma parte ou até mesmo da árvore toda, conseqüentemente, a qualidade da madeira só poderá ser alterada através de processos de formação da madeira, através de tratamentos silviculturais e pela seleção e melhoramento genético (REMADE, 2003).

O termo qualidade possui efeito subjetivo, pois está relacionado com a cultura, com a necessidade e com a demanda de cada empresa (DEMING, 1990). Segundo Gac (2019), este termo pode ser classificado como o grau de utilidade apresentado pela árvore e pode ser verificado através de seu uso.

A determinação da qualidade da madeira é tida como um conceito dinâmico, o qual é composto por uma série de características físicas, químicas, anatômicas e mecânicas, o que conferem a cada espécie uma determinada aptidão de uso (BIRKLAND, 1990).

O autor complementa relatando que devido a madeira ser um material biológico cuja variabilidade é uma de suas principais características, ocorrem diferenciações entre árvores de espécies diferentes, entre árvores da mesma espécie e também dentro da própria árvore, esta variabilidade também é encarada como uma característica desfavorável da madeira como matéria prima.

A classificação da madeira pode ser realizada em função do uso que será dado a mesma seja na produção de celulose e papel, fabricação de compensados ou para desdobro nas serrarias, sendo esta qualidade avaliada por uma série de parâmetros, como densidade, comprimento de fibra (JANKOWSKY, 1979), teores de constituintes químicas, celulose, lignina, extrativos e cinzas, resistência a esforços mecânicos, contrações nos planos radial, tangencial e longitudinal de orientação, entre outros tantos fatores.

Os parâmetros de classificação da qualidade da madeira podem ser classificados como controladas geneticamente, ambientalmente e posicionalmente (pela posição no tronco), estas variações podem ser divididas em dois grupos de características, as de fatores internos, inerentes à árvore, e as de fatores externos, inerentes ao ambiente e as práticas silviculturais (DUFFIELD, 1961).

Sendo que estas características são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e as suas condições de crescimento e ambientais. Entre as principais características da madeira que são afetadas pela interação árvore/ambiente, destacam-se a densidade, características morfológicas dos traqueídeos e a composição química (BRITO, 1983).

Os fatores ambientais, como solos, temperatura, precipitações e ventos, juntamente com as tendências hereditárias e influências fisiológicas, afetam a estrutura da madeira e, conseqüentemente, alteram principalmente a densidade (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A densidade é a característica tecnológica mais relevante da madeira, pois dela dependem outras propriedades, como por exemplo, a resistência mecânica, retratibilidade, além de ser uma importante propriedade na definição da usabilidade da madeira, os mesmos autores relatam que a densidade da madeira reflete a composição e o volume de matéria lenhosa por peso (BURGER; RICHTER, 1991).

A densidade, além de ser uma importante ferramenta na determinação da qualidade da madeira, está diretamente relacionada os módulos de elasticidade e ruptura e interage com as proporções de lenho juvenil e adulto presentes nas árvores, alguns autores fazem a relação de quanto menor a proporção de lenho juvenil, maior será a densidade e maiores os módulos de ruptura e elasticidade da madeira (BALLARIN; PALMA, 2003).

Devido a densidade da madeira ter se tornado um indicativo universal para expressar a qualidade da madeira, houve em muitas pesquisas uma extrapolação, onde

FOCKEL *et al.* (1990) relataram que pelas inúmeras facilidades apresentadas em sua determinação, a densidade básica tem se tornado um índice universal para avaliação da qualidade da mesma, contudo a extrapolação não deve ser feita de maneira absoluta, pois isto implica no aumento da possibilidade de erros, pois o fato real é que a madeira varia consideravelmente, inclusive dentro da mesma árvore.

Garcia (1995) afirmou que a densidade é a propriedade da madeira que mais fornece informações sobre as demais propriedades da madeira, sendo aconselhável agregar a ela outras propriedades, pois devido as variações existentes,

fazer uso somente da densidade na determinação da qualidade da madeira pode-se não atingir os resultados esperados.

Atualmente no Brasil, devido à necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies florestais, especialmente nas de rápido crescimento, há uma intensificação nos estudos sobre a qualidade da madeira, dando ênfase a pesquisas sobre densidade, orientação da grã, comprimento de fibras, resistência mecânica e sobre características tecnológicas destas espécies em relação a produtos e processos, para a correta utilização das mesmas.

Moreschi (1976); Foelkel (1976); Barrichello & Brito (1978); Barrichello (1979); Tomaselli (1980), Tomaselli & Castro (1980); Pereira (1982, 1992); Durlo (1988); Klock (1989); Stump (1992); Muñiz (1993); Lara Palma (1994); Lucas Filho (1997); Bortoletto Junior (1993 E 1999); Trianoski (2012); Schweitzer (2016), entre outros, estudaram as propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas das espécies do gênero *Pinus* plantadas em várias regiões do país, com idades diversas, comparando, em alguns estudos, com a madeira de *Araucaria angustifolia*, contribuindo de forma importante para o estabelecimento da qualidade da madeira das espécies do gênero *Pinus* nas condições brasileiras.

Em termos de qualidade da madeira, as espécies nativas da região sul do Brasil, eram muito superiores em relação à madeira proveniente de povoamentos de *Pinus* implantados durante o período de vigência dos incentivos fiscais (PEREIRA, TOMAZELLI, 2004).

Segundo Brand *et al.*, (2000) naquela situação os povoamentos de *Pinus* foram implantados para uso em celulose e papel. Já na década seguinte a indústria de madeira serrada iniciou o consumo desta madeira, que cresceu à medida que as áreas de florestas nativas se esgotavam ou eram destinadas à preservação. Como o plantio não tinha sido submetido a tratamentos silviculturais – podas e desbastes – a madeira era de baixa qualidade se comparada às madeiras de nativas.

3.6.1 Fatores que afetam a qualidade da madeira

Os estágios de crescimento de uma árvore são controlados por seus genes, podendo haver variações genéticas entre árvores vizinhas de um povoamento, por exemplo, já árvores individuais têm níveis bem diferentes de monoterpenos

indicando que tanto a quantidade como qualidade estão sob um forte controle genético (ROMÃO, 2009).

Estudos de crescimento de povoamentos de *P. taeda* jovens e velhos mostram que há muita variação não explicada entre árvores individuais em sítios uniformes, estes estudos provam que há uma variação genética substancial em fecundidade, sobrevivência, crescimento, forma e resistência a insetos e pragas entre árvores individuais (ZOBEL; JETT, 1995).

Muitos estudos buscam de forma direta ou indireta explicar as variações das propriedades da madeira, seu controle e efeito na qualidade do produto final, no entanto, as propriedades da madeira são frequentemente afetadas por mudanças de crescimento (ZOBEL; JETT, 1995; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Fatores como tratos silviculturais e insumos podem afetar diretamente a madeira, devido a mudanças fisiológicas na árvore causando alterações em sua forma e modificando os padrões e taxas de crescimento. É importante, portanto, conhecer as causas dessa variação e os seus diferentes efeitos sobre as propriedades da madeira em uso (ZOBEL; JETT, 1995; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; MATOS, 2003).

Diversos outros fatores podem afetar as propriedades da madeira, estes autores classificam estes aspectos como pertinentes a madeira e pertinentes ao meio de crescimento.

Os fatores referentes ao meio são, o sítio de crescimento, as práticas silviculturais, irrigação, drenagem, podas, desbaste, localização, espaçamento e taxa de crescimento, já como fatores relacionados a madeira pode-se citar a idade, espécie, posição no tronco, porcentagem de lenho juvenil e adulto, dimensão e uniformidade de traqueídeos, dimensão dos anéis de crescimento, quantidade de nós (MATOS, 2003).

Conceituar a qualidade da madeira se torna um exercício difícil do ponto de vista tecnológico, uma vez que essa qualidade depende do uso final a que se pretende dar a madeira. Fuste cilíndrico livre de nós, crescimento em diâmetro e altura, alta densidade, resistência à agentes biodegradadores, são características desejáveis para aplicação tecnológica em geral (ROMÃO, 2009).

3.6.1.1 Fatores inerentes à madeira

3.6.1.1.1 Teor de umidade

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente em uma amostra em relação a sua massa seca (KOLLMANN, 1959).

Romão (2009) cita que uma árvore recém-cortada contém grande quantidade de água, variando seu teor de umidade segundo a época do ano, a região e a espécie. A água pode ser encontrada em três diferentes formas: água livre que ocupa as cavidades celulares do lúmen dos elementos vasculares; água higroscópica (de impregnação) que se encontra impregnada nas paredes celulares e a água de constituição que forma parte da estrutura das paredes celulares. Assim a madeira irá sofrer mudanças dimensionais, quando houver perdido todo o conteúdo de água livre e começar a perder a água higroscópica.

Diversos autores constataram que a umidade de equilíbrio depende de vários fatores, como a espécie, porcentagem de lignina e celulose, quantidade de extrativos e tratamento térmico e químico dados à madeira (GATTO, 2008).

O mesmo autor afirma que, outro fator que tem influência na umidade de equilíbrio é a temperatura de secagem a qual a madeira é submetida, esse fator pode também influenciar as propriedades mecânicas relacionadas à flexão estática, sendo ela módulo de elasticidade e ao módulo de ruptura.

Corroborando com isto, Weber (2005) citou que a umidade de equilíbrio da madeira varia com a temperatura e com a umidade relativa do ar e apresentará distintos valores segundo a região em que se encontre.

A maior parte das propriedades de resistência e elásticas características da madeira variam inversamente com a umidade da madeira abaixo do ponto de saturação das fibras e acima deste, essas propriedades se tornam constantes com as mudanças no teor de umidade (PANSHIN; ZEEUW, 1970).

A umidade interfere nas propriedades da madeira reduzindo sua resistência mecânica, seu poder calorífico e por outro lado facilitando a trabalhabilidade, aumentando o rendimento e quantidade de polpa celulósica, e aumentando a susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos (CASTELO, 2007).

3.6.1.1.2 Espécie

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna, assim sendo, espécies diferentes possuem massas específicas diferentes. As diferenças de arranjo nos tecidos, dimensões de lume das células e espessura das paredes celulares determinam valores próprios de densidade para cada espécie de madeira (CASTELO, 2007).

Esta variabilidade em valores de densidade pode ocorrer ainda dentro de uma mesma espécie, dependendo da região onde a árvore cresce. Portanto, os valores de densidade representam valores médios para a espécie, sendo importante, quanto a sua determinação, uma amostragem adequada das árvores (KLOCK, 2000).

Devido à madeira ser um material lenhoso, constituído de células dispostas nos sentidos radial e axial, ligadas entre si pela lignina e por estas células terem passados por diversos processos de desenvolvimento, como a divisão celular, diferenciação e maturação, estas são influenciadas em cada um desses estágios por fatores genéticos, edáficos, climáticos, silviculturais, geográficos, dentre outros (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Entretanto, devido às interações espécie-ambiente, as espécies podem apresentar comportamentos contrastantes quando plantadas em ambientes distintos, assim, os resultados observados em um determinado ambiente não podem ser extrapolados para outros ambientes (KAGEYAMA; CASTRO, 1989).

Portanto, as propriedades anatômicas e físico-mecânicas variam entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie, bem como num mesmo indivíduo (MUNIZ, 1993).

3.6.1.1.3 Idade

Dadswell e Nicholls (1960) observaram que a variação das propriedades da madeira em função da idade deve ser levada em consideração para os estudos de qualidade, pois, observaram que, rotações florestais longas beneficiam a qualidade e o rendimento, proporcionando produtos de maior valor devido a maior proporção de madeira limpa de qualidade superior.

Corroborando a isto Weber (2005), em estudo sobre a caracterização da madeira de *P. taeda*, concluiu que com o aumento da idade ocorre também o aumento da resistência da madeira.

Souza (2007) estudando o efeito da idade e da posição radial na densidade básica do *P. taeda* L. nas idades de 9, 13 e 20 anos, concluiu que a idade da árvore influenciou a densidade básica e que houve um aumento no sentido medula-casca.

3.6.1.1.4 Posição na árvore

A natureza das células da madeira é grandemente influenciada pela idade real do tecido cambial e, deste modo, zonas distintas da madeira podem ser percebidas dentro da árvore, dependendo da posição da madeira em relação ao centro do tronco e ao topo da árvore (COWN, 1974).

As espécies do gênero *Pinus* apresentam no sentido axial uma tendência de aumento do comprimento de fibras até o meio do tronco, decrescendo a partir daí em direção à copa (DINWOODIE, 1965).

Ratificando isto, Sânio (1872) mostrou haverem variações no comprimento das fibras de *P. sylvestris*, dependendo de sua posição no tronco. O comprimento das fibras aumenta até um máximo na direção medula casca e quanto mais próximo da base do tronco, o mesmo acontece, em geral, para a porcentagem de lenho tardio, densidade e conteúdo de celulose.

Com o aumento da idade as células cambiais passam a produzir células com maiores dimensões até atingirem a estabilização em idades mais avançadas (COWN, 1975; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA, 2005). Desta forma há um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca (COWN, 1975; COWN, 1992; KIBBLEWHITE, LLOYD, 1983; MUNIZ, 1993, KLOCK, 2000; SHIMOYAMA, 2005).

De maneira geral, a árvore forma anéis de crescimento mais largos no seu interior, próximo à medula, e anéis estreitos na parte mais externa, próximo à casca. Ocorrem variações de porcentagem de lenho inicial e tardio, resultando em variações de densidade (KLOCK, 2000).

Outro aspecto importante relacionado às espécies de rápido crescimento é com a posição no tronco e a ocorrência da madeira juvenil e da madeira. A grande

diferença entre os dois tipos de lenho está na densidade, sendo que, a madeira juvenil é mais leve, de menor densidade, apresentando menor resistência que a madeira adulta, de maior densidade (PANSHIN; ZEEUW, 1970).

Ao longo do tronco ainda existem grandes variações da densidade, encontrando-se um valor máximo na base do tronco, onde são requeridos tecidos de sustentação mais rígidos. A densidade decresce à medida que se distancia da base em direção à copa, sendo que, tal variabilidade ocorre entre indivíduos nos sentidos longitudinal e radial (KLOCK, 2000).

3.6.1.1.5 Lenho juvenil e adulto

Devido ao rápido crescimento, as espécies do gênero *Pinus*, plantadas no sul do país, atingem dimensões de comercialização ainda muito jovens, atualmente as rotações atingem, em média, 21 anos (IBA, 2017)

A madeira das árvores jovens difere daquela de árvores mais velhas, devido à maior percentagem de madeira juvenil das primeiras (PEARSON; GILMORE, 1971).

A idade de transição da madeira juvenil para adulta, mensurada por meio das variações de densidade ou do comprimento das fibras difere de acordo com as espécies, por exemplo, essa transição, avaliada pela variação de densidade, ocorre entre 5 e 6 anos em *P. elliotii*, *P. caribaea* e *P. radiata*, aproximadamente aos 10 anos em *P. taeda* e 20 anos em *P. ponderosa* (LOO *et al.*; 1985).

Para Zobel e Buijtenen (1989), essa mudança não se processa da mesma forma para as diferentes características e propriedades da madeira. Como exemplo, a estabilização e a mudança se dão de maneira mais rápida para a densidade do que para o comprimento dos traqueídeos.

Panshin e Zeeuw (1970) definiram conceitualmente os termos madeira juvenil e madeira adulta, como sendo, a madeira juvenil aquela formada próxima à medula da árvore, caracterizada pelo progressivo aumento nas dimensões, pela mudança das características e pelo arranjo das células e a madeira adulta possuindo células de tamanho relativamente constante, padrão estrutural bem desenvolvido, com comportamento físico estável.

As principais diferenças entre a madeira juvenil e a madeira adulta são as de que a madeira juvenil possui menor densidade, maior ângulo das microfibrilas na camada S2, traqueídeos mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemicelulose, menor conteúdo de celulose e menor resistência, em relação à madeira adulta, grã distorcida (BENDTSEN, 1978; ZOBEL, 1984; LARSON *et al.*, 2001).

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de lenho juvenil apresentam classes de resistência inferiores, sendo este o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (MCALISTER; CLARK, 1991; GEIMER *et al.*, 1997).

A proporção de madeira juvenil numa tora é dependente da idade de corte (KELLINSON, 1981).

A TABELA 3 apresenta a variação média da proporção de madeira juvenil em função da idade, em árvores de *P. taeda* obtidas por Kellinson (1981).

TABELA 3 – VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE *Pinus taeda* NOS ESTADOS UNIDOS

IDADE (anos)	Porcentagem de madeira juvenil	
	Peso seco (%)	Volume (%)
15	76	85
25	50	55
45	15	19

FONTE: Kellinson (1981).

Apesar da madeira juvenil, em geral, apresentar anéis anuais de crescimento largos, este aspecto não está necessariamente associado à madeira juvenil, já que existem outras variáveis que podem determinar o estado juvenil da madeira, como fatores silviculturais, de manejo, da plantação ou fatores genéticos (TSOUMIS, 1991).

A localização da madeira juvenil no fuste é discutida por muitos pesquisadores, estimando-se que está compreendido em uma faixa entre o quinto e o vigésimo anel anual de crescimento (PANSHIN; ZEEUW, 1970).

Entretanto, investigações realizadas na Nova Zelândia para *P. radiata*, indicam que a madeira juvenil pode ser identificada como aquela que se encontra até o décimo anel anual de crescimento, porém isto não representa um bom indicativo, visto que fortes variações foram determinadas de acordo com a procedência do indivíduo, tendo-se a madeira juvenil compreendida até o décimo quinto anel ou ainda, localizada na zona interna aos dez primeiros anéis (COWN, 1980).

Assim, vários fatores podem incidir sobre a formação da madeira juvenil, como o sítio, técnicas de manejo florestal e tratamentos silviculturais.

A mudança das características da madeira juvenil para adulta não se dá de forma abrupta, mas sim gradativamente, de maneira que sua demarcação não é muito clara. O período de formação da madeira juvenil varia segundo a espécie e condições de crescimento, conforme as observações de Bendtsen (1978), e muitas características como o comprimento das fibras, espessura da parede celular, densidade, ângulo das fibras, resistência e outras, vão se modificando até atingirem certa estabilidade na madeira adulta.

3.6.1.1.6 Largura e uniformidade dos anéis de crescimento

Algumas características da madeira são empregadas como indicadores de suas propriedades desde o início de sua utilização, devido à fácil visualização. Dentro destas características destaca-se a configuração dos anéis de crescimento, juntamente com a formação do cerne e o aspecto superficial (KNIGGE; SCHULTZ, 1966).

Na maioria das coníferas a largura dos anéis de crescimento é facilmente identificável em corte transversal e pode ser indicadora de muitas características e do comportamento da madeira, tais como, a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma depois de trabalhada, nodosidade interna, densidade e propriedades mecânicas (CASTELO, 2007).

Os anéis de crescimento são as duas camadas entre a casca e o xilema (madeira) formados anualmente pelo sistema cambial. Uma camada é formada nas estações da primavera e do verão são denominadas em geral na literatura de lenho inicial ou primaveril. A outra camada formada no período do outono e inverno é

denominada de lenho tardio ou outonal (PANSHIN; ZEEUW, 1970; MUNIZ, 1993; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

Os mesmos autores citam que nas estações da primavera e verão há mais disponibilidade de luz, calor e água no solo e a árvore apresentará um intenso crescimento vegetativo. Logo, as células do lenho inicial serão mais curtas, mais largas, de diâmetros de lumens maiores e paredes finas. Já no final do período de outono e inverno a planta reduz sua atividade vegetativa, produzindo lenho tardio com fibras espessas, mais delgadas, com diâmetro de lúmen significativamente menores e aspecto escuro.

Claramente as condições de crescimento influenciam nas dimensões dos anéis de crescimento e, mudanças abruptas nestas condições contribuem para taxas não uniformes de crescimento radial. Taxas desuniformes de crescimento no período juvenil não influenciam diretamente a qualidade da madeira, estão associadas a outras características que contribuem para a qualidade dos produtos de madeira sólida (LARSON *et al.*, 2001).

A proporção entre os lenhos inicial e tardio é uma variável frequentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira. Muitos autores determinaram esta proporção, mostrando correlações significativas com a densidade, propriedades de resistência e outros fatores, como espécie, sítio e idade. A percentagem de lenho tardio é a característica da madeira mais facilmente determinada e, por isso, a mais utilizada. Por ser altamente relacionada com a densidade da madeira e por proporcionar um índice visual de resistência e propriedades estruturais, é uma característica muito utilizada como regra de classificação em qualidade de madeira (CASTELO, 2007)

Existem grandes variações de largura nos anéis de crescimento dentro de uma árvore, tanto no plano transversal como em função de sua altura. Estes autores observaram valores máximos de largura nos anéis de crescimento no ápice e na base das árvores crescidas em maciços florestais, localizando-se a zona de largura média, mais regular, na posição a um terço da altura da árvore (KNIGGE; SCHULTZ, 1966).

Para conseguir uniformidade dos anéis de crescimento, uma taxa constante de incremento deve ser mantida não somente no período juvenil, mas também durante a transição de lenho juvenil para adulto. Uma taxa uniforme de crescimento,

entretanto, não significa que os anéis terão as mesmas dimensões. A uniformidade significa é que os anéis decrescem com a idade da árvore, tendo constante a taxa de crescimento estabelecida na formação da madeira juvenil (LARSON *et al.*, 2001).

3.6.1.1.7 Madeira de reação

As árvores, durante o seu desenvolvimento, apresentam um crescimento vertical – em altura, e horizontal – em diâmetro, porém, se o ambiente é perturbado por forças mecânicas externas, tais como ventos fortes, crescimento geotrópico, terreno declivoso e seu próprio peso, a árvore tende a apresentar como resposta à estas forças o desenvolvimento da madeira de reação (BAMBER, 2001).

Nas coníferas esse tipo de lenho de reação é denominado de lenho de compressão, por formar-se na parte inferior de um fuste inclinado ou curvado. Nas folhosas, entretanto, os tecidos de reação ocorrem na região superior de uma inclinação ou curvatura no tronco e, na região superior dos galhos, sendo chamada madeira de tração (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Diante das forças externas e das tensões causadas nas árvores, o câmbio responde à distribuição destas tensões de forma assimétrica na região inclinada do fuste e com formação acelerada das células (BAMBER, 2001).

A madeira de reação é um tecido formado tanto por efeitos genotípicos como por estímulos mecânicos; essa formação ocorre, também, pela ação da gravidade, como em situações de inclinação das árvores. Essa madeira é formada por alterações do estado fisiológico do câmbio, que, provavelmente, é influenciado por diferentes concentrações de substâncias de crescimento (GROSSER, 1980).

Árvores com grandes volumes de nós possuem também uma grande quantidade de madeira de compressão (coníferas). O volume ocupado pelo núcleo nodoso e pela madeira de compressão aumenta substancialmente com o aumento da altura da árvore, contribuindo para o menor valor das toras mais altas (LARSON *et al.*, 2001).

Os autores citam que a densidade da madeira com esta característica é usualmente tida como mais alta que a da madeira normal. Entretanto, a densidade do lenho tardio da madeira de compressão é ligeiramente menor que a da madeira

normal devido aos espaços intercelulares, maiores diâmetros de lumes e a estrutura espiralada na parede secundária.

3.6.1.1.8 Defeitos

Os nós na madeira contribuem para a minimização do valor da mesma. Nós de grande diâmetro são áreas de menor resistência na madeira que já está classificada como de menor qualidade, ainda mais se a árvore for de rápido crescimento (LARSON *et al.*, 2001).

No caso específico das espécies de *Pinus* usadas em reflorestamentos, os nós são indesejáveis em algumas aplicações por limitarem o tamanho de peças, diminuam a resistência mecânica, entre outros fatores, contudo, no uso para fabricação de artesanatos, peças específicas a ocorrência de nós pode até ser benéfica (SCOLFORO, 1997).

3.6.1.1.9 Extrativos

Os extrativos são considerados minoritários e de baixo peso molecular, suas quantidades podem variar de uma espécie para outra e também, variar entre indivíduos de mesma espécie, sendo que estas substâncias não fazem parte da parede celular ou da lamela média (SCHWEITZER, 2016).

Os extrativos de uma amostra de madeira podem ser isolados com o propósito de uma avaliação detalhada da estrutura e composição de um ou mais componentes (KLOCK, 2005).

O mesmo autor relata que, de modo geral, na análise da madeira, somente a quantidade é determinada após o isolamento. Por este método, a madeira livre de extrativos é obtida, e poderá ser utilizada como material para o isolamento e análise dos componentes macromoleculares das paredes celulares.

O isolamento dos extrativos é realizado por extração com solventes neutros e/ou misturas destes, em sucessão. De acordo com as diferentes solubilidades dos extrativos, muitos esquemas e sequências podem ser realizadas, conforme a TABELA 4.

TABELA 4 – RELAÇÃO DO MODELO DE EXTRAÇÃO E SUBSTÂNCIAS POSSÍVEIS DE SEREM OBTIDAS

Extração	Grupos Principais	Subgrupos	Substâncias individuais
Destilação a Vácuo	terpenos fenóis hidrocarbonos lignanas	monoterpenos; sesquiterpenos di, tri, tetraterpenos politerpenos	conifeno careno limoneno pineno borneol
Éter	ácidos graxos óleos, gorduras ceras, resinas ácidos resinosos esteróis.	ácidos graxos saturados e não saturados,	ácido oleico ácido linoleico
Extração em etanol	pigmentos coloridos flobafenos taninos estilbenos	flavonóides antociaminas.	taxifolin quercetin
Extração em água	carboidratos proteínas alcalóides matéria inorgânica	monosacarídeos amido material péctico. cátions e ânions.	arabinose galactose rafinose Ca, K, Ma, Na, Fe.

FONTE: Klock (2005).

3.6.1.2 Fatores inerentes ao meio

3.6.1.2.1 Práticas silviculturais

A influência de práticas silviculturais na qualidade da madeira foi estudada por numerosos pesquisadores, tais como, Smith (1968), Larson (1969), Rudman e McKinnel (1970), Nicholls (1971), Cown (1974), Ohta (1981) e Chies (2005). Entre os fatores estudados encontraram-se o espaçamento, poda, irrigação, desbaste e adubação.

Qualquer modificação nos padrões de crescimento de uma árvore pode alterar a qualidade da madeira. Uma das principais causas observada é proporcionada pelas variações de manejo e de tratos silviculturais. No entanto, a dificuldade em relacionar os tratamentos silviculturais e as propriedades da madeira está na determinação da relação entre causa e efeito. Mesmo que ocorram mudanças na qualidade da madeira associada a algum tratamento silvicultural, a

questão será determinar se a mudança é resultante da diferença no padrão de crescimento ou tratamento aplicado, devendo cada situação ser analisada criteriosamente (MATTOS *et al.*, 2003).

Segundo Villela Filho (1994), os regimes de manejo têm evoluído historicamente de acordo com o nível de conhecimento sobre as florestas de *Pinus*. O melhoramento genético, a interação genótipo-ambiente, o conhecimento das necessidades dos clientes e a certeza de que as margens para erro se estreitaram, resulta em um índice de seleção crescente, através dos desbastes.

Em contrapartida, indivíduos mais uniformes requerem menor seleção, possibilitando implantações com massas específicas mais baixas e proporcionando indivíduos superiores volumetricamente. Se, por um lado, tende-se a uma pequena diminuição por unidade de área, por outro, propicia-se maior diversidade de produtos de maior valor agregado, aumentando-se a rentabilidade do negócio (CHIES, 2005).

3.6.1.2.2 Espaçamento

A escolha do espaçamento tem como principal objetivo proporcionar para cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo (CHIES, 2005).

O espaçamento de plantio influencia a formação de ramos e o crescimento das árvores (MATTOS *et al.*, 2003).

A diferença de densidade inicial das plantas interfere não apenas no desenvolvimento de copa e nas taxas de crescimento, mas também na competição por água e nutrientes, solo, umidade e na forma da copa das árvores e na qualidade do produto final, e a maior densidade inicial favorece a produção de ramos mais finos e menores (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Durante a fase inicial de crescimento, a demanda de uma planta é, principalmente, por umidade e calor. Se estes elementos estão presentes em quantidade adequada, qualquer sítio é capaz de suportar o crescimento inicial de um povoamento, mesmo com alta densidade. Entretanto, após alguns anos de crescimento, há um aumento na demanda e as árvores entram em competição por água, nutrientes, luz e pelo espaço para crescimento da copa e do sistema radial (CHIES, 2005).

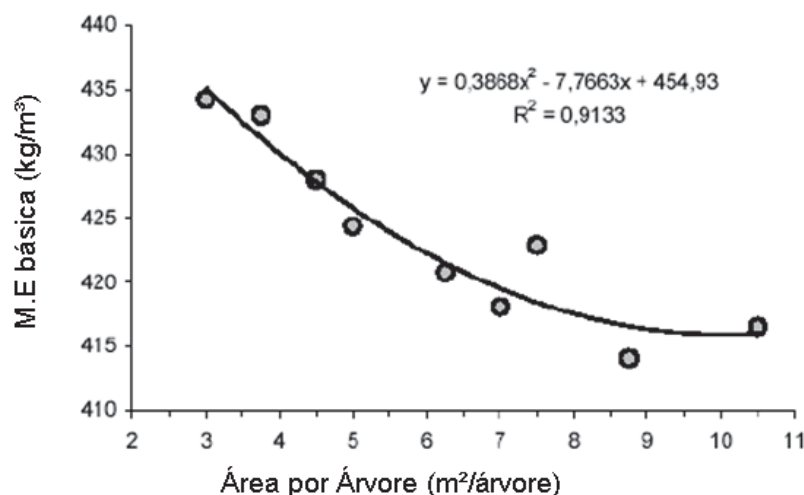
De acordo com Cardoso (1989), povoamentos muito densos tendem naturalmente a apresentar árvores de diâmetro menor se comparadas com árvores de povoamentos pouco densos, onde a concorrência por espaço é menor e o crescimento em diâmetro é mais acentuado.

Segundo Patiño-Valera (1986), o espaçamento ótimo é capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado.

Nogueira *et al.* (2008) estudando a influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *P. taeda* L. constatou que espaçamentos iniciais maiores resultam em maior conicidade do fuste das árvores, sob regime de alto fuste sem aplicação de desbaste, em relação a espaçamentos menores.

Chies (2005) estudando a influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *P. taeda* L. encontrou uma tendência decrescente de crescimento da densidade com o aumento do espaçamento, contudo não foram detectadas diferenças significativas entre as médias dos espaçamentos pelo teste de médias de Tukey. No GRÁFICO 1 é apresentado a tendência da densidade básica em relação aos tratamentos avaliados pelo autor no estado de Santa Catarina.

GRÁFICO 1 - TENDÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA PONDERADA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM SANTA CATARINA



Fonte: Chies (2005).

3.6.1.2.3 Desbaste

O desbaste é o corte de árvores do povoamento visando acelerar e orientar o incremento aos melhores indivíduos, elevar a qualidade fenotípica e até mesmo para manter a sanidade do povoamento. (SCHWEITZER, 2016).

Larson et al. (2001) salienta que desbaste mais pesados ou frequentes nos plantios jovens promovem o crescimento de galhos baixos, atrasam a desrama natural, aumentam a proporção de lenho inicial do anel de crescimento, aumentam a tendência de formação de lenho de reação, assim como, outras características das madeiras de rápido crescimento.

Um dos pontos mais importantes que podemos citar sobre a prática de desbaste nos plantios é de que haverá respostas benéficas, do ponto de vista da qualidade da madeira produzida, contudo, isso acontece ao custo do crescimento volumétrico individual das árvores do plantio.

De acordo com Fujiwara e Yang (2000), desbastes severos estão relacionados com a redução da massa específica e comprimento das fibras, além de um possível aumento do lenho de compressão.

3.6.1.2.4 Poda

O objetivo da poda de galhos verdes é reduzir a copa das árvores em pleno crescimento simulando uma condição de crescimento mais lento. A poda severa em que muitos galhos são removidos ao mesmo tempo, causa reajustes pronunciados no crescimento da árvore (CASTELO, 2007).

Larson *et. al.* (2001) relata que em muitos pontos as respostas de crescimento devidas à poda são opostas às aquelas causadas pelo desbaste. Porém, da mesma maneira que no desbaste, os efeitos causados são de vida curta. Dependendo da quantidade de galhos vivos removida, o quadro de crescimento retorna às condições normais em questão de poucos anos.

Os benefícios da poda de galhos verdes são: produzir toras retas ou troncas com nós pequenos e bem presos à madeira, e ainda um pequeno núcleo nodoso confinado ao centro das toras. Outros benefícios subordinados a estes são o

aumento do diâmetro da tora da base, e o aumento da percentagem de lenho tardio e da densidade nesta tora (CASTELO, 2007)

É aceitável que a poda, especialmente em plantações de espécies exóticas, irá aumentar a qualidade da madeira, pela redução da presença de nós (LATORRACA, 2000).

Devido a pequena copa residual, o crescimento em altura da árvore é temporariamente diminuído. Principalmente, porque os galhos baixos da nova copa iniciam seu crescimento e aumentam seu vigor. O crescimento radial na base da tora da árvore severamente podada é reduzido e a altura em que o anel de crescimento ocorre na árvore passa a ser a nova base da copa (SCHWEITZER, 2016).

O autor afirma ainda que todas as respostas podem ser associadas a uma copa menor e menos vigorosa e tronco livre de galhos, e em árvores jovens, a poda tende a acelerar a transição da madeira juvenil para a adulta na formação dos anéis de crescimento abaixo da base da nova copa.

Como considerações econômicas pode-se dizer que um efeito negativo da poda é o crescimento dos galhos da nova base da copa e a consequente redução do valor econômico das toras superiores da árvore (LARSON *et al.*, 2001).

Segundo Schultz (1986), a poda de galhos de crescimento vigoroso, acelera a transição da madeira juvenil à adulta abaixo do ponto de poda, podendo incrementar a densidade em cerca de 5% nesta porção do tronco.

Schilling *et al.* (1998), estudando a influência de diferentes intensidades de poda sobre a percentagem de lenho tardio e quantidade de nós na madeira de primeiro desbaste de *P. elliotii*, em povoamentos com 10 anos, não encontraram influência significativa da desrama sobre aquelas características.

3.6.1.2.5 Adubação, irrigação e drenagem

É difícil generalizar os efeitos da adubação na qualidade da madeira devido a um grande número de fatores que afetam esta relação, bem como ao fato de os estudos sobre o tema não terem condições de ensaio semelhantes.

De fato, a maioria dos estudos conduzidos sobre o crescimento de algumas espécies florestais do Sul dos EUA em sítios razoavelmente bons, indicaram que tanto a percentagem de lenho tardio quanto a densidade não são desfavorecidas

pela adubação. Quando aplicada regularmente, podem acarretar em reduções significativas na porcentagem de lenho tardio e na densidade da madeira (LARSON *et al.*, 2001).

De maneira geral, o efeito da adubação, embora não pareça ser negativo sobre a qualidade da madeira, muitos pesquisadores têm mostrado que ocorre uma diminuição na densidade e comprimento das fibras, podendo a redução na densidade diminuir a resistência da madeira. O efeito da adubação sobre a densidade parece estar limitado a fertilizantes a base de nitrogênio, para os quais a redução de 3 a 7% na densidade tem sido observada.

Entretanto, Cown (1980) não considera esse efeito de importância prática. As árvores consideradas sadias e vigorosas apresentam formas superiores resultantes da adubação, e assim têm um aproveitamento superior no desdobro, comparada as de desenvolvimento lento e, geralmente, de forma ruim.

As respostas de crescimento relacionadas à irrigação são similares às aquelas relacionadas à adubação. Ou seja, a resposta depende da época do ano em que é fornecida água ao plantio (LARSON *et al.*, 2001).

Os autores complementam que, a irrigação no início da estação de crescimento favorecerá o crescimento em altura e o desenvolvimento da copa, que promovem o desenvolvimento de lenho inicial; por outro lado, a irrigação feita no final da estação de crescimento prolongará a atividade cambial na formação de lenho tardio.

Na maioria dos estudos sobre irrigação, a água é fornecida ao longo de toda a estação de crescimento, resultando em grande crescimento e em anéis de crescimento maiores. Como são formados tanto lenho inicial como tardio, os efeitos na densidade da madeira são negligenciáveis, na prática a água deve ser fornecida quando necessária. Como a umidade do solo é um fator limitante no final da estação de crescimento, a irrigação neste período promoverá a formação de lenho tardio aumentando assim a densidade da madeira (LARSON *et al.*, 2001).

3.6.1.2.6 Localização geográfica

Vários trabalhos sobre o relacionamento da variação das características anatômicas com a ecologia e sua influência na qualidade da madeira de espécies do gênero *Pinus* foram realizados.

Cown (1974) encontrou uma variação de 30% na densidade em *P. radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia, já Harris (1977), por exemplo, mostrou que a densidade em *P. radiata* está relacionada com a altitude e Carlquist (1975, 1977) estudou as variações ecológicas influenciando nas dimensões das células constituintes da madeira.

Em um estudo sobre a variação nas características de crescimento de *P. densiflora*, Kim e Han (1997), encontraram correlações positivas entre o crescimento em altura dos plantios e a latitude. Porém, também foi observada correlação negativa entre o crescimento em altura e a longitude.

Larson *et al.* (2001), concluíram que a gama de valores de densidade para a madeira juvenil de *P. taeda* é menor que a da madeira adulta.

Castelo (2007) cita que a madeira juvenil é afetada aparentemente em um grau menor que a madeira adulta em se tratando de localização geográfica do sítio de plantio.

3.6.1.2.7 Sítio de crescimento

Sítio, em termos florestais, pode ser definido como uma área de terras, com a combinação dos atributos do solo, topografia, clima e fatores bióticos (COILE, 1952).

O autor complementa citando que, qualidade de sítio, é a capacidade produtiva de uma área de terras para uma espécie ou várias espécies, podendo ser expressa em termos de altura total de árvores dominantes a uma idade índice.

A qualidade do sítio é o fator seguinte ao espaçamento em grau de importância, afetando tanto o crescimento como a formação da madeira (LARSON *et al.*, 2001).

Os autores mencionam que o sítio varia na área de uma espécie, mas em todos os casos, a qualidade da madeira é relacionada com a resposta ao

crescimento, ou seja, sítios bons de crescimento, são ricos em nutrientes e com umidade adequada, produzindo assim madeiras com características de rápido crescimento, enquanto que, sítios pobres ou deficientes em umidade produzirão árvores com características de crescimento lento.

