

ALAN SULATO DE ANDRADE

**QUALIDADE DA MADEIRA, CELULOSE E PAPEL EM *Pinus taeda* L.:
INFLUÊNCIA DA IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de “Mestre em Ciências Florestais”.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Moreschi

Co-Orientador: Prof. Dr. Umberto Klock

CURITIBA


2006

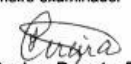


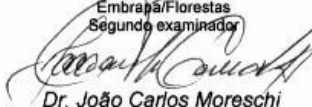
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa nº. 642

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando (a) *Alan Sulato de Andrade* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**QUALIDADE DA MADEIRA, CELULOSE E PAPEL EM *Pinus taeda* L.: INFLUÊNCIA DA IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

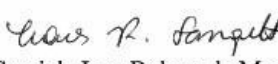

Dr. Washington Luiz Esteves Magalhães
Embrapa/Florestas
Primeiro examinador


Dr. José Carlos Duarte Pereira
Embrapa/Florestas
Segundo examinador


Dr. João Carlos Moreschi
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 24 de fevereiro de 2006.


Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-Coodenador do Curso

À minha família e aos meus verdadeiros amigos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná pela formação acadêmica.

Aos professores João Carlos Moreschi, Umberto Klock e Graciela Inês Bolzon Muñiz, pela amizade, incentivo, apoio, confiança e compreensão durante todo o desenvolvimento do estudo.

À empresa Klabin S.A., pela oportunidade, estrutura e apoio para a realização deste estudo, em especial a pesquisadora Ivone Satsuki Namikawa Fier.

A minha namorada Ana Paula Dalla Côrte, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu grande amigo José Anzaldo, pesquisador do Departamento de Madeira, Celulose e Papel da Universidade de Guadalajara pela grande ajuda prestada.

Aos meus amigos e companheiros dos Laboratórios de Química da Madeira e Polpa e Papel da Universidade Federal do Paraná.

A todos os amigos que, direta ou indiretamente, ajudaram no desenvolvimento do estudo.

Compartilho com todos VOCÊS mais esta vitória!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Alan Sulato de Andrade, filho único de Emanuel C. de Andrade e Rocha e Shirley R. Sulato, nasceu em 24 de dezembro de 1979 em Santo André, Estado de São Paulo.

Concluiu o ensino médio no Colégio Dom Bosco em Curitiba no ano de 1998.

Iniciou como acadêmico do Curso de Engenharia Industrial Madeireira na Universidade Federal do Paraná em 1999.

Participou como bolsista do programa de Iniciação Científica (CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) durante a graduação, tendo atuado e desenvolvido atividades nos Laboratórios de Polpa e Papel e Química da Madeira.

Graduou-se em 2004 como Engenheiro Industrial Madeireiro.

Ingressou em 2004 no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da mesma universidade, nível Mestrado, área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Participou durante os anos de 2004 a 2006 do Programa de Mestrado desenvolvido pela empresa Klabin S.A., tendo sido auxiliado com bolsa de estudo durante o período de desenvolvimento do projeto de Dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 OBJETIVO GERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 SÍTIOS FLORESTAIS.....	3
3.2 QUALIDADE DA MADEIRA.....	5
3.2.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	6
3.2.1.1 HOLOCELULOSE.....	6
3.2.1.2 LIGNINA.....	7
3.2.1.3 EXTRATIVOS.....	8
3.2.1.4 MATERIAL INORGÂNICO.....	8
3.2.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	9
3.2.2.1 TIPOS DE LENHOS.....	9
3.2.2.2 DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES.....	12
3.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA.....	13
3.2.3.1 DENSIDADE BÁSICA.....	13
3.2.3.2 UMIDADE.....	15
3.3 PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL.....	16
3.3.1 OBTENÇÃO DE POLPA CELULÓSICA.....	16
3.3.2 PROCESSO DE REFINAÇÃO.....	17
3.3.3 PRODUÇÃO DE PAPEL.....	18
3.4 ESTATÍSTICA.....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 MATERIAL.....	22
4.2 MÉTODOS.....	28
4.2.1 DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA.....	28
4.2.1.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	28
4.2.1.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	29
4.2.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA.....	29
4.2.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA.....	30
4.2.3 PROCESSO DE REFINAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA.....	32
4.2.4 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PAPEL.....	32
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1 QUALIDADE DA MADEIRA.....	36
5.1.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	36
5.1.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	44
5.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA.....	50
5.2 PROPRIEDADES DA POLPA CELULÓSICA.....	54
5.3 PROPRIEDADES DO PAPEL.....	65
5.3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.....	65
5.3.2 PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.....	70

6	CONCLUSÕES	81
7	RECOMENDAÇÕES.....	82
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	83
	ANEXOS.....	91
	ANEXO 1	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE.....	23
TABELA 2 – RELAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DA MADEIRA.....	28
TABELA 3 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NOS COZIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	30
TABELA 4 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA REFINAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA.....	32
TABELA 5 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DAS FOLHAS DE PAPEL.....	32
TABELA 6 – RELAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.....	33
TABELA 7 – ESTATÍSTICAS DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS AVALIADAS NO ESTUDO.....	36
TABELA 8 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	40
TABELA 9 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE DA ÁRVORE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	40
TABELA 10 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	42
TABELA 11 – ANÁLISE SOBRE O EFEITO DA INTERAÇÃO DA IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.....	43
TABELA 12 – ESTATÍSTICAS DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA AVALIADAS NO ESTUDO.....	44
TABELA 13 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	47
TABELA 14 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE DA ÁRVORE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	47
TABELA 15 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	49
TABELA 16 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DE DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA AVALIADAS NO ESTUDO.....	50
TABELA 17 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA SOBRE A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	51
TABELA 18 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	52
TABELA 19 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	53
TABELA 20 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DAS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA AVALIADAS NO ESTUDO.....	54
TABELA 21 – RESUMO da ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA.....	57
TABELA 22 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA.....	57

TABELA 23 – VALORES MÉDIOS OBSERVADOS DAS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA DENTRO DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE.....	59
TABELA 24 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DOS PARÂMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL AVALIADOS NO ESTUDO...	60
TABELA 25 – RESUMO da ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE OS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL, POR ANOVA A 95% DE CONFIABILIDADE.....	61
TABELA 26 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE OS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL.....	62
TABELA 27 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE OS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL.	63
TABELA 28 – ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE A IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE DOS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL	64
TABELA 29 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL AVALIADAS NO ESTUDO.....	65
TABELA 30 – RESUMO DA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE OS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.....	67
TABELA 31 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.	68
TABELA 32 – Análise da INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.	69
TABELA 33 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES das PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL AVALIADOS NO ESTUDO.....	71
TABELA 34 – RESUMO da ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.....	76
TABELA 35 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.....	77
TABELA 36 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
FIGURA 2 – MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE PARA o <i>Pinus taeda</i>	23
FIGURA 3 – VISTA PARCIAL DE UM PLANTIO COM 8 ANOS DE IDADE.	24
FIGURA 4 – VISTA PARCIAL DE UM PLANTIO COM 14 ANOS DE IDADE.	24
FIGURA 5 – VISTA PARCIAL DE UM PLANTIO COM 20 ANOS DE IDADE.	24
FIGURA 6 – VISTA PARCIAL DO MOMENTO DA DERRUBADA DAS ÁRVORES SELECIONADAS PARA O ESTUDO.	25
FIGURA 7 – VISTA PARCIAL DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO ESTUDO.....	25
FIGURA 8 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA AMOSTRAGEM REALIZADA.	26
FIGURA 9 –AMOSTRA DO MATERIAL BOTÂNICO REGISTRADO EM HERBÁRIO.	27
FIGURA 10 – VISTA PARCIAL DOS CAVACOS UTILIZADOS NO ESTUDO.	27
FIGURA 11 – VISTA PARCIAL DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DA POLPA CELULÓSICA.....	31
FIGURA 12 – VISTA PARCIAL DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE REFINAÇÃO E FORMAÇÃO DAS FOLHAS DE PAPEL.	33
FIGURA 13 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE HOLOCELULOSE OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	38
FIGURA 14 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE LIGNINA OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	38
FIGURA 15 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE EXTRATIVOS TOTAIS OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	39
FIGURA 16 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE MATERIAL INORGÂNICO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	39
FIGURA 17 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	45
FIGURA 18 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE LARGURA DOS TRAQUEÓIDES OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	46
FIGURA 19 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE LENHO TARDIO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	46
FIGURA 20 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	51
FIGURA 21 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE RENDIMENTO BRUTO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	55
FIGURA 22 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE TEOR DE REJEITOS OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	55
FIGURA 23 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE RENDIMENTO DEPURADO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	56
FIGURA 24 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE VISCOSIDADE OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	56
FIGURA 25 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE SÓLIDOS NO LICOR NEGRO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.	60
FIGURA 26 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÁLCALI RESIDUAL DO LICOR NEGRO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.	61
FIGURA 27 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DAS FOLHAS DE PAPEL OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	66

FIGURA 28 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE APARENTE DAS FOLHAS DE PAPEL OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	66
FIGURA 29 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE VOLUME APARENTE DAS FOLHAS DE PAPEL OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	67
FIGURA 30 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DE AUTO-RUPTURA OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	73
FIGURA 31 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE TRAÇÃO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	74
FIGURA 32 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	74
FIGURA 33 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RASGO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	75
FIGURA 34 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.....	75

RESUMO

O setor produtivo de polpa celulósica e papel vêm contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento sócio-econômico do Brasil. Diversas características podem ser mencionadas para explicar este fato, dentre elas o desenvolvimento de modernas tecnologias que geram florestas com qualidade e produtos de alto valor agregado. Estes pontos possibilitaram às empresas alcançar padrões internacionais de qualidade, produtividade e de proteção ao meio ambiente, nas operações florestais e nos processos industriais empregados. Desta forma, a busca por informações precisas a serem utilizadas nestas operações serão um diferencial para um planejamento seguro. Estabeleceu-se como objetivo geral deste estudo avaliar a influência da idade e classe de produtividade sobre a qualidade da madeira e as propriedades da celulose e do papel em plantios comerciais de *Pinus taeda* L. As árvores amostradas neste estudo foram provenientes de áreas de reflorestamento da Fazenda Monte Alegre pertencentes à empresa Klabin S.A., localizada no município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. A amostragem foi realizada em plantios comerciais de mesmo grau de melhoramento genético, com 8, 14 e 20 anos de idade, abrangendo três classes de produtividade. As características químicas (holocelulose, lignina, extrativos totais e material inorgânico), anatômicas (dimensões dos traqueóides e porcentagem de lenho tardio) e físicas (densidade básica e umidade) da madeira foram determinados. O processo Kraft de obtenção de celulose (rendimentos, rejeito, número kappa, viscosidade, sólidos e álcali residual do licor negro) e as propriedades do papel (gramatura, umidade, espessura, densidade aparente, volume aparente, comprimento de auto-ruptura, índice de tração, índice de arrebentamento, índice de rasgo e índice de rigidez) foram avaliados. Os valores observados foram submetidos a análise de variância fatorial (ANOVA). Com base nestas avaliações, variações significativas na qualidade da madeira, no processo de obtenção de celulose e nas características do papel em função da variação da idade e classe de produtividade foram observadas. Desta forma, pode-se concluir que a idade e a classe de produtividade condicionaram e exerceram grande influência sobre a qualidade da madeira e as propriedades da celulose e do papel.

Palavras-Chave: qualidade da madeira, celulose e papel, *Pinus taeda* L., idade, classe de produtividade.

ABSTRACT

The pulp and paper productive sector comes contributing in an expressive way to the socioeconomic development of Brazil. Many characteristics can be mentioned to explain this fact, amongst them the modern technologies development that generate since forests with quality until products of high aggregate value. These points facilitated to the companies to reach products with international quality patterns, high productivity and environment protection, in the forest operations and the used industrial processes. In this way, the search for precise information will be a differential for a safe planning. The goal of this study was to evaluate the productivity class influence on the wood quality and on pulp and paper properties from plantations of *Pinus taeda* L. The trees used in this study were sampled in reforestation areas of Klabin S.A - Monte Alegre Farm - located in the municipal district of Telémaco Borba, State of Paraná. The sampling was accomplished in commercial plantations with same degree of genetic improvement, with ages of 8, 14 and 20 years old, embracing three productivity classes. The wood chemical characteristics (holocellulose, lignin, extractives and inorganic material), anatomical (fibers dimensions and latewood percentage) and physical (specific gravity and moisture content) of wood were determined. The e Kraft process for pulping (yield, reject content, kappa number, viscosity, solids and residual alkali in the black liquor) and the paper properties (grammage, humidity, thickness, apparent density, bulk, breaking length, tensile index, burst index, tear index and stiffness index) were evaluated. The obtained values were submitted the factorial analysis of variance (ANOVA). With base in these evaluations, significant variations in the quality of the wood, the process of cellulose attainment and in the characteristics of the paper in function of the variation of the age and classroom of productivity had been observed. This way, it can be concluded that the age and the productivity class conditioned and exercised great influence on the wood quality and the properties of the pulp and of the paper.

Key-Word: wood quality, pulp and paper, *Pinus taeda* L., age, productivity class.

1 INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de polpa celulósica e papel vêm contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento sócio-econômico do país. A medida desse desempenho pode ser visualizada observando sua representatividade frente ao Produto Interno Bruto nacional no ano de 2005 (BRACELPA, 2006; IBGE, 2006).

Este mesmo setor passou a desenvolver uma sofisticada tecnologia florestal para atingir alta produtividade em seus plantios, sendo hoje abastecida exclusivamente por florestas plantadas, que apresentam características adequadas para o processamento industrial. Um exemplo típico dessa tendência é o que ocorre com a espécie *Pinus taeda*, principal fonte de matéria-prima de fibra longa para produção de papéis, principalmente destinados a embalagens.

Com o crescente aumento da produção de celulose e papel, as empresas devem ser cada vez mais eficientes, quanto aos seus empreendimentos florestais e processos industriais empregados, pois estes devem se basear na utilização de informações seguras, precisas e diretamente relacionadas ao produto final para continuarem sendo competitivas no mercado.

Cada vez mais, as empresas produtoras de celulose e papel passam a se preocupar em tomar decisões no sentido de tirar o máximo proveito da matéria-prima disponível e de otimizar seus processos produtivos.

Desta forma, a busca pelo conhecimento da qualidade da madeira produzida em uma floresta deve ser considerado de extrema importância pelas empresas, principalmente devido ao fato de que esse fator está estreitamente ligado ao rendimento dos processos e as características dos produtos finais.

Uma série de fatores já foram objetos de estudo de diversos pesquisadores, como por exemplo, a influência da silvicultura, manejo e de fatores ambientais sobre a qualidade da madeira. Porém, poucos estudos foram conduzidos na amplitude e profundidade desejada para o entendimento da influência do crescimento em regiões diferenciadas de produtividade da espécie *Pinus taeda* sobre as propriedades da madeira e seus reflexos sobre as características finais da celulose e principalmente do papel. Diante desse fato, o conhecimento e a busca dessas informações tornam-se indispensáveis para a tomada de decisões corretas dentro do planejamento estratégico de uma empresa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da idade e da classe de produtividade sobre a qualidade da madeira e as propriedades da celulose e do papel em plantios comerciais de *Pinus taeda* L., localizadas na região do município de Telêmaco Borba, no Estado do Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram propostos:

- Avaliar a qualidade da madeira mediante a determinação de suas principais características químicas, anatômicas e físicas.
- Avaliar as características da celulose Kraft obtida em laboratório.
- Avaliar folhas de papel produzidas em laboratório mediante suas características físicas e de resistência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SÍTIOS FLORESTAIS

Diversos autores definiram o conceito de sítios florestais. Dentre as principais definições aparecem as de DAVIS (1966) e SCOLFORO (1998), caracterizando o sítio como a capacidade produtiva de uma área, combinado com fatores bióticos, climáticos e condições do solo.

Outra definição também muito difundida é a de SCHONAU (1987) que descreve o sítio como uma unidade geográfica uniforme caracterizada por uma certa combinação estável dos fatores do meio e como um fator de produção primário uniforme capaz de produzir madeira ou produtos florestais a ele associados.

Conforme SCOLFORO (1998) a determinação da qualidade do sítio é uma prática comum no manejo florestal para classificar igualmente os povoamentos segundo sua capacidade produtiva. Conseqüentemente a qualidade do sítio afeta as variáveis dendrométricas comumente medidas, como: diâmetro, altura, área basal e volume. Sendo que, de maneira geral, estes fatores aumentam quanto mais produtivos forem os sítios.

DAVIS e JOHNSON (1987) acrescentam que a produtividade de uma área de produção de madeira é mensurada pela máxima quantidade em volume que o local pode produzir dado um determinado intervalo de tempo.

A determinação da produtividade dos sítios florestais é fator básico, na condução de povoamentos e no planejamento da produção de madeira de uma empresa florestal (SELLE et al., 1994).

As classes de produtividade podem ser classificadas utilizando-se de métodos diretos que fornecem informações quantitativas ou métodos indiretos que fornecem informações qualitativas. Os métodos diretos (aqueles mais utilizados na classificação dos sítios nos plantios existentes no Brasil) são o que se baseiam nas alturas dominantes do povoamento florestal. Porém esta classificação pode ainda ser desenvolvida através de um conjunto de fatores associados como: tipo de solo, características químicas do solo, incrementos em volume, entre outros (DAVIS e JOHNSON, 1987; SCOLFORO, 1998).

A produtividade do sítio é regulada entre outros fatores, pela quantidade e disponibilidade de materiais abióticos 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 (SWITZER, 1978; citado por GONÇALVES et al., 1990; GONÇALVES e BENEDETTI, 2000).

GESSEL (1986) corrobora neste mesmo sentido afirmando que a produtividade de uma área florestal depende de fatores como o clima, tipo de solo e altitude em relação ao nível do mar da área.

Muitos autores relatam que o sítio interfere diretamente na qualidade da madeira (ZOBEL et al., 1960; LANTZ e HOFMANN, 1969; ZOBEL et al., 1972; todos citados por LARSON et al. 2001).

SCHULTZ (1997) relatou que as características dos sítios afetaram a densidade básica da madeira e as dimensões dos traqueóides em seu estudo; o autor relatou que árvores provenientes de sítios mais produtivos apresentaram menor densidade básica e alterações nas dimensões dos traqueóides, quando comparados a madeira proveniente de sítios de menor produtividade.

BIERMANN (1996) também estudando este assunto, relatou que as árvores que possuíam crescimento mais lento, ou seja, que se desenvolvem em sítios pouco produtivos, tenderam a apresentar traqueóides com comprimento maior e baixo teor de lignina na composição da madeira.

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 diz que as intervenções silviculturais e de manejo também contribuem para as desigualdades tecnológicas da madeira.

3.2 QUALIDADE DA MADEIRA

Diversos autores definiram o termo “qualidade da madeira” em estudos anteriores. Entre os mais recentes, ROZENBERG e CAHALAN (1997) afirmaram que o termo é utilizado para se expressar um conjunto de características relacionadas a uma determinada utilização. Já BIERMANN (1996) define o termo como sendo a adequação da madeira para um determinado propósito.

NISGOSKI (2005) ressalta que a qualidade da madeira pode ser definida com base nos atributos que a fazem valiosa para um determinado uso final.

PUNCHES (2004) relata que a qualidade da madeira é composta por muitas características e é avaliada corretamente somente quando é relacionada a uma aplicação específica.