A produtividade do sítio é regulada entre outros fatores, pela quantidade e disponibilidade de materiais utilizados no crescimento das árvores. Os principais materiais abióticos são a água e os nutrientes, os quais têm sua qualidade e disponibilidade, intimamente relacionadas com as propriedades do solo (GONÇALVES *et al.*, 1990).

Muitos autores relatam que o sítio interfere diretamente na qualidade da madeira, entre eles, Zobel *et al.* (1960), Lantz e Hofmann (1969); Zobel *et al.* (1972).

Finger (1992) relatou em seu estudo que o crescimento das árvores é influenciado por fatores genéticos da espécie, que interagem com o meio ambiente, o qual compreende os seguintes fatores: climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação), edáficos (atributos físicos, químicos e biológicos), topográficos (altitude, inclinação e exposição) e competição.

O ambiente é tão importante quanto à espécie e o que deve ser considerado quando da instalação de plantios é a interação entre ambos (RIGATTO, 1992).

O desempenho de espécies florestais é fortemente influenciado pelas características dos sítios, sendo que pequenas variações entre áreas contíguas provocam grandes variações de respostas no crescimento das árvores (DAVIDE, 1994).

Burger e Richter (1991) sugerem que estas desigualdades nas propriedades tecnológicas da madeira estão associadas às condições do local de crescimento. Porém, outras variáveis também podem influenciar a qualidade da madeira conforme mencionado por Santini *et al.* (2000), que relatam que as intervenções silviculturais e de manejo também contribuem para as desigualdades tecnológicas da madeira.

3.6.1.2.8 Taxa de crescimento

De acordo com Yao (1970), a influência da taxa de crescimento nas propriedades da madeira não é claramente definida, existindo contradições.

O autor estudou a influência da taxa de crescimento, avaliando a densidade, porcentagem de lenho tardio e inicial em quarenta árvores de *P. taeda*, concluindo que a taxa de crescimento apresentou pouca influência na densidade.

As investigações de possíveis diferenças na qualidade da madeira como decorrência da taxa de crescimento, têm-se sucedido através dos anos. Entretanto, os resultados encontrados na literatura são bastante conflitantes para que possam permitir e justificar a elaboração de métodos e técnicas florestais específicos (CHIES, 2005).

Sabe-se que a taxa de crescimento das árvores varia ao longo do tempo de acordo com o ambiente ou até mesmo por intervenções humanas. Isso possibilita construir os fundamentos matemáticos para estimar o crescimento da mesma em um determinado sítio. O relato desse crescimento pode ser feito, em geral, com uma determinada função, empregando-se técnicas de regressão (MARTINS, 2007).

Mesmo com o relatado pelos dois autores, várias outras pesquisas aconteceram acerca do tema, Erickson e Harrinson (1974), citam que súbitas estimulações ao crescimento, normalmente, resultam em um aumento na porcentagem de lenho inicial e, conseqüentemente, em uma redução na densidade e no comprimento das fibras.

Fujiwara e Yang (2000) observaram em *P. banksiana*, *Picea mariana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*, correlação entre o comprimento das fibras e a taxa de crescimento em circunferência, sendo a relação negativa. Os autores concluíram que, a taxa de crescimento em circunferência é um bom indicador do efeito do crescimento da árvore no comprimento das células da madeira em coníferas.

Harris (1963) relata a tendência decrescente da densidade na madeira de *P. radiata*, com o aumento da taxa de crescimento em diâmetro.

Schultz (1986) afirma ser conhecido que tratamentos silviculturais mudam as propriedades da madeira, mas que os poucos resultados disponíveis são inconsistentes, e que não há relação conclusiva entre densidade e a taxa de crescimento e por conseqüência, árvores de rápido crescimento não terão necessariamente madeira de baixa qualidade.

Castelo *et al.* (2008) em estudo sobre a influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *P. taeda*, relata que sítios com taxa de

crescimento mais elevada apresentaram uma tendência a terem maiores valores de densidade.

3.6.2 Propriedades físicas

O estudo das características da madeira é essencial para seu uso eficiente, onde tanto as propriedades físicas como as mecânicas podem fornecer informações valiosas para a sua industrialização (KOLLMANN, 1959).

O conhecimento das propriedades físicas da madeira é de fundamental importância, pois está associado às diversas formas de transformação industrial, bem como às variadas formas de utilização deste material em diferentes produtos (TRIANOSKI, 2012).

Demuner (2011) afirma que a densidade básica é utilizada como índice universal para expressar a qualidade da madeira, pois além de ser uma propriedade fácil de ser determinada, influencia na qualidade do produto e expressa relações com as demais propriedades.

A determinação da densidade em estudos sobre a qualidade da madeira é de fundamental importância, por esta estar associada às características químicas, físicas e anatômicas da madeira e estar relacionada também nas aplicações que envolvem processamento mecânico, tratamentos de preservação, acabamentos, rendimento de celulose, capacidade energética, entre outros (TRIANOSKI, 2012).

Através da densidade é possível estimar o comportamento da madeira, o que auxiliará na otimização de processos industriais e na melhor aplicação dos tratamentos silviculturais (XAVIER; MATOS; TRIANOSKI, 2008).

A densidade pode variar tanto entre espécies, bem como dentro da própria árvore, possibilitando assim que haja a seleção de indivíduos com desenvolvimento superior (MILAGRES, 2009).

As variações dentro da mesma árvore dependem de mudanças na proporção dos vasos, espessura das paredes celulares e da proporção de seus constituintes químicos, o aumento da densidade da madeira está geralmente relacionado com o aumento da espessura da parede celular (SOUZA, 2012).

Durante a formação da planta seja ela da mesma espécie ou não, o processo fisiológico é único, resultando assim em massas específicas diferentes (KOCH, 1972; WAHLGREN; SCHUMAN, 1972).

Rosado e Brune (1983) mencionam que a densidade está relacionada com a produtividade das florestas e orienta a elaboração e a condução dos planos de corte, já Trugilho *et al.* (1990), conclui citando que a determinação da densidade é de fundamental importância para a avaliação da qualidade da madeira.

Baseando-se nos aspectos apresentados, a determinação da densidade é de grande relevância em estudos sobre a qualidade da madeira, pois fornece diversas informações sobre as suas características e sua relação com as demais propriedades (PINHEIRO, 1999), determinando muitas vezes a sua utilização final (KLOCK, 2000).

3.6.3 Propriedades químicas

Por exercer grande influência sobre as propriedades tecnológicas da madeira, atribui-se a composição química elevado nível de importância no estudo deste material (SCHWEITZER, 2016).

Em muitos casos, alguns destes elementos químicos são importantes indicadores da conformidade da madeira para diversos usos industriais (TRIANOSKI, 2012).

A autora complementando citando que estes elementos refletem sobre diversas propriedades da madeira, como por exemplo, o rendimento em celulose, capacidade energética, e principalmente no caso dos extrativos, sobre a cor, odor, gosto, durabilidade natural, cura de tintas, vernizes e adesivos.

A madeira, em termos orgânicos, é constituída por um complexo químico de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e minerais, estes elementos refletem diretamente nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (TRIANOSKI, 2012).

Já sob o aspecto da composição química elementar, os principais componentes são o carbono (49%-50%), o oxigênio (44%-45%), hidrogênio (6%), pequenas quantidades de nitrogênio (0,1%-1%) e uma diversidade de teor de cinzas (0,1%-1%) (TSOUMIS, 1991).

Devido à constituição química da madeira ser diversificada, com relação aos níveis das substâncias constituintes, pela alta complexidade estrutural, de ligações cruzadas e de grande importância na preservação e nas propriedades dos materiais lenhosos é atribuída a ela uma grande importância na caracterização deste material (SCHWEITZER, 2016).

Klock *et al.* (2005) afirmam ser fundamental o conhecimento destas propriedades para o entendimento do comportamento deste material, sendo que a divisão destes elementos pode ser efetuada em substâncias de baixo peso molecular e substâncias macromoleculares, ou ainda em componentes fundamentais e componentes acidentais.

3.6.3.1 Componentes fundamentais

Os componentes fundamentais são responsáveis por caracterizar a madeira, pois são parte constituinte da parede das fibras, dos traqueídeos e da lamela média, sendo eles a celulose, polioses ou hemicelulose e a lignina. Segundo Fengel e Wegener (1989), as proporções e composição química da lignina e das polioses diferem em coníferas e folhosas, já a celulose é um componente que se mantém mais uniforme.

De acordo com Marabezi (2009) a maior dificuldade de determinar os índices destes componentes, é devido ao fato destes estarem intimamente associados entre si dentro da parede celular, sendo que nos diferentes processos analíticos empregados para determinação destes componentes, porções de lignina e de polissacarídeos permanecem como resíduos junto as porções isoladas de holocelulose, resultando em um balanço de massas de aproximadamente 100%.

3.6.3.1.1 Celulose

A celulose é o componente majoritário da madeira é caracterizado como um polímero linear de alto peso molecular a qual exerce a função de principal componente da parede celular (WEGENER, 1989).

A celulose é composta por moléculas de glucose ($C_6H_{12}O_6$), um monossacarídeo formado a partir do processo de fotossíntese do dióxido de carbono

presente na atmosfera (TSOUMIS, 1991). Possui forte tendência de formar pontes de hidrogênio inter e intramoleculares, além de grande afinidade com a água, mesmo sendo insolúvel nela (KLOCK *et al.*, 2005).

Contudo, deve-se ter precaução no uso do termo “celulose”, pois em alguns países, incluindo o Brasil, há a denominação química e a técnica. O significado químico refere-se a celulose como uma cadeia química linear formada de unidades de anidroglicose, por sua vez o significado técnico corresponde ao produto formado pela desagregação ou deslignificação realizada em materiais fibrosos, Trianoski (2012) citou que é comum ainda aplicar ao significado técnico da celulose as denominações de polpa ou pasta celulósica.

3.6.3.1.2 Polioses ou hemiceluloses

As polioses são elementos de massas relativamente baixas, formadas principalmente por polissacarídeos, cujos componentes elementares são açúcares, como a glicose, manose, pentose, xilose, galactose e arabinose (ANDRADE, 2006).

Quando estes elementos são isolados apresentam-se como uma complexa mistura de polissacarídeos e devido a esta característica, os autores Philipp e D’Almeida (1988) relataram que os termos polioses e hemicelulose não definem um composto polimérico, mas sim uma classe de componentes presentes em vegetais fibrosos, onde cada um deles possui propriedades distintas, onde os níveis e as proporções destes elementos variam com a espécie e de árvore para árvore.

Mendes (1996) relatou que as polioses ocorrem ao longo de toda a parede celular, desde a lamela média até a camada S₃ da parede secundária, entretanto, o seu teor é maior nas camadas S₁ e S₃ e menor em S₂.

Fisicamente, são materiais sólidos brancos, dificilmente fibrosos ou cristalinos, que formam um preenchimento da fibra que aumenta a resistência do papel e o rendimento da polpa celulósica, possui ainda alta reatividade, é solúvel em substâncias com caráter álcali e facilmente hidrolisáveis por ácidos (BIERMANN, 1996).

3.6.3.1.3 Lignina

A lignina é uma substância amorfa presente na lamela média, na parede secundária, nas fibrilas e no enrijecimento das paredes celulares, assim, ela corresponde ao elemento com a terceira maior concentração média na madeira (MENDES, 1996).

O autor completa citando que, a lignina é um polímero aromático, com alto peso molecular e sua estrutura fundamental é constituída por fenilpropano, anel aromático e cadeia lateral alifática de três carbonos.

A lignina confere rigidez à parede celular e age como um composto de ligação da celulose e polioses, gerando uma estrutura resistente ao impacto, a compressão e a dobra (MORAIS, NASCIMENTO; MELO, 2005).

Segundo Fengel e Wegener (1989), a determinação do conteúdo de lignina na madeira, assim como na polpa celulósica, proporciona uma informação de grande relevância para os processos industriais, em termos de rendimento, branqueamento e alvura.

3.6.3.2 Componentes acidentais

Os componentes acidentais, não são parte constituinte da parede celular, estão presentes em menores proporções, porém, são tão importantes quanto os elementos fundamentais para a caracterização da madeira, sobretudo quando analisamos indivíduos da mesma espécie (KLOCK, 2005).

Os componentes acidentais são substâncias de baixo peso molecular designados extrativos, de natureza orgânica, e cinzas, que são substâncias inorgânicas (PRATES *et al.*, 2009).

A grande maioria dos componentes acidentais é solúvel em solventes orgânicos ou em água, esses são denominados extrativos. A classe de extrativos da madeira é rica em substâncias orgânicas de baixa massa molecular pertencente a vários grupos funcionais, que dependendo da espécie podem compreender compostos como terpenos, terpenóides, flavanóides, quinonas, ligninas, taninos, estilbenos, fenóis simples, óleos, gorduras e ceras (FERREIRA *et. al.*, 2015).

A classe das substâncias inorgânicas é constituída principalmente por carbonatos e fosfato de cálcio e magnésio bem como, por óxidos de ferro, manganês e potássio (DAROLT, OSAKI, 1989).

3.6.3.2.1 Extrativos

Os extrativos podem ser ácidos graxos, ceras, compostos fenólicos e alifáticos, terpenos, entre outros, em espécies do gênero *Pinus*, a literatura indica a ocorrência de vários ácidos graxos e ceras (SCHWEITZER, 2016).

Phillip e D'Almeida (1988) complementam citando que os extrativos de coníferas se encontram também vários componentes fenólicos, dos quais alguns são resíduos e subprodutos da biossíntese da lignina.

Neste grupo produtor de madeira, os extrativos se localizam principalmente nos canais de resina, nas células de parênquima e no cerne, embora também estejam presentes nas cavidades celulares, principalmente os solúveis em água (SJÖSTRÖM, 1981).

O teor de extrativos é um dos mais importantes indicadores da conformidade da madeira para diversos usos industriais, pois estes componentes influenciam a cor, cheiro, gosto, durabilidade, relação água madeira, além de diversos processos de transformação (LIMA *et al.*, 2007).

Para a produção de celulose, os extrativos são compostos indesejáveis, pois reduzem o rendimento e qualidade da polpa, no entanto, na produção de energia alguns componentes podem contribuir para aumentar o poder calorífico da madeira (PHILIPP, D'ALMEIDA, 1988).

A presença elevada de extrativos ou de extrativos menos solúveis é prejudicial em processos de polpação pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação, formar incrustações em diversos equipamentos, dificultar a depuração e gerar manchas no papel produzido (FENGEL, WEGENER, 1989).

Dias e Simonell (2013) completam mencionando que a presença de extrativos pode dificultar o procedimento de branqueamento da massa celulósica, além de dificultar a impregnação do licor de cozimento na madeira.

No caso da aplicação de produtos de acabamento, Ghofrani *et al.* (2016) relatam o efeito da presença de extrativos na madeira, mencionando que estas substâncias podem reduzir a compatibilidade e a força de adesão dos vernizes.

Na produção de painéis, a presença alta de extrativos pode alterar a cura, a penetração e a reação de colagem dos adesivos, e em acabamentos aplicados também podendo comprometer a utilização de vernizes e tintas. Além de dificultar a passagem da água e retardar a sua taxa de evaporação, o que aumenta o tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005).

O processo de secagem da madeira também pode ser comprometido pelos níveis de extrativos presentes na madeira, aqui deve-se salientar que a espécie utilizada e os parâmetros aplicados neste processo é importante também, pois pode ocorrer a migração destes elementos para a superfície da madeira, alterando seu aspecto geral, contaminando e em algumas vezes inutilizando a peça por fator estético.

Algumas aplicações podem ser favorecidas pela presença dos extrativos, como na resistência natural da madeira, que na presença de determinados elementos, onde muitos são tóxicos, podem inibir ou restringir o ataque de agentes xilófagos, bactérias e até mesmo de cupins (NEARN, 1955).

3.6.3.2.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas são componentes minerais da madeira com percentual normalmente baixo, formado, principalmente, por óxidos como: óxido de cálcio, de magnésio, de fósforo, de silício, de potássio e outros (MENDES, 1996).

Estes minerais são incorporados pelas árvores durante seu crescimento, retirados do solo, a quantidade com que são absorvidos e a composição depende das condições ambientais nas quais os indivíduos crescem.

O teor de cinzas varia entre 0,2 e 0,9% do peso de matéria seca das madeiras de clima temperado, sendo normalmente inferior a 0,5% em madeiras de clima temperado, no entanto, algumas madeiras, e particularmente as de clima tropical podem atingir 5 % de teor de cinzas (FENGEL; WEGENER, 1989).

A consequência da presença destes materiais na madeira, principalmente do potássio, cálcio, magnésio, sódio, manganês, ferro e alumínio, além de ânions como

entre outros (FURTADO *et al.*, 2012), é de que estes componentes podem limitar a utilização destas madeiras e acarretam em um maior desgaste das ferramentas de corte durante o beneficiamento (SCHWEITZER, 2016).

3.6.4 Propriedades anatômicas

O entendimento pleno das propriedades tecnológicas da madeira, bem como o comportamento que esta terá nas mais diversas aplicações, não se restringe a analisar sua resistência aos mais diversos tipos de forças e nem ao material constituinte da madeira, entender e determinar como ocorre a formação dos elementos celulares e as variações existentes é de fundamental importância para haver uma caracterização tecnológica adequada.

As diferenças existentes entre espécies e a variação das características anatômicas entre árvores e principalmente dentro de uma mesma árvore, é muito conhecida e pesquisada, no entanto, em virtude de diferentes características de crescimento, material genético e multiplicidade de interações, há constantemente a necessidade de dar continuidade a estudos desta natureza (TRIANOSKI, 2012).

A descrição dimensional dos traqueídeos, são de grande importância para estudos de caracterização tecnológica, pois estes elementos são diretamente influenciados pelos processos fisiológicos da árvore, ou seja, árvores de mesma espécie, crescendo em condições iguais de solo e clima, podem apresentar características dos traqueídeos diferentes.

Estas afirmações estão baseadas nos fatos de que as dimensões, a frequência e o arranjo dos elementos anatômicos têm grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira (OLIVEIRA *et al.*, 2006). São parâmetros que visam estabelecer o potencial das diferentes espécies para as mais variadas utilizações.

Nas coníferas, que compreendem as espécies do gênero *Pinus*, a constituição anatômica é bem mais simples e menos especializada do que nas folhosas, no entanto, devido ao menor número de caracteres, a sua identificação é bem mais difícil (BURGER; RICHTER, 1991).

De acordo com Sjöström (1981) os traqueídeos constituem aproximadamente 90% a 95% do volume de madeira, sendo o restante composto por células de raio.

Estes traqueídeos se apresentam como células alongadas, mais ou menos pontiagudas e de longevidade muito curta, os quais desempenham funções de condução de líquidos e sustentação do lenho difícil (BURGER; RICHTER, 1991).

O estudo das características dos traqueídeos é de fundamental importância, onde os parâmetros mais comuns são o seu comprimento, largura, espessura de parede celular e diâmetro do lume, os quais originam diversos índices e informações sobre a qualidade dos elementos e conseqüentemente da espécie ou de uma árvore em específico (TRIANOSKI, 2012).

Alguns autores citaram e descreveram os principais fatores que afetam as propriedades dos traqueídeos, Castelo (2007) relatou que o comprimento dos traqueídeos é influenciado pelas divisões longitudinais tangenciais que ocorrem no câmbio, onde um elevado crescimento, proporcionado por condições ótimas, indica grandes taxas de hormônios as quais induzem as células a rápidas divisões, gerando elementos celulares mais curtos em períodos de alto ritmo de desenvolvimento.

Além disso, o comprimento dos traqueídeos é afetado pela idade da árvore, onde com o aumento desta variável as células do câmbio passam a produzir células com maiores dimensões até atingirem a estabilização em idades mais avançadas (SHIMOYAMA, 2005).

Deste modelo de crescimento, são então originados elementos celulares de menor comprimento próximo à medula, os quais aumentam gradualmente no sentido da casca até atingirem a estabilização (SHIMOYAMA, 2005).

Cown (1975) e Fujiwara e Yang (2000) complementam ainda, que o comprimento dos traqueídeos é influenciado por fatores relacionados ao sítio de crescimento, a temperatura e a luminosidade.

De acordo com Mendonça (1982) as espécies do gênero *Pinus* apresentam no sentido longitudinal, uma tendência de aumento do comprimento dos traqueídeos até a metade do fuste, e a partir desta região sofrem um decréscimo até a copa, sendo este decréscimo explicado pela elevada concentração de auxinas nas regiões próximas a copa, as quais induzem os meristemas apicais a acelerar as divisões das células antes de atingirem seu crescimento potencial.

A largura dos traqueídeos assim como o diâmetro do lume, também são propriedades influenciadas pela taxa de crescimento e pela idade das árvores, onde

em períodos de elevado crescimento os elementos celulares são acentuadamente largos e com grandes diâmetros de lume (CASTELO, 2007).

Complementando, a autora cita que as árvores apresentam uma taxa de crescimento alta nos primeiros 12 anos de idade e, posteriormente, tende a estagnar, as fibras mais largas e com maiores diâmetros do lume estão mais restritas a região interna do tronco, ou seja, na madeira juvenil.

A espessura de parede celular também é afetada pela idade da árvore, apresentando um aumento linear com o incremento da idade, portanto, o tecido cambial mais velho, produz também células com características adultas, apresentando maior espessura de parede (COWN, 1980).

Dessa forma, as coníferas tendem a aumentar a espessura de parede do centro (madeira juvenil) para a região externa do tronco (madeira adulta) (CASTELO, 2007).

A avaliação das propriedades das fibras pode ser efetuada a partir de suas características brutas, no entanto, quando são estabelecidas relações entre suas dimensões obtêm-se informações mais precisas, as quais podem melhor se correlacionar com a qualidade da madeira e seus produtos, principalmente na área de celulose e papel (TRIANOSKI, 2012).

Os índices mais comuns são o índice de Runkel, fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de enfiamento, os quais fornecem informações extremamente relevantes a respeito da qualidade da polpa celulósica e do papel, são parâmetros relacionados a qualidade das fibras para produção celulósica e de papel, no entanto, são menos enfatizados já que literatura não apresenta uma interpretação detalhada de seus valores e sua influência.

Na TABELA 5 são apresentados os índices e sua influência sobre a qualidade da polpa celulósica e do papel.

TABELA 5 – ÍNDICES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA E DO PAPEL

Índice	Classificação	Características e efeitos no papel
Índice de Runkel ¹	≤ 0,25	Fibras muito flexíveis, excelente capacidade de acomodação. Ótima condição para produção de papel.
	0,25 a 0,50	Fibras um pouco menos flexíveis em relação ao caso anterior. Bons resultados na fabricação de papel.
	0,50 a 1,00	Fibras menos flexíveis e macias. Propriedades mecânicas do papel modestas.
	> 1	Fibras rígidas e baixa capacidade de fabricação de papel.
Fração parede ²	< 40%	Fibras menos rígidas, mais flexíveis, menor dificuldade de interligação. Maior resistência à tração e ao arrebentamento e menor resistência ao rasgo.
	< 30 %	Elementos não colapsam pouca superfície de contato, união entre os elementos celulares fracas.
Coeficiente de flexibilidade ³	30-50 %	Pouco colapso, pouca superfície de contato, pouca união entre os elementos celulares.
	50-75 %	Colapso parcial, boa superfície de contato, boa união entre os elementos celulares.
	> 75 %	Bom colapso, boa superfície de contato e boa união entre os elementos celulares.
Índice de enfeltramento	Maior possível	Fibras mais espessas e maior resistência ao rasgo

FONTE: ¹Caumo (2003); ²Foelkel; Barrichelo (1975); ³Istas; Heremans; Raelkelboom (1954) citados por ³Rojas (1996) ; Watson; Dadswell (1961) e Trianoski (2012).

3.6.5 Poder calorífico

Os estudos realizados sobre a utilização da madeira como combustível, mostram que a sua combustão direta é sem dúvida o processo mais simples e econômico de se obter energia (CUNHA *et al.*, 1989).

Os autores citam que com o passar dos anos houve a necessidade de classificar este material, pois a madeira nem sempre usada na geração de calor estava na forma de lenha, os resíduos dos processos de transformação da madeira geram um material com alto potencial de uso na produção de energia, assim passou a usar-se o termo biomassa, referindo-se a todo material orgânico proveniente de espécies vegetais.

Destinada à produção energética, a biomassa pode ser classificada em: (i) Primária: proveniente de floresta ou agricultura cultivada com finalidade de energia;

e (ii) Secundária: resultante da biomassa primária, incluindo os resíduos agrícolas, florestais e subprodutos (CARNEIRO, FERREIRA, 2012).

Apesar dos avanços tecnológicos, o desperdício no setor madeireiro ainda é muito grande. Somente o resíduo de maravalha pode chegar a 20% do total da matéria-prima desperdiçada nas indústrias madeireiras, estando em primeiro lugar os resíduos de lenha ou cavacos, com 50% do volume total da matéria-prima (CORONEL *et al.*, 2007).

A relevância de se utilizar a biomassa, deve-se a fatores como, a prevenção de problemas no campo, como por exemplo, os incêndios florestais, também, por contribuir com o desenvolvimento de culturas bioenergéticas e a geração de emprego e renda nas zonas rurais (LÓPES-RODRIGUEZ, 2009).

O rendimento energético da madeira em um processo de combustão é afetado por sua constituição química, onde os teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie, e até mesmo dentro da espécie, e é de grande importância conhecer estas propriedades para que se escolha adequadamente a madeira a ser utilizada (QUIRINO *et al.*, 2005), a idade do material analisado também é um fator relevante na caracterização energética de materiais lignocelulósicos.

Segundo os mesmos autores as principais impurezas dos combustíveis são o enxofre e as cinzas, o enxofre presente nos combustíveis fósseis, após a combustão é transformado em dióxido de enxofre, composto altamente tóxico e perigoso.

O uso da madeira para produção de energia apresenta menores problemas de poluição quando comparada aos combustíveis fósseis, tendo em vista que esta possui um baixo teor de enxofre (CUNHA *et al.*, 1989).

O uso da biomassa tem outro aspecto ambiental favorável já que a emissão de CO₂ da queima da biomassa na atmosfera geralmente é compensada pela absorção no plantio da nova biomassa (INGHAM, 1999).

O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira, esta característica é de fundamental importância quando há a comparação de biomassas, ou de madeiras com potencial de uso (JARA, 1989).

O Sistema Internacional descreve que o poder calorífico pode ser expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, já Briane e Doat (1985) relatam que o poder calorífico pode ser expresso também em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma.

Fatores como o teor de umidade afetam significativamente o poder calorífico da madeira, pois age como um redutor desta propriedade, a umidade da madeira evapora e absorve energia da combustão, acarretando em uma dificuldade de fazer com que a madeira entre no processo de combustão, desta maneira, a madeira com teor de umidade acima dos 65% necessita de calorias externas para secar e poder entrar em combustão. Esta afirmação é confirmada por CUNHA *et al.* (1989), que relatou que quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade.

Assim, para utilizar a biomassa florestal como fonte energética, deve-se considerar as características físicas e químicas do material, que podem influenciar no rendimento e na manutenção dos equipamentos que realizam a combustão (MOURA *et al.*, 2012).

A análise e acompanhamento de variáveis como teor de umidade, teor de cinzas e poder calorífico elevam a eficiência do material, tornando-o competitivo frente a outras fontes de energia (BRAND, 2007)

3.7 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)

A determinação das propriedades da madeira é comumente realizada através de ensaios convencionais de laboratório, que por serem repetitivos caros e em algumas situações demorados, inviabilizam a análise de um número grande de amostras, impossibilitando a realização de um controle detalhado e preciso da matéria prima utilizada.

Segundo Nascimento *et al.* (2017) a metodologia tradicional (destrutiva) em geral demanda altos custos, extenso período para sua execução, que vai desde a etapa da coleta até a realização dos ensaios para caracterização. Neste sentido várias pesquisas estão sendo desenvolvidas em busca de novas metodologias para sanar tal problemática.

Os autores complementam relatando que a aplicação dos métodos não destrutivo para madeiras possibilita uma melhor determinação de suas características tecnológicas, esta ferramenta vem auxiliar no conhecimento da variabilidade entre indivíduos e a caracterização de material no campo.

A necessidade de caracterizar as madeiras, visando o seu melhor aproveitamento, provoca uma busca por metodologias que agilizem esse processo e que, possam reduzir custos operacionais, fornecendo informações confiáveis.

As técnicas de avaliação não destrutivas da madeira podem contribuir de maneira significativa com isto, pois compreendem o uso de métodos e ensaios para a qualificação das propriedades do material, sem que ocorra o comprometimento da árvore.

Os ensaios não destrutivos têm grande utilidade para espécies nas quais a propagação vegetativa não é confiável, como em testes de seleção de clones, procedências ou progênies de alto valor agregado, nestes casos, a amostragem destrutiva resultaria em perdas de amostras com valor genético e com alto potencial de uso (RAYMOND, 2002).

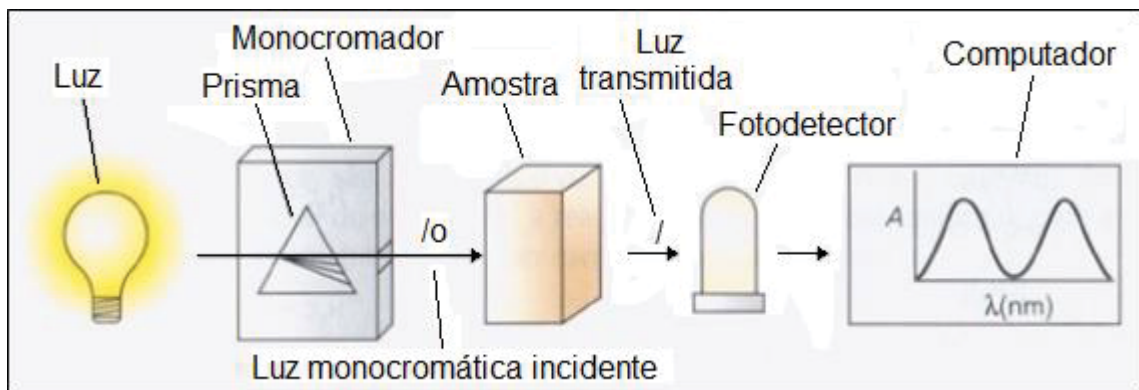
Dentre os métodos não destrutivo, os mais promissores para a indústria florestal são os espectroscópicos, que se baseiam nos ajustes de modelos preditivos e possuem como variáveis dependentes as propriedades da madeira e independentes a reflectância ou absorbância da radiação eletromagnética (SOUSA *et al.*, 2011).

A espectroscopia NIR tem obtido grande aceitação por ser um método de análise rápido, com possibilidade ampla de aplicações. Sua utilidade é devido ao custo relativamente baixo do equipamento, ser um método não destrutivo, que requer mínimo ou nenhum preparo das amostras antes das análises, e poder ser utilizado para medir diferentes atributos de qualidade simultaneamente (FERNÁNDEZ-ESPINOSA, 2016).

A base da espectroscopia de infravermelho próximo é a medição da absorção/reflexão da luz infravermelha próxima, em uma faixa de 800 a 2500nm, em relação ao comprimento de onda, realizada pela amostra. Nisgoski (2005) relatou que esta técnica é usualmente utilizada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos, especialmente O-H, N-H e C=O. Um espectro de absorção/reflexão pode ser determinado com um espectrofotômetro, que consiste de

uma fonte luminosa, um monocromador que contém o seletor de comprimentos de onda tipo prima, um receptáculo para amostras, um fotodetector e uma impressora ou computador, conforme ilustra a FIGURA 4.

FIGURA 4 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO



FONTE: Taiz e Zeiger (2004).

A espectroscopia no infravermelho próximo tem se tornado uma técnica reconhecida e uma importante ferramenta na determinação rápida de vários constituintes em diversas aplicações florestais. A técnica envolve a aquisição de um espectro de absorvância/reflectância depois que a radiação de infravermelho próximo penetra na amostra, o espectro (NIR) resultante é então comparado com medidas obtidas usando técnicas analíticas convencionais, através de análises multivariadas (SEFARA *et al.*, 2000).

Sendo assim, a espectroscopia NIR pode ser utilizada para quantificar diferentes compostos no material, segundo a lei de Beer-Lambert, a concentração de uma substância é proporcional à absorvância da amostra, porém o espectro NIR não carrega somente informações sobre a composição química da amostra, sobretudo quando adquirido por reflexão difusa, a superfície das partículas na amostra apresentam influência no espectro (DAHM, DAHM, 2004).

A espectroscopia no infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy*, NIR) tem se mostrado como uma ferramenta eficiente no controle de qualidade industrial. NIRS é uma técnica rápida, acurada e aplicável a um grande número de amostras (Muniz *et al.*, 2012). Adicionalmente não requer o uso de reagentes

químicos, é parcialmente independente de erros de operador e utiliza amostras com reduzida preparação prévia.

Na análise da qualidade da madeira o NIRS surge como um método que pode ser considerado não invasivo, capaz de predizer suas propriedades químicas (Pecoraro *et al.*, 2015), anatômicas (Hein *et al.*, 2012), físicas (Rosso *et al.*, 2013) e mecânicas (Kelley *et al.*, 2004). A tecnologia também é aplicada na verificação da qualidade da polpa celulósica na indústria, com a determinação, por exemplo, da relação lignina Siringil/Guaiacil (Ramadevi *et al.*, 2016) e dos teores de holocelulose e lignina total (Zhou *et al.*, 2016). Esse tipo de análise é de grande valia para os programas de melhoramento genético, visto que muitas vezes não é possível abater a árvore que é um material genético único e de valor para o avanço das gerações (Estopa, 2017).

Schimeleck *et. al* (2018) utilizaram a técnica NIR para estimar a densidade, o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade de espécies do gênero *Pinus*, incluindo o *Pinus taeda*.

Lengowski *et. al.* (2018) avaliaram o potencial de uso da técnica NIR para prever as modificações na composição química de madeiras de *Eucalyptus grandis* e de *Pinus taeda* após tratamento térmico.

Sendo assim, Silva (2002) cita que a técnica NIR apresenta algumas vantagens, como: (i) análise não destrutiva; (ii) não necessita de produtos químicos; (iii) permite a análise múltipla de componentes; (iv) velocidade de resultados de análise; (v) permite a transferência de calibrações entre equipamentos, as desvantagens são de que a calibração requer tempo e cuidado, e o operador deve ter conhecimentos de estatística e computação.

Pode-se afirmar que a utilização da técnica do infravermelho próximo auxilia os testes de seleção de clones e progênies e melhoramento de espécies, pois pode estabelecer uma avaliação precoce das árvores possibilitando maior intensidade na seleção e reduzindo as dimensões dos testes de seleção, diminuindo os intervalos entre as gerações, podendo melhorar a eficiência da seleção na idade de corte.

3.8 TESTES ESTATÍSTICOS E CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES

Na pesquisa científica das mais diversas áreas do conhecimento, as análises estatísticas são ferramentas utilizadas para a avaliação de suas hipóteses (SOUSA; LIRA JUNIOR; FERREIRA, 2012).

A comparação múltipla entre médias de tratamentos experimentais, precedida de análise de variância, é, sem dúvida, uma das análises mais comuns (ARAÚJO, 2003).

Os testes de comparações múltiplas entre médias de tratamentos são de grande interesse na pesquisa aplicada (CONAGIN *et al.*, 2008), principalmente quando o objetivo do trabalho é comparar tratamentos qualitativos. A utilização de um teste é realizada quando a análise de variância detecta existência de efeito significativo dos tratamentos a um determinado nível de significância, de modo que se decide rejeitar a hipótese de nulidade (pelo menos um contraste ortogonal entre tratamentos diferentes de zero).

Dentre os testes mais comuns para comprovação dos resultados experimentais, estão o Teste F, utilizado para verificar se existe diferença significativa entre contrastes ortogonais dos tratamentos, e os testes de médias de Tukey, Duncan, Dunnet e o teste LSD, normalmente utilizados para detalhar esta informação, permitindo mostrar, especificadamente, quais tratamentos diferem, ou não, estatisticamente (SOUSA; LIRA JUNIOR; FERREIRA, 2012).

A escolha do teste que se deve adotar depende de suas qualidades estatísticas, sendo função do tipo de erro que é controlado e da forma como estes erros são controlados. Vale ressaltar que se deve procurar um teste que seja robusto frente a algumas violações dos pressupostos básicos para sua aplicação, tais como normalidade, homocedasticidade e independência de erros (MACHADO *et al.*, 2005).

Uma característica desejável é que os testes apresentem controle da taxa de erro tipo I, que afirmem haver diferença entre os tratamentos, quando, na realidade, as diferenças são causadas pelo acaso. A probabilidade máxima de se rejeitar erroneamente uma hipótese nula (H_0) é determinada pelo nível de significância do teste e fundamenta o erro tipo I, sendo comumente utilizado o nível de 5% de probabilidade (SOUSA; LIRA JUNIOR; FERREIRA, 2012).

A escolha do teste estatístico que será aplicado ao conjunto de dados analisados é realizada baseando-se nas condições em que os dados foram coletados, atentando para a maneira como estes dados estão distribuídos, se as variáveis são dependentes ou independentes entre si e se estas são qualitativas ou quantitativas.

O teste de médias de Tukey e a correlação de Pearson são análises estatísticas amplamente aplicadas em estudos florestais, por fornecerem rigorosidade e confiança sobre seus resultados.

O teste de médias proposto por Tukey no ano de 1953 também é conhecido como teste de Tukey da diferença honestamente significativa (*honestly significant difference*) (HSD), este teste consiste na comparação de valores médios de determinadas características de populações, verificando se há ou não igualdades entre estes valores, em termos práticos, este valor nos dá uma margem de igualdade, pois se a diferença entre dois tratamentos for maior do que isso, os valores médios são diferentes.

A correlação de Pearson é uma medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis. Para Moore (2007) “A correlação mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas”, o termo “direção” utilizado por Moore indica se a correlação é positiva ou negativa entre as variáveis, correlação positiva indica que ao aumentarmos o valor de uma variável a variável correlacionada também aumentará de valor, a correlação negativa ocorre quando ao aumentarmos o valor de uma variável a variável correlacionada diminuirá seu valor.

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, o sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO, SILVA JÚNIOR, 2009).

Porém, valores limites como -1, 0 e 1 são difíceis de serem observados em experimentos, porém quando são encontrados, fornecem um altíssimo valor de confiança e de correlação ao teste e as variáveis relacionadas, alguns autores determinam intervalos para a classificação destas correlações, para Cohen (1988),

valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados de baixa correlação, escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados de correlação médio e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados de grande correlação. Dancey e Reidy (2005), também determinaram intervalos de classificação, porém ligeiramente diferente do citado por Cohen, onde: $r = 0,10$ até $0,30$ (correlação fraca); $r = 0,40$ até $0,6$ (correlação moderada); $r = 0,70$ até 1 (correlação forte).

Seja como for realizada, a interpretação dos resultados, quanto mais próximo de 1, independente do sinal, maior será o grau de dependência estatística entre as variáveis e mais relacionáveis são estas variáveis, do outro lado, quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA EXPERIMENTAL

Em, 1999 foi instalado um teste de progênies de *P. taeda* no município de Otacílio Costa, estado de Santa Catarina, localizado na latitude de 27°38'38"S e longitude 49°51'41" W, com altitude de 884 metros (FIGURA 5). O município possui uma área total de 846,576km² e tem como principal fonte de renda a exploração de florestas plantadas, a produção de celulose e papel e a pecuária (IBGE, 2017).

As sementes utilizadas para estabelecer o teste são procedentes dos Estados Unidos. A partir deste teste, pertencente a uma empresa que faz a exploração comercial de toras de *Pinus* e produtos derivados desta madeira foram coletadas as progênies avaliadas neste estudo.

FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA NO ESTADO DE SANTA CATARINA



FONTE: adaptado de Wikipédia (2019).

O clima na região é mesotérmico úmido, com temperatura variando entre 7°C e 26°C, dificilmente sendo inferior a 0°C e superior a 30°C, o índice de cobertura de nuvens varia entre 60%, nos primeiros meses do ano, e 42% nos meses de

setembro e outubro, já precipitação média anual é de aproximadamente 560 mm (SDR, 2003)

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima na região é predominante subtropical, temperaturas médias anuais não superiores a 20°C com estações bem definidas, chuvas regulares e verões temperados (Cfb), além disso, apresenta umidade relativa do ar anual entre 60% e 85%, com um índice pluviométrico anual entre 500 e 1.000 mm. Nesses locais pode ocorrer geada durante o inverno, principalmente, nas regiões que são mais altas (SDR, 2003).

Os solos da região variam entre cambissolo textura argilosa, cambissolo gleico textura argilosa e podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa, já a vegetação não é padronizada, podendo variar de acordo com a altitude do local. Em regiões mais altas, por exemplo, podem ser encontradas vegetações como bosques de araucárias, já nas planícies, em contrapartida, há a predominância dos pampas, que são campos que apresentam vegetação rasteira de gramíneas (ABRAÃO, 2018).

O teste de progênies foi instalado em uma área onde já havia exploração de *P. taeda*. Portanto não houve a necessidade de correções no solo ou de adubação, em função das exigências nutricionais requeridas pela espécie.

Na FIGURA 6 é apresentada a localização do teste de progênie, tendo como base de localização o município de Lages.

FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO DO TESTE DE PROGÊNIE



FONTE: o autor (2017).

A FIGURA 7 mostra a visão geral do povoamento do teste de progênie.

FIGURA 7 – VISÃO GERAL DO TESTE DE PROGÊNIE



FONTE: o autor (2017).

4.2 DELINEAMENTO DO TESTE DE PROGÊNIE E AMOSTRAGEM DO MATERIAL

O teste de progênies foi instalado em cinco blocos casualizados, sendo eles as diferentes progênies de meios-irmãos, com 120 tratamentos, alocadas em parcelas lineares de cinco plantas e em cinco repetições. A amostragem realizada neste trabalho seguiu as diretrizes estabelecidas no estudo realizado em 2009, porém, a área de coleta das amostras foi realizada na área espelho do primeiro trabalho.

Área espelho consiste em uma unidade experimental, na qual são aplicadas as mesmas diretrizes da área original, sendo a população, amostras, distribuição e tratamentos aplicados iguais em ambas as áreas.

Romão (2009) avaliou as 120 progênies que compunham o teste de progênie e as distribuiu em seis grupos com finalidades específicas, sendo estes

com características físicas e mecânicas semelhantes. Sendo elas descritas na TABELA 6.

TABELA 6 – DESCRIÇÃO DOS GRUPOS

GRUPO	PROGÊNIES	FINALIDADE
1	5, 8, 11, 16, 24, 35, 75, 79, 83, 89, 108, 115	Produtividade / Resistência
2	12, 15, 17, 19, 21, 33, 40, 53, 56, 58, 60, 74, 81, 94, 98, 101, 107, 112, 113	Estabilidade dimensional
3	12, 15, 17, 19, 21, 33, 40, 53, 56, 58, 60, 74, 81, 94, 98, 101, 107, 112, 113	Sem aplicação específica
4	1, 7, 14, 23, 27, 28, 37, 41, 42, 45, 52, 55, 59, 64, 68, 70, 72, 84, 85, 86, 91, 103, 110	Sem aplicação específica
5	10, 18, 25, 32, 44, 46, 50, 54, 65, 82, 90, 100	Menor anisotropia e maior densidade verde
6	2, 9, 13, 20, 30, 31, 34, 39, 49, 61, 66, 71, 78, 87, 105, 109, 111, 116	Menor desempenho para madeira de lenho juvenil

FONTE: adaptado de Romão (2009).

A seleção das dez progênies avaliadas neste trabalho baseou-se neste primeiro estudo, nas conclusões obtidas a partir dele e nas necessidades requeridas pelas indústrias de base florestal da região.

O processo de amostragem dos indivíduos utilizados no presente trabalho foi então composto por dez famílias de *P. taeda*, com 18 anos de idade, sendo coletadas três árvores por família. O espaçamento original era de 2,5 m x 2,5 m, com bordadura dupla, não tendo sido realizadas intervenções de poda e desbaste na área do teste. As amostras selecionadas são descritas na TABELA 7.

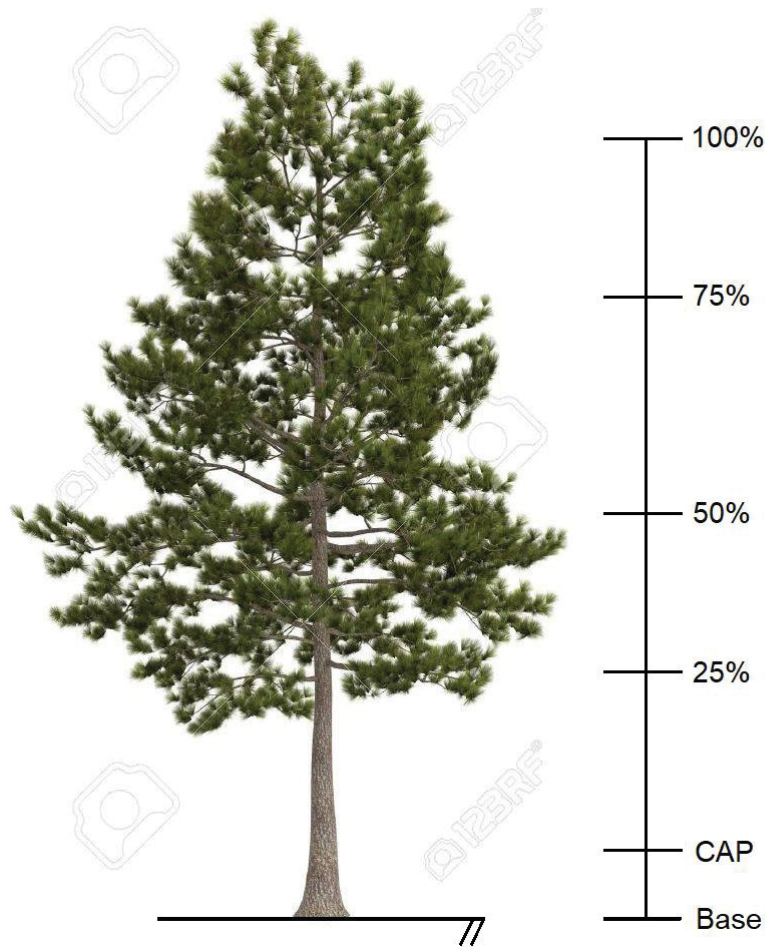
TABELA 7 – AMOSTRADAS SELECIONADAS

GRUPO	PROGÊNIES SELECIONADAS
1	5, 8, 108
2	12, 21, 74, 112
3	104
4	-
5	-
6	9, 20

FONTE: O autor (2019).

Os seguintes caracteres foram avaliados nas árvores amostradas: circunferências a altura do peito (CAP-cm), com o auxílio de uma fita métrica e após o corte dessas árvores, foi mensurada a altura total comercial de cada indivíduo, considerando o diâmetro comercial mínimo de 8 cm, podendo assim determinar as alturas que seriam obtidos os discos para as análises. Estas medidas foram tomadas com o auxílio de uma trena de 30 metros. Foram coletados sete discos por árvore/amostra, em seis alturas diferentes: base, CAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, sendo no CAP retirados dois discos, conforme FIGURA 8.

FIGURA 8 – ALTURAS DE COLETA DOS DISCOS



FONTE: Royalty Free (2020).

Os discos, ainda no campo, foram identificados com lápis cópia e plaquetas padrão do Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM/UFPR) e em seguida acondicionadas em embalagens para transporte, etapas ilustradas na FIGURA 9.

FIGURA 9 – RETIRADA DOS DISCOS EM CAMPO

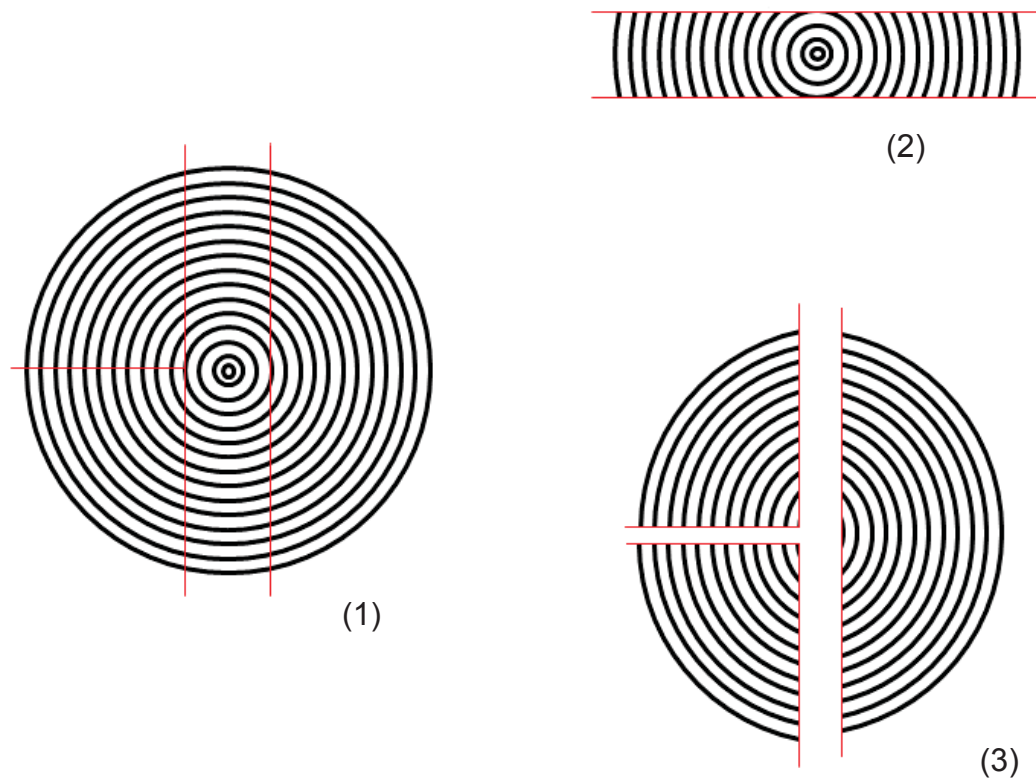


FONTE: o autor (2017).

LEGENDA: a) corte dos discos; b) amostras dispostas sobre o tronco; c) sacos com as amostras; d) plaqueta de identificação de amostras.

Após as etapas de mensuração de dados no campo, derrubada, corte dos discos, separação e acondicionamento, os discos foram transportados do local de coleta até o laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná (UFPR), onde foram conferidos e organizados para que fosse dado prosseguimento no trabalho. Na sequência os discos foram marcados para desdobro, visando obter as amostras para a mensuração da densidade básica e das demais propriedades avaliadas, conforme FIGURA 10.

FIGURA 10 – ESQUEMA DE RETIRADA DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE



FONTE: o autor (2019).

LEGENDA: (1) Marcações realizadas nos discos; (2) Parte central; (3) $\frac{1}{4}$ do disco e meio disco lateral.

Para a determinação da densidade básica (DB) foram utilizados $\frac{1}{4}$ dos discos, apresentados na FIGURA 10 (3). Sendo amostradas as seis alturas, citadas no item 4.2. O material ficou submerso em água até a completa saturação das amostras, etapa que levou aproximadamente 45 dias.

A determinação das propriedades químicas foi realizada com os meios discos, apresentados na FIGURA 10 (3).

A determinação das propriedades anatômicas e a análise no NIR foram realizadas com a parte central dos discos, apresentadas na FIGURA 10 (2).

Os meios discos e a parte central deles foram acondicionados em câmara climática, com 60 ± 5 % de umidade relativa e $20 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura, para que atingisse a umidade de equilíbrio, etapa esta que levou aproximadamente 60 dias. Após as amostras atingirem a umidade de equilíbrio, de aproximadamente 12%, foi dado sequência na preparação para cada análise.

4.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA

4.3.1 Determinação da densidade básica

A densidade foi determinada pelos procedimentos da norma COPANT 461/1972 – *Método de determinación del peso específico aparente*. As etapas podem ser visualizadas na FIGURA 11. A fórmula para o cálculo das massas específicas é apresentada na Equação (1).

$$DB = \frac{\text{peso seco}}{\text{volume}} \quad (1)$$

Onde:

DB = densidade básica (g/cm³);

peso seco = peso da amostra a 0% de umidade (g);

volume = volume da amostra saturada determinada pelo método hidrostático (cm³).

FIGURA 11 – ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA



FONTE: o autor (2018).

LEGENDA: a) Separação das amostras; b) Determinação do volume por imersão em água; c) Secagem das cunhas; d) Pesagem do material.

4.3.2 Caracterização dendrométrica e volumétrica

A determinação das características dendrométricas das progênes amostradas foi realizada com as árvores no campo. Por sua vez, o cálculo do volume das progênes foi estabelecido através da relação entre a altura e o diâmetro a altura do peito de cada árvore, multiplicados pelo fator. A fórmula para o cálculo dos volumes é apresentada na Equação (2)

O fator de forma utilizado seguiu a recomendação de Kohler (2013), que determinou o fator de forma para o *P. taeda*, nos estados do Paraná e Santa Catarina, em árvores com idade entre 5 e 23 anos, indicando que para a idade de 18 anos, o fator de forma para a espécie nesta região deve ser de 0,498.

$$\text{vol} = (h \times d) \times f \quad (2)$$

Onde:

vol = volume da árvore (m³);

h = altura comercial total (m);

d = diâmetro à altura do peito (m);

f = fator de forma.

4.3.3 Caracterização morfológica dos traqueídeos

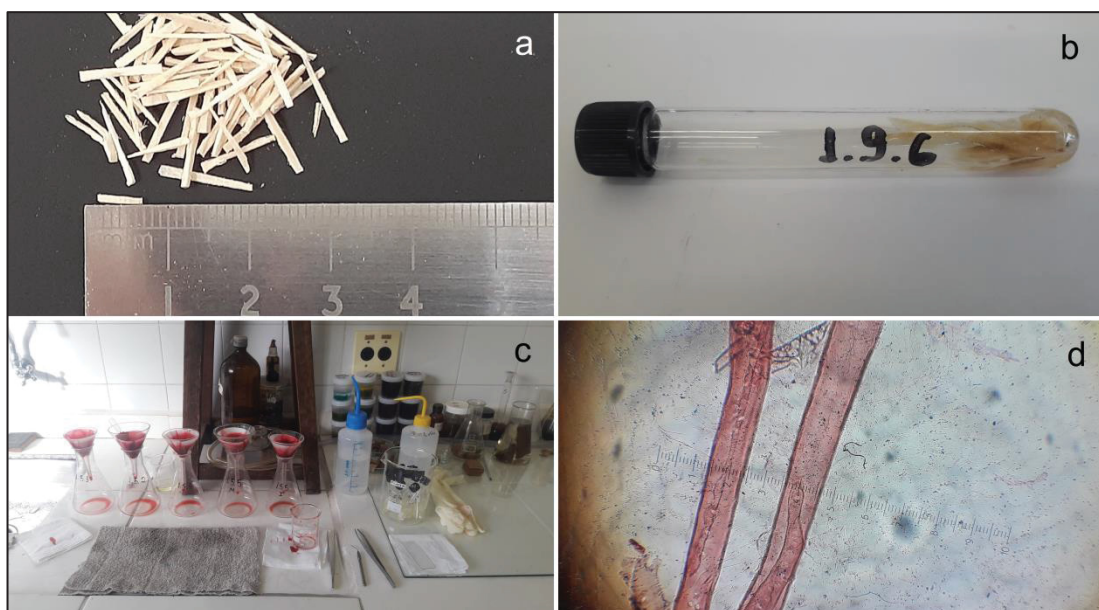
Para a determinação das características morfológicas dos traqueídeos foram coletadas amostras nas alturas relativas a 0%, CAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, assim pode-se avaliar a variação longitudinal existente nas amostras. A mensuração da variação radial foi realizada a partir de amostras coletadas na altura comercial de 25%, em três regiões, próxima a medula, região intermediária e próxima à casca.

A análise das fibras das madeiras foi realizada por um processo chamado de maceração, processo este que foi executado de acordo com a técnica descrita por Kraus & Arduin (1997), e consiste em corpos de prova no formato de pequenos palitos obtidos manualmente, com o auxílio de formão e estiletas, estes palitos devem possuir uma seção correspondente a 25% da seção de um palito de fósforo.

As amostras foram colocadas em tubos de ensaio contendo solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético na proporção 1:1, as quais permaneceram em estufa a 60°C por 24 horas. Decorrido este período, o material foi então lavado com água destilada e corado com safranina, podendo assim ser levado ao microscópio para a realização das medições.

A FIGURA 12 apresenta alguns dos procedimentos realizados nesta análise.

FIGURA 12 – PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FIBRAS



FONTE: o autor (2018).

LEGENDA: a) Porção de uma amostra; b) Amostra em tudo de ensaio com solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio; c) Processo de coloração das amostras; d) Fibras vistas pelo microscópio.

As medições dos elementos celulares foram realizadas seguindo as normas da IAWA (1989) e Muniz & Coradin (1991), sendo medidas 30 fibras por amostra e posteriormente foram calculadas as principais relações entre as dimensões dos elementos celulares, consideradas importantes para a produção de celulose e papel. Estas relações foram determinadas conforme preconizam Foelkel & Barrichelo (1975). Nestas relações utiliza-se o termo genérico fibra, aplicado na indústria de celulose e papel.

- **Coefficiente de flexibilidade (CF)** – Dado pela relação entre o diâmetro do lúmen (d) e o diâmetro da fibra (D), expresso em porcentagem:

$$CF = \left(\frac{d}{D}\right) \times 100 \quad (3)$$

- **Fração parede (FP)** – Dado pela relação entre o dobro da espessura da parede celular (e) e o raio da fibra (D/2), expressa em porcentagem:

$$FP = \left(\frac{2e}{\frac{D}{2}}\right) \times 100 \quad (4)$$

- **Índice de enfiamento (IE)** – Dado pela relação entre o comprimento da fibra (l) e o diâmetro da fibra (D):

$$IE = \frac{l}{D} \quad (5)$$

- **Índice de Runkel (IR)** – Dado pela relação entre duas vezes a espessura da parede celular (e) e o diâmetro do lúmen (d):

$$IR = \frac{2e}{d} \quad (6)$$

4.3.4 Determinação das propriedades químicas da madeira

Para as análises químicas foram utilizados os meios discos, conforme é demonstrado na FIGURA 10 (3), das seis alturas amostradas, contudo para que fosse obtido o material de acordo com a necessidade das análises foi realizada a desintegração do material, para que a impregnação e a reação dos reagentes sobre o material fossem uniformes. Para isso, foram utilizadas operações de transformação das cunhas em partículas de menor dimensão, seguidas de

peneiramento e classificação, dentro das conformidades da norma da NBR 14660 e detalhada a seguir.

A moagem foi realizada em duas etapas, a primeira em moinho de martelo e a segunda em moinho de faca, do tipo Willey, já a classificação do material foi feita por peneiramento e utilizou o material passante pela peneira de 40 mesh e que o que ficou retido na peneira de 60 mesh, estas etapas foram realizadas nos Laboratórios de Tecnologia da Madeira, da Universidade do Estado de Santa Catarina.

A FIGURA 13 retrata o fluxograma de preparação da madeira para a realização das análises, já a FIGURA 14 apresenta as etapas realizadas para a preparação da madeira para as análises químicas.

FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DE PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA ANÁLISES QUÍMICAS



FONTE: o autor (2019).

Os ensaios analíticos, foram realizados no Laboratório de Química da Universidade do Planalto Catarinense, seguindo o determinado no materiais e métodos, sendo orientados pelas normas da NBR relacionadas abaixo:

- Preparação da amostra – NBR 14660:2004 – Madeira – Amostragem e preparação para análise;
- Determinação do teor de umidade de cavacos – método por secagem em estufa – NBR14929:2017;
- Determinação do teor de cinzas – NBR 13999:2003;
- Determinação do material solúvel em água – NBR 14577:2003;
- Solubilidade em NaOH NBR7990:2001 – Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%;
- Extrativos totais – NBR 14853:2002 – Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano;
- Teor de lignina insolúvel – NBR 7989:2003 – Determinação de lignina insolúvel em ácido.

FIGURA 14 – ESQUEMA DAS ETAPAS DE PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA ANÁLISES QUÍMICAS



FONTE: o autor (2018).

LEGENDA: a) Amostras; b) Preparação das amostras – moinho de martelo; c) Preparação das amostras – moinho tipo “Willey”; d) Classificação.

4.3.4.1 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade das amostras nas análises das propriedades químicas foi realizada com base na norma NBR 14929.

Sendo assim, o teor de umidade foi calculado em função da variação dos pesos, com três repetições por progênie, conforme apresentado na equação (7):

$$T.U. = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

T.U. = Teor de umidade (%);

P_i = Peso da amostra seca ao ar (peso inicial) (g);

P_f = Peso da amostra seca em estufa (g).

4.3.4.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado pela norma NBR 13999 – Determinação do teor de cinzas. As etapas desta análise são demonstradas na FIGURA 15. A fórmula para a determinação desta propriedade é apresentada na Equação (8).

$$TC = \left(\frac{P_c}{P_i} \right) \times 100 \quad (8)$$

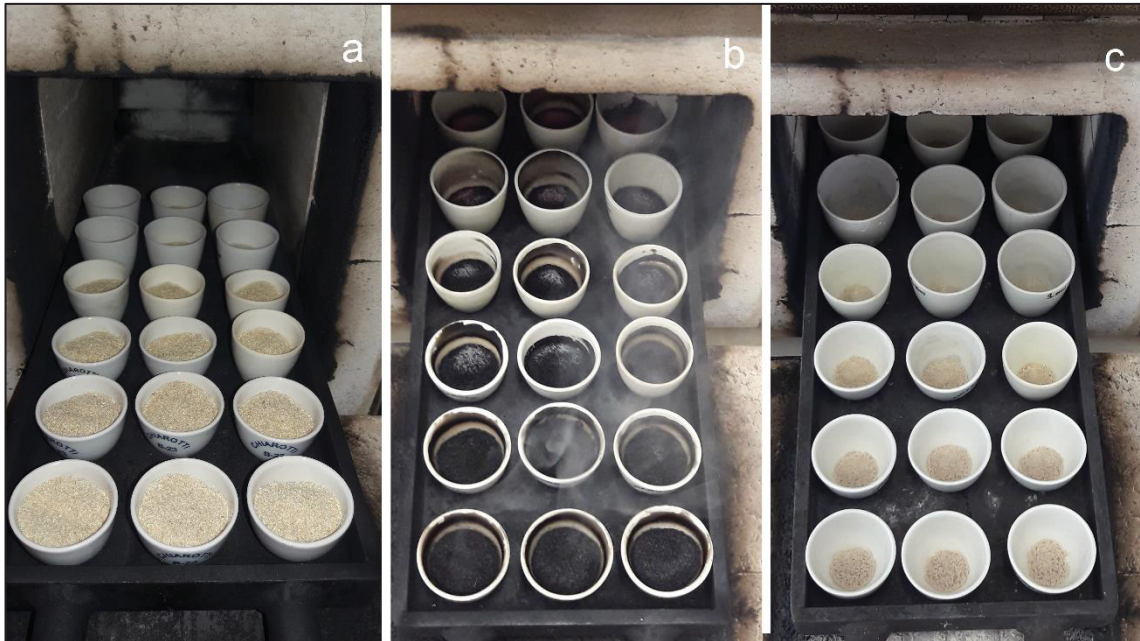
Onde:

TC = Teor de cinzas (%);

P_c = Peso da cinza (g);

P_i = Peso inicial da amostra AS (g).

FIGURA 15 – ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS DAS AMOSTRAS DE MADEIRA PROVENIENTES DE TESTE DE PROGÊNIES DE *P. taeda*



FONTE: o autor (2018).

LEGENDA: a) Amostras no início da análise; b) Amostras no início da incineração; c) Amostras ao fim do ensaio.

4.3.4.3 Determinação do material solúvel em água quente e fria

A determinação dos extrativos em água quente e fria seguiu as diretrizes da norma NBR 14577 – Determinação do material solúvel em água, sendo que a FIGURA 16 ilustra as etapas destas análises. A Equação (9) foi utilizada na determinação dos extrativos.

$$\text{teor de extrativos} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (9)$$

Onde:

teor de extrativos = teor de material solúvel em água quente ou fria (%);

m₁ = massa inicial da porção de ensaio (g);

m₂ = massa da porção de ensaio após a extração em água quente ou fria, seca em estufa (g).

4.3.4.4 Determinação do material solúvel em NaOH a 1%

A determinação dos extrativos em hidróxido de sódio (NaOH), seguiu as diretrizes da norma NBR7990 – Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. A FIGURA 16 mostra as etapas desta análise, já a Equação (10) foi utilizada para o cálculo desta propriedade.

$$TE = \left[\frac{(Pa - Pd)}{Pa} \right] \times 100 \quad (10)$$

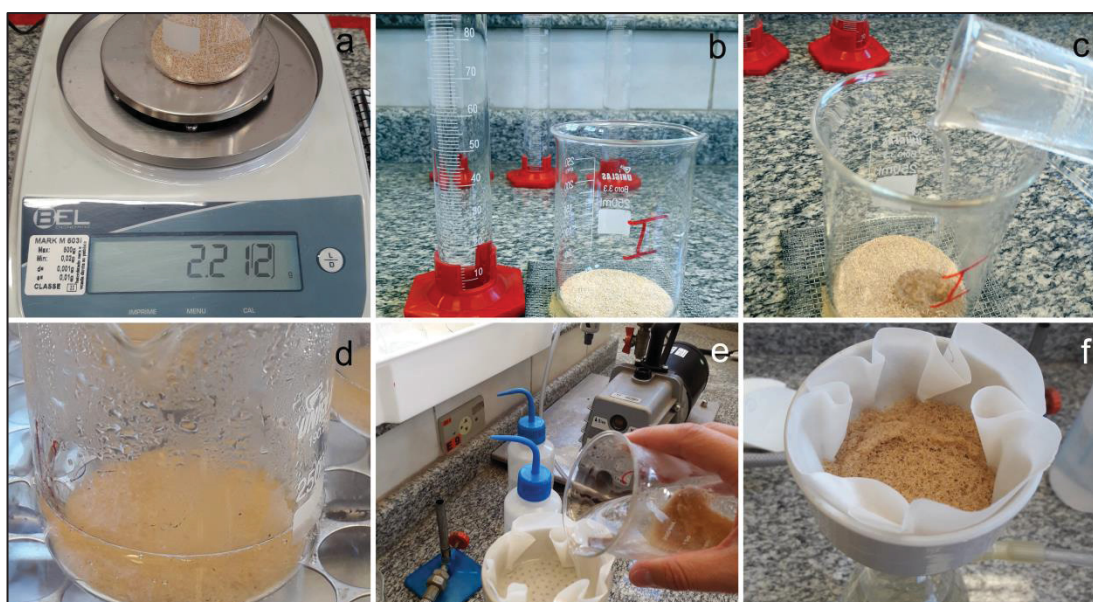
Onde:

TE = Teor de material solúvel em hidróxido de sódio (%);

Pa = Peso da amostra A.S. (antes da extração) (g);

Pd = Peso da amostra seca em estufa (após a extração) (g).

FIGURA 16 – ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS EM NaOH E EM ÁGUA QUENTE E FRIA DAS AMOSTRAS DE MADEIRA PROVENIENTES DE TESTE DE PROGÊNIES DE *P. taeda*



FONTE: o autor (2018).

LEGENDA: a) Pesagem das amostras; b) Amostra, proveta com o solvente (água quente e fria e solução de NaOH a 1%); c) Amostras em processo de umedecimento; d) Amostras no banho maria; e) Processo de filtragem das amostras; f) Aspecto final das amostras filtradas.

4.3.4.5 Solubilidade em etanol-tolueno

A determinação do teor de material solúvel em etanol-tolueno seguiu às orientações da norma NBR14853 – Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. A FIGURA 17 ilustra as etapas realizadas durante esta determinação, a Equação (11) foi usada para a determinação desta propriedade.

$$TE = \left[\frac{(m1 - m2)}{m1} \right] \times 100 \quad (11)$$

Onde:

TE = Teor de material solúvel em etanol-tolueno (%);

m1 = Peso do frasco de extração (antes da extração) (g);

m2 = Peso do frasco de extração (após a extração) (g).

FIGURA 17 – ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS EM ETANOL/TOLUENO DAS AMOSTRAS DE MADEIRA PROVENIENTES DE TESTE DE PROGÊNIES DE *P. taeda*



FONTE: o autor (2018).

LEGENDA: a) Pesagem da amostra no cadinho extrator; b) Amostras em processo de extração no aparelho Soxhlet; c) Amostras em processo de evaporação do solvente; d) Amostras em estufa.

4.3.4.6 Determinação de lignina solúvel em ácido

A determinação do teor de lignina solúvel em ácido, pode ser aplicada à materiais lignocelulósicos e a todos os tipos de pastas celulósicas não branqueadas.

O princípio desta determinação é de hidrolisar os carboidratos presentes na madeira através da solubilização com ácido sulfúrico e após a filtragem obter a lignina solúvel, seguindo as diretrizes da norma NBR 7989 – Determinação da lignina insolúvel em ácido.

A FIGURA 18 ilustra algumas das etapas realizadas nesta determinação e a Equação (12) foi utilizada no cálculo da determinação desta propriedade.

$$TL = \left(\frac{P_s}{P_i} \right) \times 100 \quad (12)$$

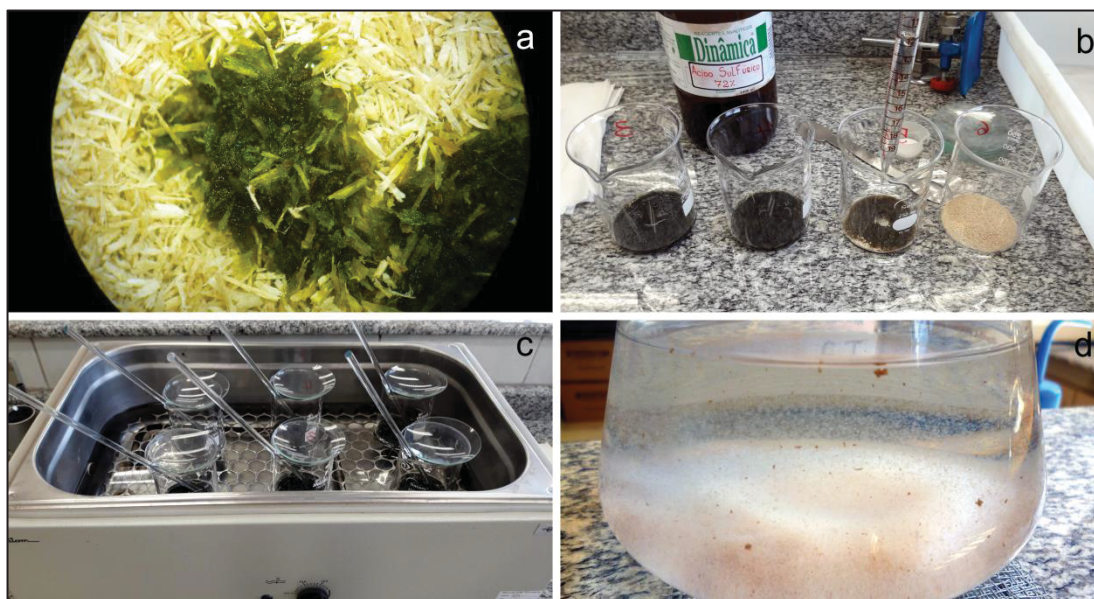
Onde:

TL = Teor de lignina solúvel em ácido (%);

P_s = Peso da amostra seca (g);

P_i = Peso da amostra A.S. (g).

FIGURA 18 – ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIGNINA SOLÚVEL DAS AMOSTRAS DE MADEIRA PROVENIENTES DE TESTE DE PROGÊNIES DE *P. taeda*



FONTE: o autor (2018).

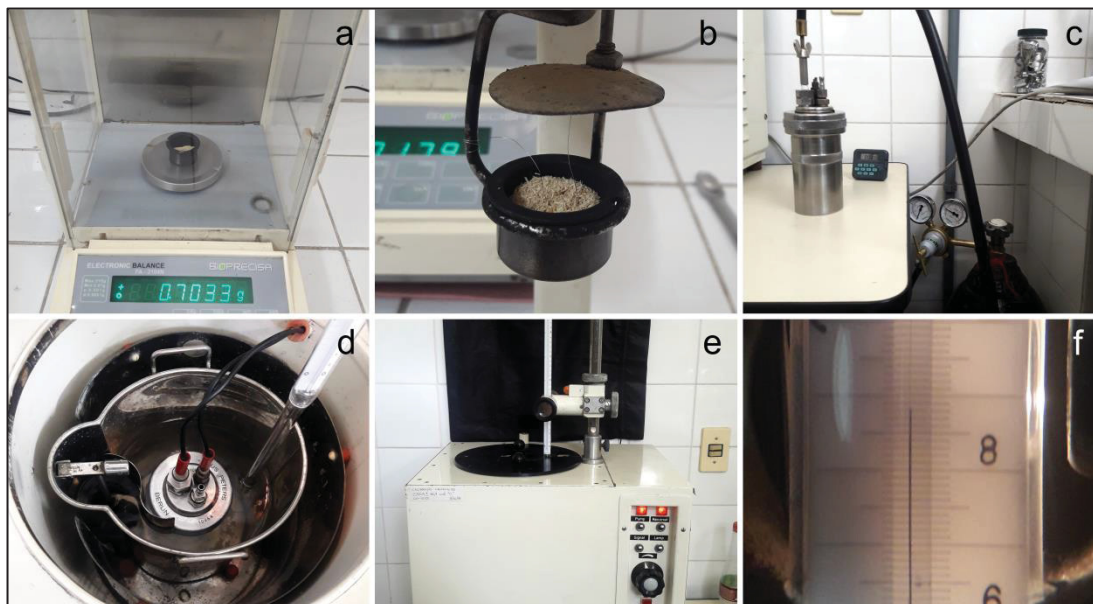
LEGENDA: a) Início da impregnação da amostra com ácido sulfúrico; b) Amostras em diferentes estágios de impregnação pelo ácido sulfúrico; c) Amostras em processo de deslignificação; d) Amostra deslignificada.

4.3.5 Caracterização do poder calorífico superior das amostras

A determinação do poder calorífico superior das amostras de madeira provenientes de teste de progênie de *P. taeda*, foi realizada no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal e Bioenergia, da Universidade Federal do Paraná, onde foi utilizada uma bomba calorimétrica Julius Peter, de acordo com a norma ASTM D240 – 17. Sendo utilizado como amostras para esta determinação desta propriedade partes do material destinado a determinação das propriedades químicas. Conforme descrito na FIGURA 19.

Já a densidade energética das progênies foi determinada pelo produto do poder calorífico com a densidade básica das amostras.

FIGURA 19 – PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DAS AMOSTRAS ANALISADAS



FONTE: o autor (2017).

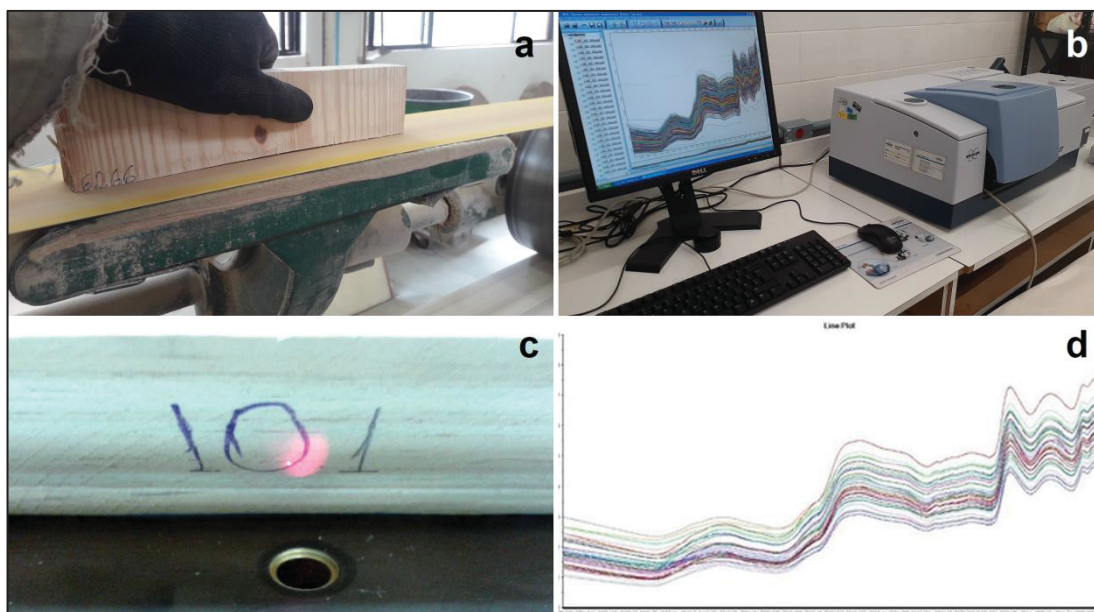
LEGENDA: a) Pesagem da amostra; b) Amostra no cadinho, colocadas no suporte da cápsula; c) Injeção de oxigênio na cápsula calorimétrica; d) Cápsula dentro do calorímetro; e) Visão parcial do equipamento; f) Visão do termômetro.