Assim dependendo da utilização da madeira, diversas características podem ser levadas em consideração para a determinação de sua qualidade. PUNCHES (2004) exemplifica esta situação, onde, se o objetivo for caracterizar a qualidade da madeira para a utilização em estruturas, informações como a resistência, dureza e estabilidade dimensional seriam pertinentes, enquanto a madeira para projetos arquitetônicos poderia requerer a determinação de padrões de grã específicos ou cor. Na indústria de celulose e papel, a qualidade de madeira poderia estar fundamentada na caracterização das dimensões de fibras, densidade e na avaliação de componentes químicos como a de celulose e lignina.

BARRICHELO e BRITO (1979) e MIMMS (1993) afirmam que informações sobre os parâmetros químicos, físicos e anatômicos são essenciais para o direcionamento da produção de celulose e papel, pois cada um destes pode influenciar os processos positivamente ou negativamente e em graus distintos.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

A madeira é constituída por diferentes substâncias. Seus principais componentes químicos são a holocelulose (fração composta por celulose e hemiceluloses), lignina, extrativos e compostos inorgânicos, sendo que os dois últimos se apresentam em menores quantidades (MIMMS, 1993; FENGEL e WEGENER, 1989).

HON e SHIRAIISHI (2000) afirmam que os componentes químicos da madeira se apresentam dispersos e em concentrações distintas dependendo do tecido, elemento ou região avaliada. Os mesmos autores relatam a importância do conhecimento das propriedades químicas para a utilização da madeira.

DUEÑAS (1997) enfatiza a importância do conhecimento das propriedades químicas da matéria-prima que será utilizada nos processos para obtenção de polpa celulósica e produção de papel, pois a composição química e as propriedades destes componentes representam um papel importante nos processos (MIMMS, 1993).

3.2.1.1 HOLOCELULOSE

O termo holocelulose compreende essencialmente o conteúdo total de polissacarídeos da madeira representada pela fração de celulose e hemiceluloses (DUEÑAS, 1997).

A celulose é o componente químico majoritário na madeira, trata-se de um polímero linear de alto peso molecular, constituído por unidades monoméricas de β -D-glucose, cuja função na parede celular é estrutural (SJÖSTRÖM, 1981).

De maneira geral, a madeira proveniente de espécies de coníferas apresentam valores menores deste componente quando comparados às folhosas (MIMMS, 1993; DUEÑAS, 1997; MARK et al., 2001).

O termo celulose no Brasil e em alguns outros países, possui duplo significado. O significado químico corresponde à celulose que é formada por uma cadeia linear de unidades de anidroglicose, como descrito anteriormente. O significado técnico corresponde à celulose como sendo o produto do desfibramento ou da deslignificação total ou parcial de materiais fibrosos, sendo comum também se aplicar ao significado técnico da celulose as denominações polpa celulósica, polpa, pasta e massa.

As hemiceluloses, também chamadas de polioses, se encontram em estreita associação com a celulose na parede celular, possuem cadeias mais curtas; isto significa um grau de polimerização menor quando comparado à celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos. Cinco açúcares são os principais constituintes das hemiceluloses: glicose, manose e galactose, xilose e arabinose. As hemiceluloses diferem em quantidade e tipo entre espécies de coníferas e folhosas, sendo que as últimas possuem valores superiores (IPT, 1988; FENGEL e WEGENER, 1989; MIMMS, 1993; DUEÑAS, 1997).

3.2.1.2 LIGNINA

As moléculas de lignina são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenil-propano (BIERMANN, 1996; DUEÑAS, 1997).

A lignina é uma substância amorfa localizada principalmente na lamela média, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (IPT, 1988; FENGEL e WEGENER, 1989).

A determinação do conteúdo de lignina é importante para análise da madeira, bem como para a caracterização de polpas celulósicas. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. Sua remoção é o principal objetivo dos processos de obtenção de polpa celulósica e branqueamento. A determinação do conteúdo de lignina na madeira e na polpa celulósica proporciona informações para avaliação e aplicação em processos. Aspectos como rendimento, branqueabilidade e alvura são propriedades da polpa celulósica associadas com o conteúdo da lignina (FENGEL e WEGENER, 1989; MIMMS, 1993; DUEÑAS, 1997).

3.2.1.3 EXTRATIVOS

Além da holocelulose e lignina, existem diversas outras substâncias nos vegetais que variam de maneira notável entre as diferentes espécies. Os extrativos ou materiais acidentais são, freqüentemente, responsáveis por determinadas características como cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas da madeira (IPT, 1988).

Os compostos extraíveis são geralmente caracterizados por terpenos, compostos alifáticos e compostos fenólicos quando presentes. Os extrativos são compostos químicos presentes em pequena quantidade na madeira e são extraídos mediante a sua solubilização em solventes. Podem ser quantificados e isolados com o propósito de um exame detalhado da estrutura e composição da madeira (FENGEL e WEGENER, 1989; DUEÑAS, 1997).

Teores elevados ou extrativos menos solúveis são prejudiciais pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação, formar incrustações em diversos equipamentos, dificultar a depuração e branqueamento da polpa celulósica e gerar manchas no papel produzido (FENGEL e WEGENER, 1989; MIMMS, 1993).

3.2.1.4 MATERIAL INORGÂNICO

O material inorgânico (cinzas) da madeira corresponde aos componentes minerais dos vegetais que variam muito entre as diferentes espécies e entre os indivíduos de uma mesma espécie, sendo alguns destes minerais considerados essenciais para o desenvolvimento fisiológico da árvore. Os principais componentes inorgânicos da madeira são constituídos, principalmente, de carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos, de potássio, cálcio e magnésio. (IPT, 1988; FENGEL e WEGENER, 1989, DUEÑAS, 1997).

3.2.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA

A madeira de espécies de coníferas é caracterizada por apresentarem uma estrutura anatômica relativamente bem simples, sendo constituídas basicamente por dois tipos de células: células de raio e traqueóides axiais. Os traqueóides axiais constituem cerca de 90% a 95% da madeira, enquanto que as células de raio compreendem uma faixa entre 5% e 10% (SJÖSTROM, 1981).

Diversos autores mostram a importância do conhecimento das características anatômicas da madeira e sua influência sobre as características da polpa celulósica e do papel (IPT, 1988; MIMMS, 1993; BIERMANN, 1996; DUEÑAS, 1997; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003; NIGOSKI, 2005).

3.2.2.1 TIPOS DE LENHOS

A árvore não produz exatamente o mesmo tipo de células durante seu desenvolvimento. Durante a fase inicial de seu desenvolvimento o lenho juvenil é formado. Este lenho apresenta características distintas do lenho adulto que é formado numa fase posterior do seu desenvolvimento (MIMMS, 1993).

A madeira formada próxima à medula é justamente a madeira mais velha dentro de uma árvore; entretanto, como ela é formada no período de juvenilidade da árvore, parece apropriado se referir a ela como lenho juvenil, enquanto a madeira mais externa recebe a denominação de lenho adulto. Este fenômeno é mais notado nas espécies de coníferas do que em folhosas (FOELKEL et al., 1976).

LARSON et al. (2001) relatam que a madeira juvenil é comumente definida como a zona que se estende no sentido radial da medula para a casca, formando um cilindro central onde as características da madeira apresentam mudanças rápidas e progressivas em sucessivos anéis anuais de crescimento, sendo a madeira formada além desta região chamada de madeira adulta.

ZOBEL e BUIJTENEN (1989) relatam que não há uma mudança absoluta do lenho juvenil para o lenho adulto num curto intervalo de tempo, mas sim em vários anos. Assim, quase todas as propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona juvenil, são muito variáveis e praticamente constantes na madeira adulta.

A passagem do lenho juvenil para o adulto é gradativa, desta forma diversas características, tais como as dimensões dos traqueóides, densidade básica e resistência vão se modificando até atingirem uma certa estabilidade no lenho adulto (BENDTSEN, 1978).

Existem várias referências na literatura internacional e nacional que ressaltam que as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira formada nos primeiros anos de vida das árvores são diferentes e muitas vezes inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore (FOEKEL et al., 1976; BALLARIN e PALMA, 2003).

LARSON et al. (2001) relatam que o lenho juvenil difere do lenho adulto em diversos aspectos, ao apresentar menor porcentagem de lenho tardio, menor densidade básica, traqueóides mais curtos com maiores ângulos microfibrilares e ocasionalmente quantidades desproporcionais de lenho de compressão, padrões distorcidos da grã e depósitos de resina.

Outros autores também observaram diferenças existentes entre a madeira formada pelo lenho juvenil quando comparado ao lenho adulto, dentre as quais vale destacar: comprimento inferior das fibras, paredes mais estreitas, maior porcentagem de lenho primaveril, conseqüentemente menor proporção de lenho outonal, densidade básica inferior, menor conteúdo de holocelulose, maior conteúdo de lignina e anéis de crescimento maiores (FOEKEL et al., 1976; BIERMANN, 1996; MIMMS, 1993).

Por causa da diferença entre as propriedades entre o lenho juvenil e adulto, cavacos provenientes de árvores jovens quando processados visando à produção de polpa celulósica e papel não apresentam as mesmas características quando comparados com cavacos obtidos de árvores adultas (MIMMS, 1993).

Uma desvantagem observada na utilização de cavacos provenientes de lenho juvenil em processo Kraft é devido ao fato que se obtém ao final deste um menor rendimento e um acréscimo na quantidade de álcali consumido. Uma das razões para isto é o baixo conteúdo de celulose e alto teor de lignina (MIMMS, 1993).

BURGER e RICHTER (1991) relatam que nas coníferas, os anéis de crescimento distinguem-se normalmente em duas partes: o lenho inicial correspondente ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente na primavera, quando as plantas despertam do período de dormência em que se encontravam, reassumindo suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células da madeira formada nesta ocasião caracterizam-se por suas paredes finas e lumes de maior diâmetro, que lhes conferem em conjunto uma coloração clara. Com a aproximação do fim do período vegetativo, normalmente outono, as células vão diminuindo gradativamente sua atividade fisiológica. Em consequência deste fato, suas paredes vão se tornando gradativamente mais espessas e seus lumes de menor diâmetro, distinguindo-se do lenho anterior por apresentar, em conjunto, uma tonalidade mais escura (lenho tardio).

Nas coníferas, a porcentagem dos diferentes lenhos talvez constitua o fator morfológico mais importante a influenciar as características do papel, tais como resistência, porosidade, capacidade de absorver água entre outros (BURGER e RICHTER, 1991).

BIERMANN (1996) enfatiza que a relação entre os lenhos inicial e tardio é um fator importante na produção de polpa celulósica e papel. O mesmo autor ainda afirma que árvores que crescem em condições restritivas, ou seja, com um menor desenvolvimento, apresentam maiores proporções de lenho tardio, característica esta que pode afetar a qualidade do papel.

Além dos lenhos citados, em algumas situações durante o desenvolvimento de árvores sob efeito de esforços externos contínuos, formam-se tipos especiais de lenho, provavelmente devido a um estímulo assimétrico de hormônios de crescimento, visando compensar este esforço, sendo chamados de lenhos de reação, com características distintas dos demais. Nas coníferas este lenho é chamado de lenho de compressão enquanto nas folhosas ocorre o lenho de tração (BURGER e RICHTER, 1991).

3.2.2.2 DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES

Os traqueóides axiais comumente chamados de fibras são células alongadas, fusiformes, com extremidades afinadas e dotadas de pontuações que permitem a passagem de líquidos entre as células. Cumpre a dupla função de transportar líquidos e servir de sustentação à estrutura lenhosa. Os traqueóides correspondem às células de maior comprimento nas coníferas (BURGER e RICHTER, 1991; DUEÑAS, 1997).

DUEÑAS (1997) relata em seu trabalho que os traqueóides possuem dimensões que podem variar entre 2,50 mm e 3,80 mm para o comprimento e larguras que podem oscilar de 20 μm a 70 μm , porém, variações maiores são encontradas na literatura.

Estas variações são demonstradas em estudos desenvolvidos por diversos autores, dentre MORESCHI (1975), MUÑIZ (1993), KLOCK (2000), HASSEGAWA (2003) e NIGOSKI (2005).

BIERMANN (1996) e KLOCK (2000), por exemplo, afirmam que as dimensões dos traqueóides variam consideravelmente nas diferentes regiões de uma mesma árvore.

PANSHIN e DE ZEEUW (1980), citados por BIERMANN (1996), estudando este tópico, constataram grande variação dos comprimentos dos traqueóides nos sentidos radial e longitudinal para as coníferas; as variações encontradas foram de 2,50 mm a 4,00 mm. Os mesmos autores mostram que os comprimentos dos traqueóides possuíam tendência de aumento em função do aumento da idade das árvores.

KLOCK et al. (2002) verificaram grande variação no sentido radial nas dimensões dos traqueóides, de 2,35 mm a 3,44 mm para o comprimento, 37,6 μm a 43,9 μm para a largura e 3,89 μm a 9,17 μm para a espessura de parede, estudando a madeira juvenil em *Pinus taeda*. RIGATTO et al. 2004, determinaram valores entre 3,38 mm a 3,47 mm para o comprimento, 41,94 μm a 43,08 μm para largura e 4,2 μm a 4,8 μm para a espessura de parede também para a mesma espécie.

MIMMS (1993) e BIERMANN (1996) ressaltam a importância do conhecimento das dimensões dos traqueóides e seus reflexos sobre as propriedades do papel. Assim folhas de papel formadas com traqueóides com comprimentos, larguras ou espessuras de paredes diferentes apresentam propriedades físicas e de resistência distintas.

BURGER e RICHTER (1991) afirmam que as dimensões dos traqueóides são responsáveis pelas coníferas serem conhecidas como fontes produtoras de papel de alta qualidade. PAINE e PAINE (1993) afirmam que as coníferas possuem grande potencial para a produção de papel de alta resistência.

Diversos autores já desenvolveram estudos sobre a influência das dimensões dos traqueóides sobre as características da polpa celulósica e do papel (FOEKEL et al., 1976; UFPR, 1979; MIMMS, 1993; BIERMANN, 1996).

3.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA

Devido ao seu caráter de origem natural, a madeira apresenta propriedades físicas distintas, ou seja, com um elevado grau de variabilidade. Essa variação é parte resultante da interação entre o crescimento e outras variáveis, entre elas o clima, solo, disponibilidade de água e de nutrientes (BODIG, 1993).

3.2.3.1 DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica pode ser definida como a razão da massa completamente seca dividida pelo volume em estado saturado de uma amostra (KOLLMANN, 1959; BIERMANN, 1996).

Esta é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Portanto, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, pelas interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes químicos presentes na mesma (PANSIN e DE ZEEUW, 1980).

FERREIRA e KAGEYAMA (1978), citados por BERGER (2002), afirmam que a densidade da madeira pode variar significativamente entre árvores de uma mesma população, sendo esta variação mais importante do que as variações entre populações de uma mesma localidade ou de localidades diferentes.

KOLLMANN (1959) ressalta a importância da densidade da madeira, pois esta serve como referência de qualidade, podendo ser também um fator de decisão para a utilização da madeira.

SHIMOYAMA (1990), citado por BERGER (2002), ressalta a importância da densidade básica no rendimento e no custo dos processos de produção de polpa celulósica, pois para espécies que possuem alta densidade, há uma menor dificuldade de manuseio por haver menor volume de toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa. Assim, a capacidade da unidade de cozimento é aumentada em massa com o aumento da densidade básica, levando a um aumento do potencial de produção da indústria. Porém, o aumento do valor de densidade básica é acompanhado por uma maior dificuldade no processo de conversão das toras em cavacos, aumento no consumo de reagentes, dificuldade de impregnação e deslignificação, podendo levar a uma maior quantidade de rejeitos no processo de obtenção de polpa celulósica.

MIMMS (1993) ressalta que a principal influência da densidade se faz sentir no rendimento volumétrico do processo, penetração do licor de cozimento, tempo de cozimento e qualidade da polpa celulósica e do papel produzido.

Para a indústria, a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação do rendimento do processo de obtenção de celulose, além do comportamento de algumas propriedades físicas e de resistência da celulose resultante (BUSNARDO et al., 1983, citados por BERGER, 2002).

3.2.3.2 UMIDADE

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente em uma amostra em relação a sua massa (KOLLMANN, 1959; BIERMANN, 1996).

Diversos autores enfatizam a importância do conhecimento e o controle da umidade, entre eles BIERMANN (1996), que ressalta a influência dessa característica nos custos de transporte e comercialização de matéria-prima. A influência é observada em situações onde a compra de cavacos ou toras é realizada por peso, desta forma, quanto maior for a umidade do material, menor será a quantidade de matéria-prima adquirida.

KOCUREK (1992) relata que a influência da umidade pode ser verificada no momento da conversão de toras em cavacos, pois a diminuição drástica do valor da umidade é acompanhada por um maior consumo de energia e um desgaste prematuro das facas nos equipamentos deste processo.

BIERMANN (1996) enfatiza a importância do controle de umidade nos processos de obtenção de polpa celulósica, visto que muitas vezes os reagentes utilizados são calculados sobre a massa.

KOCUREK (1992) relata que a redução da umidade em cavacos acarreta dificuldades nas etapas de impregnação e deslignificação, levando a uma maior quantidade de rejeitos no processo de obtenção de polpa celulósica. Para DUEÑAS (1997) o aumento da umidade em cavacos pode gerar uma diminuição da concentração dos produtos químicos reagentes e gerar problemas no processo de obtenção de celulose.

BIERMANN (1996) relata que o conteúdo de umidade freqüentemente utilizado nos processos de obtenção de polpa celulósica fica em torno de 50%, podendo variar numa faixa entre 30-60%.

3.3 PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL

O segmento de celulose e papel evoluiu muito desde a formação da primeira folha a qual foi atribuído ao chinês Ts'ai Lun (HUNTER, 1978). Este segmento tem desenvolvido uma indústria complexa capaz de produzir uma grande variedade de produtos, desde celulose para exportação até papeis sanitários, de impressão e embalagens, todos estes baseados em operações ou processos comuns, porém com algumas modificações entre si (KLINE, 1991).

3.3.1 OBTENÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

Existem quatro grandes categorias de processos de obtenção de polpa celulósica: químico, semiquímico, quimiomecânico e mecânico. Estes estão classificados em ordem crescente de consumo de energia e redução de consumo de reagentes químicos.

As características da polpa celulósica sofrem reflexo significativo mediante o tipo de processo utilizado em sua obtenção; assim polpas químicas diferem em muito das características das polpas mecânicas (IPT, 1988; KOCUREK, 1992; BIERMANN, 1996; DUEÑAS, 1997).

Nos processos químicos a separação ou individualização das fibras é conseguida através da ação de reagentes químicos que agem principalmente sobre a lignina que compõe a lamela média. Mesmo sendo seletivos os reagentes químicos acabam degradando uma fração dos polissacarídeos (holocelulose), reduzindo o rendimento e afetando as características da polpa celulósica (MIMMS, 1990; DUEÑAS, 1997; KLOCK, 2000).

Dentre todos os processos químicos, sem dúvida o processo sulfato ou *Kraft* é o mais importante e o mais difundido no mundo. Esse processo utiliza o hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) como reagentes químicos desdesignificantes. As principais características do processo *Kraft* são a sua versatilidade em utilizar diversas matérias-primas em processo (coníferas, folhosas, resíduos agrícolas, etc.), a capacidade de apresentar excelentes características da polpa obtida em termos de resistência e a possibilidade de recuperação econômica do licor negro residual (WENGER, 1984; IPT, 1988; KLINE, 1991; MIMMS, 1993; DUEÑAS, 1997).