4.3.6 Caracterização das amostras utilizando infravermelho próximo (NIR)

A obtenção dos espectros no espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIR) foi realizada, no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, da Universidade Federal do Paraná. Nesta caracterização foi utilizada a parte central dos discos amostradas, representado pela FIGURA 10 (2) no Tópico 4.2 do trabalho, onde foram realizadas quatro leituras, uma próxima a medula, duas em porções intermediárias e uma próxima a casca.

Para a correta aquisição dos espectros alguns processos de preparação foram realizados nas amostras. Após elas terem sido cortadas dos discos, como descrito no Tópico 4.2 (ver página 87 e 88), as amostras tiveram a sua face transversal lixada, primeiramente foi utilizada uma lixa de gramatura 60, para retirada das maiores imperfeições e depois foi utilizada uma lixa de gramatura 120 para dar acabamento às amostras. Conforme descrito na FIGURA 20.

FIGURA 20 – PROCEDIMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS USANDO O NIR



FONTE: o autor (2017).

LEGENDA: a) Lixamento das amostras; b) Visão geral do equipamento; c) Feixe de indicação do local de obtenção dos dados; d) Espectros obtidos das amostras.

Os espectros foram coletados utilizando o espectrofotômetro modelo Tensor 37, da marca Bruker, em modo de transmitância com 64 varreduras (scans) e resolução de 4 cm^{-1} . Para o infravermelho próximo (FTNIR) utilizou-se a esfera de integração obtendo espectros na faixa de 4.000 a 10.000 cm^{-1} .

A avaliação dos espectros foi realizada através de análises multivariadas de regressão utilizando a técnica dos quadrados mínimos parciais (PLS), utilizando o programa Unscrambler® (CAMO AS, Norway) versão 10.3.

A escolha da técnica PLS se deu por este ser um método de regressão que fornece modelos que relacionam os blocos de variáveis X e Y. Assim, as informações das medidas espectrais e das concentrações ou propriedades são utilizadas simultaneamente na fase de calibração.

Segundo Muñoz *et al.* (2012) a análise PLS é baseada no método da análise dos componentes principais (PCA) e utiliza estes componentes para modelar os diferentes analitos e interferências do dados de X.

De acordo os mesmos autores a regressão através do método PLS pode solucionar problemas de colinearidade com satisfatória habilidade de previsão, por este motivo a técnica é adequadamente aplicada em dados espectrais.

As informações das variáveis são comprimidas e, como consequência, os modelos são mais fáceis de serem interpretados e os ruídos espectrais podem ser mantidos fora do modelo, na forma de resíduos (MARTENS, TORMOD, 1989).

4.3.7 Análises estatísticas e índice de seleção aplicado aos resultados

A análise dos dados, foi realizada por meio do programa estatístico Statgraphics® na versão 1.16.11 (Windows). Inicialmente apresentou-se os valores médios de cada progênie amostrada nas análises realizadas, através da estatística descritiva contendo os valores de média e de desvio padrão.

Para a determinação das diferenças entre as progênies de *P. taeda* amostradas, em cada variável empregou-se o teste de Tukey, com nível de significância em $p \leq 0,05$. Sendo incluída a normalização dos dados, onde os dados considerados atípicos foram suprimidos.

A determinação da Correlação de Pearson foi feita através do mesmo programa estatístico citado anteriormente, sendo possível determinar o grau de correlação linear existente entre as variáveis medidas, analisando elas duas a duas, sendo este um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0.

A determinação dos índices de seleção foi realizada pelo método dos “ranks” e consiste em classificar as progênies estudadas em relação a cada uma das variáveis medidas atribuindo notas para estas variáveis, onde a escala de notas varia entre 1, 3 e 5, sendo a nota 1 atribuída a índices considerados ruins, a nota 3 para índices dentro mediano e a nota 5 para os índices preferíveis. A utilização deste método de seleção é vantajosa, uma vez que proporciona a correlação direta e simultânea de caracteres múltiplos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA

5.1.1 Densidade básica

Os valores médios de densidade básica por progênie amostrada são apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE BÁSICA OBTIDA POR PROGÊNIE

PROGÊNIE	DB ¹ (g/cm ³)	CV ² (%)
5	0,424 ab	10,86
8	0,423 ab	9,42
9	0,423 ab	11,61
12	0,394 bc	10,31
20	0,403 bc	8,20
21	0,386 c	8,27
74	0,402 bc	13,50
104	0,410 bc	10,33
108	0,452 a	7,79
112	0,411 bc	12,85

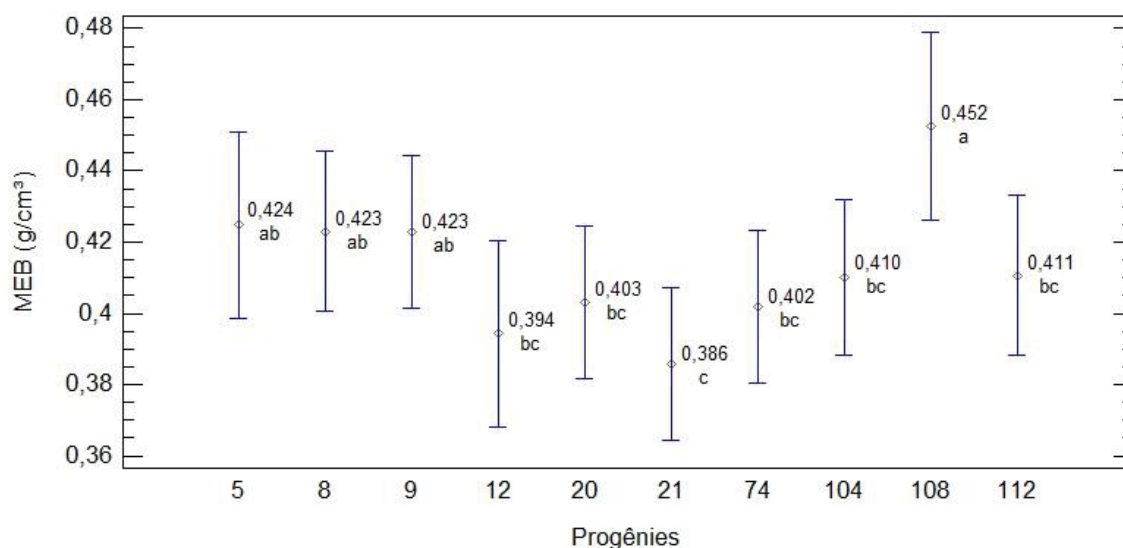
FONTE: o autor (2020).

¹Densidade básica. ²Coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

No GRÁFICO 2 são apresentados os valores médios e as variações obtidas para a densidade básica da madeira das dez progênies avaliadas.

GRÁFICO 2 – Valores médios de densidade básica e seus coeficientes de variação



FONTE: adaptado do Statgraphics®

A densidade básica média obtida para as progênies testadas indicam que os valores variaram entre 0,386 g/cm³, na progênie 21, e 0,452 g/cm³, na progênie 108. A diferença existente entre estas progênies foi de aproximadamente 17%, mostrando que mesmo analisando árvores da mesma espécie, plantadas no mesmo local, podem haver diferenças significativas entre a densidade básica destas.

Os índices obtidos para a progênie 108 foram os maiores valores médios, sendo que esta progênie apresentou semelhanças estatísticas com as progênies 5, 8 e 9. Em contrapartida a progênie 21, além de apresentar os menores valores médios é semelhante estatisticamente com as progênies 12, 21, 74, 104 e 112.

Há na literatura um número grande de pesquisas realizadas determinando a densidade básica do *P. taeda*, visto que esta variável fornece informações valiosas sobre o comportamento da madeira e sobre sua aplicação.

Na TABELA 9 são apresentados os valores médios de densidade básica obtida por outros autores que também avaliaram a espécie *Pinus taeda*.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO *Pinus taeda* OBTIDA POR OUTROS AUTORES

Autor	Idade	Local do plantio	DB (g/cm³)
Castelo (2007)	18 anos	Piraí do Sul, PR	0,377
Trianoski <i>et al.</i> (2013)	18 anos	Ventania, PR	0,485
Schweitzer <i>et al.</i> , (2019)	18 anos	Ponte Alta do Norte, SC	0,361; 0,398; 0,348; 0,339

FONTE: o autor (2019).

A análise dos resultados de densidade básica das progênies amostradas indicou haverem diferenças significativas entre elas, conforme citado anteriormente. A comparação dos dados obtidos neste trabalho, ao serem comparados com os dados referenciados, indicou que os resultados aqui obtidos estão coerentes com outros estudos realizados, em idade semelhante e em locais diferentes.

5.1.2 Densidade básica por altura

Na TABELA 10 são apresentados os valores da média aritmética da densidade básica para as seis alturas amostradas das progênies avaliadas.

TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA PARA AS SEIS ALTURAS AMOSTRADAS DAS PROGÊNIES ANÁLISADAS

Progênie	Densidade Básica (g/cm ³)					
	Posição					
	Base	25%	50%	75%	100%	Média
5	0,451 ab (15,68)	0,442 ab (8,79)	0,398 abc (6,39)	0,413 a (6,16)	0,396 a (7,67)	0,423 bc (5,68)
8	0,503 a (0,05)	0,464 ab (0,91)	0,398 abc (3,81)	0,390 ab (1,08)	0,398 a (4,79)	0,430 ab (0,49)
9	0,464 ab (4,57)	0,465 ab (4,26)	0,411 ab (4,29)	0,393 ab (6,12)	0,366 a (16,01)	0,422 bc (3,01)
12	0,425 b (13,31)	0,434 ab (11,73)	0,378 abc (0,05)	0,358 b (2,56)	0,378 a (2,62)	0,398 cde (4,62)
20	0,432 b (1,64)	0,413 ab (3,42)	0,382 bc (2,59)	0,373 ab (5,87)	0,402 a (6,15)	0,403 cde (1,75)
21	0,424 b (6,50)	0,392 b (2,34)	0,366 bc (6,95)	0,352 b (0,20)	0,372 a (7,02)	0,382 e (2,40)
74	0,418 b (13,19)	0,418 ab (17,74)	0,402 abc (6,33)	0,365 ab (12,96)	0,377 a (6,75)	0,395 de (2,51)
104	0,464 ab (4,72)	0,401 b (7,95)	0,394 abc (5,91)	0,399 ab (1,24)	0,369 a (5,17)	0,403 cde (0,35)
108	0,500 ab (6,64)	0,481 a (4,70)	0,431 a (3,94)	0,414 a (1,71)	0,434 a (4,39)	0,452 a (0,15)
112	0,462 ab (2,90)	0,435 ab (4,06)	0,352 c (0,05)	0,382 ab (10,54)	0,409 a (16,60)	0,410 bcd (0,34)

FONTE: o autor (2019).

Médias seguidas da mesma letra e na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação entre as amostras.

Avaliando a variabilidade da densidade básica entre as espécies, verifica-se que para a base, o maior valor médio foi observado na progênie 8, onde esta apresentou diferença estatística significativa em relação as progênies 12, 20, 21 e 74.

Na altura de 25%, verifica-se que a progênie 108 apresenta o maior valor médio de densidade básica, sendo que esta progênie apresentou diferença estatística significativa entre as progênies 21 e 104.

Para a altura de 50%, o maior valor de densidade básica também foi observado na progênie 108, sendo que nesta altura, a progênie apresentou diferença estatística significativa entre as progênies 20, 21 e 112.

Considerando a altura de 75%, verifica-se que a progênie 108 apresentou a maior densidade básica, sendo observado diferença estatística significativa entre esta e as progênes 12 e 21.

Por fim, a maior densidade básica na altura de 100% foi apresentada pela progênie 108, sendo que essa foi estatisticamente igual a todas as demais progênes analisadas.

Considerando a variabilidade da densidade básica ao longo do fuste das progênes estudadas, verifica-se que mesmo a maioria das progênes apresentando uma gradativa redução da propriedade no sentido base-topo, conforme descreve a literatura (PANSIM; DE ZEEUW, 1980; KLOCK, 2000), as progênes 12 e 112 apresentaram comportamento distinto das demais. A progênie 12 demonstrou um aumento da densidade básica na altura de 25%, já a progênie 112, na altura de 50%, indicou um decréscimo significativa da densidade básica, sendo nas alturas seguintes, 75% e 100%, observado um aumento nos valores médios de densidade desta progênie.

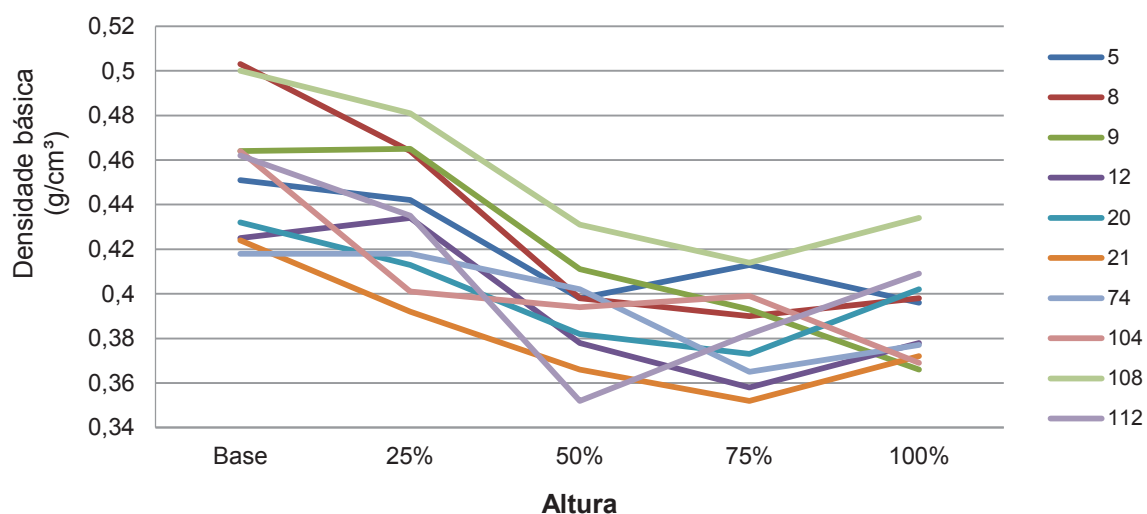
Este comportamento é explicado ao se observar o croqui da área no Anexo II, é possível constatar que as árvores vizinhas a estas duas progênes estavam mortas, quebradas ou não existiam mais no povoamento, o que diminui o índice competitivo entre elas, afetando o desenvolvimento das progênes citadas.

A competição entre plantas inicia-se quando os recursos (água e nutrientes) necessários para seu crescimento decrescem abaixo de sua demanda, afetando o crescimento (WEBER *et al.*, 2008).

O aumento da densidade básica constatado na progênie 112 nas alturas citadas é explicado pela competição dependente da distância, pois a morte ou quebra das árvores vizinhas a esta progênie aumentou a área de desenvolvimento dela, proporcionando assim que houvesse maior captação de água e nutrientes, possibilitando o maior desenvolvimento da planta, coincidindo com a altura de 50%, explicando o motivo pela diminuição da densidade básica nesta altura e o consequente aumento nas alturas de 75% e 100%.

Para melhor visualização do comportamento da densidade básica ao longo do fuste, o GRÁFICO 3, apresenta o modelo de variação obtido para as diferentes progênes estudadas.

GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS AO LONGO DO FUSTE



FONTE: o autor (2019).

De acordo com o GRÁFICO 3, observa-se que as densidades básicas das progênies descrecem com o aumento da altura comercial, conforme citado por diversos autores (PANSIM; DE ZEEUW, 1980; SPURR; HYVARINE, 1954; KLOCK, 2000).

Contudo, observando este gráfico e os resultados apresentados na TABELA 9, observa-se que na altura de 75%, algumas progênies, sete entre as dez amostradas, apresentaram o menor valor de densidade básica, aumentando na altura seguinte.

Espinoza (2010) relata que não existe um padrão definido para as variações da densidade ao longo fuste, mas uma tendência. Panshin e De Zeeuw (1980) corroboram com a inexistência de um padrão totalmente definido, embora esta tendência de diminuição no sentido base-topo seja observado em pelo menos 65% das espécies do gênero *Pinus*.

Alguns autores observaram comportamento similar da densidade básica em seus trabalhos, na TABELA 11, estão apresentados os valores médios destes estudos.

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DO *Pinus taeda* EM DIFERENTES ALTURAS OBTIDAS POR OUTROS AUTORES

Autor	Idade	Local	Densidade Básica (g/cm ³)				
			Posição				
			0%	25%	50%	75%	100%
Muñiz (1993)	30 anos	Irati, PR	0,516	0,489	0,475	0,460	0,422
Chies (2005)	21 anos	Três Barras, SC	0,475	0,429	0,404	0,378	0,362
			0,469	0,405	0,391	0,361	0,346
			0,466	0,411	0,380	0,380	0,339
Trianoski (2013)	18 anos	Ventania, PR	0,515	0,455	0,449	0,467	0,450
Schweitzer <i>et al.</i> (2019)	18 anos	Ponte Alta do Norte, SC	0,417	0,368	0,336	0,316	0,330

FONTE: o autor (2019).

A análise da densidade por altura de coleta foi realizada considerando somente as alturas relacionadas com a altura total da árvore. A escolha de realizar a análise desta maneira deu-se, pois, a altura do CAP é fixa, sendo amostrada em todas as árvores na mesma altura. Quando a análise é feita em proporções relativas à altura total de cada árvore amostrada equivalemos todas as amostras.

O uso de informações do CAP é amplamente difundido, e na maioria das vezes, é somente nesta altura que são coletados dados sobre o comportamento da densidade básica para toda a árvore.

Foi confrontado neste estudo, os resultados obtidos no CAP e comparados com os resultados obtidos para a média dos valores ao longo do fuste. Na TABELA 12 são apresentados estes resultados.

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA DAS PROGÊNIES DE *Pinus taeda* NO CAP E MÉDIA TOTAL

PROGÊNIE	DB (g/cm ³)		
	Média CAP	Média Total Ponderada	Diferença ¹
5	0,424	0,423	0,001 ^{NS}
8	0,436	0,430	0,006 ^{NS}
9	0,423	0,422	0,001 ^{NS}
12	0,394	0,398	-0,004 ^{NS}
20	0,403	0,403	0,000 ^{NS}
21	0,386	0,382	0,004 ^{NS}
74	0,402	0,395	0,007 ^{NS}
104	0,416	0,403	0,013 ^{NS}
108	0,452	0,452	0,000 ^{NS}
112	0,417	0,410	0,007 ^{NS}

FONTE: Adaptado do Statgrapichs.

¹Resultado obtido subtraindo a média total da média do CAP. ^{NS}Não significativa pelo teste de Tukey com $p \leq 0,05$.

Os dados mostram que, as diferenças observadas entre a densidade básica amostrada no CAP e a densidade básica média obtida ao longo do fuste não apresentaram diferenças significativas. Sendo possível, para as progênies estudadas, utilizar o valor da densidade básica do CAP para determinar o comportamento da árvore como toda.

5.1.3 Características dendrométricas e volumétrica

Os resultados médios da altura comercial, circunferência à altura do peito e do volume das progênies analisadas são apresentadas na TABELA 13.

TABELA 13 – VALORES MÉDIOS DA ALTURA COMERCIAL, CIRCUNFERÊNCIA À ALTURA DO PEITO E DO VOLUME DAS PROGÊNIES DE *Pinus taeda* ANALISADAS

Progênie	Altura	CAP	Volume
	(m)	(cm)	(m ³)
5	20,50 ab (0,69)	98,25 ab (1,80)	10,03 ab (2,54)
8	19,07 bc (13,64)	76,77 cd (10,68)	7,23 d (7,01)
9	19,07 bc (8,94)	93,47 abc (12,85)	8,90 abcd (18,97)
12	17,30 c (4,90)	87,55 abcd (3,15)	7,54 bcd (1,78)
20	18,87 bc (4,51)	100,93 a (12,09)	9,53 abc (21,51)
21	20,10 ab (1,41)	73,80 d (17,32)	7,43 cd (22,27)
74	18,80 bc (1,41)	97,10 ab (11,42)	9,09 abcd (11,11)
104	19,77 abc (6,74)	88,47 abcd (9,28)	8,73 abcd (13,92)
108	22,00 a (1,29)	92,00 abcd (16,14)	10,79 a (4,46)
112	18,77 bc (5,60)	80,23 bcd (8,09)	7,50 cd (10,80)

FONTE: o autor (2019).

Médias seguidas da mesma letra e na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras.

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, é possível afirmar que nas propriedades de altura e circunferência, as progênies apresentaram diferenças significativas entre elas, porém, estão em concordância com o citado pelos autores Castelo (2007), Romão (2009), Trianoski (2012) e Schuchovski, Arce, Oliveira (2019).

O teste estatístico aplicado aos resultados mostrou que as progênies 108 e 20, foram as que apresentaram os maiores índices nas propriedades de altura e circunferência, respectivamente. Na variável altura, a progênie 108 foi estatisticamente semelhante as progênies 5, 21 e 104, na variável circunferência, a progênie 20 foi estatisticamente semelhante as progênies 5, 9, 12, 74, 104 e 108.

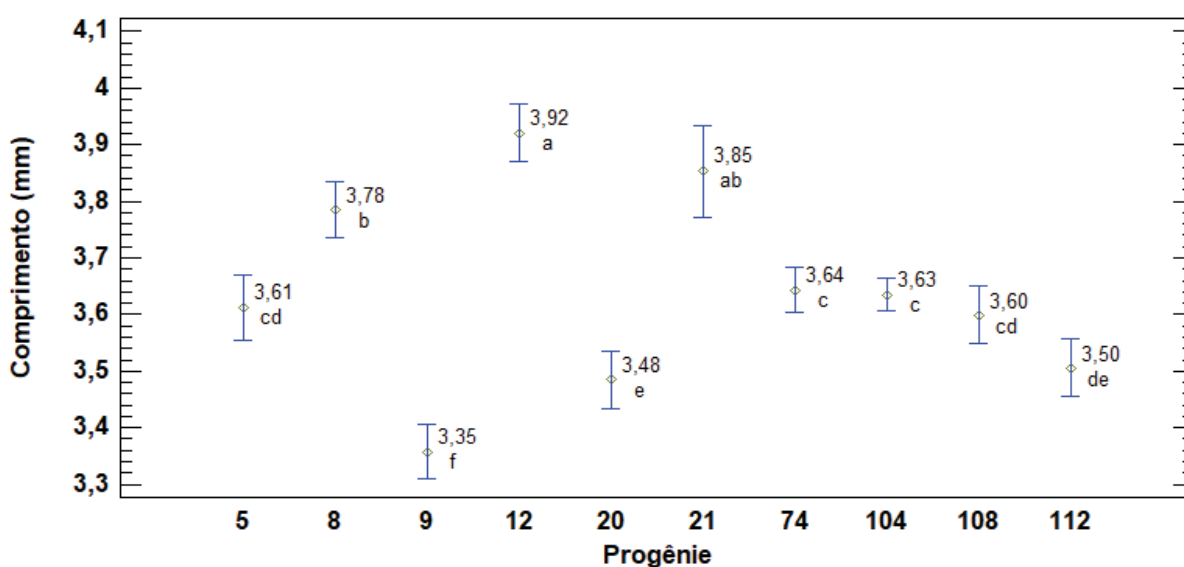
Na variável volume, a progênie 108 foi a que apresentou o maior valor médio entre as progênies, sendo que esta, foi estatisticamente semelhante às progênies 5, 9, 20, 74 e 104.

5.1.4 Características morfológicas e relações entre as dimensões dos traqueídeos

5.1.4.1 Comprimento médio dos traqueídeos

Os resultados médios do comprimento dos traqueídeos das progênies são apresentados no GRÁFICO 4.

GRÁFICO 4 – Valores médios do comprimento médio das fibras e seus respectivos coeficientes de variação



FONTE: adaptado do Statgraphics®

Os valores médios para a variável comprimento das fibras, indicou haverem semelhanças estatísticas entre as progênies 12 e 21, sendo estas com os valores mais altos, já a progênie 9, exibiu o menor valor médio e foi estatisticamente diferente das demais progênies analisadas.

A existência de diferenças significativas entre as progênies pode ser atribuída principalmente aos processos fisiológicos de cada uma delas, pois outros fatores como idade e as condições de crescimento foram padronizadas para todas

no teste, cabe então a esses processos, próprios de cada progênie, a diferenciação nos modos de divisões celulares e que afetam esta variável.

Na TABELA 14 são apresentados os valores médios e as variações obtidas para o comprimento das fibras das dez progênies amostradas nas diferentes alturas.

TABELA 14 – VALORES MÉDIOS DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS

Progênie	Altura de coleta					
	Base	CAP	25%	50%	75%	100%
	(mm)					
5	3,42 de (16,50)	3,97 ab (15,44)	2,55 f (31,83)	4,51 a (12,02)	3,83 c (13,03)	3,50 e (7,79)
8	4,09 a (11,68)	3,75 bc (14,04)	3,51 abc (19,28)	3,85 c (13,16)	4,22 b (7,76)	3,73 d (8,77)
9	3,60 cd (9,07)	3,35 e (6,62)	3,07 e (16,82)	3,59 d (8,35)	3,53 d (6,15)	3,32 f (9,70)
12	4,00 a (6,61)	3,90 ab (9,75)	3,57 ab (11,50)	3,77 cd (8,32)	4,62 a (7,40)	4,53 a (6,11)
20	3,37 e (11,55)	3,39 de (11,99)	3,37 cd (19,20)	3,30 e (12,25)	3,85 c (9,95)	3,88 c (6,96)
21	3,65 bc (10,73)	3,70 bcd (12,91)	3,75 a (15,63)	4,23 ab (7,93)	4,30 b (10,27)	4,00 bc (11,18)
74	2,81 f (4,84)	3,55 d (8,80)	3,60 a (16,36)	3,39 e (14,64)	4,09 b (8,80)	4,15 b (6,70)
104	3,77 b (13,20)	4,02 a (9,69)	3,45 bc (15,35)	3,64 d (10,83)	3,79 c (10,64)	3,46 e (7,55)
108	4,15 a (10,11)	3,56 cde (14,16)	3,63 a (19,88)	4,31 ab (10,63)	3,33 e (9,23)	2,83 g (13,96)
112	3,76 bc (10,81)	4,11 a (6,25)	3,22 de (11,35)	4,19 b (5,10)	3,49 de (11,49)	2,78 g (10,80)

Fonte: o autor (2019).

Médias seguidas da mesma letra e na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

O comprimento das fibras também influencia a resistência do papel a tração e ao arrebatamento, segundo Foelkel (1977), para fibras mais longas há menor possibilidade de separar a estrutura do papel quando submetido ao mesmo esforço que uma fibra curta.

De acordo com Gomide *et al.* (2005), a variação nas dimensões das fibras tende a influenciar na resistência mecânica da madeira e na qualidade final do papel produzido. Fibras de menores comprimentos proporcionam uma melhor formação da folha de papel, enquanto que as de maiores comprimentos propiciam maior resistência ao rasgo.

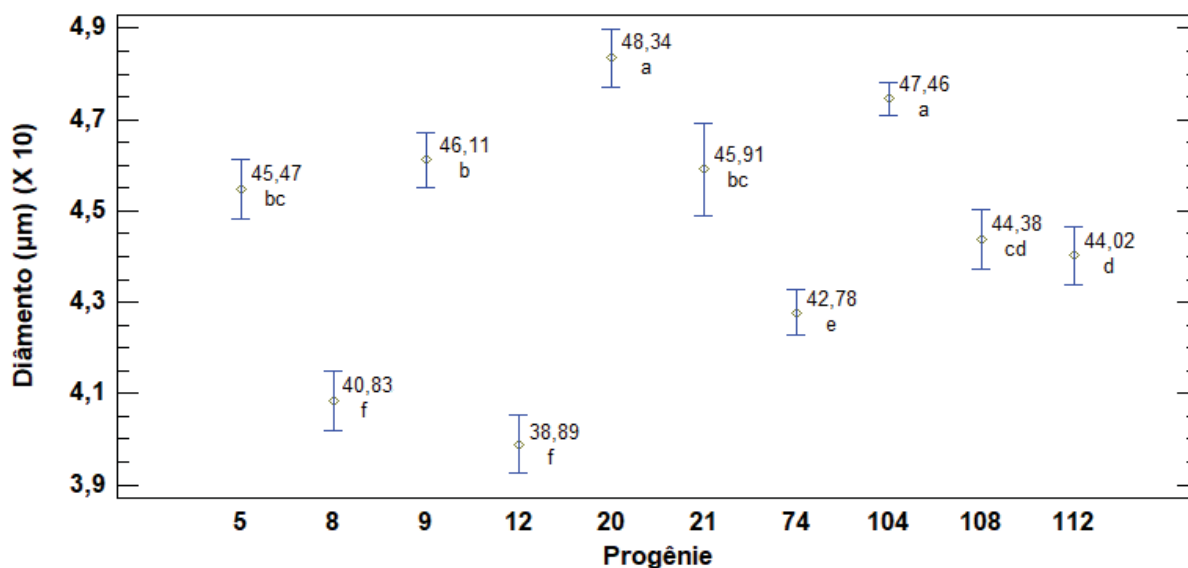
Com base nestas referências, é possível afirmar que as fibras das progênes 12 e 21, com comprimento de 3,92 mm e 3,85 mm, são as mais indicadas para a produção de papéis do tipo kraft e as fibras da progênie 9, com comprimento de 3,35mm, as preferíveis para a produção de papel escrita e absorventes por exemplo.

Observando a TABELA 12, é possível afirmar que na maioria das progênes houve uma diminuição significativa do comprimento das fibras na altura de 25% em relação aos índices obtidos na base, as exceções são as progênes 21 e 74, que na altura de 25% houve um aumento nos valores, e na progênie 20 onde os valores foram iguais, indo de encontro a citado por Mendonça (1982), Cown (1975) e Panshim e De Zeew (1980), pois os valores obtidos para as progênes estudadas indicaram uma tendência de diminuição do comprimento das fibras até 25% da altura e os índices máximos das progênes concentraram-se principalmente na altura de 75%.

5.1.4.2 Largura dos traqueídeos

O GRÁFICO 5 apresenta os valores médios do diâmetro das fibras com seus respectivos coeficientes de variação.

GRÁFICO 5 – Valores médios do diâmetro médio dos traqueídeos e seus respectivos coeficientes de variação



FONTE: adaptado do Statgraphics®

As progênies 20 e 104 indicaram os maiores valores médios para a largura de suas fibras, com 49,34 μm e 47,46 μm respectivamente, sendo estas semelhantes estatisticamente entre si, já as progênies 8 e 12 com os menores valores, de 41,1 μm e 39,8 μm respectivamente.

A largura, assim como o comprimento das fibras é afetada pelos processos fisiológicos particulares de cada progênie, onde quando estes processos ocorrem de maneira mais acentuada, há o aumento dessa medida. Contudo, na largura das fibras o valor elevado, sobretudo das progênies 20 e 104 impactam negativamente na qualidade do papel, diminuindo sua resistência, principalmente no arrebatamento.

Na TABELA 15 são mostrados os valores médios e os coeficientes de variações obtidas para a largura das fibras das dez progênies amostradas nas diferentes alturas.

TABELA 15 – RESULTADOS MÉDIOS DA LARGURA (DIÂMETRO) DOS TRAQUEÍDEOS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS

Progênie	Altura de coleta					
	Base	DAP	25%	50%	75%	100%
	(µm)					
5	42,50 (11,65)	44,20 a (10,67)	45,00 c (17,54)	45,37 bc (23,86)	46,92 b (19,31)	44,50 cd (19,65)
8	42,50 (7,75)	42,69 abc (9,50)	41,07 d (12,65)	43,50 cd (13,55)	37,83 de (12,36)	40,83 e (12,07)
9	43,27 (12,51)	43,00 ab (11,63)	44,32 c (13,94)	43,16 cd (17,33)	51,38 a (8,97)	53,17 a (14,29)
12	42,41 (12,45)	40,18 d (18,62)	38,72 e (14,81)	47,83 ab (14,95)	35,96 e (11,81)	36,09 f (18,18)
20	40,71 (7,25)	44,14 a (10,52)	53,64 a (11,13)	45,67 bc (14,58)	50,89 a (14,16)	45,53 c (8,66)
21	44,37 (10,14)	39,37 cd (12,58)	46,25 bc (15,04)	52,22 a (8,44)	43,33 bc (17,30)	48,89 abc (11,18)
74	37,41 (7,68)	39,51 d (10,51)	43,53 c (14,30)	42,06 d (19,19)	42,35 c (11,65)	49,41 b (14,54)
104	43,99 (8,42)	42,91 ab (9,53)	48,19 b (13,11)	43,94 cd (10,02)	53,17 a (11,05)	51,25 ab (11,56)
108	38,44 (7,83)	41,19 bcd (11,45)	44,94 c (16,81)	50,41 a (20,04)	39,83 cd (12,97)	36,50 f (16,93)
112	43,93 (9,97)	44,11 a (10,26)	44,72 c (12,01)	45,50 bc (11,67)	41,83 c (10,16)	41,33 de (11,42)

FONTE: o autor (2019).

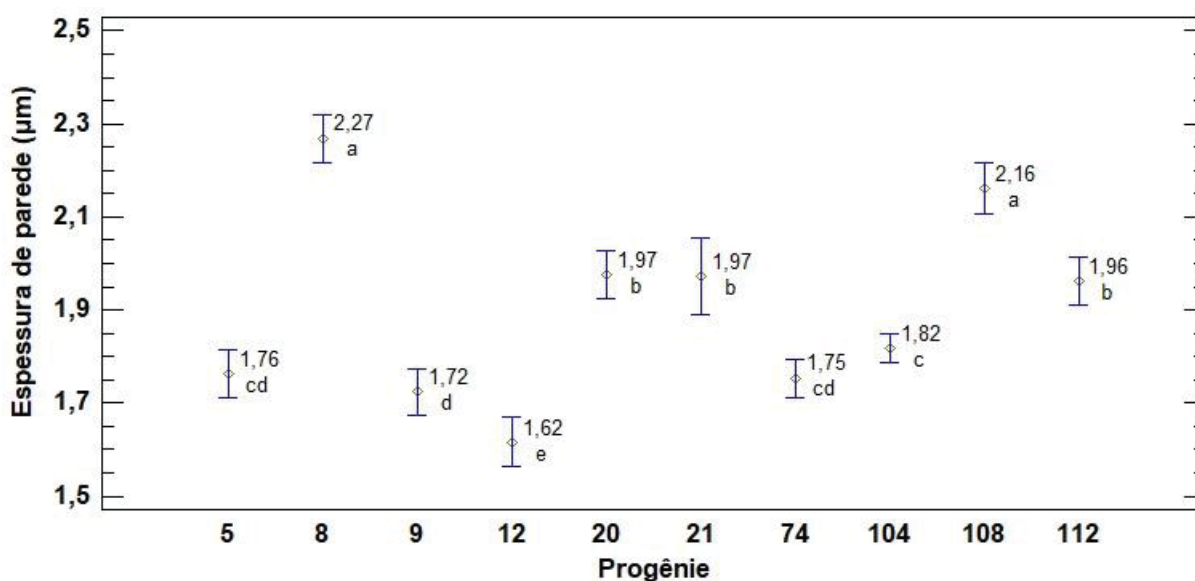
Médias seguidas da mesma letra e na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Os valores médios da largura das fibras medido nas diferentes alturas mostram claramente uma variação significativa entre todas as progênies nas diferentes alturas, também é possível visualizar que nas alturas de 75% e 100%, os valores na maioria das progênies amostradas estão entre os maiores valores de cada uma delas, apenas na progênie 108 esta situação não ocorre, nesta progênie na altura de 100%, a largura das fibras é a menor entre as alturas amostradas.

5.1.4.3 Espessura da parede dos traqueídeos

No GRÁFICO 6 são apresentados os valores médios da espessura de parede das fibras bem como seus respectivos coeficientes de variação.

GRÁFICO 6 – Valores médios da espessura da parede dos traqueídeos e seus respectivos coeficientes de variação



FONTE: adaptado do Statgraphics®.

As progênies 8 e 108 foram as que apresentaram os maiores valores médios, 2,27 µm e 2,16 µm, respectivamente, sendo estas iguais estatisticamente entre si, já a progênie 12, exibiu o menor valor médio e foi diferente estatisticamente das demais progênies estudadas.

A espessura de parede das fibras, assim como no comprimento e a largura, é influenciada pela idade e pelos processos biológicos de desenvolvimento da planta, sendo a idade fator comum a todas as progênies, ficando as variações explicadas aos processos de formação do tecido (FOELKEL, 1977)

As fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose do que paredes mais delgadas, sendo assim, as progênies 8 e 108 são preferíveis para utilização em indústrias de produção de celulose e papel.

Os resultados da espessura da parede das fibras nas diferentes alturas amostras das dez progênies são apresentadas na TABELA 16.

TABELA 16 – RESULTADOS MÉDIOS DA ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS

Progênie	Altura de coleta					
	Base	DAP	25%	50%	75%	100%
	(µm)					
5	1,79 b (26,43)	2,24 a (21,49)	1,19 f (27,22)	2,07 c (26,49)	2,15 ab (18,30)	1,82 b (31,07)
8	2,32 a (16,17)	2,23 a (17,04)	2,16 b (19,64)	2,33 b (17,19)	2,22 a (14,12)	2,55 a (24,88)
9	2,32 a (18,97)	2,28 a (19,08)	1,53 d (23,32)	1,55 e (9,84)	1,48 ef (26,24)	1,15 d (20,26)
12	2,43 a (16,23)	2,02 b (12,79)	1,34 e (28,45)	1,82 d (16,92)	1,09 g (28,33)	1,43 c (14,19)
20	2,30 a (12,30)	2,39 a (16,14)	1,83 c (25,87)	2,32 b (18,35)	1,82 cd (18,33)	1,43 c (19,93)
21	2,27 a (17,15)	1,87 b (23,64)	1,67 cd (24,49)	2,55 ab (6,52)	1,61 def (17,06)	1,39 cd (24,00)
74	2,22 a (14,20)	2,00 b (15,81)	1,63 d (30,50)	2,11 c (17,95)	1,56 e (25,20)	1,39 c (28,11)
104	2,34 a (19,85)	2,37 a (14,03)	1,55 d (27,49)	2,30 b (15,67)	1,73 f (22,89)	1,34 c (26,21)
108	2,34 a (23,00)	1,90 b (15,79)	2,29 a (21,66)	2,71 a (14,64)	1,97 bc (19,95)	1,33 cd (31,66)
112	2,41 a (19,60)	2,34 a (16,22)	1,82 c (21,10)	2,42 b (14,46)	1,67 de (29,83)	1,35 cd (29,42)

FONTE: o autor (2019).

Médias seguidas da mesma letra e na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

De acordo com Cown (1980) o tecido cambial mais velho produz células com características adultas, apresentando assim maior espessura de parede, analisando os resultados apresentados pelas progênies e com base na citação, era esperado que a espessura de parede das fibras fosse inversamente proporcional à altura de coleta, porém nas dez progênies esse comportamento não observado de maneira linear, havendo sempre em alguma altura de coleta um valor que destoasse do comportamento citado.

Exemplificando isto, é observando o comportamento da progênie 74, que nas três primeiras alturas amostradas, seus valores decrescem, porém na altura de

50%, seu índice aumenta consideravelmente, para nas duas últimas alturas este valor médio continuar diminuindo.

Comparando os valores encontrados neste trabalho com resultados obtidos por outros pesquisadores para esta mesma espécie, verifica-se que Hasegawa (2003) estudando árvores com 25 anos no município de Alfredo Wagner, estado de Santa Catarina obteve valores de 38,00 μm a 48,50 μm para largura média e 4,80 μm a 11,10 μm para espessura de parede.

Castelo *et al.* (2008) analisando árvores com idade 18 anos no município de Piraí do Sul, estado do Paraná, obteve valores de 3,03 mm para o comprimento, 53,76 μm para a largura e 8,27 μm para a espessura de parede.

Trianoski (2012) em estudo sobre espécies do gênero pinus, obteve para o *Pinus taeda* com 18 anos de idade coletado no município de Ventania, estado do Paraná, os valores médios de 2,90 mm para o comprimento, 42,46 μm para o diâmetro e 7,89 μm para a espessura de parede.

Confrontando os resultados apresentados por estes pesquisadores com os valores médios apresentados nos GRÁFICOS 4, 5 e 6, verifica-se que nas propriedades de comprimento e a largura das fibras, os valores estão coerentes com os citados por outros pesquisadores. As diferenças observadas estão associadas às diferentes procedências e localizações geográficas dos estudos.

A variável, espessura de parede das fibras, tem suas diferenças observadas em razão dos fatores citados anteriormente e também pela influência do desenvolvimento das progênies, pois os valores observados no trabalho ficaram abaixo do citado pela maioria dos autores.

5.1.4.4 Relações entre as dimensões dos traqueídeos

A avaliação dos traqueídeos e de suas propriedades pode ser realizada a partir de suas características absolutas, como apresentado anteriormente. Contudo, quando são estabelecidas relações entre estas medições absolutas, são geradas informações mais precisas sobre o material, sendo estas relacionáveis com a qualidade da madeira e de produtos obtidos a partir dela, sobretudo, no setor de celulose e papel.

Foelkel *et al.* (1976), Barrichelo (1979), Klock (2000), Hasegawa (2003), Shimoyama (2005) e Trianoski (2012) contribuíram com esta informação descrevendo que, na produção de celulose e papel as dimensões das fibras influenciam diretamente as variáveis do processo, sobretudo no grau de refino, qualidade da pasta produzida e conseqüentemente nas propriedades físico-mecânicas do papel.

Desta maneira, na TABELA 17, são apresentados os valores médios de Coeficiente de Flexibilidade, Fração Parede, Índice de Enfeltramento e Índice de Runkel, para as progênies amostradas calculados a partir dos dados puros dos traqueídeos.

TABELA 17 – RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES MENSURADAS DAS FIBRAS

Progênie	CF ¹ (%)	FP ² (%)	IE ³	IR ⁴
5	53,87 e (25,22)	90,84 b (29,03)	84,10 b (27,53)	1,73 ab (45,72)
8	50,52 f (29,30)	100,82 a (28,57)	83,70 b (25,21)	1,88 a (44,39)
9	62,05 a (21,93)	64,89 f (35,07)	75,60 c (20,69)	1,30 e (56,61)
12	55,66 de (22,77)	85,13 c (29,02)	92,40 a (26,25)	1,60 bc (45,20)
20	57,18 cd (24,47)	77,07 d (30,71)	75,10 c (19,32)	1,52 cd (53,41)
21	53,82 def (24,80)	78,40 de (28,84)	92,00 a (22,86)	1,68 abc (42,43)
74	58,47 bc (22,65)	78,00 d (30,19)	91,20 a (20,06)	1,52 cd (49,57)
104	60,07 b (24,01)	73,07 e (36,31)	77,30 c (18,98)	1,46 d (56,81)
108	55,28 de (25,15)	89,42 bc (36,66)	84,80 b (28,72)	1,69 b (46,62)
112	55,48 de (22,04)	88,29 bc (27,78)	91,50 a (22,84)	1,72 ab (45,38)

FONTE: o autor (2019).

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste estatístico.

¹Coeficiente de flexibilidade; ²Fração parede; ³Índice de enfeltramento; ⁴Índice de Runkel.

Verifica-se que para a variável coeficiente de flexibilidade, os valores médios variaram entre 50,52%, da progênie 8, a 62,05%, da progênie 9.

O teste estatístico mostrou haverem semelhanças estatísticas entre as progênies 8 e 21 com os menores índices, já a progênie 9 foi diferente estatisticamente das demais progênies estudadas.

Segundo Foelkel e Barrichello (1975), o coeficiente de flexibilidade refere-se à flexibilidade, a superfície de contato e a união dos elementos celulares, onde, são preferíveis os coeficientes com valor acima de 75%.

Observando os resultados obtidos na TABELA 17 (página 120), e confrontando estes com a classificação apresentada na TABELA 5 (página 74), verifica-se que todas as progênies apresentaram coeficiente de flexibilidade entre 50% e 75%, indicando assim, que os traqueídeos possuem boa superfície de contato e uma boa união entre os elementos celulares.

A fração parede das progênies estudadas apresentou valores médios no intervalo de 64,89% e 100,82%, onde o menor resultado médio foi apresentado pela progênie 9 e o maior resultado desta variável foi apresentado pela progênie 8.

A análise estatística dos dados da variável fração parede, mostrou que as progênies 8 e 9 foram estatisticamente diferentes de todas as demais progênies analisadas neste estudo.

A fração parede fornece informações sobre a rigidez das fibras, a interligação e suas relações com a resistência ao rasgo, tração e arrebatamento (FOELKEL, BARRICHELLO, 1975).

De acordo com os mesmos autores, quando a fração parede do material fibroso é superior a 40%, o material não fornecerá celulose de qualidade satisfatória, pois os traqueídeos são mais rígidos, menos flexíveis, podendo haver uma maior dificuldade de interligação dos mesmos, o que gera um papel com menor resistência a tração e ao arrebatamento, contudo, a resistência ao rasgo é aumentada.

As espécies que possuem fibras ou traqueídeos com fração parede elevada originam papeis com alto volume específico, pois quando estes elementos são comprimidos durante a formação do papel, seu grau de colapso é menor apresentando tendência de formação de fitas (FOELKEL, BARRICHELLO, 1975).

Considerando as citações apresentadas, verifica-se que as progênies apresentaram índices superiores a 40% nesta variável, indicando que apesar de a

obtenção de papel não possuir uma qualidade satisfatória quanto a interligação dos traqueídeos, o papel produzido a partir das amostras estudadas possui uma alta resistência ao rasgo, sendo que entre as progênies estudadas, a progênie 9 é que possui o índice mais favorável entre todas.

Para o índice de enfeltramento, foram observados valores médios de 75,10 a 92,40, onde o menor e o maior resultado foram obtidos a partir das progênies 20 e 12 respectivamente.

O teste estatístico aplicado aos resultados do índice de enfeltramento das amostras apontou haverem semelhanças estatísticas entre as progênies 9, 20 e 104, com os menores índices e entre as progênies 12, 21, 74 e 112 com os maiores valores.

O índice de enfeltramento, assim como o coeficiente de flexibilidade, fornece a informação do quão flexível os elementos celulares são e qual a capacidade que estes possuem ao entrelaçamento (FOELKEL, 1976). São preferíveis os índices os mais altos possíveis, pois, quanto maior o valor maior será a resistência ao rasgo e ao estouro do papel.

Baseando-se nesta citação e nos resultados apresentados na TABELA 17 (página 120), constata-se que a utilização das progênies 12, 21, 74 e 112 na formação do papel trará benefícios sobretudo nos fatores de resistência, ao rasgo e ao estouro. A diferença existente entre as progênies nesta variável mostra haver uma diferença de aproximadamente 23% entre os valores máximo e mínimo, requerendo assim, que outros fatores além desta variável sejam levados em consideração na determinação de qual progênie deve ser utilizada na fabricação do papel.

Os valores médios do índice de Runkel das progênies variaram no intervalo de 1,30 e 1,88, onde o menor e o maior valor médio foram apresentados pelas progênies 9 e 8 respectivamente. Nesta variável, o teste estatístico mostrou haverem semelhanças entre as progênies 5, 8, 21 e 112 com os maiores índices, já a progênie 9 foi diferente estatisticamente de todas as demais progênies.

O índice de Runkel fornece informações sobre a aptidão da madeira para a fabricação de papel, onde valores inferiores a 1 são preferíveis (FOELKEL, BARRICHELO, 1975).

Observando os resultados exibidos na TABELA 17 (página 120) e de acordo com a classificação apresentada na TABELA 5 (página 74), nenhuma das progênies estudadas apresentou índice de Runkel \leq a 0,25, indicando assim que os traqueídeos das progênies amostradas possuem fibras rígidas para a formação do papel.

A progênie 9, segundo esta mesma classificação, foi a que apresentou o menor índice de Runkel nas progênies estudadas, indicando que esta apresentou os traqueídeos mais flexíveis neste trabalho.

5.1.5 Propriedades químicas

Os resultados médios obtidos para todas as propriedades químicas das progênies analisadas são apresentados na TABELA 18.

TABELA 18 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS PROGÊNIES AMOSTRADAS

	Progénie										
	5	8	9	12	20	21	74	104	108	112	
Teor de cinzas (%)	0,10 abc (16,85)	0,15 bcde (18,65)	0,06 a (8,68)	0,04 a (0,00)	0,16 cde (14,74)	0,18 de (8,56)	0,23 e (14,01)	0,19 de (19,22)	0,14 bcd (16,11)	0,07 ab (12,08)	
Extrativos em NaOH (%)	8,49 a (1,58)	10,91 e (1,34)	10,28 de (3,55)	10,04 cd (0,90)	9,70 bcd (3,49)	10,03 cd (5,32)	9,46 bc (3,57)	9,00 ab (2,98)	9,07 ab (12,54)	9,24 abc (2,67)	
Extrativos em etanol-tolueno (%)	1,90 bc (15,79)	1,38 a (1,74)	3,11 e (0,49)	2,91 e (10,65)	3,05 e (2,45)	1,94 c (33,50)	2,66 de (6,57)	2,27 cd (0,25)	2,12 c (9,90)	1,42 ab (21,16)	
Extrativos em água fria (%)	0,90 b (8,46)	1,81 c (12,19)	1,60 c (25,13)	0,82 b (9,35)	0,70 b (15,66)	0,80 b (21,01)	0,14 a (12,37)	0,22 a (13,67)	0,70 b (25,64)	1,66 c (6,62)	
Extrativos em água quente (%)	1,38 bcd (11,62)	1,75 cde (5,45)	1,30 ab (11,18)	1,81de (6,07)	0,99 ab (35,95)	1,37 bc (15,19)	0,93 a (13,61)	1,34 abc (5,22)	1,89 ef (16,09)	2,30 f (9,65)	
Extrativos totais (%)	4,57 ef (3,31)	2,46 a (10,94)	4,75 f (2,66)	4,05 de (8,84)	4,65 ef (4,06)	2,79 ab (33,85)	3,79 cd (8,39)	3,09 ab (7,53)	3,18 bc (10,73)	3,01 ab (11,49)	
Teor de lignina (%)	34,23 cd (3,90)	32,86 bcd (10,94)	35,33 de (0,48)	31,23 ab (1,80)	37,82 e (0,05)	37,44 e (0,41)	37,91 e (3,40)	33,42 bcd (6,94)	29,48 a (2,93)	32,42 bc (2,43)	
Teor de holocelulose (%)	55,97 c (4,92)	62,06 b (1,75)	59,11 bc (6,26)	57,65 c (0,87)	61,02 b (0,75)	57,29 c (2,74)	55,93 c (0,70)	56,43 c (2,56)	61,10 b (4,66)	65,95 a (1,00)	

FONTE: o autor (2019).

Médias seguidas da mesma letra e na mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação entre as amostras.

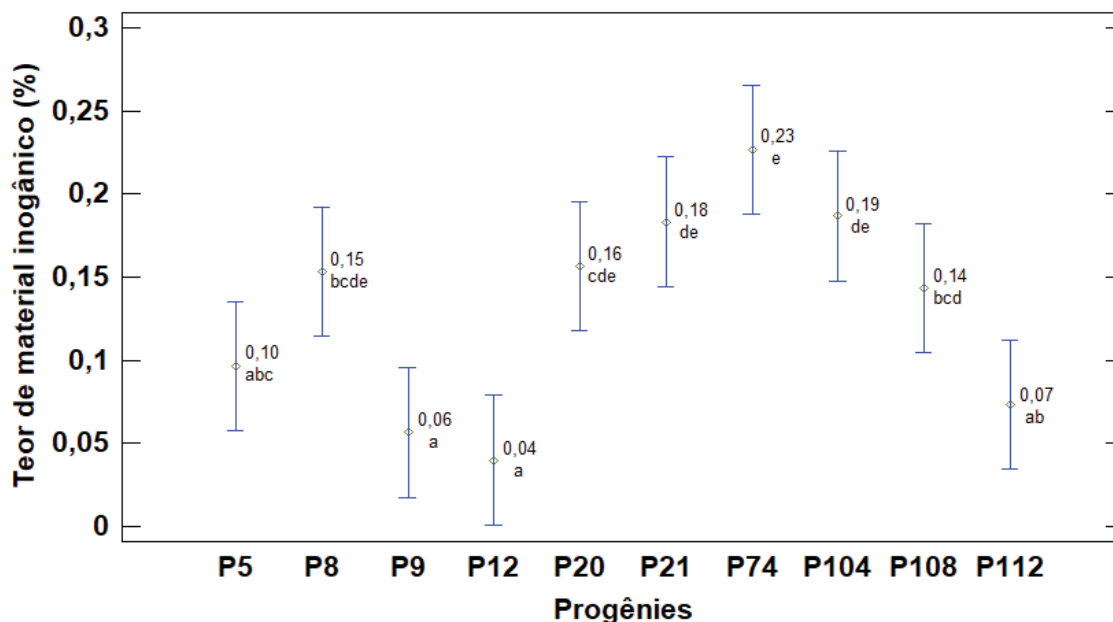
TABELA 19 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO *Pinus taeda* OBTIDA POR OUTROS AUTORES

Autor	Idade	Local	Teor de cinzas	Extrativos em NaOH	Extrativos em etanol:tolueno	Extrativos (%)				Extrativos totais	Teor de lignina	Teor de holocelulose
						em água quente	em água fria	Extrativos em água quente	Extrativos em água fria			
Trianoski (2012)	18 anos	Ventania, PR	0,28	9,31		2,90	2,02			3,34	30,51	
Trianoski <i>et al.</i> (2016)	18 anos	Ventania, PR			2,86	2,90	1,45			3,34		
Henne <i>et al.</i> (2017)	18 anos	Ponte Alta do Norte, SC	0,34		3,06	1,62	0,87				31,59	
Schweitzer <i>et al.</i> (2019)	18 anos	Ponte Alta do Norte, SC	0,26 0,33	3,71 11,34	2,31 2,33					3,70 3,73	26,94 32,00	63,08 50,26

FONTE: O autor (2019).

No GRÁFICO 7, são apresentados os valores médios e as variações obtidas para o teor de cinzas presente na madeira das dez progênies avaliadas.

GRÁFICO 7 – Valores médios do teor de inorgânicos das progênies



FONTE: O autor (2019).

Em relação ao teor de cinzas obtido para as progênies, verifica-se que os valores variaram entre 0,04%, na progênie 12, e 0,23%, na progênie 74. Os coeficientes de variação desta propriedade ficaram na média em 12% para as amostras, demonstrando haver uma variação nos valores das amostras dentro das progênies. A progênie 12, no entanto, apresentou coeficiente de variação igual a zero, apontando que, o conjunto de dados desta progênie são bem homogêneos.

De acordo com Fengel e Wegener (1989), as madeiras apresentam em média valores de teor de cinzas de 0,5%.

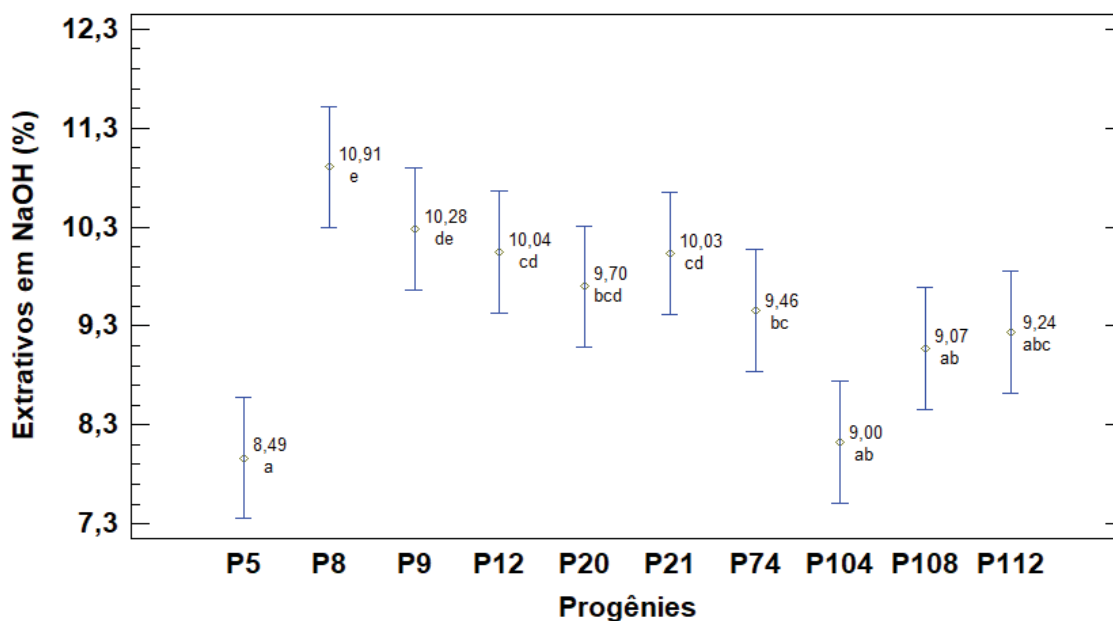
Tomando esta e as demais referências citadas, é possível afirmar que os teores de cinzas das amostras analisadas apresentam-se baixos, indicando que as progênies, quando utilizadas na geração de energia, por meio da queima direta ou da transformação em elementos energéticos, como briquetes e *pellets*, iram gerar uma quantidade menor de resíduos.

O teor de cinzas presente na madeira é composto, principalmente, por potássio, cálcio e magnésio, a presença destes elementos geram problemas na utilização de madeiras com alto teor destes componentes.

O maior desgaste de ferramentas de desdobro e a maior geração de resíduos são alguns deles, havendo então preferência por progênies com teores menores, pois o desgaste acelerado de ferramentas de corte utilizadas no desdobro e demais equipamentos usados, aumentam os custos de manutenção de máquinas e de tempo de maquinário parado, já o aumento de resíduos, sobretudo no uso da madeira como material combustível acarreta em manutenções mais seguidas na caldeira e em um maior volume de resíduos que necessitam de destinação adequada.

No GRÁFICO 8, são apresentados os valores médios e as variações obtidas para o teor de extrativos em hidróxido de sódio presente na madeira das dez progênies.

GRÁFICO 8 – Valores médios do teor de extrativos em hidróxido de sódio das progênies



FONTE: o autor (2019).

Para os componentes solúveis em hidróxido de sódio (NaOH), verificou-se que a progênie 5 foi a que apresentou o menor valor médio, de 8,49%, e a progênie 8 a que apresentou o maior valor médio, de 10,91%. O

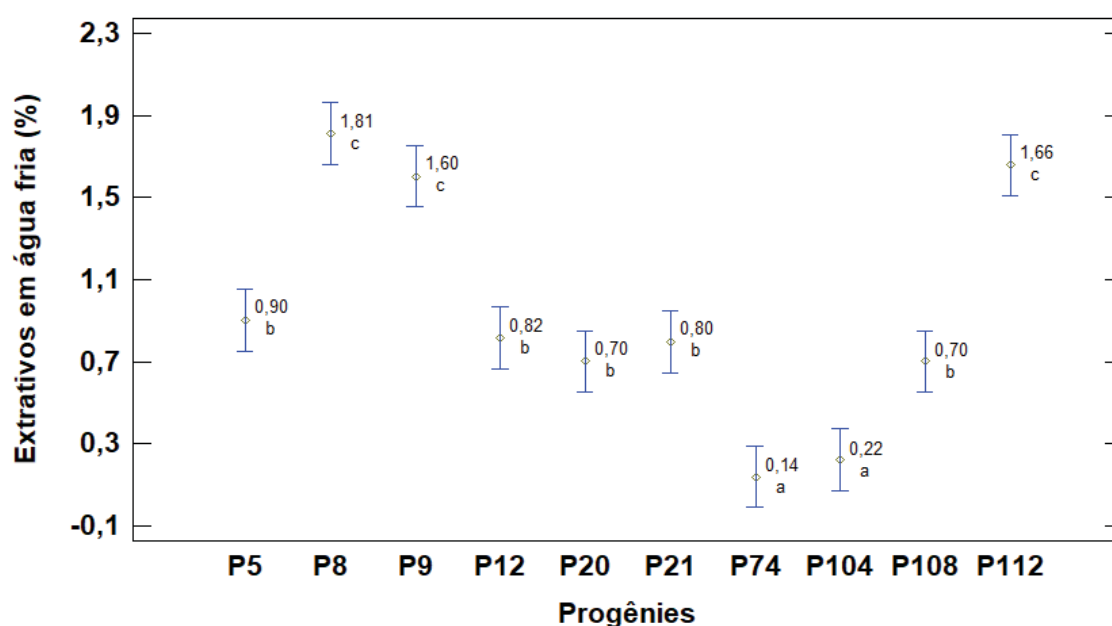
teste estatístico demonstrou haverem semelhanças estatísticas entre as progênes 5, 104, 108 e 112, com os menores teores de extrativos em hidróxido de sódio, e entre as progênes 8 e 9 com os maiores teores.

Esta análise pode indicar o grau de decomposição da madeira, causada por fungos, luz, calor, oxidação, entre outros, pois a solubilização da madeira nesta solução remove extrativos e carboidratos de baixa massa molecular, que constituem é parte constituinte de polioses e celulose degradada (ABNT - NBR7990, 2003).

A importância na determinação deste índice se dá pela razão de que as árvores muitas vezes não são processadas de imediato, podendo ficar estocadas por alguns períodos, no campo aguardando transporte, na indústria aguardando para entrarem no processo ou como estoque, podendo ocasionar a degradação da mesma, ocasionando a perda de densidade e de outros compósitos que afetam a qualidade da madeira.

São apresentados no GRÁFICO 9 os valores médios de extrativos obtidos em água fria para as dez progênes avaliadas, juntamente com os coeficientes de variação de cada uma.

GRÁFICO 9 – Valores médios de extrativos em água fria para as progênes estudadas



FONTE: o autor (2019).

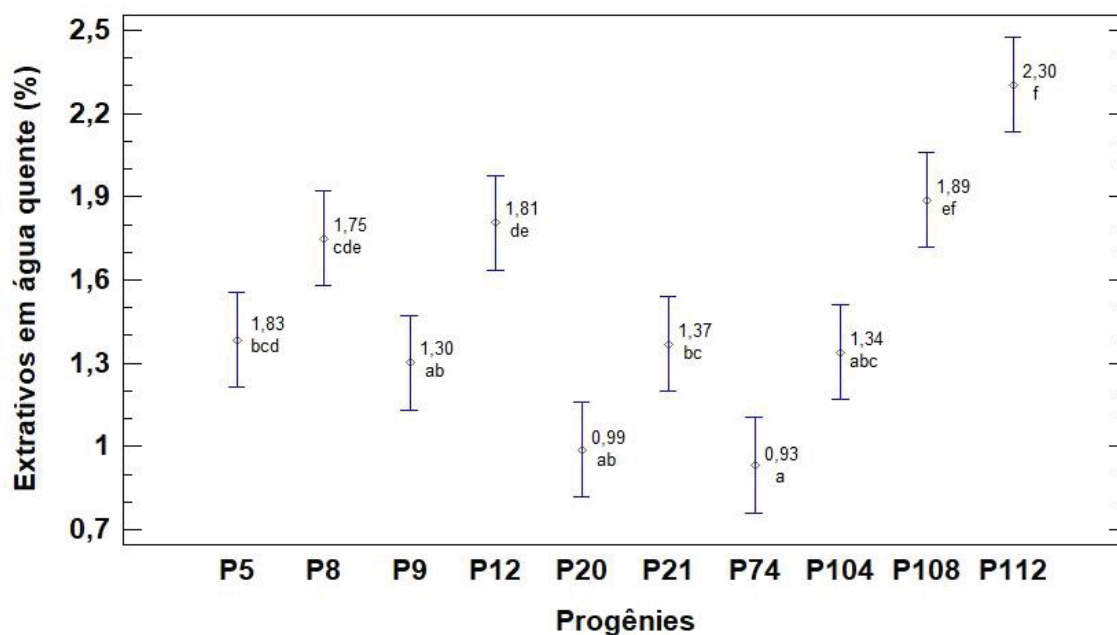
Para a variável extrativos em água fria, os valores médios variaram entre 0,14% e 1,81%, para as progênes 74 e 8, respectivamente. A análise estatística dos resultados mostrou haverem semelhanças estatísticas entre as progênes 74 e 104, bem como, entre as progênes 8, 9 e 112.

Esta extração faz a remoção de componentes inorgânicos da madeira como taninos, gomas, açúcares e materiais coloridos (ABNT – NBR14577, 2003).

A quantificação de extrativos é na maioria das vezes utilizada para a classificação de madeiras, pois na maioria das aplicações os extrativos obtidos nesta análise são indesejados ou requerem um padrão de quantidade, uniformizando a produção.

No GRÁFICO 10, são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação obtidos para a análise de teor extrativos em água quente para as dez progênes avaliadas.

GRÁFICO 10 – Valores médios de extrativos em água quente para as progênes estudadas



FONTE: o autor (2019).

A extração em água quente complementa a extração em água fria, pois a temperatura atua como catalisador da reação e devido a ela, remove, além

dos componentes extraíveis na análise de água fria, o amido (ABNT – NBR14577, 2003).

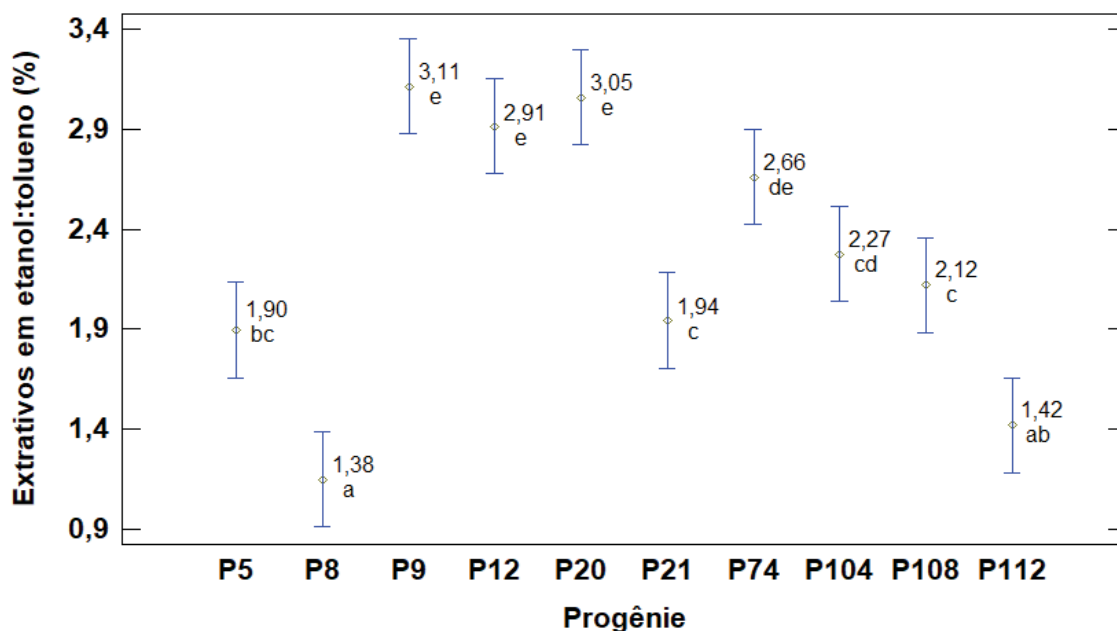
Os valores médios obtidos para esta análise ficaram entre 0,93% na progênie 74 e 2,30% na progênie 112. O teste estatístico dos resultados mostrou haverem semelhanças estatísticas entre as progênies 9, 20, 74 e 104, com os menores valores e entre as progênies 108 e 112 com os maiores índices.

A relevância de realizar as extrações em água quente e fria é dada por estas análises serem de aplicação simples e com uso de equipamentos e reagentes menos específicos, ainda assim fornecem informações relevantes sobre o teor de extrativos presentes na madeira, que aliadas a outras características auxiliam o processo de seleção.

Salienta-se que as progênies 8 e 9 indicaram teores de extrativos em água quente inferiores ao de água fria, conforme citado pela norma, este fato não é comum de ocorrer, as incompatibilidades desta citação com os resultados obtidos está possivelmente relacionado com a alta quantidade de substâncias extrativas presentes nestas duas progênies. Devido ao fato de a madeira não ser atacada pela água fria, esta solubiliza somente as substâncias extrativas, por sua vez na extração em água quente, ocasiona também a extração de amidos, polissacarídeos e lignina.

São apresentados no GRÁFICO 11 os valores médios obtidos nesta extração, juntamente com os coeficientes de variação para cada progênie.

GRÁFICO 11 – Valores médios de extrativos em etanol:tolueno para as progênies estudadas



FONTE: o autor (2019).

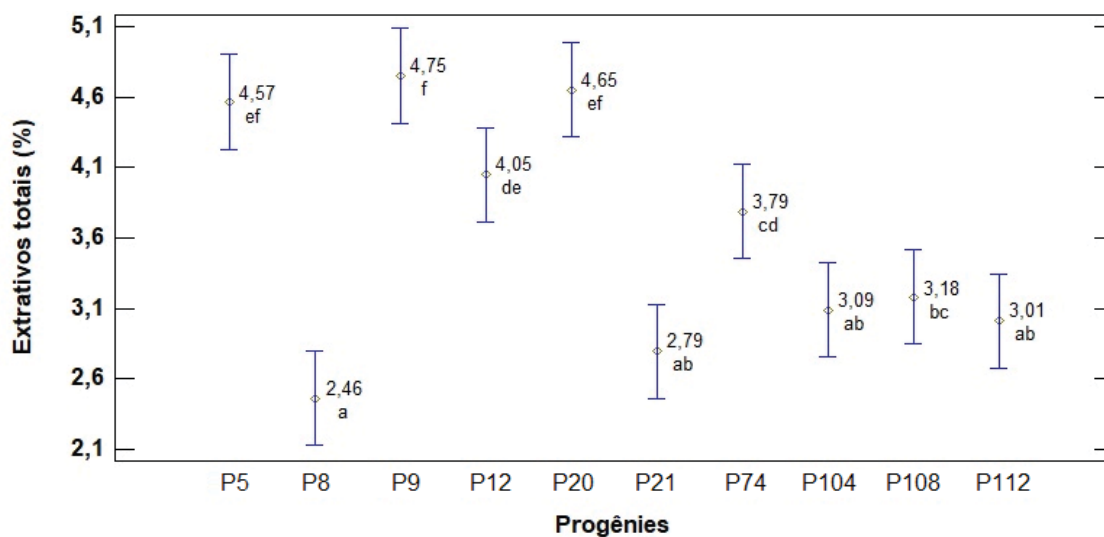
Os extrativos em etanol:tolueno apresentaram valores entre 1,38% e 3,11%, para as progênies 8 e 9 respectivamente. A análise estatística mostrou haverem semelhanças estatísticas entre as progênies 8 e 112, com os maiores valores e entre as progênies 9, 12, 20 e 74 com os menores.

Nesta análise são extraídos da madeira ceras, pigmentos, taninos, resinas, fito esteróis, hidrocarbonetos, constituintes graxos e carboidratos (ABNT – NBR14853, 2002).

No *P. taeda* esta extração é relevante por remover da madeira elementos que compõem a resina. Em muitas aplicações a presença da resina é indesejável, pois prejudica equipamentos e consome um volume maior de reagentes para ser removida, porém, há aplicações que o alto teor de resina é preferível, pois ela é matéria prima para a produção de breu e terebintina.

São apresentados no GRÁFICO 12 os valores médios e os coeficientes de variação obtidos para os extrativos totais das dez progênies estudadas.

GRÁFICO 12 – Valores médios de extrativos totais para as progênes estudadas



FONTE: o autor (2019).

Para a variável extrativos totais, pode-se notar que os resultados médios variaram entre 2,46%, na progênie 8, e 4,75%, na progênie 9.

O teste estatístico mostrou que as progênies 8, 21, 104 e 112 são semelhantes estatisticamente e possuem os menores índices, já os maiores valores são apresentados pelas progênies 5, 9 e 20, sendo estas estatisticamente semelhantes entre si.

A determinação do teor de extrativos totais é um importante indicador de qualidade da madeira sendo utilizada em diversas aplicações, devido à interferência que estes componentes têm sobre diferentes propriedades da madeira, como cor, cheiro, durabilidade, interação água-madeira, entre outras.

A presença de extrativos afeta várias etapas do processo produtivo, a secagem é um deles, pois neste processo pode haver a migração dos extrativos para a face da madeira, mudando seu aspecto visual, podendo ainda afetar etapas seguintes do processo, como aplicação de tintas e vernizes.

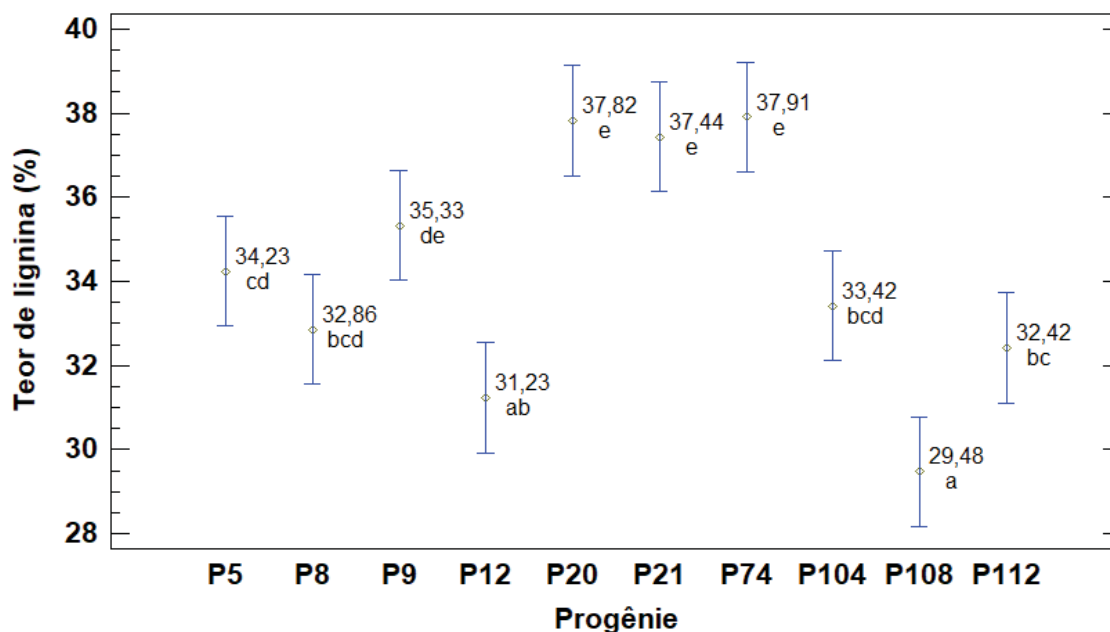
Os extrativos interferem também na produção de painéis de madeira, pois além de afetarem a aplicação de acabamentos, podem dificultar a penetração e a polimerização de adesivos, gerar pré cura no painel, empastar picadores e ferramentas de corte são outras consequências possíveis quando o teor de extrativos é elevado.

Na indústria de celulose e papel, a presença dos extrativos é totalmente indesejável, pois estes componentes dificultam o processo de polpação, consumindo mais reagentes no processo, formam incrustações em vários equipamentos, podem gerar até mesmo problemas no papel formado ao fim do processo.