No processo Kraft, os principais parâmetros de controle são a carga de álcali aplicado, o tempo e a temperatura, sendo os dois últimos parâmetros condensados em um único, chamado fator H (DUEÑAS, 1997).

Diversos autores relatam um grande número de fatores que influenciam o rendimento e a qualidade final da polpa celulósica obtida pelo processo Kraft, dentre as quais o tipo de matéria-prima utilizada (propriedades químicas, anatômicas e físicas) e as condições do processo (álcali, sulfidez, temperatura e grau de deslignificação) são as principais (IPT, 1988; SMOOK, 1989; MIMMS, 1993; BIERMANN, 1996; DUEÑAS, 1997).

MIMMS (1993) relata que a avaliação da qualidade da polpa celulósica é realizada mediante a determinação de parâmetros como o número kappa (expressa a quantidade de lignina residual na polpa), a viscosidade (relaciona o grau de degradação das cadeias poliméricas) e drenabilidade (relacionada ao grau de refinação e a velocidade de deságüe da polpa).

3.3.2 PROCESSO DE REFINAÇÃO

Nem sempre a polpa celulósica apresenta condições ideais para sua direta conversão em papel, o que implica na tomada de algumas atitudes como o processo de refinação. Trata-se de um processo onde a polpa celulósica é tratada mecanicamente em equipamentos denominados refinadores visando o desenvolvimento de determinadas características (KLINE, 1991; ABTCP 2001).

Durante o processo de refinação ocorrem modificações importantes na estrutura da polpa, dentre as principais vale destacar: aumento da sua flexibilidade; redução da sua dimensão e a fibrilação. A fibrilação pode ocorrer em três níveis (externa, interna e molecular). A externa consiste no desprendimento total ou parcial da parede primária e secundária, liberando finos lamelares e fibrilares (aumento da superfície de contato). A interna consiste em cisões internas à parede celular (delaminações) e sua conseqüente hidratação. A molecular é definida como a solubilização ou rearranjo parcial de compostos da parede celular, principalmente de hemiceluloses (BIERMANN, 1996; ABTCP 1999).

De maneira geral, com o aumento da refinação ocorre a diminuição da drenabilidade da polpa celulósica e aumento de determinadas propriedades de resistência do papel, entre elas a tração, estouro e rigidez, com exceção da propriedade de rasgo que, após um ligeiro aumento, decresce. Outras propriedades como alvura e opacidade também são afetadas mediante a condução do processo de refinação (DUEÑAS, 1997; CASEY, 1991; BIERMANN, 1996).

As principais variáveis que afetam o processo de refinação são referentes ao tipo da matéria-prima, ao tipo de equipamento e às condições do processo. Dentro desta última categoria, o pH, a temperatura e a consistência são os principais fatores (BIERMANN, 1996).

3.3.3 PRODUÇÃO DE PAPEL

KLIN (1991) define o papel como uma fina camada de fibras celulósicas orientadas aleatoriamente e unidas por ligações de hidrogênio. Esta definição básica pode ser aplicada a qualquer papel. Entretanto teríamos que somar uma longa lista de declarações qualificativas para definir um papel completamente, mas todos ainda teriam em comum as condições já mencionadas.

DUEÑAS (1997) relata que a natureza hidrofílica da celulose desempenha um papel importante já que a fabricação do papel ocorre em meio aquoso. As fibras celulósicas absorvem água rapidamente e se dispersam com facilidade em suspensão aquosa. Quando as fibras úmidas se juntam durante a formação da folha, as ligações ocorrem por atração polar das moléculas de água entre si e os grupos OH (hidroxila) da celulose na superfície da fibra. Quando a água é evaporada, os grupos OH superficiais se ligam através de ligações eletrostáticas (ligações de hidrogênio).

BIERMANN (1996) relata que os mesmos passos básicos são envolvidos para qualquer processo de fabricação de papel. Os passos são a formação (aplicação da polpa celulósica sobre uma tela), drenagem (remoção inicial da água através de escoamento por gravidade ou uma diferença de pressão), consolidação (compactação do colchão de polpa celulósica) e secagem (remoção da água através do contato com superfícies aquecidas).

MARK et al. (2001) ressaltam a influência das características da polpa celulósica sobre as operações de produção de papel, como formação, drenagem, consolidação e secagem. HANLON et al. (1998) relata que durante o processo de fabricação do papel existe a possibilidade de utilizar uma série de substâncias que proporcionam certas características e ajudam no controle do processo, entre as quais se destacam as colas, cargas minerais, corantes e agentes de retenção.

A qualidade do papel sofre influência do tipo de processo utilizado na obtenção da polpa celulósica, do tratamento dado às fibras, da utilização de aditivos e condições de formação do papel (CASEY, 1991; KLINE, 1991; BIERMANN, 1996; HANLON et al., 1998; MARK et al. 2001).

A avaliação da qualidade do papel é realizada mediante a determinação de parâmetros como suas propriedades físicas (gramatura, espessura, umidade, densidade, permeância) e de resistência (tração, arrebentamento, rasgo e rigidez) e ópticas (alvura e cor) entre outras (BIERMANN, 1996; DUEÑAS, 1997; MARK et al. 2001).

SCOTT et al. (1995) relatam que as propriedades físicas do papel estão sujeitas à influência de diversos fatores, dentre eles, a gramatura, a pressão exercida na formação das folhas, o tratamento mecânico aplicados nas fibras (processo de refinação), a adição de outras substâncias no papel, o tipo de fibra utilizada na formação das folhas e o conteúdo de umidade do papel.

Outros autores relatam que as propriedades físicas do papel, por exemplo, a gramatura e a umidade, podem exercer grande influência sobre as características de resistência do papel (CASEY, 1991; KOCUREK, 1992; SCOTT et al., 1995; DUEÑAS, 1996 e BIERMANN, 1996).

3.4 ESTATÍSTICA

A Estatística é uma ferramenta matemática, sendo considerada como uma ciência que se baseia nas teorias probabilísticas para explicação de eventos, estudos e experimentos. Tem por objetivo obter, organizar e analisar dados, determinar as correlações que por ventura apresentem, tirando delas suas conseqüências para descrição e explicação do que aconteceu e previsão e organização do futuro.

Uma maneira tradicional de avaliar o efeito ou influência de um determinado fator sobre um conjunto de dados de um estudo consiste na utilização da técnica da análise de variância ou também conhecida como simplesmente ANOVA.

SILVA e SILVA (1982) descrevem que um dos requisitos para a realização da análise de variância é que deve haver homogeneidade para as variâncias dos tratamentos individuais, uma vez que muitos métodos só são válidos se tal homogeneidade de variância ocorrer. Desta forma quando existem vários tratamentos, o teste de Bartlett é mais empregado para testar a homogeneidade de variâncias.

BANZATTO e KRONKA (1992) descrevem que um dos principais objetivos da Estatística é a tomada de decisão a respeito da população, com base na observação de amostras, ou seja, a obtenção de conclusões válidas para toda a população com base em amostras retiradas dessa população. Desta forma ao se tentar tomar decisões, é conveniente a formulação de hipóteses relativas às populações. Essas suposições, que podem ou não ser verdadeiras, são denominadas hipóteses estatísticas e consistem, no geral, em considerações a respeito das distribuições de probabilidade das populações.

Desta forma, freqüentemente é formulada duas hipóteses estatísticas denominadas de H_0 e H_1 . Por exemplo, nesse estudo, quando é proposto identificar a influência da idade ou classe de produtividade sobre uma determinada característica, é formulada uma primeira hipótese de que não existem diferenças entre seus efeitos (isto é, que quaisquer diferenças observadas são devidas exclusivamente aos fatores não controlados ou o acaso). Essa hipótese inicial que foi formulada é denominada de hipótese de nulidade (H_0).

Entretanto, caso seja constatado na análise que os resultados obtidos em uma amostra diferem acentuadamente, com base na teoria das probabilidades, podemos concluir que as diferenças observadas são significativas, ou seja, existem diferenças entre seus efeitos, e desta forma aceitamos a hipótese alternativa (H_1). Neste estudo, a hipótese alternativa é que os parâmetros avaliados diferem entre si quanto a idade ou classe de produtividade.

Este processo que permite decidir se é aceito ou rejeitada determinada hipótese, ou se a amostra difere significativamente dos valores esperados, são denominados de testes de hipóteses ou testes de significância (BANZATTO e KRONKA, 1992).

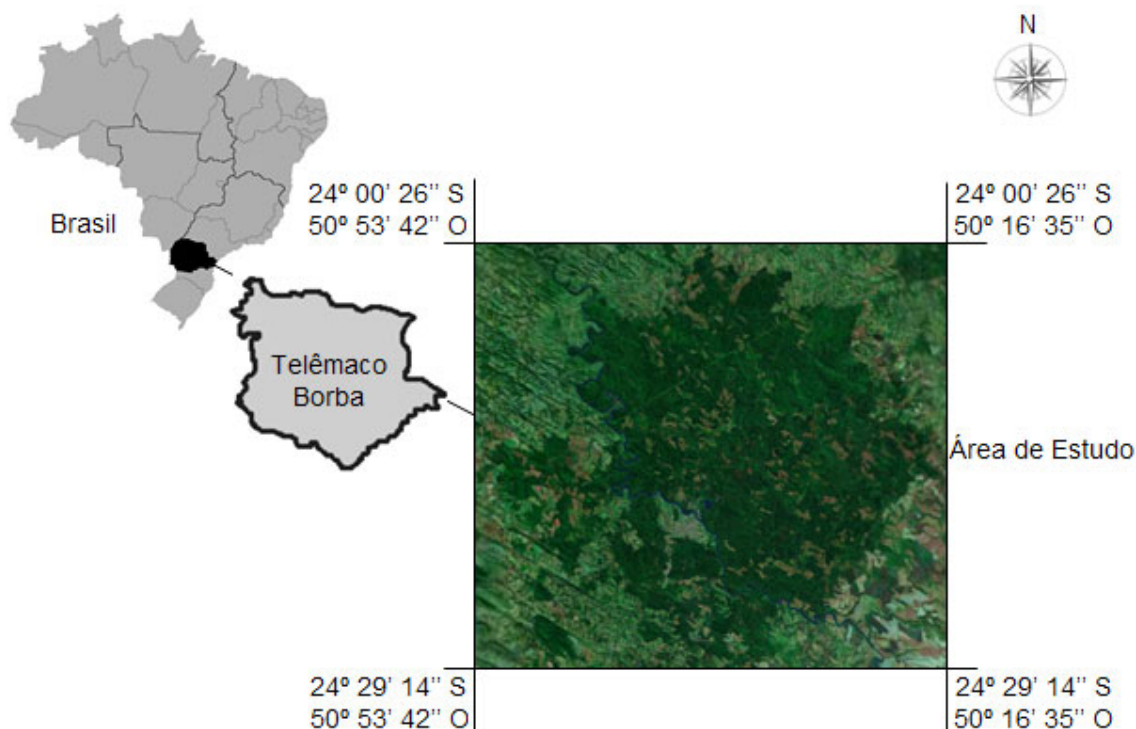
Se a hipótese de nulidade é rejeitada, em uma análise de variância (ANOVA), é possível identificar pares de médias diferentes estatisticamente. Neste sentido, uma das ferramentas estatísticas mais utilizadas para esta verificação é o teste de comparação múltipla por Tukey. Mesmo assim, SILVA e SILVA (1982) salientam que o teste de Tukey só deve ser aplicado quando o teste de significância for significativo, porque pelo menos deverá ocorrer diferença entre duas médias de tratamentos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

As árvores amostradas neste estudo foram provenientes de áreas de reflorestamento da Fazenda Monte Alegre pertencentes à empresa Klabin S.A., localizada no município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná (FIGURA 1). Nessa região a empresa possui cerca de 120.000 hectares de reflorestamentos, dos quais 55% são referentes a áreas reflorestas com a espécie *Pinus taeda*.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO.



A amostragem dos tratamentos foi realizada nos mês de janeiro de 2005 em plantios comerciais de *Pinus taeda* de mesmo grau de melhoramento genético e manejo com 8, 14 e 20 anos de idade, provenientes de regime de plantio para uso múltiplo (celulose e processamento mecânico). As áreas apresentavam altitude média de 800 metros do nível do mar. Em cada idade abrangeram-se três classes de produtividade (alta, média e baixa produtividade), totalizando nove tratamentos.

As classes de produtividade foram definidas por critérios internos da empresa, como apresentados na TABELA 1 abaixo, tendo como principais parâmetros o índice de sítio, o incremento médio anual em volume e em altura e as propriedades do solo.

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE.

Parâmetros	Classes de Produtividade		
	Alta	Média	Baixa
Índice Sítio *	I e II 23 a 26 m	II e III 20 a 23 m	IV e V 16 a 20 m
Incremento médio anual – Volume	Superior a 31,0 (m ³ /ha/ano)	Entre 28,0 a 31,0 (m ³ /ha/ano)	Inferior a 28,0 (m ³ /ha/ano)
Incremento médio anual – Altura**	1,6 m/ano	1,4 m/ano	1,2 m/ano
Horizonte do solo	Profundo	Profundo	Raso
Deficiência de fertilidade	Nula a ligeira	Média	Forte

* Altura média dominante aos 15 anos

** Altura entre 4 e 8 anos

A distribuição geográfica das classes de produtividade na área do experimento é ilustrada na FIGURA 2.

FIGURA 2 – MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE PARA O *Pinus taeda*.

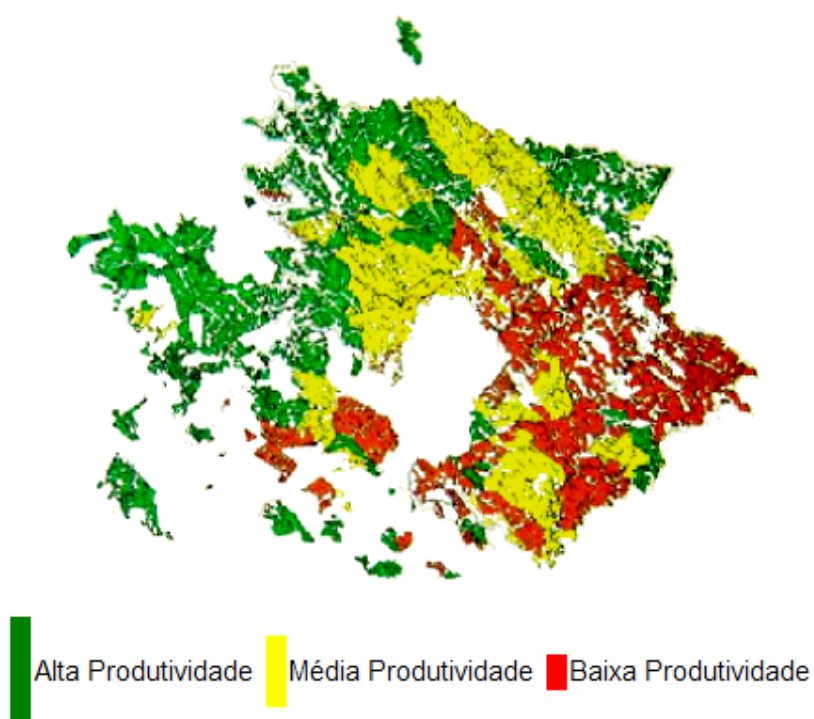


FIGURA 3 – VISTA PARCIAL DE UM PLANTIO COM 8 ANOS DE IDADE.



FIGURA 4 – VISTA PARCIAL DE UM PLANTIO COM 14 ANOS DE IDADE.

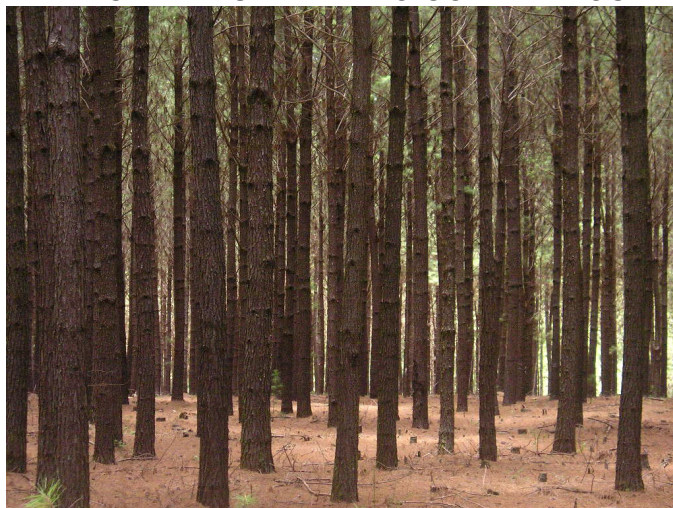


FIGURA 5 – VISTA PARCIAL DE UM PLANTIO COM 20 ANOS DE IDADE.



Para cada tratamento foram amostradas dez árvores, num total de noventa (FIGURA 6 e 7). As árvores foram seleccionadas respeitando-se a proporcionalidade da distribuição diamétrica de cada local amostrado. Seguiram-se rigorosamente as recomendações descritas por BARRICHELO et al. (2006) e KLOCK (2006) durante a amostragem.

FIGURA 6 – VISTA PARCIAL DO MOMENTO DA DERRUBADA DAS ÁRVORES SELECIONADAS PARA O ESTUDO.

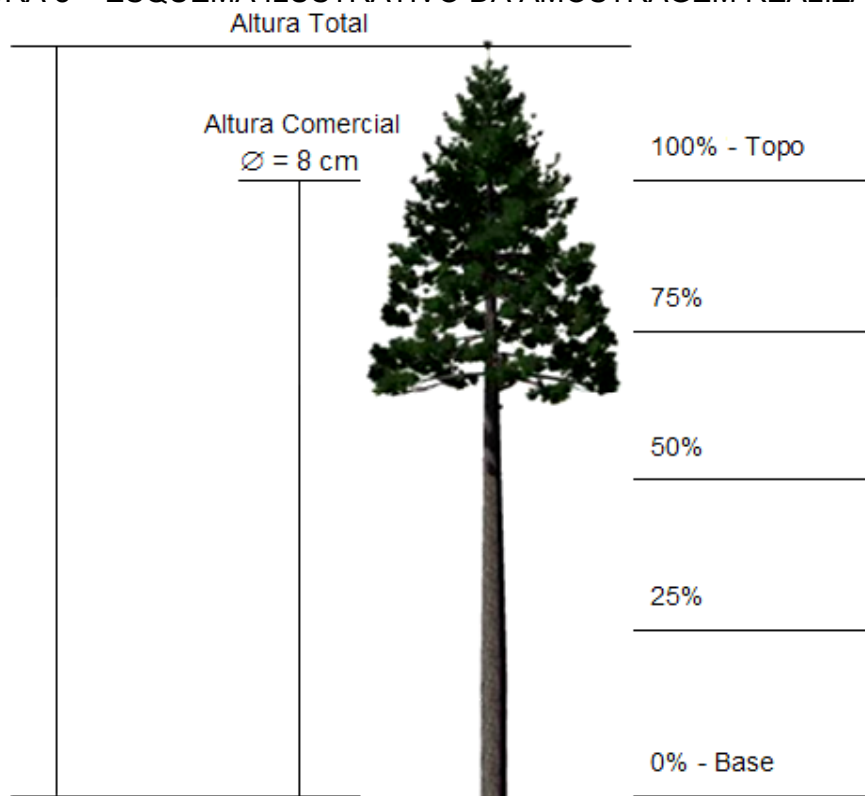


FIGURA 7 – VISTA PARCIAL DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO ESTUDO.