Devido a estes aspectos, a determinação do teor de extrativos é um importante indicador de qualidade da madeira, sendo que a deve ser levado em consideração o uso que será dado a está madeira e quanto o teor de extrativos influencia o processo e o produto final, podendo assim ser determinada qual análise é a mais relevante ao processo e qual o limite aceitável de extrativos na aplicação de determinada progênie.

No GRÁFICO 13, são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação obtidos para a lignina solúvel das dez progênies estudadas.

GRÁFICO 13 – Valores médios da lignina solúvel para as progênies analisadas



FONTE: o autor (2019).

Os teores de lignina, assim como os extrativos totais, são informações de fundamental importância na indústria de papel e celulose, pois ambos são

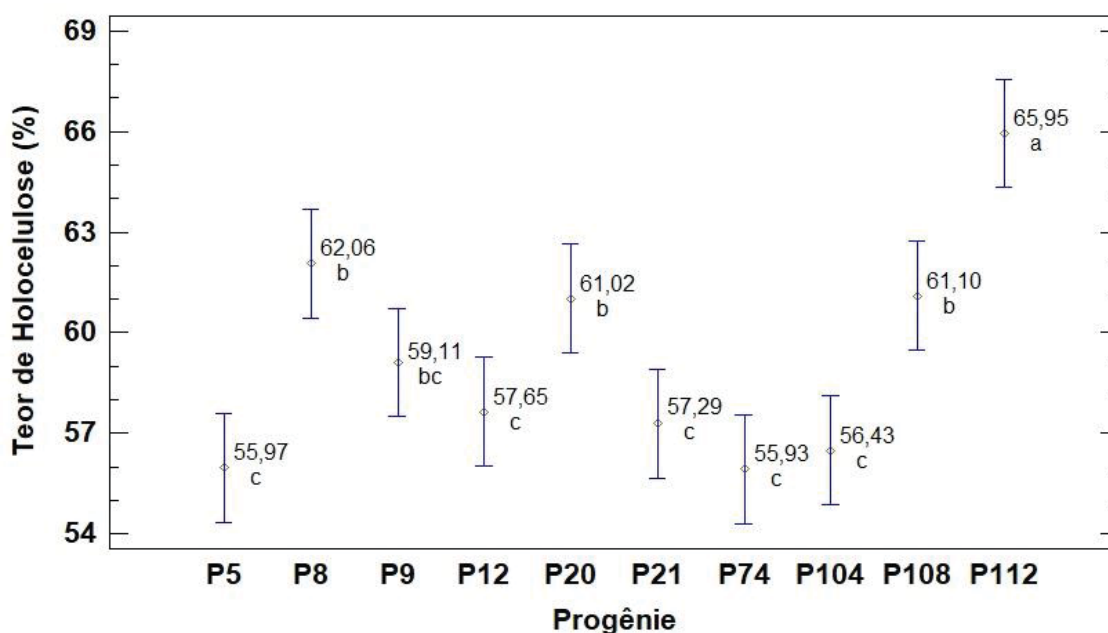
indesejados no processo, porém o teor de lignina interfere positivamente na durabilidade da madeira, no seu poder calorífico e em painéis de chapa dura.

O menor teor de lignina foi obtido na progênie 108 (29,48%), sendo esta estatisticamente semelhante a progênie 12, já o maior teor foi apresentado pela progênie 74 (37,91%), esta foi estatisticamente semelhante as progênies 20 e 21.

Os teores mais elevados de lignina acarretam em um consumo maior de reagentes no processo de polpação, consequência disto também, são os maiores gastos com os reagentes e com o tratamento destes efluentes.

No GRÁFICO 14, são apresentados os teores de holocelulose obtido para as dez progênies analisadas, sendo estes valores determinados por diferença, incluindo o teor de cinzas.

GRÁFICO 14 – Valores médios do teor de holocelulose obtidos para as progênies analisadas



FONTE: o autor (2019).

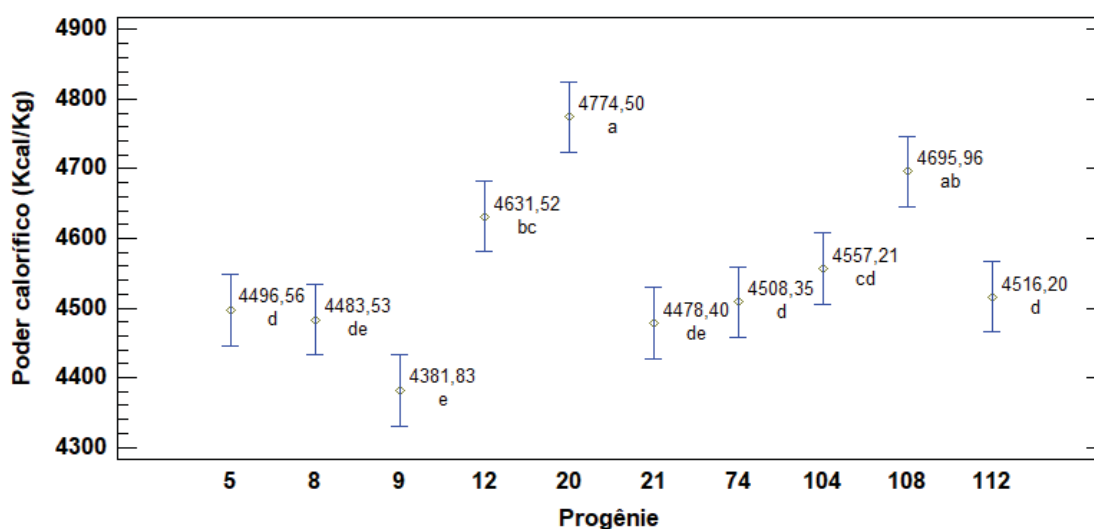
A determinação dos teores de holocelulose presentes nas progênies analisadas é de grande importância, sobretudo na indústria de celulose e papel, pois estes índices determinam a quantidade efetiva de matéria prima disponível para a fabricação do papel, esta determinação também se torna

relevante na classificação da qualidade da madeira sobretudo na utilização citada.

5.1.6 Caracterização do poder calorífico superior das progênes

No GRÁFICO 15, são apresentados os valores médios de poder calorífico superior para as progênes estudadas.

GRÁFICO 15 - Valores médios de poder calorífico superior para as progênes estudadas



FONTE: o autor (2019).

A análise estatística dos valores obtidos para o poder calorífico superior das progênes demonstrou que as progênes 20 ($4774,50 \text{ kcal kg}^{-1}$) e 108 ($4695,96 \text{ kcal kg}^{-1}$) são estatisticamente iguais entre si e diferente das demais progênes analisadas e também apresentam os maiores valores médios, já as progênes 8 ($4483,53 \text{ kcal kg}^{-1}$), 9 ($4381,83 \text{ kcal kg}^{-1}$) e 21 ($4478,40 \text{ kcal kg}^{-1}$) apresentaram os menores índices nesta variável, sendo estas estatisticamente semelhantes em si.

O poder calorífico é diretamente influenciado pela composição química do material utilizado, havendo variação entre os componentes medidos, o teor de umidade e a idade do material também são variáveis altamente influenciadoras desta propriedade.

Segundo Garstang *et al.* (2002), a biomassa para a geração de energia deve apresentar teores de umidade iguais ou inferiores a 30%, neste estudo o teor de umidade foi padronizado entre as amostras, assim, esta propriedade não pode ser usada como justificativa para as variações apresentadas pelas amostras, assim como a idade do material analisado.

O teor de lignina também está relacionado com o poder calorífico do material, pois o poder calorífico da lignina é superior ao das holocelulose, corroborando a isto, a densidade básica do material também deve ser considerada na mensuração do poder calorífico (FURTADO *et al.*, 2012).

Observando a TABELA 18 (página 124), na qual são apresentados os valores médios dos constituintes químicos das progênies estudadas, verifica-se que a progênie 20 possui o teor de lignina mais alto, apesar de sua densidade ter sido considerada mediana dentre as das progênies analisadas (ver TABELA 8, página 104), o teor de lignina pode explicar o poder calorífico mais alto desta progênie diante das demais, já o comportamento da progênie 108, que indicou um poder calorífico apenas 1,6% menor que o da progênie 20, é possivelmente justificado pelo maior teor de holocelulose contido nesta progênie.

Assumindo que o teor de lignina tem maior impacto sobre o poder calorífico da madeira, era esperado este comportamento, contudo, as progênies 21 e 74, que também indicaram teor de lignina mais elevados em comparação as demais progênies, confirmam que não se pode analisar somente esta propriedade como balizador para justificar o comportamento das progênies.

Observando a TABELA 18 (página 124), houve variações significativas das propriedades químicas das progênies, assim, para entender o quanto cada propriedade química influencia o poder calorífico, faz-se necessário a determinação da correlação entre elas.

As correlações entre as propriedades estão relacionadas no tópico 5.3 deste trabalho.

Na TABELA 20, são apresentados os valores médios de poder calorífico obtido por outros autores que pesquisaram também a espécie *Pinus taeda*.

TABELA 20 – VALORES MÉDIOS DE PODER CALORÍFICO DO *Pinus taeda* OBTIDOS POR OUTROS AUTORES

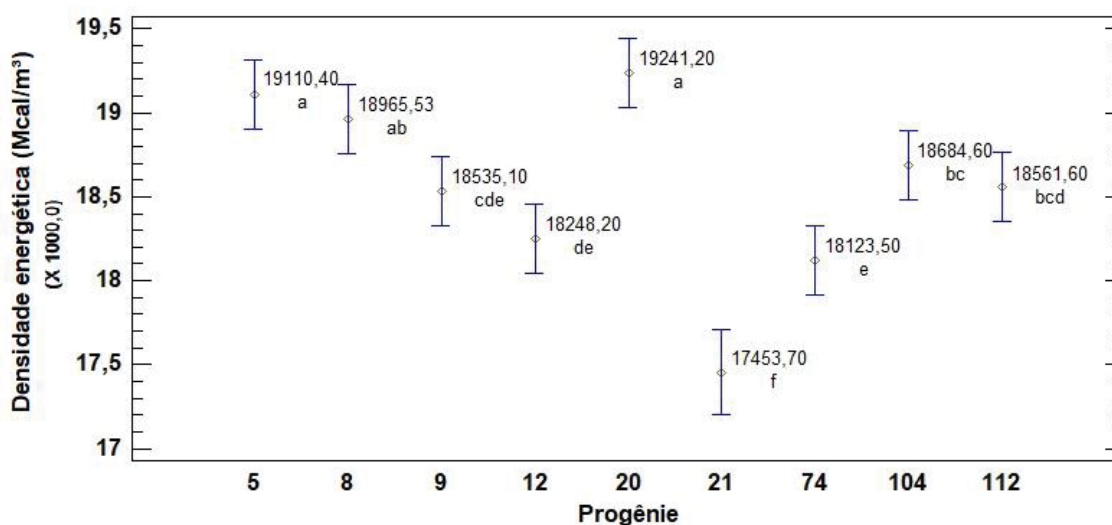
Autor	Idade (anos)	Local do Plantio	Poder Calorífico (kcal kg ⁻¹)
Souza <i>et al.</i> (2011)	não citada	Tunas do Paraná, PR	4926
			4747
			4535
Furtado <i>et al.</i> (2012)	24	Bocaina do Sul, SC	5135
Brand <i>et al.</i> (2014)	16	Bocaina do Sul, SC	5006
Ferreira <i>et al.</i> (2015)	14	Bocaina do Sul, SC	4844

Fonte: O autor (2019).

A informação de poder calorífico fornece uma importante informação sobre a qualidade das progênies analisadas, porém pode-se estabelecer uma relação entre esta propriedade e a densidade básica, determinando assim a densidade energética, que é um valioso índice de classificação energética da madeira, pois ao estabelecer esta relação, determina-se a real quantidade de energia liberada por determinada densidade.

No GRÁFICO 16, são apresentados os valores médios de densidade energética das progênies estudadas.

GRÁFICO 16 – Valores médios de densidade energética das progênies estudadas



FONTE: o autor (2019).

Os maiores valores de densidade energética foram apresentados pelas progênies 5 (19.110,40 Mcal/m³) e 20 (19.241,29 Mcal/m³), sendo estas estatisticamente semelhantes entre si, já o menor valor foi apresentado pela progênie 21 (17.453,70 Mcal/m³), sendo que esta progênie é diferente estatisticamente de todas as demais analisadas. Cabe salientar que a progênie 108, não citada na tabela devido aos dados não terem apresentado distribuição normal dos dados, contudo fica registrada sua densidade energética de 21272,70 Mcal/m³, com coeficiente de variação de 0,93%.

Nesta variável são analisadas duas variáveis conjuntamente, o poder calorífico e a densidade básica, pois mesmo algumas progênies apresentando valores mais baixos de poder calorífico, ao calcular suas densidades energéticas estas não apresentaram os menores índices.

Assim, é possível obter fornecer informações mais consistentes sobre o real potencial energético que cada progênie possui, sendo mais rigoroso que o poder calorífico no processo de seleção.

Observando o comportamento da progênie 20, que indicou, os maiores índices de densidade energética e poder calorífico, porém sua densidade básica foi considerada apenas mediana entre as progênies analisadas, já o comportamento da progênie 5, que indicou um poder calorífico mediano, quando estabelecido sua densidade energética, esta progênie indicou um dos mais altos níveis nesta propriedade.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ATRAVÉS DO ESPECTRO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Os espectros de infravermelho próximo foram obtidos a partir de amostras provenientes dos discos, sendo então relacionados com a densidade da madeira, porém foram testadas relações com outras propriedades determinadas neste estudo, sendo apresentadas na TABELA 21 as variáveis com os índices de correlação acima de 0,05, juntamente com seus valores de R².

Devido aos baixos valores dos coeficientes de correlação e de determinação, não há indicativos de que estes modelos matemáticos possam

relacionar adequadamente os valores dos espectros NIR com os valores das propriedades relacionadas.

TABELA 21 – CORRELAÇÃO ENTRE ESPECTRO NIR EM RELAÇÃO AS PROPRIEDADES DE INTERESSE

Técnica	Transformação dos dados	Variável relacionada	Correlação	R ²
Média dos espectros por árvore	PLS	M.E. ¹	0,27	0,99
		Comprimento da fibra	0,17	0,99
		Espessura da parede da fibra	-0,03	0,99
		Extrativos totais	-0,27	0,86
		Teor de lignina	-0,10	0,78
		Ext. em NaOH ²	-0,19	0,88
		Ext. em água quente	0,11	0,74
		Ext. em água fria	-0,19	0,69
		M.E. ¹	0,52	0,99
		M.E. ¹	0,52	0,99
Média dos espectros por família	PLS	Comprimento da fibra	0,46	0,95
		Espessura da parede da fibra	0,25	0,95
		Extrativos totais	-0,29	0,99
		Teor de lignina	-0,22	0,99
		Ext. em NaOH ²	0,17	0,98
		Ext. em água quente	0,26	0,75
		Ext. em água fria	0,71	0,85
		M.E. ¹	0,54	0,29
		Teor de lignina	0,81*	0,99
		M.E. ¹	0,81*	0,99
Média dos espectros	PLS	2ª derivada		
Média dos espectros	PLS	2ª derivada		

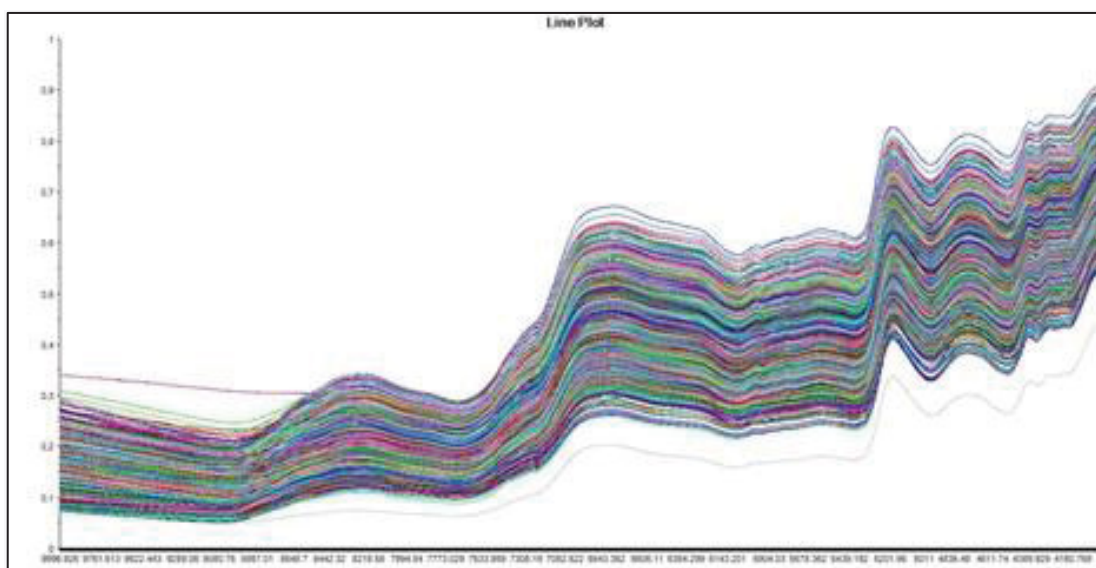
FONTE: O autor (2019).

¹Densidade; ²Hidróxido de sódio; *Agregado de cinco fatores.

A FIGURA 21 ilustra a assinatura espectral das 189 amostras obtidas durante as leituras no equipamento NIR, sendo estas adquiridas a cada 2nm, entre os comprimentos de 4.000 e 10.000 cm^{-1} , os espectros apresentam picos ou bandas de transmitância semelhantes nas mesmas regiões espectrais, no entanto suas intensidades são semelhantes.

Para a análise dos espectros, foi utilizada a extensão total de cada curva, onde buscou-se a melhor correlação existente entre a curva do NIR e a variável de interesse, obtida através de métodos convencionais.

FIGURA 21 - ASPECTO GERAL DO PROGRAMA OPUS SPECTROSCOPY SOFTWARE[®] E DOS ESPECTROS DE INFRAVERMELHO OBTIDOS DAS AMOSTRAS



FONTE: o autor.

A escolha da técnica PLS se deu por este ser um método de regressão que fornece modelos que relacionam os blocos de variáveis X e Y. Assim, as informações das medidas espectrais e das concentrações ou propriedades são utilizadas simultaneamente na fase de calibração.

Observando a FIGURA 21 é possível visualizar que nos espectros originais das amostras há a presença de ruídos, que são atribuídos a natureza complexa e heterogênea do material, como estes ruídos não revelam informações úteis para as análises, é realizada a suavização dele, através de transformações matemáticas de primeira e segunda derivada.

A escolha de usar ou não os dados transformados, foi baseada principalmente no valor de R^2 (coeficiente de determinação), a raiz quadrada do erro médio da validação cruzada (RMSECV) de cada modelo também pode ser utilizada nesta escolha.

A análise das ondas foi feita através dos dados originais, e em primeira e a segunda derivada, em relação à densidade básica das amostras. A escolha da densidade como variável de interesse para a correlação com os dados do NIR foi determinada devido à facilidade de mensuração e pela possibilidade de extrair amostras com as árvores ainda em pé.

Apesar de o espectro NIR da madeira ter seu comportamento atribuído principalmente aos seus compostos químicos, a densidade básica é uma da madeira mais relacionada com a espessura da parede celular do que com as substâncias que a compõem (HAYGREEN, BOWYER, 1989; WIEDENHOEFT, MILLER, 2005), devido a isto também, neste estudo não foi realizado a interpretação química do espectro NIR.

A determinação da curva de calibração foi feita através da regressão PLS foi realizada usando então, os espectros obtidos no NIR em função da densidade básica das amostras, sendo que os valores de densidade foram reduzidos de 189 medições iniciais para apenas 10, esta redução foi realizada com o objetivo de amostrar as árvores como um todo e não individualizando suas alturas.

A curva de calibração construída usando a regressão PLS apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,99 e o erro de validação foi de 8%, o valor de RMSEP, acusa um erro de apenas 0,034 g/cm³, demonstrando haver um alto índice de precisão da predição dos valores de densidade das amostras das progênies estudadas.

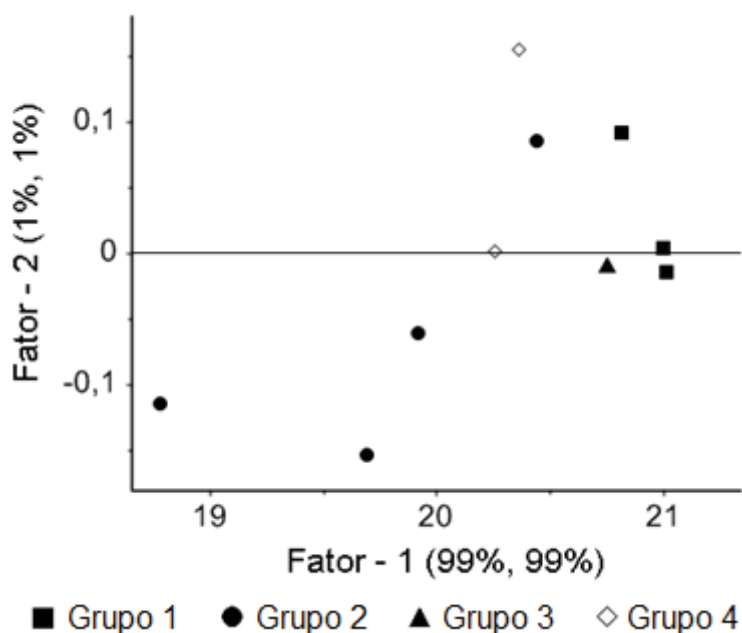
Assim, a melhor correlação entre os dados do NIR e da densidade foi obtido usando os dados da média dos espectros por família, transformados em segunda derivada, com cinco fatores, através da análise PLS.

Este resultado só foi possível, pois as progênies foram analisadas em grupo. A separação das progênies pode ser observada na TABELA 6 (página 85), onde é mostrado que o grupo 1 é formado pelas progênies 5, 8 e 108, o grupo 2 pelas progênies 12, 21, 74 e 112, o grupo 3 é formado pela progênie 104 e o grupo 4 (grupo 6 na tabela) é formado pelas progênies 9 e 20.

O agrupamento foi necessário pois como pode ser observado na TABELA 21 (página 139), a análise por árvore ou por família (progênie) não forneceu correlações significativas.

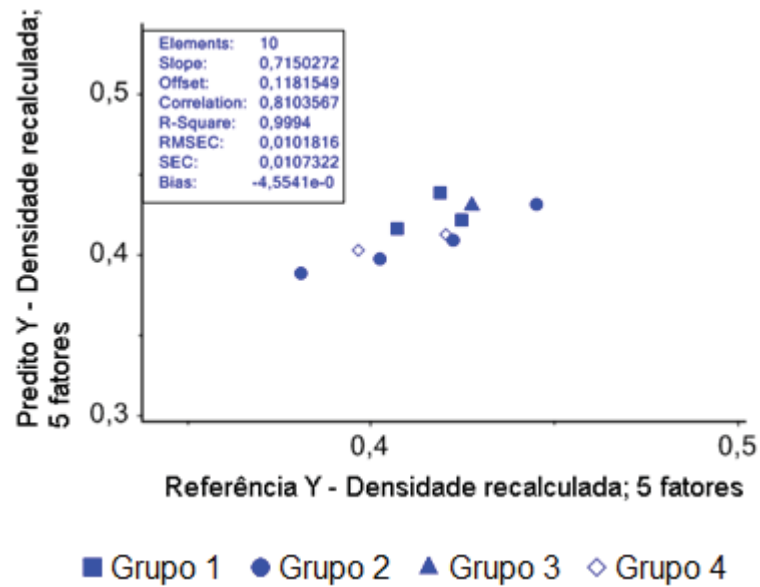
No GRÁFICO 17 é mostrado os resultados da análise PLS da relação existente entre os espectros médios em relação a densidade básica média das amostras, por sua vez, o GRÁFICO 18 apresenta as imagens gráficas obtidas do programa e apresentam o PLS da média dos espectros pela média da densidade por grupo calculada, o GRÁFICO 19 exibe o PLS da média dos espectros pela média da densidade por grupo estimada, o GRÁFICO 20 mostra PLS da média dos espectros pela média da densidade por grupo estimada x calculada e o GRÁFICO 21 apresenta as variâncias explicadas.

GRÁFICO 17 - PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO



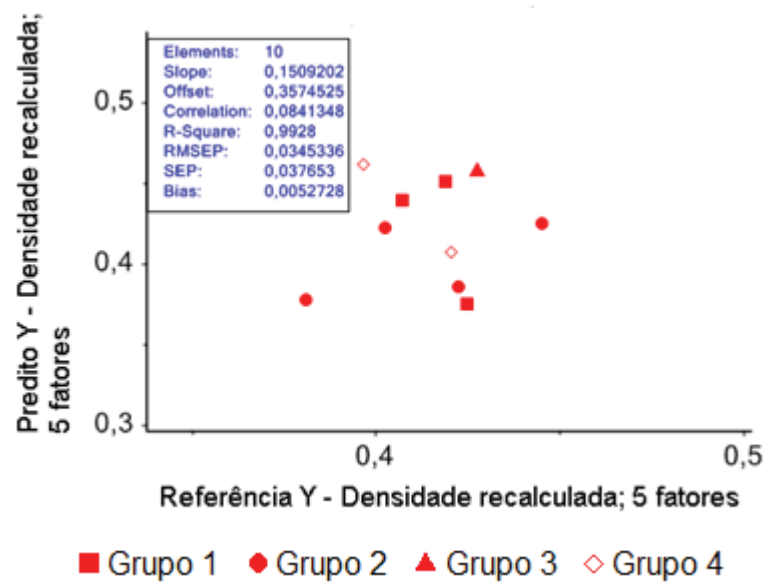
FONTE: o autor.

GRÁFICO 18 - PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO CALCULADA



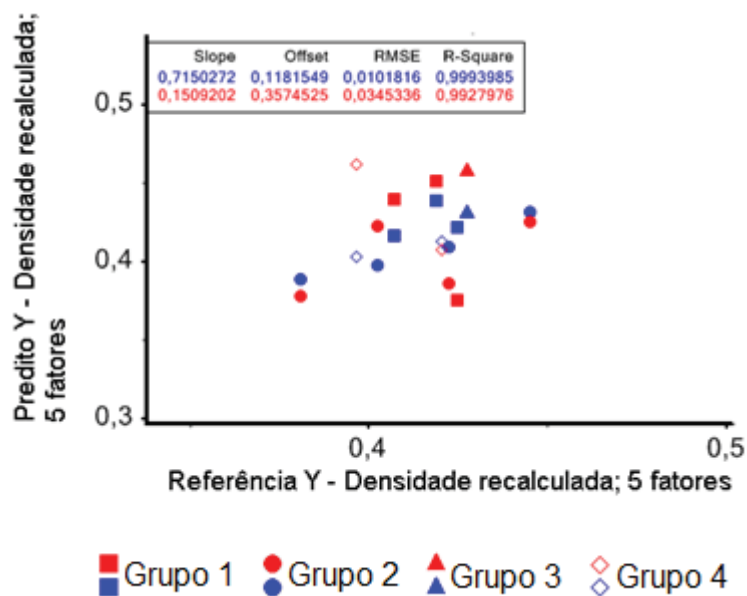
FONTE: o autor.

GRÁFICO 19 - PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO ESTIMADA



FONTE: o autor.

GRÁFICO 20 - PLS DA MÉDIA DOS ESPECTROS PELA MÉDIA DA DENSIDADE POR GRUPO ESTIMADA X CALCULADA

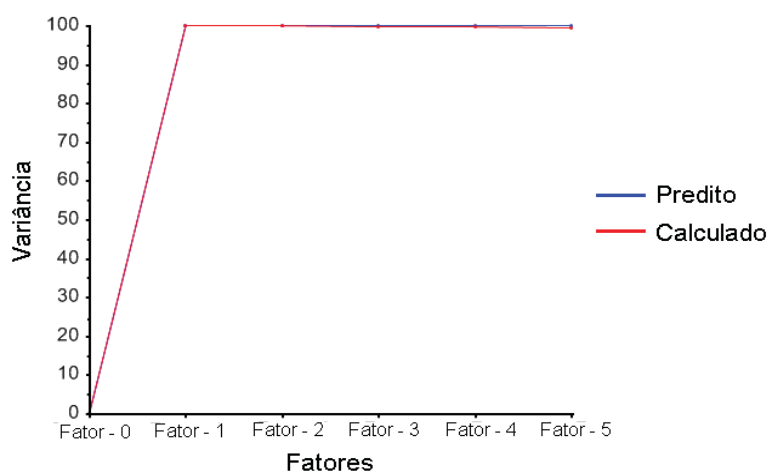


FONTE: o autor.

A precisão e a exatidão da técnica do infravermelho próximo na predição da densidade básica pode ser considerada alta e com alto índice de confiança entre os dados medidos e calculado (preditos).

Isto foi atingido devido ao número de amostras utilizadas na formação da curva de calibração, a redução dos 189 dados iniciais para as 10 analisadas, não implicou na perda de confiabilidade do teste, podendo ser comprovado pelos números de R^2 e de validação, a utilização de cinco fatores agregou nesta etapa, como apresenta o GRÁFICO 21 das variâncias explicadas.

GRÁFICO 21 – VARIÂNCIAS EXPLICADAS



FONTE: o autor.

Alguns autores estudaram também a correlação da técnica NIR para a predição de valores de densidade básica de diversas espécies florestais.

Schimleck, Higa e Matos (2010) obtiveram para as mesmas progênies, com idades entre 10 e 11 anos, R^2 de 0,73 para determinação da densidade de árvores de *P. taeda*.

Lazzarotto e Magalhães (2014) em estudo usando o NIR para estimar a densidade básica de madeira de *Eucalyptus* spp. obtiveram valores de $R^2 = 0,83$ e o erro de validação cruzada de $0,045 \text{ g/cm}^3$ para uma densidade básica média de $0,467 \text{ g/cm}^3$.

Lazzarotto *et al.* (2016) em estudo usando o NIR para a estimativa da densidade básica de madeiras do gênero *Pinus*, obteve usando regressão PLS apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,94 e o erro de validação cruzada foi de $0,03 \text{ g/cm}^3$ para uma densidade básica média de $0,517 \text{ g/cm}^3$.

Nascimento *et al.* (2017) estudando sobre a estimativa da densidade básica da madeira de *Eschweilera odora* através da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo, alcançaram valores de R^2 de 0,907 para amostras de plano radial e 0,949 para amostras de plano tangencial, o RMSEP foi de 0,0737 e 0,0531 respectivamente, sendo que estes valores foram obtidos em 1ª derivada e 2ª derivada Savitzky-Golay.

Baldin (2018) avaliando a madeira de *Eucalyptus benthamii* por espectroscopia no infravermelho próximo visando a produção de celulose

obteve entre os espectros NIR e a densidade básica da madeira valor de R^2 de 0,73 com erro de validação de 0,016 g/cm³.

Os resultados obtidos por estes autores corroboram com os resultados obtidos neste trabalho, apesar de não terem sido utilizadas as mesmas espécies, é possível verificar uma alta interação e precisão na predição dos valores de densidade fazendo o uso do NIR.

A alta correlação observada entre a técnica do NIR e a densidade básica dos grupos de progênies analisados, torna possível a utilização desta ferramenta em programas de seleção de progênies de *P. taeda* tendo a densidade básica como fator de classificação.

Devido a técnica ser não destrutiva permite uma série de vantagens, como por exemplo, a maior facilidade de execução já que não é necessário extração de corpos de prova, rapidez na obtenção dos resultados, custo relativamente baixo, além de utilização posterior, pois não há comprometimento do material avaliado.

5.3 CORRELAÇÃO DE PEARSON E RELAÇÕES DAS VARIÁVEIS MEDIDAS

A correlação de Pearson entre as variáveis estudadas é apresentada na TABELA 22.

TABELA 22 – CORRELAÇÃO DE PEARSON APLICADA ÀS VARIÁVEIS ESTUDADAS

(continua)

CORRELAÇÃO									
	M.E ¹	Comp. de fibra	Diâm. ext. fibra	Diâm. int. fibra	Esp. da parede da fibra	Coef. de flexibilidade	Fração parede	Índ. de enfeitramento	Índice de Runkel
M.E ¹									
Comp. de fibra	-0,03 ^{NS}								
Diâm. ext. fibra	0,02 ^{NS}	0,03 ^{NS}							
Diâm. int. fibra	-0,04 ^{NS}	-0,13 ^{NS}	0,73^S						
Espes. da parede da fibra	0,07 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,22 ^{NS}	-0,50 ^{NS}					
Coef. de flexibilidade	-0,06 ^{NS}	-	0,30 ^{NS}	0,86^S	-0,84^S				
Fração parede	0,06 ^{NS}	-	-0,31 ^{NS}	-0,86^S	0,84^S	-1,00^S			
Índ. de enfeitramento	-0,03 ^{NS}	0,68^S	-0,67^S	-0,57 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	-0,33 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,25 ^{NS}	-0,07 ^{NS}
Índice de Runkel	0,06 ^{NS}	-	-0,20 ^{NS}	-0,67^S	0,70^S	-0,82^S	0,82^S	0,15 ^{NS}	0,01 ^{NS}
T.U ²	-0,10 ^{NS}	0,15 ^{NS}	-0,05 ^{NS}	0,04 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	0,09 ^{NS}	-0,09 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	0,15 ^{NS}
Teor de cinzas	-0,06 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,03 ^{NS}	-0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,13 ^{NS}
Ext. em água quente	0,11 ^{NS}	0,04 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	-0,20 ^{NS}	0,13 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,10 ^{NS}
Ext. em água fria	0,13 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	-0,16 ^{NS}	0,09 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,15 ^{NS}	-0,18 ^{NS}
Ext. NaOH	-0,02 ^{NS}	0,03 ^{NS}	-0,16 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	0,04 ^{NS}	-0,13 ^{NS}	0,13 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	-0,11 ^{NS}
Ext. etanol/tolueno	-0,15 ^{NS}	-0,02 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,16 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	0,19 ^{NS}	-0,19 ^{NS}	-0,09 ^{NS}	-0,16 ^{NS}
Lignina solúvel	-0,18 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,12 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	0,12 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,20 ^{NS}
Extrativos totais	-0,11 ^{NS}	-0,09 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,13 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	0,17 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	-0,07 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Teor de holocelulose	0,18 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	-0,18 ^{NS}	0,21 ^{NS}	-0,23 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Poder calorífico	0,07 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,08 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	0,16 ^{NS}	-0,10 ^{NS}	0,10 ^{NS}	-0,01 ^{NS}	0,20 ^{NS}
Dens. energética	0,25 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	0,08 ^{NS}	-0,11 ^{NS}	0,26 ^{NS}	-0,21 ^{NS}	0,21 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	0,20 ^{NS}

TABELA 22 – CORRELAÇÃO DE PEARSON APLICADA ÀS VARIÁVEIS ESTUDADAS

		CORRELAÇÃO										(conclusão)
M.E ¹	T.U ²	Teor de cinzas	Ext. em água quente	Ext. em água fria	Extrativos NaOH	Extrativos etanol/tol.	Lignina solúvel	Extrativos totais	Teor de holocelulose	Poder calorífico		
Comp. de fibra												
Diâm. ext. fibra												
Diâm. int. fibra												
Esp. da parede da fibra												
Coef. de flexibilidade												
Fração parede												
Índ. de enfiamento												
Índice de Runkel												
T.U ²												
Teor de cinzas	0,33 ^{NS}											
Extr. em água quente	-0,29 ^{NS}	-0,47 ^{NS}										
Ext. em água fria	-0,64^S	-0,56^S	0,56^S									
Extr. NaOH	-0,21 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,46 ^{NS}								
Ext. etanol/tolueno	0,19 ^{NS}	0,06 ^{NS}	-0,52^S	-0,25 ^{NS}	0,15 ^{NS}							
Lignina solúvel	-0,11 ^{NS}	0,30 ^{NS}	-0,62^S	-0,21 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,36 ^{NS}						
Extrativos totais	-0,14 ^{NS}	-0,23 ^{NS}	-0,35 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,69^S	0,40 ^{NS}					
Teor de holocelulose	-0,59 ^{NS}	-0,31 ^{NS}	0,59^S	0,55^S	0,23 ^{NS}	-0,51^S	-0,35 ^{NS}	-0,39 ^{NS}				
Poder calorífico	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,05 ^{NS}	-0,27 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	0,10 ^{NS}	-0,32 ^{NS}	-0,07 ^{NS}	0,29 ^{NS}			
Dens. energética	-0,14 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,10 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	-0,29 ^{NS}	-0,51^S	-0,22 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,56^S		

FONTE: O autor (2019).

^{NS} Correlação não significativa ao nível de 5% de probabilidade; ^S Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade; ¹Densidade; ²Teor de umidade.

Na TABELA 22 é possível observar a existência de 23 correlações significativas entre as variáveis medidas, sendo onze delas correlações positivas e doze negativas.

A densidade, que é a variável mais prática de ser determinada e com alto número de estudos, não apresentou correlação com nenhuma outra variável analisada, sendo a maior correlação obtida entre ela e a densidade energética, que foi de apenas 0,25.

As características morfológicas das fibras e as relações determinadas entre elas apresentaram nove correlações ao todo, sendo as positivas determinadas entre as variáveis, comprimento das fibras e o índice de enfiamento, diâmetro interno das fibras e diâmetro externo, diâmetro interno das fibras e coeficiente de flexibilidade, espessura da parede das fibras e o índice de Runkel e entre a fração parede e o índice de Runkel, estas correlações variaram entre 0,68 e 0,86, sendo consideradas correlações de nível alto.

As correlações significativas e negativas destas propriedades foram obtidas entre as variáveis, diâmetro externo da fibra e o índice de enfiamento, entre o diâmetro interno e a fração parede, índice de enfiamento e índice de Runkel, espessura da parede da fibra e o coeficiente de flexibilidade, e entre o coeficiente de flexibilidade e a fração parede e com o índice de Runkel, sendo que estas correlações apresentaram valores entre -0,57 e -1, sendo consideradas correlações significativas e de índice moderado à forte segundo Dancey e Reidy (2005).

A correlação determinada entre o coeficiente de flexibilidade e a fração parede foi considerada como correlação perfeita, cuja determinação de uma variável implica, através de modelo matemático, na determinação direta da outra variável.

A correlação determinada entre as variáveis, índice de enfiamento e diâmetro interno apesar de ser considerada uma correlação significativa, não pode ser considerada e utilizada como método de classificação das progênies, pois a variável diâmetro interno da fibra não é utilizada para a determinação do índice de enfiamento. A existência desta correlação ser uma considerada significativa é plausível de ser explicada através de outra correlação determinada neste estudo, a existente entre o diâmetro interno e o diâmetro

externo das fibras, como há correlação significativa entre estas variáveis, isto pode explicar o porquê uma variável não considerada no cálculo do índice de enfiamento teve correlação com esta propriedade.

Das propriedades químicas houve oito correlações significativas, as positivas entre as variáveis, extrativos em água quente e extrativos em água fria e em NaOH, extrativos em água fria e teor de holocelulose e extrativos em etanol/tolueno e extrativos totais, sendo que os índices variaram entre 0,55 e 0,69, já as correlações negativas, foram observadas entre as seguintes variáveis, teor de umidade, e os extrativos em água fria e o teor de holocelulose, entre os extrativos em água quente e, os extrativos de etanol/tolueno e a lignina, estas correlações variaram entre -0,52 e -0,64.

A lignina teve correlação significativa negativa somente com a densidade energética das amostras, com índice de -0,51, o que a classifica como uma correlação de índice moderada.

Das propriedades energéticas determinadas neste estudo apenas o poder calorífico apresentou correlação significativa com outra variável, a densidade energética, esta correlação positiva teve índice de 0,56, sendo considerada como moderada.

De acordo com os índices de correlação é possível afirmar que as variações apresentadas entre os potenciais energéticos das progênies não foram influenciadas pelo teor de cinzas, de lignina e de holocelulose e pela densidade básica, e que de acordo com a literatura seriam as variáveis que poderiam ter gerado as diferenças indicadas pelo teste estatístico.

Pode-se definir que apesar da existência de diferenças estatísticas significativas nas amostras testadas, em efeitos práticos não se distingue os materiais quanto a sua eficiência energética, permitindo a utilização das dez progênies amostradas como material combustível ou a produção de materiais combustíveis, como *pellets* e briquetes.

A determinação das correlações de Pearson das variáveis medidas neste estudo indica haver, na grande maioria delas, correlações entre variáveis interdependentes, exceto pela correlação entre o teor de lignina e a densidade energética, todas as demais correlações significativas ocorreram entre variáveis dentro das mesmas propriedades, entre as características morfológicas das fibras e de suas relações, foram encontradas dez das vinte e

três correlações consideradas significativas, já entre as propriedades químicas foram oito correlações.

A densidade, a qual se esperava uma correlação com algumas propriedades devido a pesquisa bibliográfica, não apresentou nenhuma correlação significativa, sendo assim, a determinação e classificação das progênies com base somente na densidade através da correlação de Pearson não atinge níveis satisfatórios.

As correlações classificadas como significativas positivas ou negativas tiveram a regressão linear de suas variáveis determinada e apresentadas na TABELA 23.

TABELA 23 – REGRESSÃO DAS VARIÁVEIS CONSIDERADAS SIGNIFICATIVAS

Variável dependente (y)	Variável independente (x)	Equação $y = b \cdot x + a$	R ²	Correlação
Índice de enfieltramento	Comprimento da fibra	$y = 22,98 \cdot x - 0,55$	46,56	0,68
Diâmetro interno da fibra	Diâmetro externo da fibra	$y = 0,83 \cdot x - 1,11$	53,70	0,73
Índice de enfieltramento	Diâmetro externo da fibra	$y = -17,29 \cdot x + 161,11$	44,23	-0,66
Coefficiente de flexibilidade	Diâmetro interno da fibra	$y = 12,98 \cdot x + 23,19$	73,39	0,86
Fração parede	Diâmetro interno da fibra	$y = -51,91 \cdot x + 307,23$	73,41	-0,86
Índice de Runkel	Diâmetro interno da fibra	$y = -0,96 \cdot x + 4,29$	44,76	-0,67
Coefficiente de flexibilidade	Espessura da parede da fibra	$y = -18,27 \cdot x + 91,96$	70,73	-0,84
Fração parede	Espessura da parede da fibra	$y = 73,06 \cdot x + 32,19$	70,72	0,84
Índice de Runkel	Espessura da parede da fibra	$y = 1,44 \cdot x - 0,95$	48,99	0,70
Fração parede	Coefficiente de flexibilidade	$y = -3,99 \cdot x + 399,96$	99,99	-1
Índice de Runkel	Coefficiente de flexibilidade	$y = -0,08 \cdot x + 6,21$	67,18	-0,82
Índice de Runkel	Fração parede	$y = 0,02 \cdot x + 1,53$	67,17	0,82
Extrativos em água fria	Teor de umidade	$y = -0,65 \cdot x + 6,13$	40,70	-0,64
Teor de holocelulose	Teor de umidade	$y = -3,78 \cdot x + 80,24$	34,68	-0,58
Extrativos em água fria	Extrativos em água quente	$y = 0,79 \cdot x - 0,36$	31,86	0,56
Extrativos em etanol/tolueno	Extrativos em água quente	$y = -0,69 \cdot x + 3,34$	26,58	-0,51
Lignina	Extrativos em água quente	$y = -4,14 \cdot x + 40,14$	38,12	-0,62
Teor de holocelulose	Extrativos em água quente	$y = 5,23 \cdot x + 41,46$	35,04	0,59
Teor de holocelulose	Extrativos em água fria	$y = 3,45 \cdot x + 46,35$	29,87	0,55
Extrativos totais	Extrativos em etanol/tolueno	$y = 0,92 \cdot x + 1,48$	47,42	0,68
Densidade energética	Lignina	$y = -18,42 \cdot x + 2530$	26,04	-0,51
Densidade energética	Poder calorífico	$y = 0,42 \cdot x - 21,41$	31,33	0,56

FONTE: O autor (2019).

As regressões lineares apresentadas indicam que algumas correlações encontradas são indicadores melhores para determinadas variáveis, assim como algumas que apesar de apresentarem correlação de nível moderado não são indicadas para a classificação ou categorização das propriedades das progênies estudadas.

As regressões para as propriedades das fibras e suas relações, foram as que atingiram os valores mais altos de correlação e de R^2 , este valor consiste no grau da qualidade de ajuste do modelo, ou seja, quanto mais próximo a 100, melhor será o ajuste do modelo.

A relação entre as variáveis fração parede e coeficiente de flexibilidade, apresentou o maior índice de correlação e também o mais alto valor de R^2 , indicando que, estas variáveis podem ser usadas para a determinação entre elas. A relação entre as variáveis coeficiente de flexibilidade e diâmetro interno da fibra, fração parede e diâmetro interno da fibra, coeficiente de flexibilidade e espessura da parede da fibra, fração parede e espessura da parede da fibra e entre o índice de Runkel e o coeficiente de flexibilidade e da fração parede, apresentaram índice de correlação alto, entre -0,82 e -0,86, e valor de R^2 variando de 67,18 e 73,41, sendo considerados índices de relação moderados.

A relação entre as propriedades químicas e energéticas das progênies variou entre 26,04 e 47,42, não sendo considerados confiáveis para a determinação das variáveis relacionadas.

Ressaltando que foram determinadas as relações lineares somente entre as variáveis que a correlação de Pearson apontou com correlação moderada à alta, ou seja, aquelas que tinham índice de correlação acima de 0,5.

A regressão linear auxilia no processo de seleção de progênies, pois permite a determinação de propriedades sem que haja a medição direta destas, e também em confirmar ou não que correlações entre determinadas variáveis podem ser utilizadas neste estudo.

5.4 SELEÇÃO DAS PROGÊNIES EM RAZÃO DE SUA APLICAÇÃO

A determinação da qualidade de uma madeira, em muito tem a ver com o uso que será dado, nesta condição árvores com determinadas características são preferíveis em algumas aplicações e em outras não.

No trabalho foram estudadas dez progênies, sendo observadas nas diferentes propriedades diferenças significativas entre elas, determinar qual destas progênies é a melhor, mesmo em um número restrito de unidades amostrais é complexo.

Assim, seguindo o método descrito por Mulamba e Mock (1978) foram atribuídas notas as propriedades de acordo com a sua utilização, a produção de celulose e papel, painéis de madeira reconstituída, produtos de madeira sólida e produção de energia.

A atribuição destas notas (*ranks*) foi realizada com base nos resultados das análises e foram dadas da seguinte maneira, 1 para índices considerados ruins, 3 para índices aceitáveis e 5 para índices preferíveis para as aplicações, salienta-se que a atribuição destas notas é específica para cada aplicação citada, visto que em uma propriedade pode ter índices ideais diferente de outra aplicação.

Para a produção de energia, fazendo uso direto da madeira como material combustível, foram atribuídas seis propriedades como as de maior interesse, sendo que os intervalos dos *ranks* são apresentados na TABELA 24.

TABELA 24 – INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS RANKS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA

Ranks	Variáveis					
	Densidade	Teor de inorgânicos	Poder calorífico	Densidade energética	Ext. totais	Ext. em NaOH
	(g/cm ³)	(%)	(Kcal/kg)	(Mcal/m ³)	(%)	(%)
5	> 0,440	< 0,08	> 4.650	> 18.800	< 3,10	< 9,30
3	0,439 ~ 0,410	0,09 ~ 0,13	4.649 ~ 4.580	18.799 ~ 18.550	3,11 ~ 3,90	9,31 ~ 9,65
1	< 0,409	> 0,14	< 4.579	< 18.549	> 3,91	> 9,66

FONTE: O autor (2019).

Na TABELA 25 são exibidas as notas atribuídas as propriedades de maior interesse para a produção de energia.

TABELA 25 – NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA

Progênie	Variáveis						TOTAL
	M.E ¹	T.C ²	Poder calorífico	Densidade energética	Ext. totais	Ext. em NaOH	
5	3	3	1	5	1	5	13
8	3	1	1	5	5	1	15
9	3	5	1	1	1	1	11
12	1	5	3	1	1	1	11
20	1	1	5	5	1	1	13
21	1	1	1	1	5	1	9
74	1	1	1	1	3	3	7
104	3	1	1	3	5	5	13
108	5	1	5	5	3	5	19
112	3	5	1	3	5	5	17

FONTE: O autor (2019).

¹Densidade básica; ²Teor de cinzas.

Na TABELA 26 são apresentados os intervalos para a determinação dos *ranks* para as seis propriedades de interesse para a utilização da madeira sólida.

TABELA 26 – INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS RANKS PARA A UTILIZAÇÃO DE MADEIRA SÓLIDA

Ranks	Variáveis					
	Densidade	Teor de inorgânicos	Ext. totais	Teor de lignina	Teor de holocelulose	Ext. em NaOH
	(g/cm ³)	(%)	(Kcal/kg)	(Mcal/m ³)	(%)	(%)
5	> 0,416	< 0,08	< 3,10	32,00 ~ 37,00	48,00 ~ 51,00	< 9,30
3	0,415 ~ 0,391	0,09 ~ 0,13	3,11 ~ 3,90	< 31,99	> 51,01	9,31 ~ 9,65
1	< 0,390	> 0,14	> 3,91	> 37,01	< 47,99	> 9,66

FONTE: O autor (2019).

As notas atribuídas as propriedades de interesse para a utilização de madeira sólida são mostradas na TABELA 27.

TABELA 27 – NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A UTILIZAÇÃO DE MADEIRA SÓLIDA

Progênie	Variáveis						TOTAL
	M.E ¹	T.I ²	Ext. totais	Teor de lignina	Teor de holoc.	Ext. em NaOH	
5	5	3	1	5	1	5	20
8	5	1	5	5	3	1	20
9	5	5	1	5	5	1	22
12	3	5	1	3	1	1	14
20	3	1	1	1	5	1	12
21	1	1	5	1	1	1	10
74	3	1	3	1	1	3	12
104	3	1	5	5	1	5	20
108	5	1	3	3	3	5	20
112	3	5	5	5	3	5	26

FONTE: O autor (2019).

¹Densidade básica; ²Teor de inorgânicos.

Na TABELA 28 são exibidos os intervalos para a determinação dos *ranks* para as quatro propriedades de interesse para a produção de painéis de madeira reconstituída.

TABELA 28 – INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS RANKS PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

Ranks	Variáveis			
	Densidade	Índice de Runkel	Ext. totais	Ext. em NaOH
	(g/cm ³)	-	(%)	(%)
5	> 0,416	< 1,00	< 3,10	< 9,30
3	0,415 ~ 0,391	1,01 ~ 1,72	3,11 ~ 3,90	9,31 ~ 9,65
1	< 0,390	> 1,73	> 3,91	> 9,66

FONTE: O autor (2019).

Na TABELA 29 são apresentadas as notas dadas as propriedades de maior interesse para a produção de painéis de madeira.

TABELA 29 – NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUIDA

Progênie	Variáveis				TOTAL
	M.E ¹	IR ²	Ext. totais	Ext. em NaOH	
5	5	1	1	5	12
8	5	1	5	1	12
9	5	3	1	1	10
12	3	3	1	1	8
20	3	3	1	1	8
21	1	3	5	1	10
74	3	3	3	3	12
104	3	3	5	5	16
108	5	1	3	5	14
112	3	3	5	5	16

FONTE: O autor (2019).

¹Densidade básica; ²índice de Runkel.

Para a produção de polpa celulósica e papel, foram determinadas 12 variáveis de interesse, sendo que os intervalos são apresentados na TABELA 30.

TABELA 30 – INTERVALOS PARA DETERMINAÇÃO DOS RANKS PARA A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL

Ranks	Variáveis											
	DB (g/cm ³)	Comp. de fibra (mm)	d.e.f. ² (μ m)	e.p. ³ (μ m)	c.f. ⁴ (%)	f.p. ⁵ (%)	IE ⁶	IR ⁷	Ext. em NaOH (%)	Teor de lignina (%)	Ext. totais (%)	Teor de hol. (%)
5	> 0,440	> 3,80	< 40,99	> 2,01	> 61,01	> 76,00	> 91,01	< 1,00	< 9,30	< 32,00	< 3,10	> 52,01
3	4,39 ~ 4,10	3,79 ~ 3,50	41,00 ~ 45,99	2,00 ~ 1,71	61,00 ~ 54,01	76,01 ~ 92,00	91,00 ~ 78,01	1,01 ~ 1,40	9,31 ~ 9,65	32,01 ~ 36,99	3,11 ~ 3,90	52,00 ~ 50,01
1	< 0,409	< 3,49	> 46,00	< 1,70	< 54,00	< 92,01	< 78,00	> 1,41	> 9,66	> 37,00	> 3,91	< 50,00

FONTE: O autor (2019).

¹densidade básica; ²diâmetro externo da fibra; ³espessura da parede da fibra; ⁴coeficiente de flexibilidade; ⁵fração parede; ⁶índice de enfieltramento; ⁷índice de Runkel.

As notas dadas as propriedades de maior interesse para a produção de polpa celulósica e papel são mostradas na TABELA 31.

TABELA 31 – NOTAS ATRIBUÍDAS AS PROPRIEDADES DE INTERESSE PARA A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL

Progénie	Variáveis											TOTAL	
	DB ¹	Comp. de fibra	d. e. f ²	e. p. ³	c.f ⁴	f.p ⁵	IE ⁶	IR ⁷	Ext. em NaOH	Teor de lignina	Ext. totais		Teor de hol.
5	3	3	1	5	1	3	3	1	5	3	1	1	30
8	3	3	5	5	1	1	3	1	1	3	5	5	36
9	3	1	1	3	5	5	1	3	1	3	1	1	28
12	1	5	5	1	3	3	5	1	1	5	1	1	32
20	1	1	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	22
21	1	5	3	3	1	1	5	1	1	1	5	1	28
74	1	3	3	1	3	3	5	1	3	1	3	1	28
104	3	3	3	3	3	3	1	1	5	3	5	1	34
108	5	3	3	5	3	3	3	1	5	5	3	5	44
112	3	3	3	3	3	3	5	1	5	3	5	5	42

FONTE: O autor (2019).

¹densidade básica; ²diâmetro externo da fibra; ³espessura da parede da fibra; ⁴coeficiente de flexibilidade; ⁵fração parede; ⁶índice de enfieltramento; ⁷índice de Runkel.

Por fim, na TABELA 32 são apresentados os somatórios das notas atribuídas às propriedades de interesse em cada utilização.

TABELA 32 – SOMATÓRIO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AS UTILIZAÇÕES DE INTERESSE

Progênie	Prod. energia	Prod. madeira sólida	Prod. painéis	Prod. celulose e Papel	TOTAL
5	13	20	12	30	75
8	15	20	12	36	83
9	11	22	10	28	71
12	11	14	8	32	65
20	13	12	8	22	55
21	9	10	10	28	57
74	7	12	12	30	61
104	13	20	16	34	83
108	19	20	14	44	97
112	17	26	16	42	101

FONTE: O autor (2019).

A análise dos índices de seleção mostra que para o uso das progênies na produção de energia, a progênie 108 possui as melhores características, já a progênie 74 é a menos indicada.

Observando os índices indicados para a produção de madeira sólida, verifica-se que a progênie 112 é a mais vantajosa dentre as analisadas, já as menos apropriadas são as progênies 20, 21 e 74.

Na produção de painéis as progênies que se destacaram positivamente foram, a 112 e a 104, já as progênies menos favoráveis foram a 12 e a 20.

Ressalta-se que a determinação dos índices na produção de painéis reconstituídos está voltada principalmente para a produção de chapas compensadas, MDP e MDF, pois na fabricação de chapa dura, os índices determinados não se aplicam, principalmente os índices de extrativos em NaOH e de densidade básica.

Por fim, a análise dos índices determinados para a produção de celulose e papel indicou que a progênie 112 e a 108 são as que reúnem as melhores características e a progênie 20 é a menos indicada nesta aplicação.

A análise do somatório total dos *ranks*, indicam que das progênies analisadas, o melhor índice de seleção foi encontrado na 112, sendo esta a mais versátil dentre todas nas aplicações citadas. É possível determinar esta progênie como uma generalista, ou seja, esta, fornecerá bons índices em todas as quatro aplicações de interesse, superando até o fato de esta progênie não possuir o maior volume médio entre progênies.

A progênie 108 também atingiu alto índice de seleção, podendo também ser considerada na composição de florestas de multi-produtos, porém seu maior índice de seleção foi determinado na utilização para a produção de energia, isto significa que esta progênie é a mais indicada para a produção de florestas energéticas, estes fatores aliados ao maior volume das progênies amostradas, favorecem esta progênie nesta aplicação.

A análise dos *ranks* indicou que as progênies com os índices de seleção menos favoráveis foram a 20 e 74, estas apresentaram os mais baixos índices nas aplicações de interesse, mesmo que estas progênies apresentem os maiores valores de CAP, quando relacionamos com suas alturas médias, estas progênies possuem uma forma mais cônica que as demais progênies analisadas, o que dificulta sua usabilidade, assim, nestas aplicações estas progênies tendem a não atingir níveis satisfatórios de produção.

As demais progênies estudadas, a 5, 8, 9, 12, 21 e 104, indicaram índices intermediários de seleção, sendo algumas mais favoráveis a algumas aplicações e menos em outras, mas ficam a sombra da progênie 112 e acima das progênies 20 e 74 no aspecto geral.

6 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos para as dez progênes, tem-se que:

- Caracterização tecnológica

As progênes apresentaram densidades média dentro do padrão citado da espécie, sendo as progênes 5, 8, 9 e 108 as que apresentaram os maiores valores.

O comportamento da densidade ao longo do fuste apresentou comportamento distinto nas progênes 12 e 112, fato relacionado com a diminuição do índice competitivo entre estas progênes e as árvores vizinhas a estas. As demais apresentaram a tendência natural de diminuição com o aumento da altura;

As progênes apresentaram características morfológicas de seus traqueídeos abaixo do padrão citado para a espécie, sendo que na variável comprimento dos traqueídeos, as progênes 12 e 21 foram responsáveis pelos maiores valores médios. Na variável diâmetro dos traqueídeos, a progênie 20 e a progênie 104 foram as que apresentaram os melhores resultados e na variável espessura de parede dos traqueídeos, as progênes 8 e 108 foram as que apresentaram os melhores valores.

As relações estabelecidas entre as características morfológicas dos traqueídeos indicaram que, as progênes apresentaram índice de Runkel abaixo do padrão estabelecido para a espécie, nas demais relações os índices foram considerados dentro do padrão da espécie.

Com relação as características químicas, as progênes apresentaram resultados dentro das referências citadas para a espécie, sendo que nas variáveis teor cinzas, extrativos em hidróxido de sódio, extrativos totais, teor de lignina e teor de holocelulose, as progênes 12, 5, 8, 74 e 112 foram respectivamente responsáveis pelos melhores coeficientes.

As progênes apresentaram poder calorífico de acordo com os valores citados para a espécie, sendo a progênie 20 a melhor entre as progênes

estudadas, assim também se deu na análise de densidade energética, onde devido aos dados da progênie 108 não se apresentarem em distribuição normal, a progênie 20 é a com maior índice.

- Caracterização das amostras através do espectro do infravermelho próximo

A técnica não destrutiva não foi suficientemente eficiente na classificação das progênies, sua eficiência foi constatada somente quando a análise foi realizada nos grupos que as árvores pertenciam.

Contudo, a técnica, mostrou ser uma boa ferramenta para a determinação da densidade básica em grupos de árvores.

- Correlação de Pearson

A correlação de Pearson, mostrou-se uma ferramenta importante no processo de seleção das progênies, onde as maiores correlações foram observadas em variáveis dentro da mesma propriedade. Sendo que a correlação existente entre as variáveis fração parede e coeficiente de flexibilidade a melhor correlação observada

A correlação de Pearson mostrou que, no teste de progênies a utilização somente da densidade básica, não é eficientemente capaz de determinar outras propriedades de interesse.

- Seleção de progênies

A metodologia aplicada para selecionar as progênies superiores se mostrou eficaz e de fácil aplicação.

Sendo a progênie 112 considerada a com maior destaque entre todas, pois se apresenta, em grande parte das variáveis, os melhores índices.

Em contrapartida a progênie 20 foi responsável pelo índice menos expressivo nas propriedades medidas.

7 RECOMENDAÇÕES

- Em função das progênies terem apresentado diferenças significativas entre as variáveis medidas, é conveniente testá-las em idades mais avançadas e situações de crescimento diferentes, bem como avaliar o comportamento das progênies ao passarem por práticas de poda e desbaste.
- Analisar as propriedades mecânicas de todas as progênies, visando verificar a influência das variáveis medidas nestas propriedades, sobretudo quando a madeira for utilizada com fins estruturais.
- Ajustar e conduzir os povoamentos visando sua utilização final, alterando espaçamentos, podas e desbastes principalmente.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**. Determinação da lignina insolúvel em ácido. 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7990**. Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**. Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**. Determinação do material solúvel em etanol:tolueno e em diclorometano. 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14660**. Madeira – Amostragem e preparação para análise. 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**. Madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa. 2003.

ABNT - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **ABRAF. Anuário Estatístico ABRAF 2013**. Brasília. 2013.

ABRAÃO, R. **Comparação de atributos químicos e granulometria em solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem no Planalto Serrano de Santa Catarina**. 56 f. Trabalho de conclusão de curso - curso de Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos-SC, 2018.

ACUNA, M. A.; MURPHY, G. E. Use of near infrared spectroscopy and multivariate analyses to predict wood density of Douglas-fir from chain saw chips. **Forest Products Journal**. v. 56, n. 11/12, p. 67-72. 2006.

ARAÚJO, A.P. Analysis of variance of primary data on plant growth analysis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.38, p.1-10, 2003.

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.

Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal – APRE. Estudo Setorial 2017/2018. Curitiba: **APREF Florestas**. 2018.

AMPESSAN, C. G. M. **Idade da madeira na qualidade da polpa e do papel**. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agro Florestais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2015.

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. *P. taeda* L. - Loblolly pine. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. (Eds.). **Silvics of North America**. Washington: USDA Forest Service. v.1. p.497-512, 1990.

- BALDIN, T. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage por espectroscopia no infravermelho próximo, com vista à produção de celulose.** 2018. 78p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore.** v.27, n.3, p.271-380, 2003.
- BAMBER, R.K. A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: how trees stay upright. **International Association of Wood Anatomists Journal** 2001; 22(3): 205-212.
- BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. S.; BRITO, J.O.; FERREIRA, M. Estudo de procedências de *Pinus taeda* visando aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, n. 15, p. 1-14, 1977.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira de *Pinus taeda* como matéria prima para celulose Kraft. I. Influência dos teores de lenho. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. **Anais.** Manaus, v.3, p. 1-18. 1978.
- BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira em *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr, e *Golf*, para a produção de celulose e papel.** 1979. 167p. Tese de Livre Docência, ESALQ. Universidade de São Paulo.
- BEIRÃO, P. S. L. **A importância da iniciação científica para o aluno de graduação.** 1998. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/boletim/bol1208/pag2.html>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2019.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A. Atributos Físicos e Químicos do Solo e suas Relações com o Crescimento e a Produtividade do *Pinus taeda*. **Brazilian Journal of Forestry Research.** Colombo, n. 53, p. 21-38, jul./dez. 2006.
- BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v. 28, n. 10, p. 61-72, 1978.
- BENECKE, C. A. G.; TESKEY, R. O.; ALDRIDGE, H. D.; MARTIN, T. A. *Pinus taeda* forest growth predictions in the 21st century vary with site mean annual temperature and site quality. **Global Change Biology.** v.23, n.11, p.4689-4705, 2017.
- BIERMANN, C. J. **Handbook of Pulping and Papermaking.** San Diego. Academic Press. E. 2, 754 p. 1996.
- BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes.** 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- BIRKLAND, R. Efficient process quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19. 1990, (S.I.). **Proceedings...**, [S.I.; s.n.], p.139-147, 1990.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 2007. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Indicações para a utilização da madeira de seis espécies e variedades de pinus na construção civil.** São Carlos: 1993. 119p. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura - Tecnologia do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1993.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal.** Curitiba: 1999. 173p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

BORTOLETTO Jr, G. **Produção de lâminas, compensado e laminated veneer limber - LVL a partir de madeira de *Pinus merkusii*.** 2006. Tese. Piracicaba-SP. Universidade de São Paulo. 2006.

BRAND, M. A. **Rendimento do processo produtivo e energético da matéria prima de uma indústria de base florestal.** 220 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2000.

BRAND, M. A.; STÄHELIN, T. S. F.; FERREIRA, J. C.; NEVES, M. D. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Revista Árvore.** v.38, n.2, Viçosa-MG. 2014.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição: República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado Federal. Lei de incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais – nº5.106, 1966.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois.** Aix-en-Provence, ÉDISUD, 180p. 1985.

BRITO, J. O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.** Piracicaba, 113f. 193.

BURGUER, M. B.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo: Nobel, 154p. 1991.

CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; LIMA, J. T.. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore.** 2003, vol.27, n.1, p.43-51. Disponível em: <scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-67622003000100006&lng=pt&nrm=isso>. Acesso em 03 de outubro de 2019.

CARDOSO, D. J. **Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas Regiões Central e Sudoeste do Estado do Paraná.** Curitiba: 1989.

128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1989.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259 p.

CARNEIRO, P.; FERREIRA, P.. The economic environmental and strategic value of biomass. **Renewable Energy**. V.44, 2012, p.17-22. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112000080>>. Acesso em: 28 de agosto de 2019.

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. **American Journal Botanic**, v. 64, n. 7, p. 887-896, 1977.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. Curitiba: 2007. 151 f. Tese (doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2007.

CASTELO, P. A. R.; Matos, J. L. M. de.; Dedecek, R. A.; Lavoranti, O. J. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS – CI FLORESTAS. **Pinus**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=pinus>>. Acesso em 09 de janeiro de 2019.

CIANCIULLI, P. L. **Os pinheiros da América Central e México – Contribuição à campanha do reflorestamento no estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica. 70 p. 1961.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2005.

COILE, T. S. Soil and the growth of forest. **Advances in Agronomy**, New York, v. 4, p. 329-398, 1952.

CONAGIN, A. Discriminative power of the modified Bonferroni's test. **Revista de Agricultura**. v.73, p.31-46, 1998.

COUTO, H.T.Z.; VETTORAZO, S.C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 5, n.1, p. 69-80, 1999.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. **Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras**. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

COWN, D. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 19, p. 84-94, 1974.

COWN, D. J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26-year-old radiata pine tree. **Appita**, Carlton, v. 28, n. 4, p. 237-245, 1975.

COWN, D. J. Radiata pine: Wood age and wood properties concepts. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 10, n. 3, p. 504-507, 1980.

COWN, D. J. Corewood (juvenile wood) in *Pinus radiata* should be concerned. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

DADSWELL, H. E.; NICHOLLS, J. W. P. Assessment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliotii* var. *elliotii* from Queensland. **Division Forestry Products Technological**, v. 4, 16 p. 1960.

DAHM, D.; DAHM, K. D. The physics of near-infrared scattering. In: P. Williams K. Norris (Eds.); **Near-infrared Technology in the agricultura and food industries**. 2nd ed., 296 p. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, INC. 2004.

DAROLT, M.R.; OSAKI, F. **Efeito da cinza de caieira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes**. 1989, 33p. In: Calagem & Adubação. Campinas, SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1989.

DAVID, H. C. **Avaliação de sítio, relações dendrométricas e otimização de regimes de manejo de *Pinus taeda* I. nos estados do Paraná e de Santa Catarina**. Curitiba, 2014. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2014.

DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; TREVISAN, R. Qualificação da madeira de três espécies de coníferas oriundas de reflorestamentos jovens. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 477-484, dez. 2013.

DELUCIS, R. A.; SANTOS, P. S. B. dos; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. Propriedades químicas e energéticas de resíduos florestais provenientes de plantações de pinus. **Revista Árvore**. 2017, v. 41, n. 5. mai. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000500007>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

DEMERRITT, M. E. J.; GARRET, P. W. Adaptation of eastern white pine provenances to planting sites. **Research Paper NE-703**, USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, PA. 1996. 7 p.

DEMING, W. E. - **A System of Profound knowledge - in The New Philosophy for K-12 education**. A Deming Framework for Transforming America's Schools, ASQC Quality Press, 1.^a ed., Milwaukee, Wisconsin, 1990.

DEMUNER, W. P. **Predição do impacto da madeira em fábrica Kraft de eucalipto**. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2011.

DIAS, O.A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer** 9. p. 3632-3646. 2013.

DINWOODIE, J. M. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 48, n. 8, p. 440-446, ago. 1965.

DUFFIELD, J.W. Genetic Improvement of wood quality. **Foresta Products Journal**. v.11, n.5, p.211-213, 1961.

DURLO, M. A. Determinação de variáveis para a caracterização de *Pinus elliottii* com finalidade estrutural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL (Nova Prata, 6. 1988). **Anais**. Nova Prata, Prefeitura municipal, 1988, v.2, p. 1097-1113.

DWIVEDI, P.; ALAVALAPATI, J. R. R.; LAL, P. Cellulosic ethanol production in the United States: Conversion technologies, current production status, economics, and emerging developments. **Energy for Sustainable Development**. v.13, n.3,p.174-182, 2009.

EBC – Empresa Brasil de Comunicação. Agência Brasil. **Censo Agropecuário: Brasil tem 5 milhões de estabelecimentos rurais**. 2019. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-10/censo-agropecuario-brasil-tem-5-milhoes-de-estabelecimentos-rurais#:~:text=Com%20territ%C3%B3rio%20de%20851%2C487%20milh%C3%B5es,da%20%C3%A1rea%20total%20do%20pa%C3%ADs.>>. Acesso em 18 de junho de 2020.

ELSTON, R. C. A Weight-Free Indesc for the Purpose os Ranking or Selection with Respect to Several Traits at a Time. **Biometrics**. v.19, p.85-97. 1963.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa. Florestas Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cultivo do Pímus**. 2008 Disponível em: < https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3228>. Acesso em 10 de janeiro de 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Florestas Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento Climático: Pinus taeda no Sul do Brasil**. 2011. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/315638/1/Doc175.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2019.

ERICKSON, H. D.; HARRINSON, A. T. Douglas–fir wood quality studies. Part 1 - Effects of age and stimulate growth on wood density and anatomy. **Wood Science Technology**, v. 8, p. 225-265, 1974.

ESTOPA, R. A. **Fenotipagem via nir e predição genômica em *Eucalyptus benthamii***. 2017. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FAO. **Global Forest resources assessment 2015**: how are the world's forests changing. 2nd ed. Rome, 2015. 46p. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/018/i3383e/i3383e.pdf>>. Acesso em: 25 de junho de 2015.

FENGEL, D. WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions**. Berlin, 1989, 612 p.

FERNÁNDEZ – ESPINOSA, A. Combining PLS regression with portable *NIR* spectroscopy to on-line monitor quality parameters in intact olives for determining optimal harvesting time. **Talanta**, v. 148, p. 216 - 228, 2016.

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**, 2ª edição, São Carlos, EDUFSCA, 2002, 286p.

FERREIRA, J. C.; FURTADO, T. S.; STÄHELIN, M. V.; BRAND, M.A.; MUÑIZ, G. I. B. de.. Qualificação da biomassa em povoamentos florestais de *Pinus taeda*. **REVISTA FLORESTA**. Curitiba, PR, v. 46, n. 2, p. 269 - 276. 2016

FERREIRA, R. A. **Análise genética e seleção em testes dialélicos de *Pinus taeda* L.** 2005. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FERREIRA, K. A. C.; MENDOZA, Z. M. S. H. de.; RIBEIRO, E. S.; BATISTA, B. M. F. B.; SILVA, J. C. de. Análise dos compostos acidentais na madeira de *Tectona grandis* L. f. **Biodiversidade**. Cuiabá. v. 14, n. 1, 2015.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A da. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**. v.18, n.1. 2009.

FINGER, C. A G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

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

FOELKEL, C. E. B. **Estrutura da madeira**. 1977. 85p. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/>>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

FOELKEL, E. **Poda, Desrama e Desbaste das Árvores de *Pinus* para Melhor Qualidade da Madeira**. Mini-Artigo Técnico. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/pinus_14.html#quatorze>. Acesso em: 03 de abril de 2008.

FOCKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade Básica: Sua Verdadeira Utilidade como Índice de Qualidade da Madeira de Eucalipto para Produção de Celulose. **6º Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo. 1990.

FRANÇA, M. **Produção de painéis aglomerados de fibras oversize de uma indústria de MDF**. 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agro Florestais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2015.

FURTADO, T. S.; FERREIRA, J. C.; BRAND, M. A.; NEVES, M. D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**. v. 36, n. 3, p. 577-582. 2012

FUJIWARA, S.; YANG, K. C. The relationship between cell length and ring width and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 21, n. 3, p. 335-345, 2000.

GARCÍA, C. B. **Anatomia, composição e propriedade de cinco madeiras paraguaias**. 1995. 126f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

GARSTANG, J. et al. **Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulkstorage of wood chips and development of best storage practices**. Report. FES B/W2/00716/RESP.DTI/Pub urn 02/1535: 2002. 116p.

GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; SANTINI, E. J.; DIEGO MARTINS, STANGERLIN R. T.; OLIVEIRA, L. S. Propriedades da madeira de *Pinus elliottii* engelm submetida a diferentes temperaturas de secagem. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 220-226, 2008.

GEIMER, R. L.; HERIAN, V. L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. **Wood and Fiber Science**, v. 29, n. 2, p. 103-120, 1997.

GERNANDT, D. S.; AARON L.; ROBERT A. P. *Pinus* L. **Pine Trees**. Version November 2004 (under construction). Disponível em: <<http://tolweb.org/Pinus/21626/2004.11.24>>. Acesso em 05 de fevereiro de 2019.

GESTÃO DE APOIO CORPORATIVO – GAC. **A importância do Analista da Qualidade nas Empresas**. 2019. Disponível em: <<http://www.gacgestaocorporativa.com.br/blog/a-importancia-do-analista-da-qualidade-nas-empresas/>>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

GHOFRANI, M.; MIRKHANDOUZI, F. Z.; ASHORI, A. Effects of extractives removal on the performance of clear varnish coatings on boards. **Journal of Composites Materials**. v. 50, n. 21, p. 3019-3024. 2016.

GIESEL, G. **Avaliação da qualidade da madeira com diferentes tempos de estocagem para a produção de celulose e papel**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade do Estado de Santa Catarina, 2019.

GONÇALVES, J. L. M.; COUTO, H. T. Z.; KAGEYAMA, P. Y.; DEMATTÊ, J. L. I. Interações genótipo-solo em sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns solos do baixo potencial produtivo do Estado de São Paulo. **Botetim Técnico IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 40-49, 1990.

GOUVÊA, G; FÁTIMA, A. de.; T, P. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, M. da.; REINALDO, J.; ANDRADE, C. R.; ALVES, N.; CRISTINA, I. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**. v. 35, n. 2, 2011, p. 349-358. Viçosa, Brasil.

Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/488/48818882018.pdf>>. Acesso em 17 de setembro de 2019.

GROSSER, D. **Defeitos da Madeira**. Curitiba: FUPEF, 1980. 62p. (FUPEF. Série técnica, n.2).

HARRIS, J. M. Note on wood density of *Pinus radiata* grown under temperature, sub tropical conditions. In: IUFRO WORKSHOP, 1977, Brisbane. **Proceedings...**, Brisbane: [s.n.], 1977, p. 112-115.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: a introduction**. 2nd ed., p. 500. Ames: Iowa State University Press, 1989.

HOUKSSON, J. B.; BERGQVIST, G.; BERGTEN, U.; SJOSTROM, M.; EDLUND, U. Prediction of basic wood properties for Norway spruce. Interpretation of Near Infrared Spectro – scopy data using partial least squares regression. **Wood Science and Technology**. v. 35, p. 475-485. 2001.

HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; CHAIX, G. Estimativa do ângulo microfibrilar em madeira de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* por meio da espectroscopia no infravermelho próximo. **Floresta e Ambiente**. v. 19, p. 194-199, 2012.

HENNE, R. A.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B. da C.; KUHN, L.; GIESEL G.; BARNASKY, R.; CASAGRANDE, N. B.; ÁVILA, C. **Análise da composição química da madeira de lenho anormal de compressão em *Pinus taeda***. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 3^a edi., 2017, Florianópolis-SC. Anais Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/galao-proceedings--cbctem--64062%20(1).pdf>. Acesso em 14 de agosto de 2019.