De cada árvore foram coletadas duas séries de cinco segmentos, tomados a 0% (Base), 25%, 50%, 75% e 100% (Topo) da altura comercial definida pelo diâmetro com casca igual a oito centímetros (FIGURA 8), não tendo sido constatada a presença de lenhos de reação.

FIGURA 8 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA AMOSTRAGEM REALIZADA.



O material amostrado foi transportado até o Centro de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Paraná para que estes fossem convertidos em cavacos.

Uma amostra contendo acículas e cones (FIGURA 9) foi recolhida em campo para identificação botânica, sendo este material registrado sob o número 10034 no Herbário do Laboratório de Dendrologia da mesma instituição.

FIGURA 9 –AMOSTRA DO MATERIAL BOTÂNICO REGISTRADO EM HERBÁRIO.



Os cavacos foram gerados a partir da primeira série de cinco segmentos. Os cavacos pertencentes das dez árvores foram então misturados e homogeneizados (FIGURA 10). Este procedimento foi realizado para os nove tratamentos antes de seguirem para realização das análises.

A segunda série de segmentos amostrados foi lixada para a realização dos procedimentos da determinação da porcentagem de lenho tardio presente na madeira.

FIGURA 10 – VISTA PARCIAL DOS CAVACOS UTILIZADOS NO ESTUDO.



4.2 MÉTODOS

4.2.1 DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA

4.2.1.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

As análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento e seguiram recomendações das normas da TAPPI - Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1994). Os procedimentos são descritos pelas Normas indicadas na TABELA 2.

TABELA 2 – RELAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DA MADEIRA.

Procedimentos*	Normas
Preparação de material para análise	T264 – om 88
Teor de Holocelulose	T249 – om 75
Teor de Lignina	T222 – om 88
Teor de Extrativos Totais	T204 – om 88
Teor de Material Inorgânico (Cinzas)	T211 – om 93

* Procedimentos da Technical Association of Pulp and Paper Industry

Para cada tratamento foram utilizados aproximadamente 500 gramas de cavacos úmidos de madeira, para conversão em serragem por meio de moinho tipo Martelo. As amostras foram classificadas e acondicionadas em sacos plásticos para realização das análises.

O teor de holocelulose da madeira foi determinado como produto final após remoção do conteúdo de extrativos e utilização de clorito de sódio (NaClO_2) visando remoção seletiva do conteúdo de lignina.

O teor de lignina insolúvel da madeira foi obtido após remoção dos extrativos e degradação dos polissacarídeos (conteúdo de holocelulose) utilizando ácido sulfúrico concentrado a 72% (H_2SO_4).

A fração representada pelos extrativos totais foi obtida mediante extrações consecutiva pela ação dos solventes etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), etanol-tolueno ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{C}_6\text{H}_6\text{OH}$) e água (H_2O).

O material inorgânico corresponde à fração residual inorgânica, foi obtida mediante calcinação da serragem de madeira, em mufla a uma temperatura de $575^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$.

4.2.1.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA

Para a determinação das dimensões dos traqueóides (comprimento e largura), utilizou-se o equipamento FIBERMASTER STFI-L&W. Uma solução diluída de cada um dos tratamentos composta por fibras em suspensão, obtidas dos cozimentos Kraft, contendo aproximadamente dois mil traqueóides foi analisada pelo equipamento, onde estes foram fotografados por câmera de vídeo de alta resolução enquanto fluíam através de um conjunto de placas paralelas. Um programa de reconhecimento interpretou as imagens e realizou os cálculos para posterior geração dos relatórios contendo os resultados.

Para a determinação da porcentagem de lenho tardio, foram realizadas medições com escala graduada primeiramente do maior diâmetro identificado e do seu correspondente perpendicular, de cada secção das diferentes alturas relativas (base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial), demarcando-se as faixas de lenho tardio. Somaram-se as medidas das faixas de lenho tardio e calculou-se a porcentagem em relação aos diâmetros totais de cada secção. Os valores de porcentagem obtidos para cada secção foram então ponderados em relação ao volume comercial do fuste para a obtenção do valor final.

4.2.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA

Para cada tratamento foram utilizados aproximadamente 1500 gramas de cavacos úmidos de madeira divididos em seis repetições para realização dos ensaios. A densidade básica e umidade foram determinadas pela Norma T258 – om 94.

A densidade básica da madeira foi obtida mediante a determinação da massa seca em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até peso constante do conjunto de cavacos. Este valor foi então dividido pelo volume em estado saturado dos mesmos cavacos determinado pelo método de pesagem. Este método de determinação de volume se baseia no princípio de que a água possui densidade muito próxima de 1 g/cm^3 a 20°C ($0,99821 \text{ g/cm}^3$). Assim, o volume em centímetros cúbicos (cm^3) deslocado pela imersão do conjunto de cavacos será igual ao seu peso em gramas (g), que pode ser lido diretamente em uma balança. A densidade foi expressa em kilogramas por metro cúbico (kg/m^3).

A umidade foi determinada em porcentagem (%), pela relação da massa de água existente na madeira e a massa da madeira seca em estufa, a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até peso constante.

4.2.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

Os cavacos de todos os tratamentos utilizados no estudo apresentavam umidade média em torno de 40%, devido ao processo de acondicionamento. Para realização dos cozimentos foram descartados os cavacos que ficaram retidos na peneira de 45,00 mm e que ultrapassaram a peneira de 3,00 mm, pois estas frações poderiam comprometer o processo de deslignificação como relatado por KOCUREK (1992) e MIMMS (1993) que ressaltam a importância do controle das dimensões dos cavacos; estes, quando apresentam dimensões muito grandes ou muito pequenas podem trazer problemas de impregnação, circulação de licor, queda de rendimento, aumento de rejeitos e variações na qualidade da polpa celulósica.

Os cozimentos realizados em triplicata para cada tratamento foram realizados em digestor rotativo de aço inoxidável composto por quatro cápsulas, aquecido eletricamente e dotado de controle de tempo e temperatura automática (FIGURA 11). As condições experimentais dos cozimentos (Processo Kraft) para o estudo são apresentadas na TABELA 3.

As condições gerais foram estabelecidas mediante as condições próximas das utilizadas industrialmente pela empresa.

A Norma T624 – om 94 foi utilizada na análise do licor branco para utilização nos cozimentos.

TABELA 3 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NOS COZIMENTOS EXPERIMENTAIS.

Parâmetros de controle	Condição
Quantidade de cavacos – Base seca	250 g
Álcali Ativo*	14%
Sulfidez*	25%
Relação licor-madeira	4:1
Temperatura máxima	170°C
Tempo até a temperatura máxima	90 minutos
Tempo na temperatura máxima	Variável (60- 70 minutos)
Fator H	Variável (1100 – 1250)
Número Kappa objetivo	90 \pm 3

* Calculados como Na_2O

De cada cozimento foi recolhida uma amostra do licor negro para avaliação de teor de sólidos e álcali residual. Utilizou-se a Norma T650 – om 89 para determinação gravimétrica do teor de sólidos no licor e a Norma T625 – om 89 para avaliação do álcali residual. As análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento.

Após cada cozimento a polpa celulósica obtida foi desagregada e lavada em baixa consistência, utilizando desfibrador de discos tipo Bauer até remoção completa do licor negro residual. A polpa celulósica então foi depurada, visando a separação por meio físico, do rejeito, sendo em seguida centrifugada e acondicionada em sacos plásticos para avaliação posterior.

FIGURA 11 – VISTA PARCIAL DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DA POLPA CELULÓSICA.



As determinações do número kappa e viscosidade foram efetuadas nas polpas depuradas. O método utilizado para avaliar o número kappa foi o da Norma TAPPI T 236 om-85 e para a viscosidade intrínseca em solução de cuproetilenodiamina (CED) a Norma TAPPI T 230 om-94. As análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento.

O procedimento de determinação do kappa corresponde ao processo de oxidação da lignina residual contida na polpa celulósica com permanganato de potássio (KMnO_4) em solução acidificada por ácido sulfúrico (H_2SO_4).

A determinação da viscosidade foi realizada através de viscosímetro capilar. A análise da determinação da viscosidade permite avaliar o grau médio de polimerização das cadeias de celulose; desta forma a propriedade que está relacionada com o tamanho e a configuração das moléculas permitem de maneira sensível, detectar a degradação da celulose resultante dos processos de polpação e branqueamento.

4.2.3 PROCESSO DE REFINAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

Após a depuração e centrifugação, as polpas celulósicas obtidas passaram por processo de refinação em laboratório, mediante a utilização de moinho tipo Jokro, a 150 rpm (Norma ISO 5264/3). Os parâmetros desta etapa são descritos na TABELA 4.

O processo de refinação foi conduzido em tempos distintos, sendo que para cada tratamento foi determinada, em triplicata, a resistência à drenagem por aparelho Schopper-Riegler (Norma ISO 5267/1).

TABELA 4 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA REFINAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA.

Parâmetros de controle	Condição
Consistência	6,00%
pH	7,2
Temperatura	30°C
Tempo	Variável (80- 90 minutos)
Drenabilidade final	25°SR
Grau Schopper Riegler Objetivo	

4.2.4 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PAPEL

Foi utilizado um formador tipo Rapid-Köethen (Norma ISO 5269/2) para a confecção das folhas de papel (FIGURA 12). Para cada tratamento foram formadas 10 folhas, conforme as condições descritas na TABELA 5.

TABELA 5 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DAS FOLHAS DE PAPEL.

Parâmetros de controle	Condição
Gramatura objetiva	200 g/m ²
Temperatura de secagem	95°C ± 2°C
Pressão Aplicada	80 kPa
Umidade Final	8%

FIGURA 12 – VISTA PARCIAL DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE REFINAÇÃO E FORMAÇÃO DAS FOLHAS DE PAPEL.



As folhas de papel confeccionadas foram depositadas em ambiente climatizado, a uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\% \pm 2\%$ de umidade relativa (Norma T402 – om 94). Após entrarem em equilíbrio com o ambiente, as folhas foram destinadas à realização de testes físicos e mecânicos no laboratório central da empresa Klabin. A relação das normas utilizadas nos ensaios é apresentada na TABELA 6.

TABELA 6 – RELAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.

Procedimentos	Norma
Umidade	T412 – om 88
Gramatura	T410 – om 88
Espessura	T411 – om 88
Densidade e Volume Aparente	T220 – om 88
Resistência a Tração	T494 – om 94
Resistência a Arrebentamento (Estouro)	T807 – om 94
Resistência ao Rasgo	T414 – om 88
Resistência a Flexão (Rigidez)	T556 – om 95

* Procedimentos da Technical Association of Pulp and Paper Industry

A umidade reflete a quantidade em porcentagem (%) de água contida no papel. A determinação da umidade contida nas folhas de papel pela Norma T412 – om 88 foi realizada pesando-se os corpos de prova em balança analítica de precisão em ambiente controlado (temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\% \pm 2\%$ de umidade relativa), com secagem posterior até peso constante em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

A gramatura é expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2). Para a determinação da gramatura pela Norma T410 – om 88, os corpos de prova foram pesados em balança analítica de precisão após ter sido determinada a área correspondente em metros quadrados dos mesmos.

A espessura do papel expressa em micrometros (μm) foi determinada mediante a determinação da distância medida entre as faces das folhas de papel, sob a ação de uma carga específica. Foi utilizado o equipamento Micrometer L&W para a determinação da espessura das folhas de papel pela Norma T411 – om 88.

O volume aparente se apresenta como sendo o quociente entre a espessura e a gramatura do papel e é expresso em centímetros cúbicos por grama (cm^3/g). Foi utilizada a Norma T220 – om 88 para a determinação da densidade e o volume aparente das folhas de papel. A densidade aparente compreende o quociente entre a gramatura e a espessura do papel e é expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

A resistência a tração é expressa em quilonewtons por metro (kN/m) e seu índice é calculado pela relação entre a resistência à tração pela gramatura sendo expresso em newtons metro por grama (Nm/g). Para a determinação da resistência a tração pela Norma T494 – om 94, utilizou-se o equipamento Tensile Tester L&W. A resistência à tração, corresponde a força máxima em quilonewtons (kN) desenvolvida por unidade de largura em metros (m) da amostra antes da ruptura. Outra informação passível de se obter neste procedimento é o comprimento de auto-ruptura que corresponde ao comprimento limite calculado, a partir da qual uma tira de papel de largura uniforme, suspensa por uma das extremidades, se rompe sob a ação do próprio peso sendo expresso em quilômetros (km).

A resistência ao arrebentamento é expressa em quilopascal (kPa) e seu índice calculado pela relação entre a resistência ao arrebentamento pela gramatura expresso em quilopascal metro quadrado por grama (kPam^2/g). Para a determinação da resistência ao arrebentamento (estouro) pela Norma T807 – om 94, utilizou o equipamento Bursting Strength Tester. A resistência ao arrebentamento corresponde a pressão hidráulica em quilopascal (kPa) necessária para produzir o estouro do material, quando um diafragma elástico aplica a força uniformemente crescente sobre a folha de papel.

A resistência ao rasgo corresponde a força perpendicular em milinewtons (mN) ao plano do papel necessária para rasgar uma ou mais folhas, através de uma distância específica. Para a determinação da resistência ao rasgo pela Norma T414 – om 88, utilizou o equipamento Pêndulo Elmendorf L&W. A resistência ao rasgo é expressa em milinewtons (mN) e seu índice é calculado pela relação entre a resistência ao rasgo pela gramatura sendo expresso em milinewtons metro quadrado por grama (mNm^2/g).

A resistência à flexão, comumente chamada de rigidez corresponde a medida em milinewtons, necessária para fletir um corpo de prova retangular, preso numa das suas extremidades, até formar um ângulo de flexão de 15° . Para a determinação da resistência a flexão (rigidez) pela Norma T556 – om 95, utilizou-se o equipamento medidor de rigidez L&W. A rigidez é expressa em milinewtons (mN) e seu índice é calculado pela relação entre a resistência à rigidez pela gramatura sendo expresso em milinewtons metro a sexta por grama cúbica (mNm^6/g^3).

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após ser comprovada a existência de homogeneidade das variâncias por meio do teste de Bartlett, os valores observados neste estudo foram submetidos à análise de variância fatorial (ANOVA) a 95% de confiabilidade.

As hipóteses testadas no estudo foram:

H_1 – Há influência da idade ou classe de produtividade sobre as características mensuradas.

H_0 – Não há influência da idade ou classe de produtividade sobre as características mensuradas.

Sendo caracterizada a influência da idade ou classe de produtividade, efetuou-se o teste de comparação múltipla de médias por Tukey, a 95% de confiabilidade.

Utilizou-se o programa STATISTICA[®] nas análises referidas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Informações completas das análises de variância dos resultados observados no estudo são apresentados como dados complementares (ANEXO 1).

5.1 QUALIDADE DA MADEIRA

Os resultados referentes à qualidade da madeira são apresentados separadamente, em função das características químicas, anatômicas e físicas da madeira.

5.1.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

Considera-se fundamental a avaliação dos componentes químicos da madeira, pois estes exercem grande influência sobre os processos, interferindo na qualidade do produto final, bem como são considerados fatores limitantes para determinadas utilizações da madeira.

Os valores médios das análises¹ das características químicas realizadas no estudo e seus respectivos desvios padrões são apresentados na TABELA 7.

TABELA 7 – ESTATÍSTICAS DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS AVALIADAS NO ESTUDO.

Idade	Produtividade	Holocelulose (%)		Lignina (%)		Extrativos Totais (%)		Material Inorgânico (%)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	70,61	0,21	29,17	0,22	2,27	0,08	0,30	0,01
	Média	70,70	0,22	28,87	0,13	2,15	0,12	0,28	0,01
	Baixa	71,33	0,23	28,44	0,13	1,85	0,07	0,28	0,01
14 Anos	Alta	71,61	0,20	28,14	0,11	2,79	0,10	0,29	0,01
	Média	71,81	0,19	27,08	0,12	2,37	0,04	0,27	0,01
	Baixa	72,29	0,13	26,85	0,11	2,17	0,08	0,24	0,02
20 Anos	Alta	72,55	0,22	26,71	0,13	3,10	0,14	0,23	0,01
	Média	72,73	0,15	26,55	0,13	2,40	0,14	0,23	0,01
	Baixa	73,30	0,20	26,54	0,13	2,29	0,15	0,20	0,01

¹ Tem-se nesta situação a chamada análise somativa, esta técnica tem por objetivo realizar a soma dos componentes da madeira determinados de forma individual. Em qualquer caso o objetivo de uma análise satisfatória seria a soma de aproximadamente 100% para todos os componentes determinados, entretanto, este objetivo é difícil de ser atingido ou obtido, especialmente se o número de análises individuais é extensa, causando lapsos ou sobrepondo resultados combinados com a adição de erros individuais. Desta forma, valores entre 98% e 102% são aceitáveis nesta técnica.

Nesse estudo verificaram-se variações na composição química quantitativa dos tratamentos avaliados, entre as idades e classes de produtividade. Os teores de holocelulose apresentaram variações entre 70,61% e 73,30%, os teores de lignina entre 26,54% e 29,17%, os teores de extrativos totais de 1,85% a 3,10% e as frações de material inorgânico de 0,20% a 0,30%. Estas variações também podem ser visualizadas na FIGURAS 13, 14, 15 e 16.

Os resultados observados para as características químicas da madeira são semelhantes aos obtidos por outros pesquisadores que avaliaram árvores de *Pinus taeda* em idades semelhantes, crescendo na Região Sul do Brasil (BORTOLETO JÚNIOR, 1999; KLOCK, 2000; ANDRADE et al., 2002; RIGATTO et al., 2004; MOCELIN 2005).

KLOCK (2000) observou em seu estudo teores de holocelulose de 68,00%, lignina de 28,76%, extrativos totais de 3,03% e de 0,22% para o material inorgânico em árvores de *Pinus taeda* com 11 anos plantadas no município de Ventania, no Estado do Paraná.

RIGATTO et al. (2004) determinou em seu estudo teores de holocelulose variando entre 67,21% a 70,34%, teores de lignina entre 26,29% a 29,73%, extrativos totais entre 2,93% a 3,06% em árvores de *Pinus taeda* com 12 anos plantadas em diferentes sítios na região de Telêmaco Borba, no Estado do Paraná.

BORTOLETO JÚNIOR (1999) observou em seu estudo com árvores de *Pinus taeda* aos 23 anos, plantadas na região de Guarapuava, no Estado do Paraná, valores de holocelulose de 69,60%, teor de lignina de 27,10% e teor de extrativos totais de 3,30%.

SCHULTZ (1997), relata que o conteúdo de material inorgânico presente em árvores de *Pinus taeda* abrange uma faixa de 0,25 a 0,54%.