HINDLE, P. H. Historical Development. In: D. A. Burns; E. W. Ciurczak (Eds.); **Handbook of Near-Infrared Analyses**. 3^a edi., p. 3-6. Boca Raton, FL: CRC Press, 2008.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2014**. São Paulo. 2014.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo. 2017.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2019**. São Paulo. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Resultados da produção da extração vegetal e da silvicultura – PEVS 2017**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/1beb41fdd1c71fbcaaac6e15dc743a85.pdf>. Acesso em 16 de janeiro de 2019.

INGHAM, J. M. **Biomassa no mundo e no Brasil**. In: Fontes não-convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa. Organização e edição: Alexandre de A. Montenegro, 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 160 p. 1999.

ISIK, F.; MORA, C.R.; SCHIMLECK, L.R. Variação genética nas propriedades da madeira de *Pinus taeda* prevista usando técnicas não destrutivas. **Annals of Forest Science**. v. 68, n.2, p.283–293, 2011.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). IAWA List - Macroscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** v. 10, n.3, p. 219-332, 1989.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, T.; NASCIMENTO, C. C. do.; AZAMBUJA, R. da R.; CAMPELO, S. R.; RIBEIRO, R. S. Produção de painéis aglomerados com misturas de seis espécies de madeiras da Amazônia e *Pinus taeda*. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 46, n. 2, p. 259 - 267, abr-jun. 2016.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo. **IPT**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1989.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, n.41/42, p. 83-93, 1989.

KELLEY, S. S.; RIALS, T. G.; GROOM, L. R.; SO, C. L. Use of near infrared spectroscopy to predict the mechanical properties of six softwoods. **Holzforschung**. v. 58, p. 252-260, 2004.

KELLINSON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS, Kyoto. **Proceedings...** 1981, p. 77-87.

KIBBLEWHITE, R. P.; LLOYD, J. A. Interrelations between the wood, fiber, and kraft pulp properties of new-crop radiata pine corewood and slabwood. **FRI Bulletin**, Rotorua, n. 45, 1983, 26 p.

KIM, K. S.; HAN, Y. C. Variation in growth characteristics of *Pinus densiflora* S. et Z. at eight experimental plantations in Korea. **Journal of Korean Forestry Society**, Seoul, v. 86, n. 2, p. 119-127, 1997.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 584 p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf**. Curitiba: 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1989.

KLOCK, U. **Manual Didático Química da Madeira**. 3ª edição revisada, Curitiba, 2005.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2000.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, **Forest Service Agricultural**. Handbook, 1972, 420 p.

- KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina**. Curitiba, 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2013.
- KOLLMANN, F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Gráficas Reunidas AS, Espanha, 1959.
- KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ Jr, A. Principles of wood Science and technology. v.1. **Solid Wood**. Berlin: Springer Verlag. 592p. 1968.
- KRONCA, F. J. N; BERTOLINI, F.; PONCE, R. H. **A Cultura do Pinus do Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 160 p. 2005.
- LANTZ, C. W.; HOFMANN, J. G. Geographic variation in growth and wood quality of loblolly pine in North Carolina. **Proceedings, 10th Southern forest tree improvement conference**. Houston. p. 175-188, 1969.
- LARA PALMA, H. A. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1994. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1994.
- LARSON, P. R. **Wood formation and the concept of wood quality**. New Haven: Yale Univ. Sch. For. Bull., n. 74, 1969. 45 p.
- LARSON, P. R.; NICHOLS, J. W. P.; DADSWELL, H. E. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines**: Madison: USDA, 2001. 42 p.
- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Florestal e Ambiente**, v.7, n.1, p.279-291, 2000.
- LAZZAROTTO, M.; MAGALHÃES, W.L.E. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthammi* e *Eucalyptus pellita*. **Comunicado Técnico**. Embrapa Florestas, n. 334, p. 1-6, 2014.
- LAZZAROTTO, M.; NETIPANYJ, R.R, MAGALHÃES, W.L.E; DE AGUIAR, A.V. Espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa da densidade básica de madeiras de *Pinus*. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 7, n. 3, p. 119-126, 2016.
- LENGOWSKI, E. C.; MUÑIZ, G. I. B de.; KLOCK, U.; NISGOSKI, S. Potential use of NIR and visible spectroscopy to analyze chemical properties of thermally treated wood. **Maderas, Ciencia y Tecnología**. v. 20, n. 4, 2018. Disponível em: < https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2018005041001&script=sci_arttext&tlng=en>. Acesso em: 08 de novembro de 2020.
- LOO, J.A.; TAUER, C.G.; MCNEW, R.W. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda*, L.) **Silvae Genetica**. v. 34, n. 1, p. 14-19, 1985.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M de.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores Exóticas no Brasil – madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto *Plantararum* de Estudos e Flora LTDA. 368 p. 2003.

LUCAS FILHO, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da densidade aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1997.

MACHADO, A.A.; DEMÉTRIO, C. G. B.; FERREIRA, D. F.; SILVA, J. G. C. Estatística experimental: uma abordagem fundamental no planejamento e no uso de recursos computacionais. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, Londrina-PR. **Anais, Reunião Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**. 290p. 2005.

Madeira Total. FAO lança principais resultados do relatório de avaliação global dos recursos florestais (FRA 2020). **MADEIRA TOTAL**. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/fao-lanca-principais-resultados-do-relatorio-de-avaliacao-global-dos-recursos-florestais-fra-2020/>>. Acesso em 07 de novembro de 2020.

MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana de açúcar**. São Carlos: 2009. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físico-Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MARTENS H.; TORMOD N. **Multivariate Calibration**, New York: John Wiley & Sons, 1989.

MARTINS, E. F. P.; FERREIRA, R. L. C.; JANKVSKI, T.; BRITO, C. C. R. Curvas de índice de sítio para *Leucena* [*Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit] no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v.17, n.4, p. 365-376, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982007000400365&script=sci_arttext>. Acesso em: 07 de julho de 2020.

MARTINEZ, D. T.; RESENDE, M. D. V de.; COSTA, R. B.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A dos.; FIER, I. S. N. Estudo da interação genótipo x ambiente em progênies de pinus taeda por meio da análise de parâmetros genéticos. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 539 - 552, jul./set. 2012.

MATOS, J. L. M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda***. Curitiba: 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATTOS P. P.; BOTOSSO, P. C.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; MARTINS, M. G. Coleta de Amostras para Estudos da Influência de Tratos Silviculturais na Qualidade da Madeira. **EMBRAPA**. Comunicado técnico n. 91, 2003.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R. DE; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de

- três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, jan-mar, p. 121-126, 2011.
- MATTOS, J. R.; **Espécies de PINUS cultivadas no Brasil**. São Paulo: Grupo Editorial Chacáras e Quintas. 132p. 1966.
- McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature Loblolly Pine. **Forest Products Journal**, v. 41, n. 9, p. 39-41, 1991.
- MELCHIORETTO, D.; ELEOTÉRIO, J.R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica, XVIII, 2003, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau, 2003. Disponível em: <<http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2003/CRICTE>>. Acesso em: 22 de maio de 2019.
- MELO, R. R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T. M.; PEDROSA, T. D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* E. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 4, n. 1, mai, p. 83-92, 2013.
- MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de.; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L. K. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, 2002.
- MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. Curitiba: 1982. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.
- MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. Viçosa: 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009.
- MISSIO, R. F.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T. de.; PAULA, R. C. de. Seleção simultânea em caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**. v.66, p.161-168, dez. 2004.
- MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman. 2007.
- MORAES, M. L. T. **Variação Genética e Aplicação da Análise Multivariada em Progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret e Golfari**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira-SP. 2001.
- MORAIS, S. A. L. de.; NASCIMENTO, E. A. do.; Melo, D. C. de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.29, n.3, p. 461-470, 2005.
- MOREIRA, J. P. **Ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em idade precoce para produção de madeira**. Ilha Solteira: 2003. 57 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração:

Sistemas de Produção) Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2013.

MORESCHI, J.C. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil**. Curitiba: 1975. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1975.

MULAMBA, N.N.; MOCK, J. J. Improvement of Yield Potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L) Population by Breeding for Plant Traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**. v.7, p.40-51. 1978.

MUÑIZ, G.I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L**. Curitiba: 1993. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MUÑIZ, G. I. B. DE.; MAGALHÃES, W. L. E.; CARNEIRO, M. E.; VIANA, L.C. Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 865-875, out./dez., 2012.

NASCIMENTO, C. C. do.; BRASIL, M. M.; NASCIMENTO, C.S. do.; BARROS, S. V. dos. S. Estimativa da densidade básica da madeira de *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers por espectroscopia no infravermelho próximo. **Brazilian Journal of Wood Science**. Pelotas, v. 8, p. 42-53, 2017.

NEARN, W. J. - **Effect of water soluble extractives on the volumetric shrinkage and equilibrium moisture content of eleven tropical and domestic woods**. Mont Alto, Pennsylvania State University, 1955. 37p.

NICHOLLS, J. W. P. The effect of environmental factors on wood characteristics 2 - The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 20, n. 1, p. 67-73, 1971.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L**. Curitiba: 2005.160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

OTHA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densitometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. **Moduzai Gakaishi**, [S.I.], v. 27, p. 157-162, 1981.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. New York, MCGraw Hill. 1980. 722 p.

- PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento**. Piracicaba: 1986. 192 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1986.
- PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Products Journal**. Madison, v. 21, n. 1, p. 23-31, 1971.
- PECORARO, E.; PIZZO, B.; ALVEZ, A.; MACCHIONI, N.; RODRIGUES, J. C. Measuring the chemical composition of waterlogged decayed wood by near infrared spectroscopy. **Microchemical Journal**. v. 122, p. 176-188, 2015.
- PERDUEA, J. H.; STANTURFB, J. A.; HUANGC, T. M. Y. X.; DOUGHERTYD, M. P.; GUOE, Z. Profitability potential for *Pinus taeda* L. (loblolly pine) short-rotation bioenergy plantings in the southern USA. **Forest Policy and Economics**. v.83, p. 146-155, 2017.
- PEREIRA, J. C. D.; TOMAZELLI, I. Influência do Desbaste na Qualidade da Madeira de *Pinus elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 61-81, jul./dez, 2004.
- PEREIRA, J. C. D. **A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. Piracicaba: 1982, 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1982.
- PEREIRA, J. C. D. **Formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii***. Curitiba: 1992. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- PESEK, R. C.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected índices. **Canadian Journal of Planta Science**. v.49, p.803-804. 1969.
- PICINATTO F., V. **Avaliação de danos causados por roedores silvestres em *Pinus taeda* I. Como subsídio ao manejo de pragas florestais, Santa Catarina/Brasil**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agro Florestais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2014.
- PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia e qualidade da madeira**. Viçosa. SIF, p. 144, 1999.
- POKE, F.; RAYMOND, C. Predicting Extractives, Lignin, and Cellulose Contents Using Near Infrared Spectroscopy and Solid Wood in *Eucalyptus globulus*. **Journal of Wood Chemistry and Technology**. v. 26, n. 2, p. 187-199. 2006.
- POLETO, M. Efeito do teor de extrativos na estabilidade térmica de duas espécies madeireiras do Brasil. **Maderas, Ciência e tecnologia**. v. 18, n. 3, jul, 2016. Disponível em: <<https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718->

221X2016005000039&script=sci_arttext&tlng=en>. Acesso em 16 de agosto de 2019.

PRATES, G. F.; CARMO A. L. M.; PRATES, E.; VERUSSA, A. A.; DALGALLO, B.; PEINHOPH, C; HILLIG, E.; MACHADO, G. O. **Extração de substâncias corantes de serragem de madeira de *Ocotea-imbuia (Ocotea porosa)***. VII Semana de Engenharia Ambiental - Campus Irati, s. ed., 9 p., 2009.

PUEHRINGER, C. A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2002.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. DO.; ANA PAULA ABREU DE ANDRADE, A. P. DE.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. DOS S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista Madeira**. v. 89, p. 100-106. 2005.

RAYMOND, C. A. Genetics of *Eucalyptus* wood properties. **Annals of Forest Science**, Nancy, v.59, n5/6, p.525-531, 2002.

RAMADEVI, P.; HEGDE, D. V.; VARGHESE, M.; KAMALAKANNAN, R.; GANAPATHY, S. P.; GURUMURTHY, D. S. Evaluation of lignin syringyl/guaiacyl ratio in *Eucalyptus camaldulensis* across three diverse sites based on near infrared spectroscopic calibration modelling with five *Eucalyptus* species and its impact on Kraft pulp yield. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**. v. 24, p. 529-536, 2016.

REIS, C. A. F.; GONÇALVES, F. M. A.; RAMALHO, M. A. P.; ROSADO, A. M. Estratégias na seleção simultânea de vários caracteres no melhoramento do *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 457-467, 2015.

REMADE – REVISTA DA MADEIRA. Os Conceitos de qualidade e de uso múltiplo para a madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**. Ed. 75. 2003.

Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=412&subject=Propriedades&title=Os%20conceitos%20de%20qualidade%20e%20de%20uso%20m%20m%20FAltiplo%20para%20a%20madeira%20de%20eucalipto>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

RESENDE, M. D. V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: EMBRAPA, **Informações Tecnológica**. 975 p. 2002.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Estimção de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus*: seleção em um caráter com base em informações do indivíduo e seus parentes. **Boletim de Pesquisa Florestal**. n.28/29, p.11-36, 1994.

RESENDE, M. D. V.; ROSA-PEREZ, J.R. H. **Genética quantitativa e estatística no melhoramento animal**. Curitiba: Imprensa Universitária. UFPR. 496 p. 1999.

RICHARDSON, D. M; RUNDEL, P. W. Ecology and biogeography of *Pinus*: na Introduction. In: RICHARDSON, D. M., ed., **Ecology and biogeography of Pinus**, New York: Cambridge University Press. Cambridge, p.1-48, 1998.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft.** Curitiba: 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

ROMÃO, S. A. A. **Agrupamento de famílias de *Pinus taeda* de um teste de progênes, baseado em crescimento e em características tecnológicas da madeira.** Curitiba: 2009. 158 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2009.

ROSSO, S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; HASELEIN, C. R.; HEIN, P. R. G.; LOPES, M. C. Density of *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden using near infrared spectroscopy. **Cerne**. v. 19, p. 647-652, 2013.

ROYALTY FREE. Rendered 3d isolated loblolly pine (*Pinus taeda*). **123RF**. Disponível em: <[https://br.123rf.com/photo_5824841_rendered-3d-isolated-loblolly-pine-\(pinus-taeda\).html](https://br.123rf.com/photo_5824841_rendered-3d-isolated-loblolly-pine-(pinus-taeda).html)>. Acesso em: 08 de dezembro de 2020.

RUDMAN, P.; MCKINNEL, F. H. Effects of fertilizers on wood density of young radiata pine. **Australian Forestry**, Canberra, v. 34, p. 170-178, 1970.

SÂNIO, K. Verber die Grosse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). **Jahrb. Wiss. Bot.**, v. 8, p. 401-420, 1872.

SANTOS, P. E. T. dos; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimativas de parâmetros genéticos de propriedades físicas e mecânicas da madeira em *Eucalyptus grandis*. **SCIENTIA FORESTALIS**. n. 63, p. 54-64, jun. 2003. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr63/cap05.pdf>>. Acesso em 03 de outubro de 2019.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Universidade Federal de Lavras – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. Lavras, 1997. 433p.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R.; FINGER, C. A. G. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelman. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 115-127, 1998.

SCHIMLECK, L. R.; HIGA, A. R.; JORGE L. M. MATOS, J. L. M de. Utilisation of near infrared spectroscopy in *Pinus taeda* progeny tests located in southern Brazil. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**. v. 18, p. 389–396, 2010.

SCHIMLECK, L. R.; JORGE L. M. MATOS, J. L. M de.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Comparison of methods for estimating mechanical properties of wood by NIR spectroscopy. **Journal of Spectroscopy**. v. 2018, 2018. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/jspec/2018/4823285/>>. Acesso em: 08 de novembro de 2020.

SCHUCHOVSKI, M. S.; ARCE, J. E.; OLIVEIRA, E. B de. Altura dominante e índice de sítio para *Pinus taeda* em dois polos de desenvolvimento florestal no sul do Brasil. **Scientia Forestalis**. v. 47, n. 121, p. 92-104, 2019

SCHULTZ, R. P. Utilization needs as a driving force in timber management research. In: **FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE** (1986: Madison).

SCHWEITZER, V. R. **Origem do “Lenho Anormal de Compressão” e Efeitos Sobre a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* da Região Serrana de Santa Catarina**. Curitiba, 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2016.

SCHWEITZER, V. R.; MATOS, J. L. M. de.; BRAND, M. A.; PRATA, J. G. Influence of Silvicultural Techniques on the Occurrence of Compression Wood and Consequences on Wood Quality. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**. v. 13, n. 10, p. 1-8, 2019.

SDR - Secretaria de Desenvolvimento de Regional. **Caracterização Regional - Lages**. Florianópolis. 2003.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. Curitiba, 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

SILVEIRA, C. R. **História da Indústria da Madeira – Serra Catarinense – 1940-2005**. Cláudio Silveira – Lages (SC). v. 2. ed. 1. Editora Leão Baio. 448 p. 2010.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry**. New York: Academic Press, 1981. 223 p.

SNIF – Sistema Brasileiro de Informações Florestais. **Boletim SNIF 2018**. Brasília – DF. 2018. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4092-boletim-snif-2018-ed1/file>>. Acesso em 16 de novembro de 2019.

SMITH, D. M. Wood quality of loblolly pine after thinning U.S. **Forest Service Res. Paper FPL - 89**, 1968. 12 p.

SMITH, H. F. A discriminate function for plant selection. **Annal of eugenics**. v.7, p.240-250. 1936.

SO, C. –LEUNG; VIA, B. K.; GROOM, L. H.; *et al.* Near infrared spectroscopy in the forest products industry. **Forest Products Journal**. v. 54, n. 3, p. 6-16. 2004.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.27. n.6, p.811-820, 2003.

SOUSA, L. C.; GOMIDE, J. L.; MILAGRES, F. R.; ALMEIDA, D. P. Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeira de *Eucalyptus spp.* **Ciência Florestal**. v. 21, n. 3, p. 591-599, 2011.

SOUSA, C. A. de.; LIRA JUNIOR, M. A.; FERREIRA, R. L. C. Avaliação de testes estatísticos de comparações múltiplas de médias. **Revista Ceres**. Viçosa–MG. v.59. n.3, mai-jun, 2012.

SOUZA, M. M de. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2010.

SOUZA, F. M. L de. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais.** Botucatu: 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. 2012.

SOUZA, M. M. de.; SILVA, D. A. da.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. dos.. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**. Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334. 2012.

STAGE, A.R.; LEDERMANN, T. Effects of competitor spacing in a new class of individual tree indices of competition: semi-distance-independent indices computed for Bitterlich versus fixed-area plots. **Canadian Journal of Forest Research**, v.38, p.890-898, 2008.

STUMPP, E. Valores físico mecânicos de *Pinus spp.* em comparação com *Araucaria angustifolia*. I.: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL. Nova Prata, **Anais.**, p.1413-1420, 1992.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the Efficiencies os Selection Indices for Three Traits in Two Varietu Crosses of Corn. **Crop Science**. v.13, p.184-186. 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre. Ed. Artmed, 719p. 2004.

THYGESEN, L. G. Determination of dry matter contente and basic density of Norway spruce by near infrared reflectance and transmittance spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**. v. 2, p. 127-135. 1994.

TSUCHIKAWA, S. A. Review of Recent Near Infrared Research for Wood and Paper. **Applied Spectroscopy Reviews**. v. 42, n. 1, p 43-71. 2007

TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia*, e *Pinus spp* produzida em reflorestamentos. In.: PESQUISAS EM RECURSOS FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ - Curitiba, PR. **Relatório final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TOMASELLI, I.; CASTRO, N. S. Qualidade da madeira de *Pinus elliotii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel. In: PESQUISAS EM RECURSOS FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ - Curitiba, PR. **Relatório final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e estrutura anatômica da madeira de *E. saligna* e *E. grandis*. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

TOMÉ, M.; BURKHART, H.E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. **Forest Science**, v.35, p.816-831, 1989.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p.503 – 510, 2013.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de Pinus tropicais. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 42, p. 21-28, 2014.

TRIANOSKI, R.; PICCARDI, A. B. R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de.; BONDUELLE, G. M. Incorporação de *Grevillea robusta* na Produção de Painéis Aglomerados de *Pinus*. **Floresta Ambiente**. v. 23, n. 2, 2016.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. The Southern Pines: An American Wood United States. **Department of Agriculture**. FS-256 11p. 1985.

USDA FOREST SERVICE. ***Pinus taeda***. Disponível em: <<http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/softwoodna/htmldocs/pinustaeda.html>> Acesso em: 08 out. 2002.

VENTURES, C. L. **Weather Spark**. O Clima Típico de Qualquer Lugar da Terra. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29805/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Otac%C3%ADlio-Costa-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em 06 de junho de 2019.

VILLELA FILHO, A. **Produção integrada florestas mercado**. In: III SIMADER. Seminário sobre processamento e Utilização de Madeiras de Reflorestamento. Curitiba, 13 e 14 de abril, 1994, p. 59 – 69.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**. v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

VIVIAN, M.A.; SEGURA, T. E. S.; JÚNIOR, E. A. B.; SARTO, C.; SCHMIDT, F.; JÚNIOR, F. G. da. S.; GABOV, K.; PEDRO FARDIM, P.; Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191, mar, 2015.

WEBER, E. M. **Caracterización física y mecânica de *Pinus taeda* origem Marion em plantaciones de diferentes edades y determinacion de usos potenciales, Misiones, Argentina**. Tese (Mestrado em Ciências da Madeira, Celulose e Papel) Universidade Nacional de Misiones – Faculdade de Ciências Florestais, Misiones 2005.

WEBER, P.; BUGMANN, H.; FONTI, P.; RIGLING, A. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. **Forest Ecology and Management**, v.254, p.96-106, 2008.

WIEDENHOEFT, A. C.; MILLER, R. B. Structure and Function of wood. In R. M. Rowell (ed.); **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**. v.18, p.375-393. 1962.

WINCK, R. A.; FASSOLA, H. E.; AREA, M.C. Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. **Madera Ciencia y Tecnología**. v.17, n.8, p. 391-406, 2015.

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da densidade básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio In: I SIMADERJ - SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Anais...** Seropédica, UFRRJ, 2008. 1 CD-ROM.

YAO, J. Influence of grown rate on specific gravity and other selected properties for Loblolly pine. **Wood Science Technology**, v. 4, p. 163-175, 1970.

ZHAO, D.; KANE, M.; TESKEY, R.; FOX, T. R.; ALBAUGH, T. J.; ALLEN, H. L.; RUBILAR, R. Maximum response of loblolly pine plantations to silvicultural management in the southern United States. **Forest Ecology and Management**. v.375, n.1, p.105-111, 2016.

ZHOU, C.; JIANG, W.; VIA, B. K.; CHETTY, P. M.; SWAIN, T. Monitoring the chemistry and monosaccharide ratio of *Eucalyptus dunnii* wood by near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**. v. 24, p. 537-548, 2016.

ZOBEL, B. J.; THORBJORNSEN, E.; HENSON, F. Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. **Silvae Genetica**, n. 9, p. 149-158, 1960.

ZOBEL, B. J.; KELLISON, R. C.; MATTHIAS, M. F.; HATCHER, A. V. Wood density of the southern pines. **Tech. Bull. 208**. North Carolina Agricultural Experiment Station. 56 p. 1972.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science Technology**, n. 18, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin, Springer-Verlag, 1989. 361 p.

ANEXO I – LEI Nº 5.106

Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA:

Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º As importâncias empregadas em florestamento e reflorestamento poderão ser abatidas ou descontadas nas declarações de rendimento das pessoas físicas e jurídicas, residentes ou domiciliados no Brasil, atendidas as condições estabelecidas na presente Lei.

§ 1º *(Revogado pelo Decreto-Lei nº 1.338, de 23/7/1974)*

§ 2º No cálculo do rendimento tributável previsto no art. 53 da Lei número 4.504, de 30 de novembro de 1964, não se computará o valor das reservas florestais, não exploradas ou em formação.

§ 3º As pessoas jurídicas poderão descontar do imposto de renda que devam pagar, até 50% (cinquenta por cento) do valor do imposto, as importâncias comprovadamente aplicadas em florestamento ou reflorestamento, que poderá ser feito com essências florestais, árvores frutíferas, árvores de grande porte e relativas ao ano-base do exercício financeiro em que o imposto for devido. *(Vide art. 26 do Decreto-Lei nº 81, de 21/12/1966) (Vide art.5 § 2º do Decreto-Lei nº 1.106, de 16/6/1970)*

§ 4º O estímulo fiscal previsto no parágrafo anterior poderá ser concedido, cumulativamente, com os de que tratam as Leis nºs 4.216, de 6 de maio de 1963, e 4.869, de 1 de dezembro de 1965, desde que não ultrapasse, em conjunto, o limite de 50% (cinquenta por cento) do impôsto de renda devido.

Art. 2º As pessoas físicas ou jurídicas só terão direito ao abatimento ou desconto de que trata este artigo desde que: *(Vide art. 3º da Lei nº 5.531, de 13/11/1968)*

a) realizem o florestamento ou reflorestamento em terras de que tenham justa posse, a título de proprietário, usufrutuários ou detentores do

domínio útil ou de que, de outra forma, tenham o uso, inclusive como locatários ou comodatários;

b) tenham seu projeto previamente aprovado pelo Ministério da Agricultura, compreendendo um programa de plantio anual mínimo de 10.000 (dez mil) árvores;

c) o florestamento ou reflorestamento projetados possam, a juízo do Ministério da Agricultura, servir de base à exploração econômica ou à conservação do solo e dos regimes das águas.

Art. 3º Os dispêndios correspondentes às quantias abatidas ou descontadas pelas pessoas físicas ou jurídicas, na forma do art. 1º desta Lei, serão comprovados junto ao Ministério da Agricultura, de cujo reconhecimento dependente a sua regularização, sem prejuízo da fiscalização específica do imposto de renda.

Art. 4º Para os fins da presente Lei, entende-se como despesas de florestamento e reflorestamento aquelas que forem aplicadas diretamente pelo contribuinte ou mediante a contratação de serviços de terceiros, na elaboração do projeto técnico, no preparo de terras, na aquisição de sementes, no plantio, na proteção, na vigilância, na administração de viveiros e flores e na abertura e conservação de caminhos de serviços.

Art. 5º Ficam revogados o art. 38 e seus §§ 1º e 2º da Lei nº 4.771 de 15 de setembro 1965 e o art. 40 e seus §§ 1º e 2º da Lei nº 4.862, de 20 de novembro de 1965.

Art. 6º Esta Lei entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 2 de setembro de 1966; 145º da Independência e 78º da República.

H. CASTELLO BRANCO
Octávio Bulhões
Severo Fagundes Gomes

ANEXO II – CROQUI DA ÁREA

BLOCO 1					BLOCO 2					BLOCO 3					BLOCO 4					BLOCO 5				
1	7	22	4		118	100	112	106		88	79	94	73		28	37	43	34		70	64	58	52	
20	14	5	23		120	97	114	103		90	84	96	78		30	39	45	36		72	66	60	54	
3	9	24	6		116	98	110	104		89	80	95	74		29	38	44	35		68	62	56	50	
19	13	16	10		102	115	108	109		82	85	76	91		46	31	25	40		49	55	61	67	
2	8	11	17		99	117	105	111		81	87	75	93		48	33	27	42		51	57	63	69	
21	15	18	12		101	119	107	113		83	86	77	92		47	32	26	41		53	59	65	71	
91	85	76	82		47	26	41	32		65	59	71	53		101	113	119	107		2	8	17	11	
74	80	95	89		28	43	34	37		58	64	52	70		118	106	100	112		19	13	10	16	
93	87	75	81		30	45	36	39		60	66	54	72		120	103	97	114		21	15	12	18	
73	79	94	88		48	27	42	33		63	57	69	51		99	111	117	105		3	9	6	24	
92	86	77	83		29	44	35	38		56	62	50	68		116	104	98	110		20	14	23	5	
78	84	96	90		46	25	40	31		61	55	67	49		102	109	115	108		1	7	4	22	
46	40	25	31		72	54	66	60		12	15	18	21		78	90	96	84		30	36	39	45	
29	35	44	38		53	71	59	65		17	8	11	2		92	83	77	86		47	41	32	26	
48	42	27	33		49	67	55	61		4	7	22	1		91	82	76	85		46	40	31	25	
28	34	43	37		70	52	64	58		10	13	16	19		73	88	94	79		28	34	37	43	
47	41	26	32		68	50	62	56		23	14	5	20		74	89	95	80		29	35	38	44	
30	36	45	39		51	69	57	63		6	9	24	3		93	81	75	87		48	42	33	27	
49	55	67	61		1	22	7	4		109	108	115	102		49	61	67	55		102	108	109	115	
68	62	50	56		3	24	9	6		111	105	117	99		51	63	69	57		99	105	111	117	
51	57	69	63		2	11	8	17		113	107	119	101		53	65	71	59		101	107	113	119	
70	64	52	58		20	5	14	23		104	110	98	116		68	56	50	62		116	110	104	98	
53	59	71	65		19	16	13	10		106	112	100	118		70	58	52	64		118	112	106	100	
72	66	54	60		21	18	15	12		103	114	97	120		72	60	54	66		120	114	103	97	
102	108	115	109		74	95	80	89		38	35	44	29		20	23	5	14		74	80	89	95	
116	110	98	104		91	76	85	82		31	40	25	46		1	4	22	7		91	85	82	76	
99	105	117	111		92	77	86	83		32	41	26	47		2	17	11	8		92	86	83	77	
118	112	100	106		78	96	84	90		39	36	45	30		21	12	18	15		78	84	90	96	
101	107	119	113		93	75	87	81		33	42	27	48		3	6	24	9		93	87	81	75	
120	114	97	103		73	94	79	88		37	34	43	28		19	10	16	13		73	79	88	94	

LEGENDA	
	Amostradas
	Mortas
	Inexistentes
	Quebrada/bifurcada

ANEXO III – MASSA ESPECÍFICA BÁSICA NAS SEIS ALTURAS AMOSTRAS

Gráfico - Valores médios da massa específica básica obtida por progênie amostrada - base

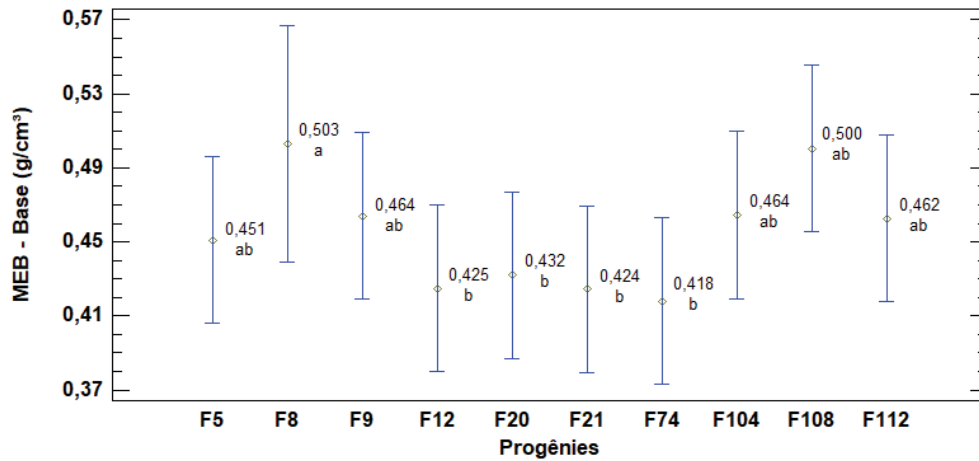


Gráfico - Valores médios da massa específica básica obtida por progênie amostrada - DAP

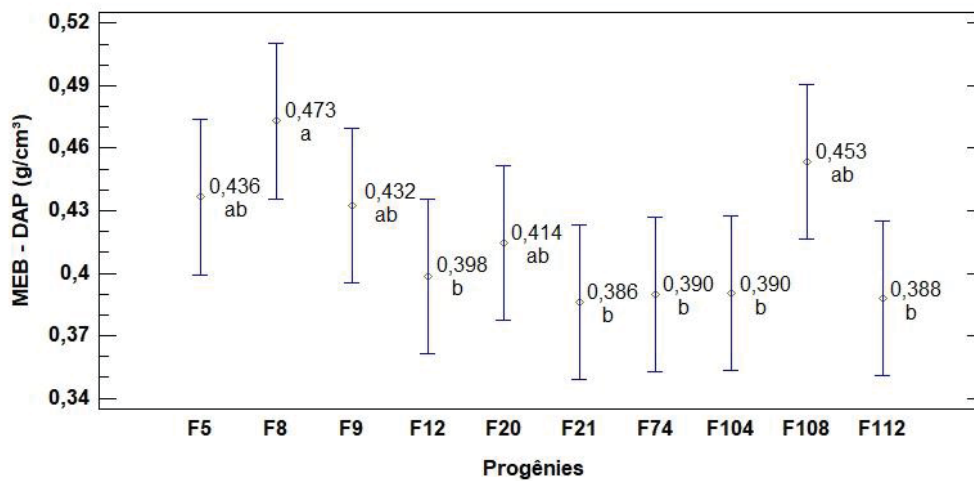


Gráfico - Valores médios de massa específica básica obtida por progênie amostrada - 25% da altura

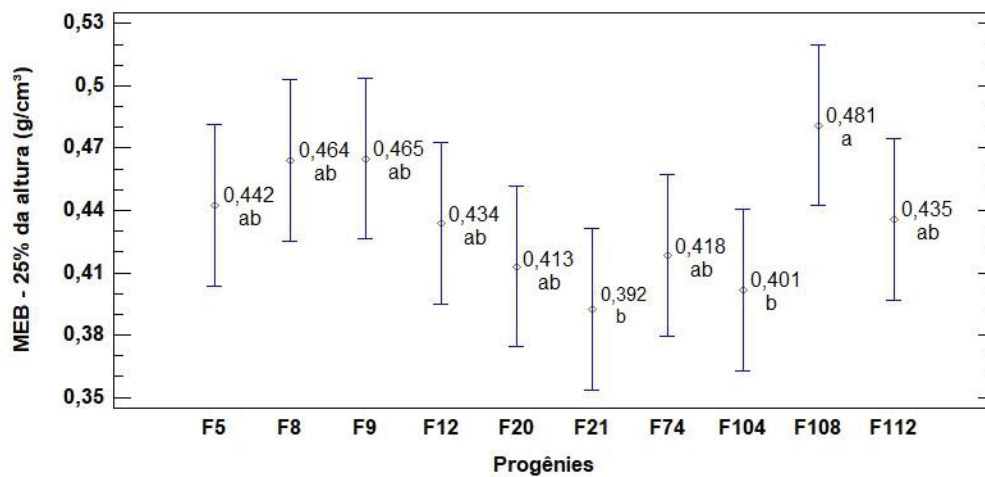


Gráfico - Valores médios da massa específica básica obtida por progênie amostrada - 50% da altura

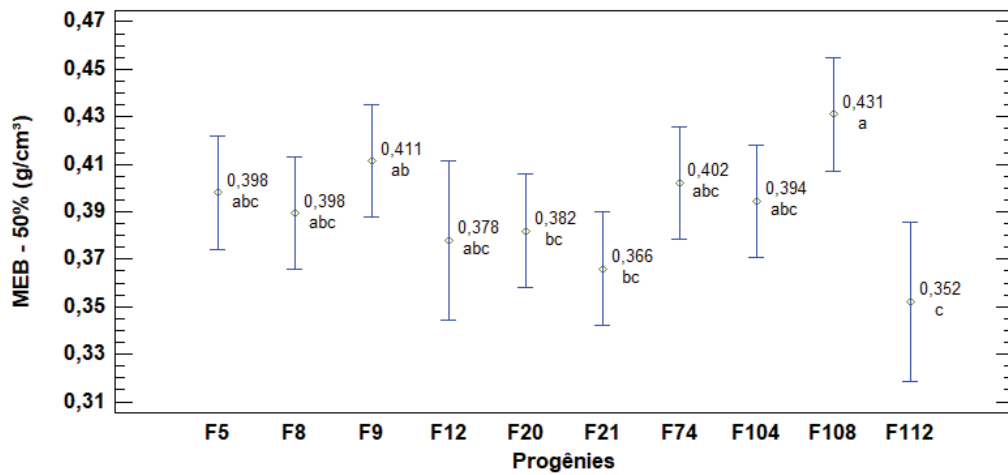


Gráfico - Valores médios de massa específica básica obtida por progênie amostrada - 75% da altura

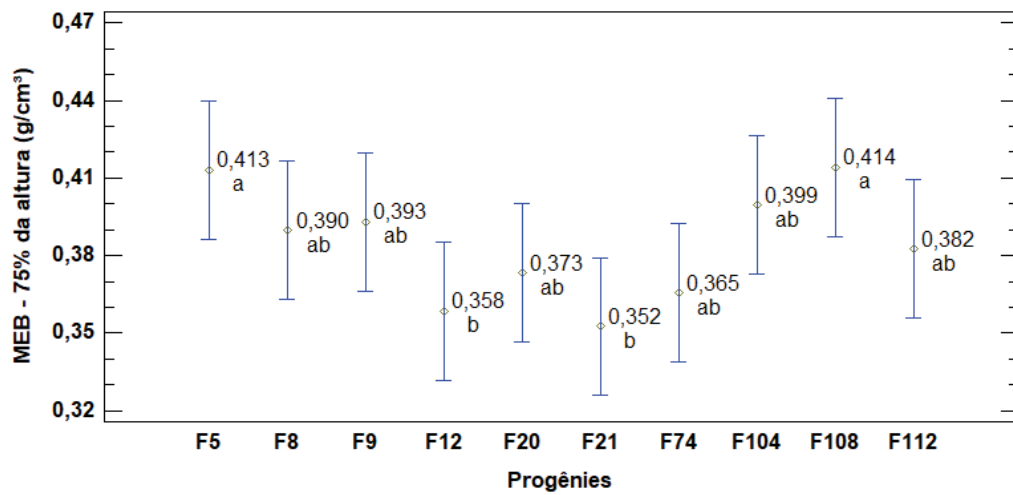


Gráfico - Valores médios de massa específica básica obtida por progênie amostrada - 100% da altura