FIGURA 13 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE HOLOCELULOSE OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

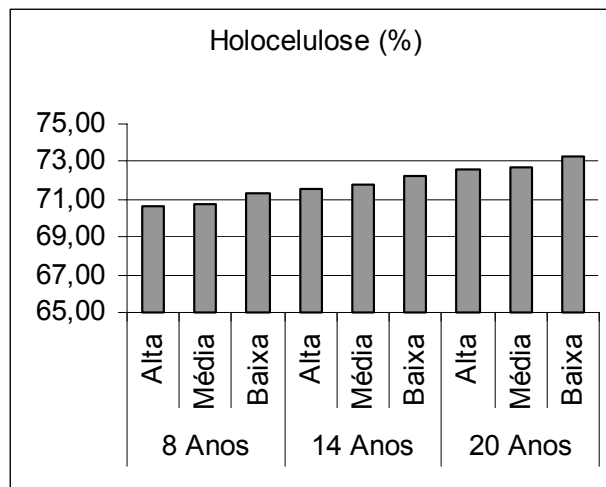


FIGURA 14 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE LIGNINA OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

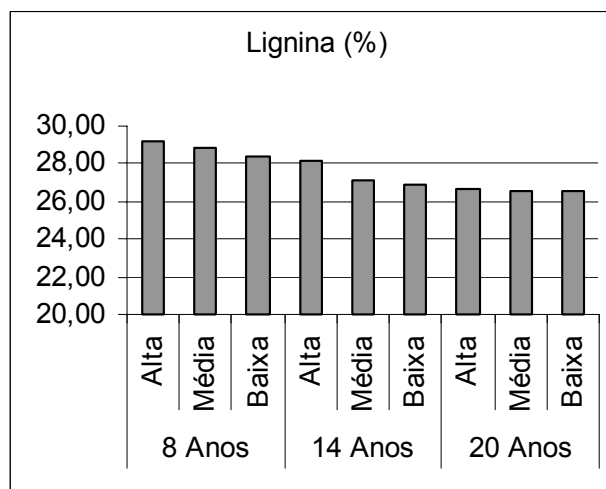


FIGURA 15 – VARIACÃO DOS VALORES MÉDIOS DE EXTRATIVIVOS TOTAIS OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

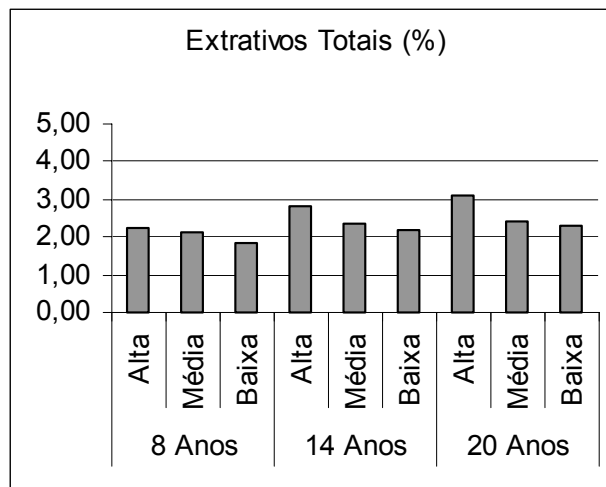
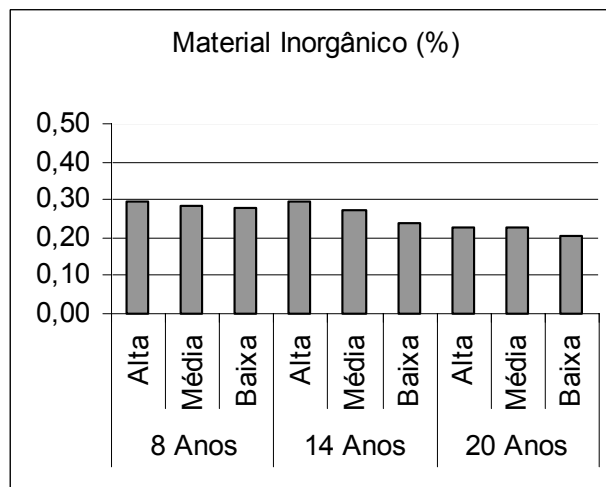


FIGURA 16 – VARIACÃO DOS VALORES MÉDIOS DE MATERIAL INORGÂNICO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.



A TABELA 8 mostra o resumo da análise da influência dos fatores idade e classe de produtividade, e a interação entre estes dois fatores sobre as características químicas da madeira.

TABELA 8 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.

Fator	Holocelulose	Lignina	Extrativos Totais	Material Inorgânico
	(%)	(%)	(%)	(%)
	Valor de p	Valor de p	Valor de p	Valor de p
Idade	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Classe de Produtividade	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Idade x Classe de Produtividade	0,9710 ^{NS}	0,0001*	0,0008*	0,0037*

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

Nota-se pela TABELA 8 que a idade e a classe de produtividade exerceram influência significativa sobre todos os parâmetros químicos da madeira analisados.

Entretanto, quando analisada a combinação entre os fatores idade x classe de produtividade, esta demonstra influenciar os parâmetros lignina, extrativos totais e material inorgânico, não sendo significativa para o parâmetro holocelulose.

A análise da influência da idade sobre os parâmetros químicos da madeira que foram consideradas significativas pela análise de variância encontra-se na TABELA 9.

TABELA 9 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE DA ÁRVORE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.

Idade	Holocelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos Totais (%)	Material Inorgânico (%)
8 anos	70,88 A	28,83 C	2,09 A	0,29 C
14 anos	71,90 B	27,35 B	2,44 B	0,27 B
20 anos	72,86 C	26,60 A	2,60 B	0,22 A

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Ao se analisar a TABELA 9, verificam-se algumas diferenças com o aumento da idade. Dentre elas o aumento do conteúdo de holocelulose, a diminuição da porcentagem de lignina e o aumento do conteúdo de extrativos totais, com uma redução da quantidade de material inorgânico.

A análise demonstra que as características químicas são distintas estatisticamente entre as idades. Estas diferenças podem ser associadas à passagem do período juvenil para o adulto, ao longo do desenvolvimento das árvores, significando que neste segundo tipo de lenho a relação entre o teor de holocelulose e o de lignina é superior ao do lenho juvenil.

Diversos autores mostram em seus trabalhos, evidências que indicam que o teor de holocelulose aumenta enquanto o teor de lignina diminui ao longo do tempo, ou seja, com o aumento da idade das árvores, estas passam a desenvolver, por exemplo, traqueóides compostos por uma maior quantidade de holocelulose e menor quantidade de lignina (KIRK et al., 1972; MOORE e EFFLAND, 1974, ambos citados por FOELKEL, 1976). Isto significa haver, independentemente do volume de madeira industrializável produzida pela árvore, um ponto ideal de colheita em função da relação holocelulose/lignina e da finalidade de uso da madeira.

A variação observada neste estudo do teor de extrativos em função da idade pode ser associada com a tendência de maturidade das árvores, com o início de formação do cerne. BURGER e RICHTER (1991) relatam que, ao longo do desenvolvimento das árvores, as partes internas do câmbio perdem gradativamente sua atividade vital podendo adquirir coloração mais escura em decorrência da deposição de substâncias como, por exemplo, taninos, resinas, gorduras, carboidratos solúveis e outras substâncias resultantes da transformação dos materiais de reserva contidos nas células parenquimáticas do alburno interno. Os mesmos autores relatam que a formação do cerne pode estar condicionada a diversos fatores, dentre eles a espécie, idade, qualidade do sítio e o clima. COLE et al. (1966), citados por LARSON et al. (2001), relatam que o teor de extrativos nas coníferas apresenta diferenças em função do desenvolvimento das árvores. No estudo os autores relatam ter observado valores médios diferentes entre a madeira juvenil e a madeira adulta.

A variação observada nesse estudo referente ao material orgânico pode estar associada com a atividade fisiológica das árvores, visto que as árvores que apresentam idade menor, pelo intenso desenvolvimento podem apresentar maior quantidade de substâncias minerais consideradas essenciais para o desenvolvimento fisiológico da árvore (carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos de potássio, cálcio e magnésio), quando comparadas às árvores com idades superiores que se encontram num ritmo de desenvolvimento menor e estável.

Os parâmetros químicos da madeira, cujas deferências foram consideradas significativas pela análise de variância, estão apresentados na TABELA 10.

TABELA 10 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.

Produtividade	Holocelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos Totais (%)	Material Inorgânico (%)
Alta	71,59	28,00	2,72	0,27
	A	C	C	C
Média	71,75	27,50	2,31	0,26
	A	B	B	B
Baixa	72,31	27,28	2,10	0,24
	B	A	A	A

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Avaliando-se os resultados da TABELA 10, nota-se que os teores de holocelulose e extrativos totais decrescem com o aumento da classe de produtividade, este comportamento é invertido quando analisado os valores observados para os teores de lignina e material inorgânico.

Desta forma, a classe de alta produtividade apresentou um menor teor de holocelulose em relação à classe de baixa produtividade. A classe de alta produtividade também apresentou maiores teores de lignina, extrativos totais e material inorgânico.

Considerando-se os resultados observados, pode-se inferir que as diferenças químicas da madeira podem ser associadas a variações referentes às diferenças químicas existentes entre os vários tipos de lenhos que compõem os tratamentos avaliados (lenhos juvenil, adulto, inicial e tardio). Diversos autores relatam diferenças químicas marcantes, principalmente sobre os teores de holocelulose e lignina para os lenhos em questão (KIRK et al., 1972; MOORE e EFFLAND, 1974, todos citados por FOELKEL, 1976).

Focando na relação entre a proporção do lenho inicial e tardio, pode-se verificar na TABELA 13 que esta relação é considerada significativa na avaliação da classe de produtividade. Desta forma os tratamentos que apresentaram maior quantidade de lenho tardio tenderam a apresentar maior teor de holocelulose e menor teor de lignina.

De maneira geral as variações observadas nas características químicas tendem refletir a influência causada pelas condições de sítio, encontradas para cada classe de produtividade.

Autores como RIGATTO et al. (2004) corroboram nesta questão, ao relatarem em seu estudo com *Pinus taeda* com 12 anos, que a madeira proveniente de sítios cujo ritmo de crescimento era elevado, apresentaram menores teores de holocelulose.

TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980) constataram em seu estudo que mesmo não havendo diferenças estatísticas significativas, os teores de extrativos e lignina foram maiores em sítios que apresentavam maior ritmo de crescimento.

O desdobramento da análise da interação da idade e classe de produtividade sobre os parâmetros químicos da madeira que foram considerados significativos pela análise de variância é apresentado na TABELA 11 a seguir.

TABELA 11 – ANÁLISE SOBRE O EFEITO DA INTERAÇÃO DA IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA.

Idade	Produtividade	Lignina (%)	Extrativos Totais (%)	Material Inorgânico (%)
8 anos	Alta	29,17	2,27	0,30
		D	B	D
	Média	28,87	2,15	0,28
		D	AB	CD
	Baixa	28,44	1,85	0,28
		C	A	CD
14 anos	Alta	28,14	2,79	0,29
		C	C	D
	Média	27,08	2,37	0,27
		B	B	C
	Baixa	26,85	2,17	0,24
		AB	B	B
20 anos	Alta	26,71	3,10	0,23
		AB	D	B
	Média	26,55	2,40	0,23
		A	B	B
	Baixa	26,54	2,29	0,20
		A	B	A

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Os valores observados na TABELA 11 mostram que dentro da idade 8 anos, os teores de lignina e extrativos totais foram significativamente diferentes quando analisado as classes de alta e baixa produtividade, não sendo observado este comportamento para o teor de material inorgânico, pois este não apresentou diferença significativa entre as classes de produtividade.

Os comportamentos observados na idade 14 anos foram semelhantes entre si, onde todos as características químicas da madeira foram influenciadas estatisticamente quando analisado as classes de alta e baixa produtividade.

Dentro da idade 20 anos, os valores do teor de lignina não se mostraram diferentes entre as classes de produtividade, porém quando avaliado os teores de extrativos totais e material inorgânico se observa uma diferença significativa entre as classes de alta e baixa produtividade.

Desta forma, estas três últimas considerações suportam a hipótese que satisfaz a condição destes parâmetros serem significativos na avaliação da análise de variância para interação entre os fatores idade e classe de produtividade.

5.1.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA

Da mesma forma como as características químicas, considera-se muito importante a avaliação das características anatômicas dos traqueóides, as quais estão em estreita associação com a qualidade da polpa e as características do papel.

Os valores médios das análises das características anatômicas realizadas no estudo e seus respectivos desvios padrões são apresentados na TABELA 12.

TABELA 12 – ESTATÍSTICAS DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA AVALIADAS NO ESTUDO.

Idade	Produtividade	Comprimento (mm)		Largura (μm)		Lenho Tardio (%)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	2,12	0,75	38,90	5,26	13,14	2,32
	Média	2,22	0,83	38,51	4,74	13,22	2,43
	Baixa	2,29	0,88	38,41	4,87	14,88	1,89
14 Anos	Alta	2,46	0,83	37,70	4,46	16,47	1,60
	Média	2,50	0,85	37,60	4,60	18,82	2,42
	Baixa	2,61	0,91	37,02	4,92	19,02	0,94
20 Anos	Alta	2,64	1,28	36,80	4,25	22,74	2,84
	Média	2,78	1,32	36,60	5,08	23,38	2,78
	Baixa	2,96	1,30	36,40	5,06	25,82	2,36

Os valores observados neste estudo entre as idades e as classes de produtividade para o comprimento e largura dos traqueóides variaram de 2,12 mm a 2,96 mm, e 36,40 μm a 38,90 μm respectivamente. Já os valores da porcentagem de lenho tardio médio variaram dentro da faixa de 13,14% a 25,82%.

Os valores das dimensões dos traqueóides foram inferiores quando comparados aos determinados por NIGOSKI (2005). Em seu estudo a autora encontrou valores médios entre 3,20 mm e 3,48 mm para o comprimento e 37,22 μm a 40,42 μm para a largura, em árvores da espécie *Pinus taeda* plantas na região de Três Barras, no Estado de Santa Catarina com idades variando entre 10 e 17 anos.

Mesmo assim, os valores encontrados neste estudo são compatíveis aos encontrados por outros autores ao estudarem a mesma espécie (KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003; RIGATTO, 2004).

As variações observadas nas características anatômicas podem ser visualizadas nas FIGURAS 17, 18 e 19.

FIGURA 17 – VARIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

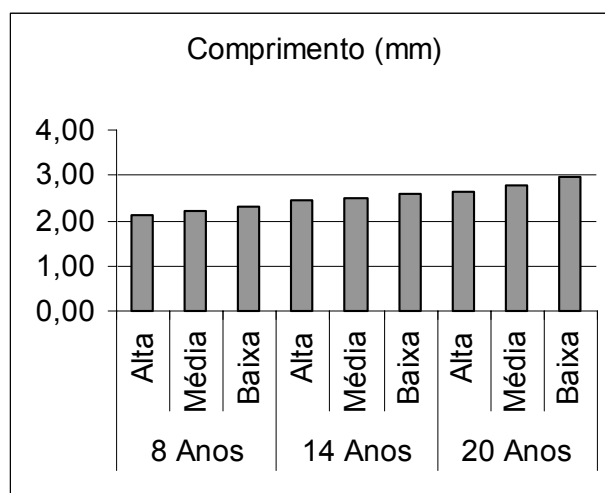


FIGURA 18 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE LARGURA DOS TRAQUEÓIDES OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

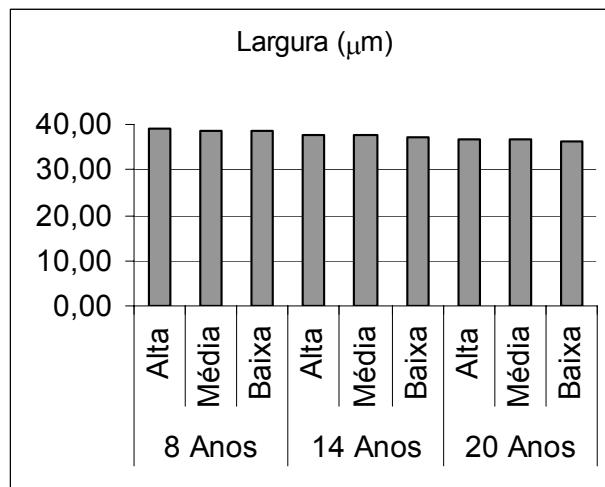
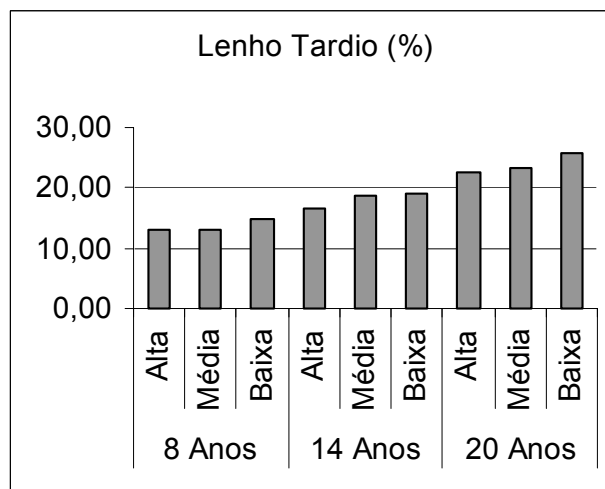


FIGURA 19 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE LENHO TARDIO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.



A TABELA 13 mostra de forma resumida a análise da influência dos fatores idade e classe de produtividade, e a interação entre estes dois fatores sobre as características anatômicas da madeira.

TABELA 13 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.

Fatores	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Lenho Tardio (%)
	Valor de p	Valor de p	Valor de p
Idade	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Classe de Produtividade	0,0067*	0,2465 ^{NS}	0,0179*
Idade x Classe de Produtividade	0,8285 ^{NS}	0,9754 ^{NS}	0,7222 ^{NS}

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

Nota-se, pela TABELA 13, que a idade exerceu influência significativa sobre todos as características anatômicas analisadas. Quando analisada a classe de produtividade, esta demonstrou influenciar o comprimento dos traqueóides e a porcentagem de lenho tardio, não sendo observado este comportamento para a largura dos traqueóides.

Entretanto, quando analisado os fatores idade e classe de produtividade juntos, estes mostram não interagir sobre nenhum das características anatômicas determinadas no estudo.

A análise da influência da idade sobre as características anatômicas da madeira é apresentada na TABELA 14 a seguir.

TABELA 14 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE DA ÁRVORE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.

Idade	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Lenho Tardio (%)
8 anos	2,21	38,61	13,75
	A	C	A
14 anos	2,52	37,44	18,10
	B	B	B
20 anos	2,80	36,60	23,98
	C	A	C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Constata-se, na avaliação da TABELA 14, a influência da idade sobre as dimensões dos traqueóides e a porcentagem de lenho tardio presentes na madeira.

Houve o aumento do comprimento médio dos traqueóides em função do aumento da idade. A largura média dos traqueóides apresentou tendência inversa ao comprimento, pois apresentou redução da dimensão em função do aumento da idade.

Dessa maneira pode-se dizer que a largura média apresentou-se inversamente proporcional ao comprimento médio dos traqueóides, quando relacionada à idade. Estes fatos podem ser explicados pela existência de uma maior proporção de lenho tardio à medida que ocorre o desenvolvimento das árvores. Isto vem de encontro ao que diversos autores relatam em seus estudos, que o lenho tardio é caracterizado por apresentar traqueóides de maiores comprimentos e menores diâmetros quando comparados ao lenho inicial (KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

PANSHIN e DE ZEEUW, (1980) citados por BIERMANN, (1996) constataram este comportamento ao verificarem grande variação nas dimensões dos traqueóides em coníferas, os quais relatam que os comprimentos dos traqueóides possuíam tendência de aumento em função do aumento da idade das árvores.

Verificou-se ainda que a idade influenciou positivamente na porcentagem média de lenho tardio. Este comportamento é considerado normal para a espécie, pois em condições normais de desenvolvimento há uma estabilização da relação entre o lenho tardio e lenho inicial quando se sucede a passagem do lenho juvenil para o lenho adulto. Em outras palavras, em função do aumento da idade, o lenho juvenil passa a ter proporções cada vez maiores de lenho tardio, até a sua estabilização e início da formação do lenho adulto com uma relação balanceada entre os lenhos inicial e tardio.

De maneira geral os resultados mostram que os parâmetros anatômicos observados neste estudo são distintos estatisticamente entre si, para cada uma das idades avaliadas.

A análise da influência da classe de produtividade sobre as características anatômicas da madeira é apresentada na TABELA 15 a seguir.

TABELA 15 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.

Produtividade	Comprimento (mm)	Lenho Tardio (%)
Alta	2,41	17,45
	A	A
Média	2,50	18,47
	AB	AB
Baixa	2,62	19,91
	B	B

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Verifica-se na TABELA 15 a influência das classes de produtividade sobre o comprimento dos traqueóides e a porcentagem de lenho tardio. Estas características foram superiores nas classes de baixa produtividade, mas estatisticamente estas diferiram apenas entre as classes de alta e de baixa produtividade. Esta informação vai de encontro com a relatada por KOCUREK (1992) e outros autores.

RIGATTO et al. (2004) relataram que o ritmo de crescimento mais elevado, imposto pelos sítios mais férteis, implicava numa produção de traqueóides mais largos, mais curtos, com paredes mais finas e com maiores diâmetros do lúme ao avaliarem árvores de *Pinus taeda* com 12 anos na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Da mesma forma, YAO (1970) citado por CHIES (2005), afirmou ter observado em seu estudo um comportamento onde as árvores que apresentavam maior porcentagem de lenho tardio eram provenientes de regiões que apresentavam uma menor taxa de crescimento.

Podemos supor ainda que a influência da classe de produtividade sobre os valores observados pode ser relacionada às diferenças observadas nas porções de lenho tardio presentes nas amostras, pois estes, por apresentarem traqueóides com comprimento maior quando comparados ao lenho inicial, exerceram efeito na variação das dimensões finais dos traqueóides. TSOUKIS e PANAGIOTIDIS (1980), detectaram este comportamento, onde as árvores provenientes de sítios com maior ritmo de crescimento apresentaram traqueóides mais curtos e mais largos.

5.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA

A avaliação das propriedades físicas da madeira, principalmente as características umidade e densidade básica são consideradas fundamentais para uma adequada utilização da madeira no processo de obtenção de polpa celulósica.

Neste estudo, não foram observadas variações na umidade do material estudado. Este comportamento foi devido ao fato que todos os tratamentos passaram por um período de permanência em câmara climatizada conforme proposto em metodologia. Mesmo assim, é válido informar que os valores de umidade dos cavacos variaram entre 38,80% a 42,47%.

Já os valores médios das análises da densidade básica da madeira realizadas no estudo e seus respectivos desvios padrões são apresentados na TABELA 16.

TABELA 16 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DE DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA AVALIADAS NO ESTUDO.

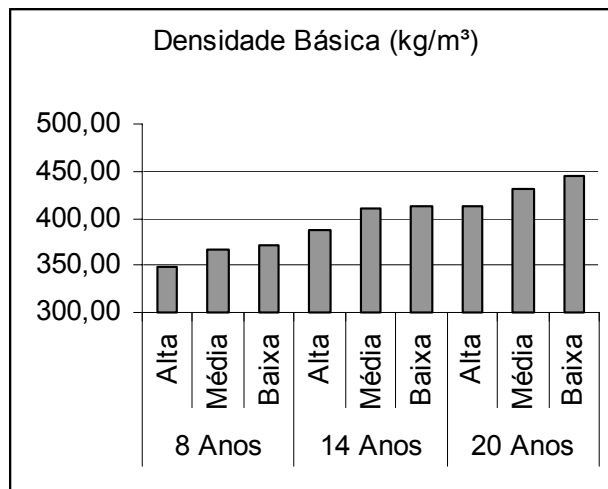
Idade	Produtividade	Densidade Básica (kg/m ³)	
		Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	348,20	7,32
	Média	367,54	8,67
	Baixa	370,54	4,12
14 Anos	Alta	387,98	12,75
	Média	410,01	11,32
	Baixa	413,20	13,91
20 Anos	Alta	412,72	7,18
	Média	429,89	5,24
	Baixa	445,33	9,46

Os valores médios determinados neste estudo para a densidade da madeira variaram entre 348,2 kg/m³ e 445,3 kg/m³, estes valores vão de encontro com os apresentados por pesquisadores que trabalharam com a mesma espécie plantada na região Sul do Brasil (RIGATTO, 2004; BITTENCOURT, 2004; NIGOSKI, 2005).

Nota-se na TABELA 16 uma clara tendência de aumento da densidade básica da madeira em função da idade dos tratamentos avaliados. Este mesmo comportamento é observado ao se avaliar as classes de produtividade dentro das idades, tendo as classes de baixa produtividade apresentado os maiores valores.

As variações observadas de densidade básica podem ser visualizadas na FIGURA 20.

FIGURA 20 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.



A TABELA 17 mostra o resumo da análise da influência dos fatores idade, classe de produtividade e a inexistência de interação entre estes dois fatores sobre a densidade básica da madeira.

TABELA 17 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA SOBRE A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.

Fatores	Densidade Básica (kg/m³) Valor de p
Idade	0,0001*
Classe de Produtividade	0,0001*
Idade x Classe de Produtividade	0,4406 ^{NS}

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

Nota-se, pela TABELA 17, que a idade exerceu influência significativa sobre a densidade básica da madeira. Quando analisado a classe de produtividade, esta também demonstrou influenciar o parâmetro densidade básica com o mesmo grau de significância.

Entretanto quando analisada a interação entre os fatores idade e classe de produtividade, estes mostram não influenciar o parâmetro densidade básica de forma interativa.

A análise da influência da idade sobre a densidade básica da madeira está apresentada na TABELA 18 a seguir.

TABELA 18 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.

Idade	Densidade Básica (kg/m ³)
8 anos	362,1 A
14 anos	403,7 B
20 anos	429,3 C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Avaliando a TABELA 18 nota-se que a idade exerceu grande influência sobre a variação da densidade básica da madeira, visto que todos os tratamentos foram estatisticamente diferentes entre si. A tendência observada foi com relação ao aumento da densidade básica em função do aumento da idade. Isto demonstra uma clara evidência do efeito exercido pela proporção dos lenhos juvenil e adulto nas idades avaliadas, pois como já mencionado anteriormente, estes lenhos apresentam densidades que diferem entre si.

LOO et al. (1985) encontraram valores de densidade básica superiores para o lenho adulto quando comparados com o lenho juvenil em árvores de *Pinus taeda*.

Outra explicação plausível que complementa a anterior é com relação às características morfológicas dos traqueóides, pois sabe-se que o lenho tardio, por apresentar maior espessura de parede é mais denso quando comparado com o lenho inicial e, assim, uma relação entre o aumento da porcentagem de lenho tardio pode ser estabelecida com o aumento da densidade básica, visto que ambos aumentam com o aumento da idade.

PANSHIN e DE ZEEUW (1980) observaram este fato ao relatarem em seu estudo que a densidade básica e a porcentagem de lenho tardio estão intimamente relacionadas.

KLOCK (2000), por exemplo, determinou em seu trabalho alta correlação entre a densidade básica e a porcentagem de lenho tardio (85%), fato também reconhecido por outros autores como BROWN et al. (1952) e KNIGGE e SCHULTZ (1966) citados pelo autor.

A tendência de aumento da densidade básica em função do aumento da idade foi observada por outros autores, dentre eles BITTENCOURT (2004) e NIGOSKI (2005) ao avaliarem árvores de *Pinus taeda* provenientes da Região Sul do Brasil.

A análise da influência da classe de produtividade sobre a densidade básica da madeira está apresentada na TABELA 19 a seguir.

TABELA 19 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.

Produtividade	Densidade Básica (kg/m ³)
Alta	383,0 A
Média	402,5 B
Baixa	409,7 B

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Constata-se avaliando a TABELA 19 que as classes de produtividade também exerceram influência sobre a densidade da madeira. A classe de alta produtividade apresentou valores inferiores de densidade básica, quando comparadas às classes de média e baixa produtividade.

Mais uma vez se nota a influência gerada pelas condições do sítio florestal sobre os parâmetros da madeira, pois regiões que apresentaram condições propícias para o rápido desenvolvimento das árvores, leiam-se classes de alta produtividade, apresentaram menores valores de densidade básica. Como o inverso é recíproco, regiões caracterizadas por deficiência de nutrientes, conseqüentemente apresentando um menor desenvolvimento, apresentam valores maiores de densidade.

Esta tendência foi observada por TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980), ao avaliarem o efeito das condições de crescimento nas características da madeira de coníferas. Os autores relatam que as amostras provenientes de sítios com ritmo de crescimentos elevado apresentaram menores valores médios de densidade básica.

RIGATTO et al. (2004) relatam em seu estudo com *Pinus taeda* aos 12 anos de idade, que mesmo não tendo encontrado diferenças estatísticas significativas entre os sítios estudados, detectaram que a madeira proveniente de sítios com ritmo de crescimento elevado demonstraram tendência a possuírem valores menores de densidade básica.

5.2 PROPRIEDADES DA POLPA CELULÓSICA

A avaliação das propriedades da polpa celulósica é considerada importante, pois apenas com o conhecimento de alguns parâmetros é possível estimar, com relativa precisão, a necessidade de matéria-prima necessária para se produzir determinada quantidade de polpa celulósica.

Conforme proposto na metodologia do trabalho, as polpas deveriam apresentar uma pequena variação no número kappa final para uma correta avaliação de sua qualidade. Entre todos os tratamentos avaliados, os valores de número kappa variaram numa faixa entre 87,21 e 92,94.

Os valores médios das propriedades de qualidade da polpa celulósica avaliadas no estudo e seus respectivos desvios padrões são apresentados na TABELA 20.

TABELA 20 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DAS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA AVALIADAS NO ESTUDO.

Idade	Produtividade	Rendimento Bruto (%)		Teor de Rejeito (%)		Rendimento Depurado (%)		Viscosidade (mPas)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	52,65	1,09	4,00	1,03	48,64	0,89	34,99	0,44
	Média	53,17	0,27	4,22	0,51	48,95	0,67	35,52	0,27
	Baixa	53,25	0,82	4,28	0,34	48,97	0,57	34,87	0,45
14 Anos	Alta	54,32	0,72	4,60	0,48	49,72	0,62	35,06	0,42
	Média	54,43	0,22	4,70	0,60	49,73	0,53	35,87	0,76
	Baixa	54,87	0,29	4,96	0,55	49,91	0,62	35,91	1,06
20 Anos	Alta	55,95	0,22	5,53	0,50	50,42	0,49	35,55	0,90
	Média	56,34	1,07	5,55	0,37	50,79	0,77	36,27	0,63
	Baixa	56,78	0,84	5,74	0,70	51,04	0,83	35,14	0,64

De maneira geral os resultados apresentados na TABELA 20 mostram que as diversas matérias-primas responderam adequadamente às condições utilizadas no processo Kraft, gerando alto rendimento e viscosidade uniforme, fatores muito importantes para a avaliação da qualidade da polpa celulósica.

De forma geral os valores de rendimento bruto variaram entre 52,65% e 56,78%, o rejeito entre 4,00% e 5,74%, o rendimento depurado entre 48,64 e 51,04% e a viscosidade entre 34,87 mPas e 36,27 mPas, mostrando claramente as tendências de aumento dos rendimentos bruto e depurado, bem como o teor de rejeitos dentro das idades, da alta para a classe de baixa produtividade, e entre idades de 8 para 20 anos.

Os resultados de rendimento demonstrados neste estudo estão de acordo com os encontrados por MIMMS (1993), pois utilizando condições semelhantes à esse estudo o autor encontrou rendimento médio de 54,00% para um número kappa objetivo em torno de 90. BIERMANN (1996) apresenta valores mais amplos de rendimento, estes variando entre 50 e 60% para processos cujo objetivo foi obter polpa celulósica com número kappa próximo de 90.

As variações observadas nas propriedades de qualidade da polpa celulósica podem ser visualizadas nas FIGURAS 21, 22, 23 e 24.

FIGURA 21 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE RENDIMENTO BRUTO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

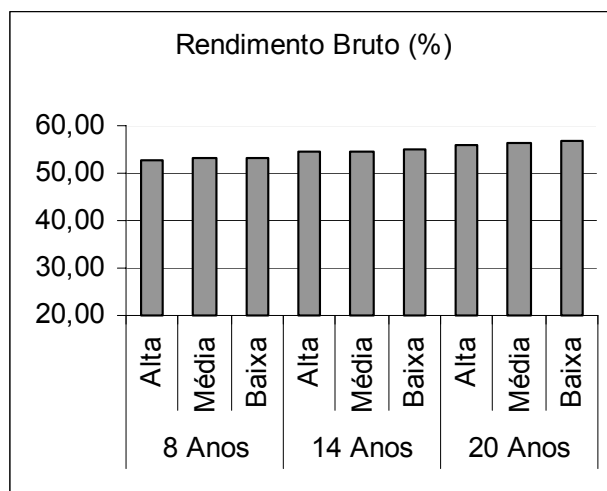


FIGURA 22 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE TEOR DE REJEITOS OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

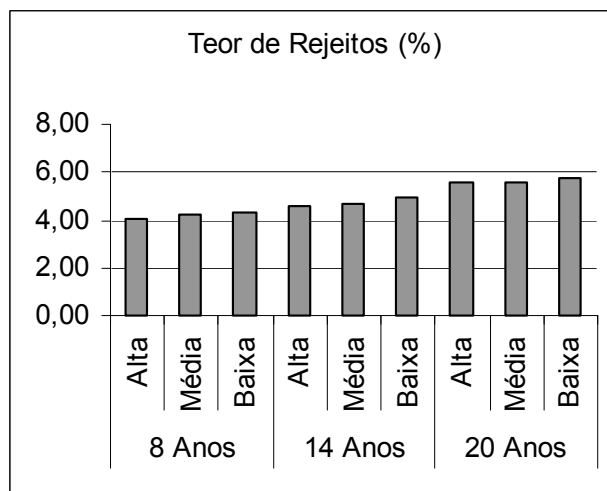


FIGURA 23 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE RENDIMENTO DEPURADO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

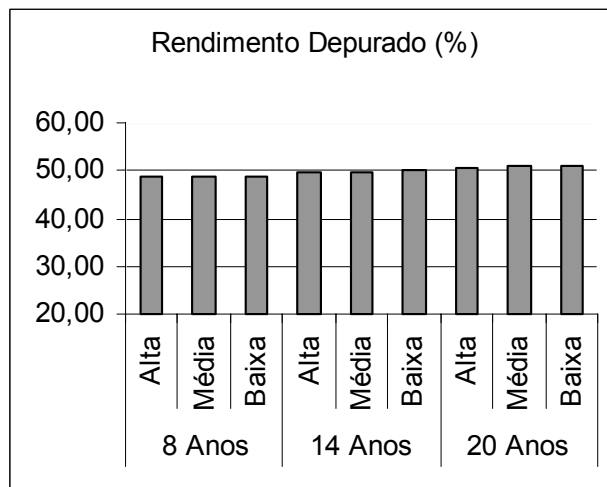
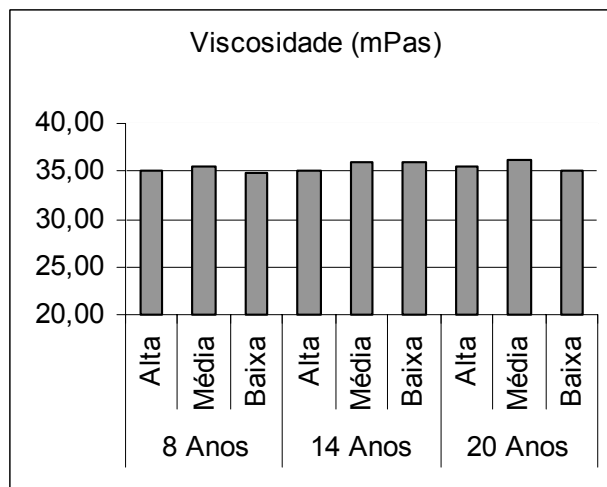


FIGURA 24 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE VISCOSIDADE OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.



A TABELA 21 demonstra a análise da influência dos fatores idade, classe de produtividade e a interação entre estes dois fatores sobre as propriedades de qualidade da polpa celulósica.

TABELA 21 – RESUMO DA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA.

Fatores	Rendimento Bruto (%) Valor de p	Teor de Rejeito (%) Valor de p	Rendimento Depurado (%) Valor de p	Viscosidade (mPas) Valor de p
Idade	0,0001*	0,0003*	0,0001*	0,2020 ^{NS}
Classe de Produtividade	0,1594 ^{NS}	0,6118 ^{NS}	0,4538 ^{NS}	0,0887 ^{NS}
Idade x Classe de Produtividade	0,9745 ^{NS}	0,9973 ^{NS}	0,9702 ^{NS}	0,4771 ^{NS}

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

A TABELA 21 indica que a idade exerceu influência significativa sobre o rendimento bruto, teor de rejeito e rendimento depurado, não sendo observado este comportamento para a viscosidade da polpa celulósica.

Quando analisado a classe de produtividade, esta não demonstrou influenciar qualquer uma das propriedades de qualidade da polpa celulósica. Da mesma forma, quando analisado a combinação dos efeitos dos fatores idade e classe de produtividade, estes mostram não influenciar de forma interativa nenhum dos parâmetros de qualidade da polpa celulósica.

A análise da influência da idade sobre os parâmetros de qualidade da polpa celulósica estão apresentadas na TABELA 22 a seguir.

TABELA 22 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA.

Idade	Rendimento Bruto (%)	Teor de Rejeito (%)	Rendimento Depurado (%)
8 anos	53,02 A	4,17 A	48,85 A
14 anos	54,54 B	4,75 A	49,79 B
20 anos	56,36 C	5,61 B	50,75 C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Nota-se na TABELA 22 que os dados relativos aos rendimentos bruto e depurado mostram haver diferenças significativas entre as idades testadas, sendo estes estatisticamente diferentes entre as idades 8, 14 e 20 anos. As diferenças observadas, como seria lógico esperar, apresentaram maiores rendimentos para madeiras mais velhas que para as de menor idade.

A porcentagem de rejeito foi estatisticamente diferente entre as idades e se apresentou maior para idade 20 anos. Contudo, a maior porcentagem de rejeitos ainda manteve uma diferença em rendimento que acusou esta idade com o maior rendimento.

Este comportamento se deve ao fato de que o material proveniente das idades superiores apresentava melhores características químicas, ou seja, maior conteúdo de holocelulose e menor teor de lignina, quando comparado ao material de menor idade. Outro fator que contribuiu para este comportamento é referente aos valores superiores de porcentagem de lenho tardio e densidade da madeira das amostras com idades maiores, podendo-se estabelecer uma relação direta destes parâmetros e o aumento do rendimento.

A mesma tendência de aumento em relação à idade foi observada para o teor de rejeitos. Esta tendência pode ser explicada em função da presença de regiões na madeira, mais densas por apresentarem maior porcentagem de lenho tardio ou formação de cerne onde não houve penetração satisfatória do licor para efetuar a deslignificação da região em questão, gerando feixes não digeridos completamente.

Similarmente, BIITENCOURT (2004) observou tendência de aumento de rendimento e rejeito em função do aumento da idade em árvores de *Pinus taeda* plantadas na região de Otacílio Costa, no Estado de Santa Catarina, e BARRICHELO (1980) relatou em seu estudo que a porcentagem de lenho tardio contido na madeira das coníferas condiciona a obtenção de um maior ou menor rendimento da polpa celulósica, bem como sua qualidade.

A TABELA 21 mostra que os parâmetros de qualidade da polpa celulósica avaliados não foram significativos em função da classe de produtividade e para a interação entre a idade e a classe de produtividade. Entretanto a TABELA 23 é mostrada a seguir visando apresentar os valores médios observados dos parâmetros de qualidade da polpa celulósica para uma análise de tendências.

TABELA 23 – VALORES MÉDIOS OBSERVADOS DAS PROPRIEDADES DE QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA DENTRO DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE.

Produtividade	Rendimento Bruto (%)	Teor de Rejeito (%)	Rendimento Depurado (%)	Viscosidade (mPas)
Alta	54,31	4,71	49,60	35,20
Média	54,65	4,82	49,82	35,89
Baixa	54,90	4,99	49,97	35,31

Uma consideração importante a se fazer é com relação aos resultados observados na TABELA 23, pois mesmo tendo sido observadas algumas diferenças significativas para as características químicas, anatômicas e físicas da madeira analisadas anteriormente, em função das diferentes classes de produtividade, estas não foram suficientes para causar influência sobre os parâmetros de qualidade da polpa celulósica. Ou seja, independentemente da classe de produtividade utilizada em processo, desde que avaliada dentro de uma idade, apresentarão rendimentos e teor de rejeito com pequena variação.

Mesmo assim pode-se visualizar ao avaliar as classes de produtividade que estas apresentaram tendência de aumento dos rendimentos bruto e depurado e teor de rejeito para a classe de baixa produtividade.

Outra consideração necessária é com relação aos valores médios de viscosidade, pois como demonstrado na TABELA 21, esta característica não foi influenciada em função da idade ou classe de produtividade bem como não existiu a interação entre estes dois fatores, demonstrando que mesmo havendo diferenças no tempo de permanência no digestor, a fim de se chegar ao número kappa proposto, não houve variação desta característica. Este é um fato importante, pois papéis formados com polpas celulósicas com diferenças marcantes nesta característica podem apresentar diferenças significativas nas propriedades de resistência.

Os valores médios referentes aos parâmetros qualitativos do licor negro residual no estudo e seus respectivos desvios padrões são apresentados na TABELA 24.

TABELA 24 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DOS PARÂMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL AVALIADOS NO ESTUDO.

Idade	Produtividade	Sólidos no Licor (%)		Álcali Residual do Licor (%)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	14,86	0,16	17,69	0,28
	Média	14,21	0,14	18,34	0,11
	Baixa	14,11	0,11	18,88	0,30
14 Anos	Alta	13,96	0,10	18,08	0,17
	Média	13,70	0,21	18,71	0,22
	Baixa	13,69	0,15	18,96	0,51
20 Anos	Alta	13,74	0,19	18,34	0,23
	Média	13,72	0,12	18,73	0,26
	Baixa	13,29	0,13	19,58	0,31

Verifica-se na TABELA 24 que a os valores médios de sólidos presentes no licor variaram entre 13,29% e 14,86%, enquanto que os valores médios de álcali residual variaram de 17,69% até 19,58%.

Estas variações podem ser visualizadas na forma gráfica nas FIGURAS 25 e 26.

FIGURA 25 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE SÓLIDOS NO LICOR NEGRO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

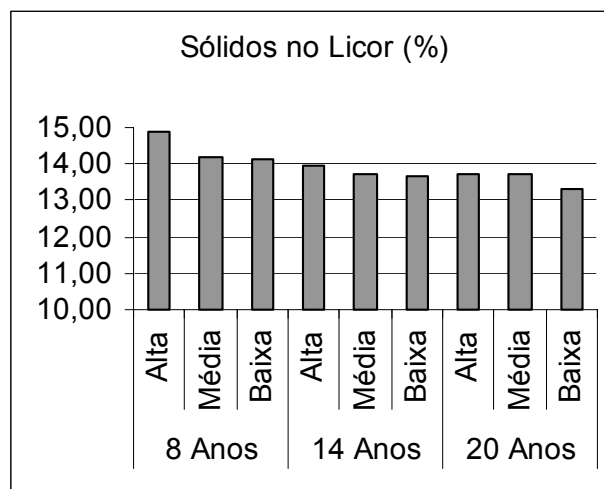
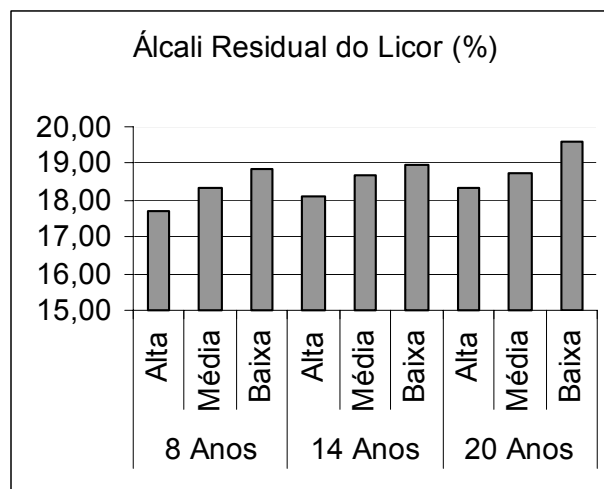


FIGURA 26 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÁLCALI RESIDUAL DO LICOR NEGRO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.



Já a TABELA 25 mostra o resumo da análise da influência dos fatores idade e classe de produtividade e a existência de interação entre estes dois fatores sobre parâmetros qualitativos do licor negro residual.

TABELA 25 – RESUMO DA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE OS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL, POR ANOVA A 95% DE CONFIABILIDADE.

Fatores	Sólidos no Licor (%)	Álcali Residual do Licor (%)
	Valor de p	Valor de p
Idade	0,0001*	0,0015*
Classe de Produtividade	0,0001*	0,0001*
Idade x Classe de Produtividade	0,0096*	0,4761 ^{NS}

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

A TABELA 25 indica que o fator idade exerceu influência significativa sobre os parâmetros de teor de sólidos e álcali residual no licor negro residual.

Quando analisado o fator classe de produtividade, este também demonstrou influenciar os parâmetros sólidos e álcali residual no licor negro residual. Porém quando analisado a ação dos fatores idade e classe de produtividade de forma conjunta, observou-se haver interação entre eles sobre o teor de sólidos no licor, não sendo observado esta ocorrência para o álcali residual do licor negro residual.

A análise da influência da idade sobre os parâmetros do licor negro residual é apresentada na TABELA 26 a seguir.

TABELA 26 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE OS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL.

Idade	Sólidos no Licor (%)	Álcali Residual do Licor (%)
8 anos	14,40 C	18,30 A
14 anos	13,78 B	18,58 AB
20 anos	13,58 A	18,89 B

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Detectam-se diferenças estatísticas ao avaliar a TABELA 26, sobre o teor de sólidos presentes no licor residual proveniente dos processos de obtenção de celulose com maiores valores em função da redução da idade das árvores.

As diferenças em sólidos no licor residual podem estar relacionadas com as propriedades químicas de cada um dos tratamentos, visto que as amostras de menor idade apresentaram valores superiores de lignina. Desta forma, como o objetivo do processo Kraft é solubilizar a lignina, ela ficará em maior quantidade no licor negro residual.

Outro fator que pode ter contribuído para que isto ocorresse, seria o maior tempo de permanência no digestor para que se alcançasse o número kappa proposto na metodologia, pois com o aumento do tempo de permanência, uma maior quantidade de elementos seriam solubilizados, entre eles a lignina e os polissacarídeos.

Os resultados para o álcali residual mostram que, embora a madeira com 14 anos tenha apresentado resultados estatisticamente iguais aos de 8 e 20 anos de idade, há diferença em teor de álcali residual quando comparamos as idades de 8 e 20 anos, indicando que a diferença se evidencia quando analisamos madeiras com idades mais distanciadas entre si.

A diferença observada entre 8 e 20 anos para o álcali residual pode estar associada ao fato de que os cozimentos executados com os tratamentos provenientes de idades menores demandaram um maior tempo de permanência durante o processo para se chegar ao número kappa estabelecido, por apresentar em sua composição química maior teor de lignina. Desta forma foi consumido maior quantidade de álcali e, conseqüentemente, ocorreu redução da quantidade final deste no licor negro.

A análise da influência da classe de produtividade sobre os parâmetros do licor negro residual está apresentada na TABELA 27 a seguir.

TABELA 27 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE OS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL.

Produtividade	Sólidos no Licor (%)	Álcali Residual do Licor (%)
Alta	14,19	18,04
	C	A
Média	13,88	18,59
	B	B
Baixa	13,70	19,14
	A	C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Verifica-se na TABELA 27 que as classes de produtividade exerceram influência significativa sobre os parâmetros qualitativos do licor negro residual proveniente do processo de obtenção de celulose. Este fato pode ser associado às variações das propriedades químicas dos cavacos de madeira, principalmente o teor de lignina, sendo este característica variável em função das classes de produtividade, decrescendo gradativamente em valores médios, de tratamentos de alta produtividade para cavacos de tratamentos de baixa produtividade que apresentavam menor quantidade de lignina.

Além das características relacionadas à qualidade da madeira, outro fator que explica o comportamento observado é o aumento progressivo do tempo de permanência no processo de polpação para as classes de baixa, media e alta produtividade, necessário para se obter polpa celulósica com número kappa padronizado, resultando em maiores quantias de materiais solubilizados no licor negro residual e maior consumo do álcali total disponível, quanto maior a classe de produtividade.

O desdobramento da análise da interação da idade e classe de produtividade sobre o teor de sólidos no licor negro residual é apresentado na TABELA 28 a seguir.

TABELA 28 – ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE A IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE DOS PARAMETROS QUALITATIVOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL

Idade	Produtividade	Sólidos no Licor (%)
8 anos	Alta	14,86 D
	Média	14,21 C
	Baixa	14,11 C
14 anos	Alta	13,96 BC
	Média	13,70 B
	Baixa	13,69 B
20 anos	Alta	13,74 B
	Média	13,72 B
	Baixa	13,29 A

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Os resultados apresentados na TABELA 28 mostram haver diferenças significativas dentro das classes de produtividade nas idades 8 e 20 anos quando avaliado o teor de sólidos do licor negro residual. Este comportamento não foi observado na idade 14 anos, visto que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Provavelmente os valores observados estão associados intimamente às condições do processo de obtenção da polpa celulósica, visto que de maneira geral a utilização de condições pouco agressivas (baixo álcali ativo) resulta em polpa celulósica com alto teor de lignina residual (número kappa), conseqüentemente uma menor taxa de lignina dissolvida no licor negro residual, da mesma forma, os processos que utilizam condições mais agressivas, acarretam em uma maior deslignificação, aumentando a fração de compostos dissolvidos no licor.

5.3 PROPRIEDADES DO PAPEL

Sabe-se que as propriedades do papel podem ser influenciadas pela ação de diversos fatores, dentre elas o grau de refino da polpa celulósica utilizada, a gramatura das folhas formadas e sua umidade. Esses fatores, conforme proposto na metodologia do trabalho, foram controlados e serviram de base para se estabelecer uma correta comparação e avaliação das propriedades do papel confeccionado em laboratório. Desta forma, para conhecimento, as polpas que passaram pelo processo apresentaram um grau de refinação que variou de 24,5°SR a 26,0°SR, as folhas de papel uma gramatura com variação entre 199,37g/m² e 203,84g/m² tendo como umidade média final o valor de 8,31%.

5.3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL

A TABELA 29 apresenta os valores médios referentes as propriedades físicas do papel.

TABELA 29 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL AVALIADAS NO ESTUDO.

Idade	Produtividade	Espessura (μm)		Densidade Aparente (g/cm ³)		Volume Aparente (cm ³ /g)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	265,33	8,26	0,761	0,027	1,315	0,048
	Média	267,50	6,25	0,753	0,018	1,328	0,031
	Baixa	270,33	6,38	0,746	0,020	1,342	0,035
14 Anos	Alta	275,50	5,32	0,733	0,011	1,364	0,021
	Média	278,00	8,88	0,726	0,023	1,379	0,045
	Baixa	289,17	7,52	0,698	0,018	1,433	0,037
20 Anos	Alta	298,17	5,78	0,678	0,015	1,476	0,034
	Média	304,83	7,14	0,662	0,017	1,512	0,039
	Baixa	320,50	6,41	0,631	0,016	1,587	0,040

Nota-se claramente dentro das idades de 8 14 e 20 anos que a espessura das folhas de papel foram maiores nas classes de baixa produtividade. Este mesmo comportamento foi observado para os valores médios de volume aparente. Porém a avaliação dos resultados médios demonstra apresentar maiores valores de densidade aparente para as classes de alta produtividade.

A espessura média das folhas de papel apresentou neste estudo variação entre 265,33 e 320,50 μm . A densidade aparente média do papel apresentou uma variação entre 0,631 a 0,761 g/cm^3 , tendo o volume aparente médio do papel variado de 1,315 a 1,587 cm^3/g .

As variações observadas nas propriedades físicas do papel podem ser visualizadas graficamente nas FIGURAS 27, 28 e 29.

FIGURA 27 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DAS FOLHAS DE PAPEL OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

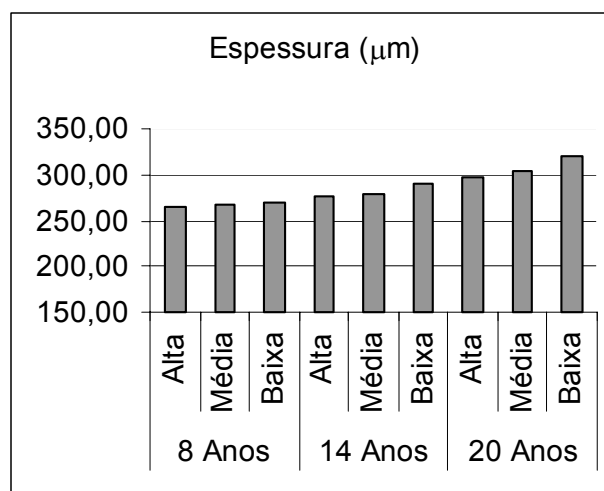


FIGURA 28 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE APARENTE DAS FOLHAS DE PAPEL OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

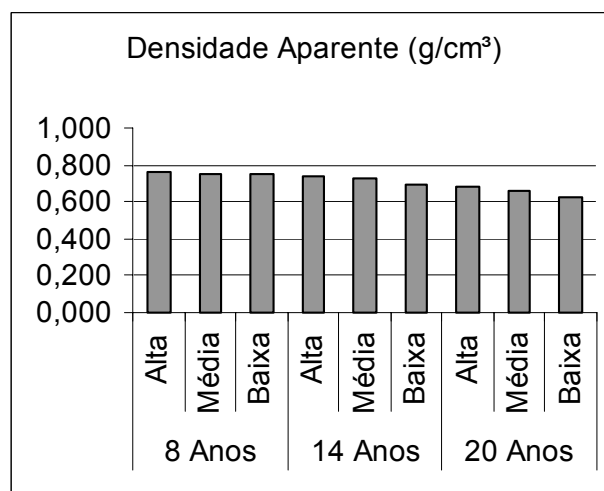
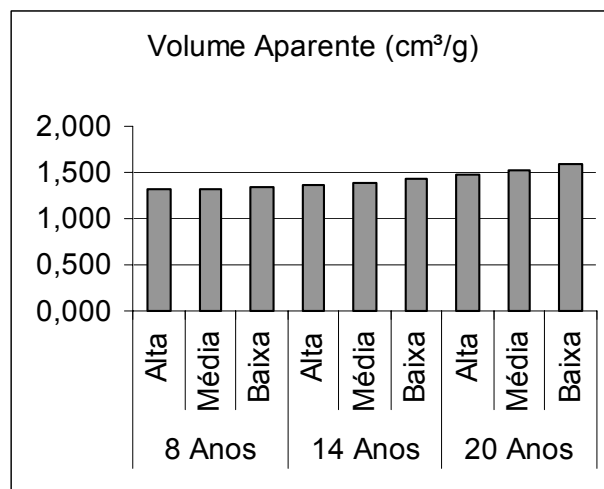


FIGURA 29 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE VOLUME APARENTE DAS FOLHAS DE PAPEL OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.



A TABELA 30 demonstra o resumo da análise da influência dos fatores idade e classe de produtividade, e a interação entre estes dois fatores sobre propriedades físicas do papel.

TABELA 30 – RESUMO DA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE OS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.

Fatores	Espessura (μm) Valor de p	Densidade Aparente (g/cm^3) Valor de p	Volume Aparente (cm^3/g) Valor de p
Idade	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Classe de Produtividade	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Idade x Classe de Produtividade	0,0521 ^{NS}	0,3063 ^{NS}	0,0988 ^{NS}

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

A TABELA 30 indica que o fator idade exerceu influência significativa sobre a espessura, densidade aparente e volume aparente.

Quando analisado o fator classe de produtividade, este também demonstrou influenciar significativamente a espessura, densidade aparente e volume aparente. Porém quando analisado a existência da interação entre os fatores idade e classe de produtividade, esta não foi observada.

A análise da influência da idade sobre as propriedades físicas do papel está apresentada na TABELA 31 a seguir.

TABELA 31 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.

Idade	Espessura (μm)	Densidade Aparente (g/cm^3)	Volume Aparente (cm^3/g)
8 anos	267,72	0,753	1,329
	A	C	A
14 anos	280,89	0,719	1,392
	B	B	B
20 anos	307,83	0,657	1,525
	C	A	C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Avaliando a TABELA 31, observa-se um aumento significativo da espessura do papel em função do aumento da idade, mesmo tendo sido estabelecido a mesma gramatura para todos os tratamentos. Este fato pode ser explicado devido às diferenças existentes entre as dimensões dos traqueóides que formaram as folhas de papel, quando considerado as mesmas condições de formação. Assim os tratamentos compostos por material provenientes de idades maiores, os quais apresentam maior proporção de lenho tardio (sendo estes caracterizados por apresentar maior espessuras de paredes e maior rigidez quando comparados com o lenho inicial), apresentou maior espessura das folhas dos papeis, tendo todos os tratamentos sido formados com o mesmo grau de refinação.

HASSEGAWA (2003) observou este comportamento em seu estudo, onde as folhas de mesma gramatura formadas por polpas celulósicas provenientes de tratamentos compostos por maior proporção de lenho inicial, se apresentavam mais finas quando comparadas com as folhas mais espessas formadas por tratamentos que continham maior proporção de lenho tardio.

Verifica-se na mesma tabela que a densidade aparente e volume aparente (Bulk) do papel apresentaram diferenças significativas em função da idade.

Nota-se uma tendência de redução significativa da densidade aparente em função do aumento da idade. Este parâmetro representa a quantidade de massa total dos constituintes do papel por unidade de volume sendo calculado em função da gramatura e espessura das folhas. Assim, as folhas que apresentaram maior espessura e, conseqüentemente, apresentaram um menor valor de densidade aparente, visto que houve o controle da gramatura das folhas de papel neste estudo.

O volume aparente demonstra o volume ocupado pelos constituintes do papel (fibras e espaços vazios ou outros como cargas minerais e colas quando presentes) por unidade de massa. Este parâmetro apresentou tendência inversa aos valores de densidade aparente, sendo maiores em função do aumento da idade, com uma tendência considerada normal, visto que este parâmetro é o inverso da densidade aparente.

DUEÑAS (1996) demonstra este fato ao relatar em seu estudo que os traqueóides do lenho inicial, por possuírem paredes mais finas e serem mais flexíveis tendem a se colapsarem mais facilmente contribuindo para o aumento de contato entre os traqueóides no momento da formação do papel. Porém os traqueóides do lenho tardio por apresentarem paredes mais espessas resistem ao colapso e, conseqüentemente, acarretam numa menor área de contato entre os traqueóides. Desta forma, tendem a formar folhas de papel mais espessas, volumosas e porosas.

A análise da influência da classe de produtividade sobre as propriedades físicas do papel está apresentada na TABELA 32 a seguir.

TABELA 32 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL.

Produtividade	Espessura (μm)	Densidade Aparente (g/cm^3)	Volume Aparente (cm^3/g)
Alta	279,67	0,724	1,385
	A	B	A
Média	283,44	0,714	1,407
	A	B	A
Baixa	293,33	0,692	1,455
	B	A	B

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

A TABELA 32 demonstra que a espessura do papel foi estatisticamente igual entre as classes de alta e média produtividade, porém estas diferiram estatisticamente da classe de baixa produtividade. Nota-se haver um aumento da espessura em função da diminuição da classe de produtividade.

A densidade aparente apresentou tendência inversa, pois diminuiu em função do aumento das classes de produtividade dos tratamentos, sendo que as classes de alta e média produtividade foram consideradas estatisticamente iguais entre si, porém diferentes da classe de baixa produtividade.

Quando avaliado o volume aparente, as classes de alta e média produtividade não diferiram estatisticamente entre si, porém ambas foram diferentes quando comparadas a classe de baixa produtividade. Desta forma o volume aparente apresentou tendência de aumento em função da redução da classe de produtividade.

As classes de alta produtividade apresentaram espessuras inferiores devido à maior quantidade de lenho inicial presente nos tratamentos quando comparados com as classes de baixa produtividade que apresentaram maior porcentagem de lenho tardio, desta forma, sabendo-se que o lenho inicial é composto por traqueóides com espessuras de parede menores e mais flexíveis (BURGER e RICHTER, 1991; DUEÑAS, 1996 e KLOCK, 2000), estes podem ser mais facilmente compactados no momento da formação do papel.

A TABELA 30 demonstrou que não ocorreu interação entre a idade e classe de produtividade que influísse nas propriedades físicas do papel de forma significativa. Desta forma não houve a necessidade da apresentação do desdobramento da análise da interação entre os fatores.

5.3.2 PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL

A TABELA 33 apresenta os valores médios observados referentes as propriedades de resistência do papel.

TABELA 33 – ESTATÍSTICAS DOS VALORES DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL AVALIADOS NO ESTUDO.

Idade	Produtividade	Comprimento de Auto-Ruptura (km)		Índice de Tração (Nm/g)		Índice de Arrebentamento (kPam ² /g)		Índice de Rasgo (mNm ² /g)		Índice de Rigidez (mNm ⁶ /g ³)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 anos	Alta	9,51	0,52	93,33	5,08	7,30	0,27	14,56	1,29	8,61	0,47
	Média	9,22	0,55	90,44	5,44	6,93	0,35	15,44	1,40	9,42	0,58
	Baixa	8,92	0,40	87,47	3,92	6,82	0,15	15,80	1,17	9,41	0,47
14 anos	Alta	8,81	0,48	86,45	4,72	6,60	0,24	16,43	1,17	9,43	0,44
	Média	8,71	0,58	85,46	5,71	6,55	0,27	18,56	1,29	10,38	0,47
	Baixa	8,34	0,60	81,78	5,87	6,52	0,21	18,75	1,22	10,79	0,44
20 anos	Alta	8,29	0,28	81,28	2,78	6,37	0,37	19,67	1,41	11,19	0,74
	Média	8,19	0,60	80,33	5,90	6,30	0,21	20,31	1,63	11,29	0,73
	Baixa	7,01	0,59	68,72	5,76	6,04	0,40	22,15	1,47	12,17	0,42

Nota-se na TABELA 33 que os valores médios de comprimento de auto-ruptura, índice de tração e índice de arrebentamento apresentaram tendência de redução dos valores em função do aumento da idade e redução da classe de produtividade.

Neste estudo os valores médios variam entre 7,01 km e 9,51 km. Estes valores são próximos aos encontrados por NIGOSKI (2005), que observou valores de comprimento de auto-ruptura variando de 5,86 km a 9,69 km ao avaliar árvores de diversas idades de *Pinus taeda* plantadas na região de Três Barras no Estado de Santa Catarina, porém são bem superiores aos observados por KLOCK (2000), que determinou em seu estudo, valores de comprimento de auto-ruptura variando entre 3,63 km a 6,47 km, ao avaliar o papel formado com madeira juvenil de *Pinus taeda*.

Os valores dos índices de tração dentro deste estudo variaram de 68,72 Nm/g a 93,33 Nm/g. Estes valores foram próximos aos encontrados por NIGOSKI (2005), onde a autora observou valores de índice de tração entre 57,49 Nm/g e 95,04 Nm/g em seu estudo avaliando árvores de *Pinus taeda* com idades variando entre 10 e 17 anos, porém extremamente superiores a BITTENCOURT (2004), que determinou valores para o índice de tração variando entre 46,30 Nm/g e 47,10 Nm/g estudando árvores de *Pinus taeda* com idade entre 10 e 20 anos.

Os valores para o índice de arrebentamento neste estudo variaram de 5,03 kPam²/g a 7,30 kPam²/g. Estes valores foram superiores aos encontrados por BITTENCOURT (2004), o autor relatou ter encontrado valores entre 3,20 kPam²/g e 4,00 kPam²/g estudando árvores de *Pinus taeda* com idade entre 10 e 20 anos, porém foram semelhantes aos valores observados por NIGOSKI (2005) que obteve valores de índice de arrebentamento entre 4,63 kPam²/g a 6,71 kPam²/g estudando árvores de *Pinus taeda* com diferentes idades.

Nota-se pela mesma TABELA 33 que os valores médios de índice de rasgo e índice de rigidez apresentaram tendência de aumento dos valores em função do aumento da idade e redução da classe de produtividade.

Os índices de rasgo neste estudo tiveram variação entre 14,56 mNm²/g e 22,15 mNm²/g. Estes valores foram pouco superiores aos que NIGOSKI (2005) obteve em seu estudo, cuja variação ficou entre 10,68 mNm²/g e 18,25 mNm²/g estudando árvores de *Pinus taeda* com diferentes idades, porém bem inferiores aos valores observados por BITTENCOURT (2004), que encontrou valores para o índice de rasgo variando entre 20,00 Nm²/g e 30,00 Nm²/g estudando árvores de *Pinus taeda* com idade entre 10 e 20 anos.

Os valores observados neste estudo para o índice de rigidez variam entre 8,61 mNm⁶/g³ e 13,53 mNm⁶/g³, estes valores estão próximos aos valores encontrados em papéis cartão comerciais, pois estes variam de 11,00 mNm⁶/g³ a 14,00 mNm⁶/g³ para gramatura entre 200 g/m² e 400 g/m² (ITC, 2006).

As diferenças observadas entre os resultados determinados nesse estudo e os valores de outros autores, provavelmente estão associadas com as diferenças causadas pela procedência do material genético utilizado nos estudos, idades e produtividades distintas e algumas diferenças nos procedimentos utilizados em cada um dos estudos.

As variações observadas nesse estudo referente as propriedades de resistência do papel podem ser visualizadas graficamente nas FIGURAS 30, 31, 32 33 e 34.

FIGURA 30 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DE AUTO-RUPTURA OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

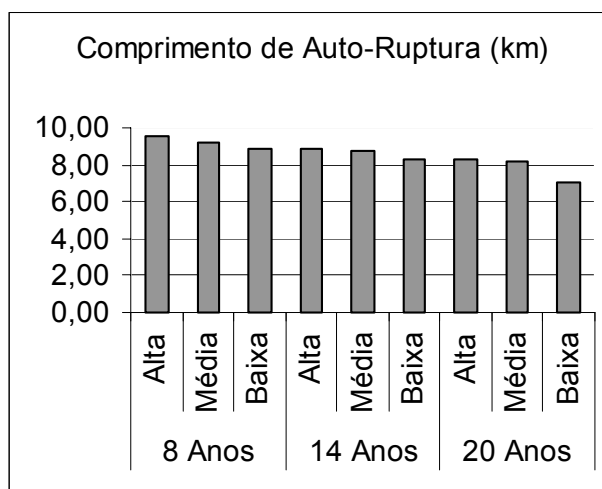


FIGURA 31 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE TRAÇÃO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

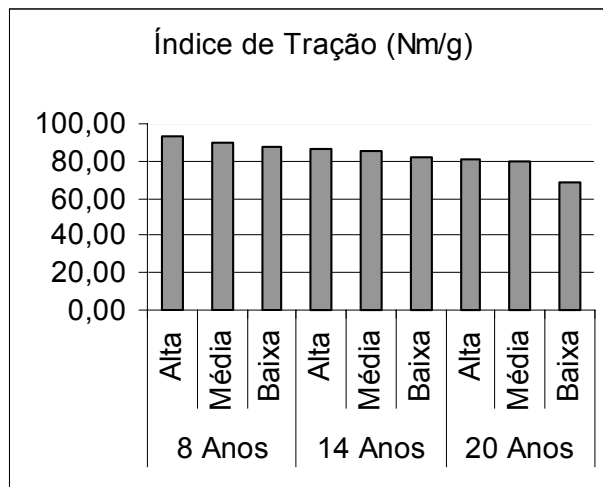


FIGURA 32 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS.

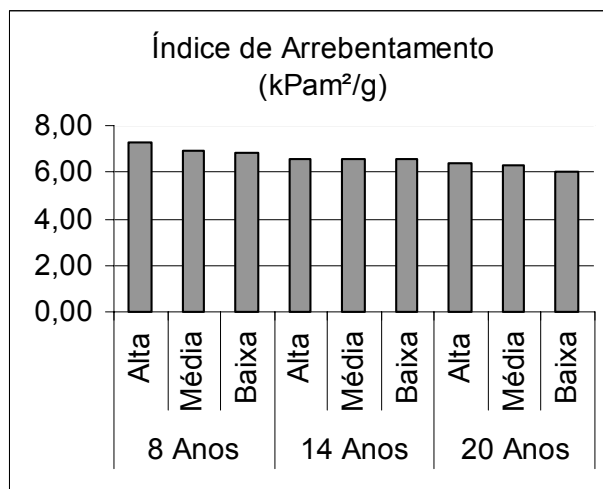


FIGURA 33 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RASGO OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS..

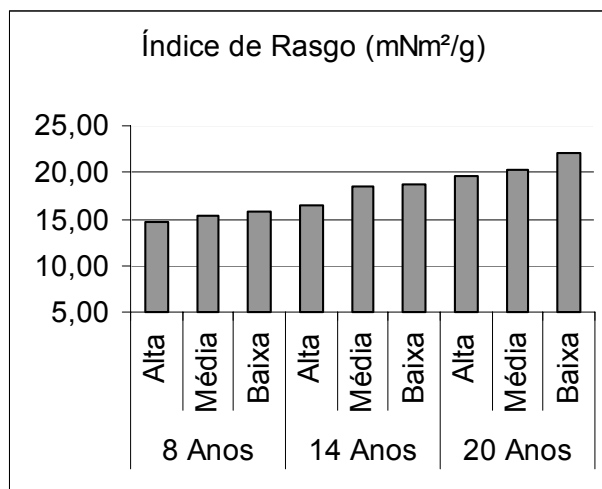
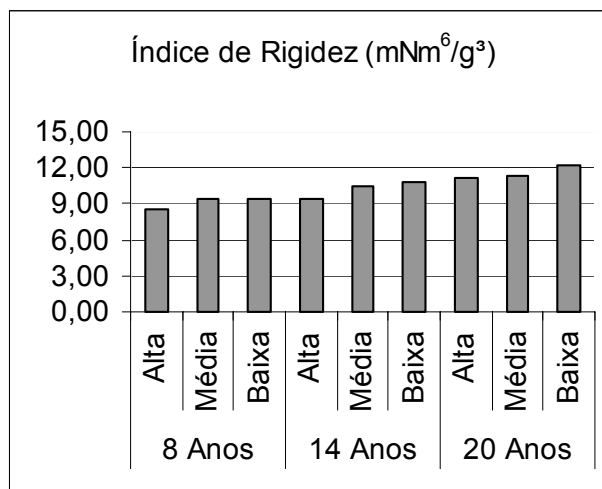


FIGURA 34 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ OBSERVADOS NOS TRATAMENTOS..



A TABELA 34 demonstra o resumo da análise da influência dos fatores idade, classe de produtividade e a inexistência de interação entre estes dois fatores sobre as propriedades de resistência do papel, dentro do nível de confiabilidade testado.

TABELA 34 – RESUMO DA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES AVALIADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.

Fatores	Comprimento de Auto-Ruptura (km) Valor de p	Índice de Tração (Nm/g) Valor de p	Índice de Arrebetamento (kPam ² /g) Valor de p	Índice de Rasgo (mNm ² /g) Valor de p	Índice de Rigidez (mNm ⁶ /g ³) Valor de p
Idade	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Classe de Produtividade	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0002*	0,0001*
Idade x Classe de Produtividade	0,1874 ^{NS}	0,1874 ^{NS}	0,3951 ^{NS}	0,3881 ^{NS}	0,1761 ^{NS}

* – Significativo a 95% de confiabilidade por ANOVA

^{NS} – Não significativo

A TABELA 34 demonstra que o fator idade exerceu influência significativa sobre todos as propriedades de resistência do papel (comprimento de auto-ruptura, índice de tração, índice de arrebetamento, índice de rasgo e índice de rigidez).

Quando analisado o fator classe de produtividade, este também demonstrou influenciar significativamente todos as propriedades de resistência do papel.

Analisando-se a ação combinada dos fatores idade e classe de produtividade, estes mostram não haver interação entre si que influenciasse o comprimento de auto-ruptura, índice de tração e índice de rasgo, não sendo significativos para os parâmetros de índice de arrebetamento e índice de rigidez.

A análise da influência da idade sobre as propriedades físicas do papel está apresentada na TABELA 35 a seguir.

TABELA 35 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.

Idade	Comprimento de Auto-Ruptura (km)	Índice de Tração (Nm/g)	Índice de Arrebentamento (kPam ² /g)	Índice de Rasgo (mNm ² /g)	Índice de Rigidez (mNm ⁶ /g ³)
8 anos	9,22 C	90,41 C	7,02 C	15,27 A	9,15 A
14 anos	8,62 B	84,56 B	6,56 B	17,91 B	10,20 B
20 anos	7,83 A	76,78 A	5,90 A	20,71 C	12,00 C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Avaliando a TABELA 35, observa-se que os parâmetros comprimento de auto-ruptura, índice tração e índice de arrebentamento apresentaram diferenças significativas entre todas as idades analisadas, tendo a idade 8 anos apresentado os maiores valores médios. Estes parâmetros apresentaram uma redução de seus valores médios em função do aumento da idade.

Nota-se pela mesma tabela que os índices de rasgo e rigidez apresentaram diferenças significativas em todas as idades, tendo a idade 20 anos apresentado os maiores valores médios. Estes fatores apresentaram diferenças de aumento em função do aumento da idade.

As tendências observadas neste estudo para os parâmetros de resistência do papel também foram observadas por outros autores como FOELKEL et al. (1976), BITTENCOURT (2004) e NIGOSKI (2005).

As diferenças observadas são explicadas por vários autores, mediante a avaliação das características morfológicas dos traqueóides e a ligação proporcionada entre estes que compuseram as folhas do papel, como apresentado a seguir.

Desta forma os tratamentos compostos pelas idades menores que apresentam uma maior quantidade de traqueóides de lenho inicial, sendo estes caracterizados por apresentarem menor comprimento e maior largura média, tendem a se colapsarem mais facilmente contribuindo para o aumento de contato entre os traqueóides no momento da formação do papel, e conseqüentemente, contribuindo para que estes tratamentos apresentem valores superiores de comprimento de auto-ruptura, índice de tração e arrebentamento. A redução dos valores destes parâmetros de resistência pode ser relacionada diretamente com a maior quantidade de lenho tardio, maior densidade básica e menor espessura e volume aparente do papel.

DINWOODIE (1965) e DUEÑAS (1996) relatam que os traqueóides do lenho tardio por apresentarem paredes mais grossas e serem mais rígidos resistem ao colapso e conseqüentemente acarretam numa menor área de contato entre os traqueóides, desta forma, tendem a formar folhas com baixos índices de tração e arrebentamento e maiores índices de rasgo.

BITTENCOURT (2004) observou uma redução nos valores dos índices de tração e arrebentamento em função do aumento da idade ao estudar árvores de *Pinus taeda* com diferentes idades. O mesmo autor relata ter observado tendência de aumento do índice de rasgo em função do aumento da idade.

Não foram encontrados valores na literatura para comparação do índice de rigidez em função da idade da matéria-prima, porém ao se estabelecer uma linha de raciocínio sobre este assunto, pode-se ressaltar que as folhas que apresentaram maiores espessuras apresentaram os maiores índices de rigidez, dessa forma, como os tratamentos que apresentaram maiores espessuras tinham maior quantidade de lenho tardio, pode-se em então estabelecer uma ligação entre estes dois fatores. Assim o lenho tardio, por apresentar comprimentos e espessuras de parede maiores e serem mais rígidos quando comparados ao lenho inicial tendem podem ter contribuído diretamente para compor os melhores resultados nos tratamento que possuíam as idades maiores.

Pode-se estabelecer uma relação entre o aumento dos valores dos índices de rasgo e rigidez com o aumento da quantidade de lenho tardio nos tratamentos, o aumento da densidade básica, o aumento da espessura e volume aparente das folhas do papel.

SCOTT et al. (1995), como já citado anteriormente relatam que as propriedades de resistência do papel podem ser influenciadas pela ação de diversos fatores, dentre eles, a gramatura, a pressão exercida na formação das folhas, o tratamento mecânico aplicados nas fibras (processo de refinação), a adição de outras substâncias no papel, o tipo de fibra utilizada na formação das folhas e o conteúdo de umidade do papel. Estas observações também foram feitas por CASEY (1991), BIERMANN (1996) e DUEÑAS (1996).

A análise da influência da classe de produtividade sobre as propriedades físicas do papel está apresentada na TABELA 36 a seguir.

TABELA 36 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CLASSE DE PRODUTIVIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL.

Produtividade	Comprimento de Auto-Ruptura (km)	Índice de Tração (Nm/g)	Índice de Arrebetamento (kPam ² /g)	Índice de Rasgo (mNm ² /g)	Índice de Rigidez (mNm ⁶ /g ³)
Alta	8,87	87,02	6,76	16,89	9,75
	B	B	B	A	A
Média	8,71	85,41	6,60	18,10	10,36
	B	B	B	B	B
Baixa	8,09	79,32	6,13	18,90	11,24
	A	A	A	B	C

Letras diferentes referem-se a tratamentos estatisticamente diferentes, por Tukey a 95% de confiabilidade.

Verifica-se pela TABELA 36 que as classes de produtividade influenciaram as propriedades de resistência do papel.

Dessa forma o comprimento de auto-ruptura e os índices de tração e arrebetamento apresentaram valores superiores para as classes de alta produtividade. Entretanto estas características são estatisticamente iguais entre as classes de alta e média produtividade e diferentes apenas quando comparadas à classe de baixa produtividade. Estas propriedades apresentaram uma redução de seus valores em função da redução da classe de produtividade.

O índice de rasgo dos tratamentos provenientes das classes de alta produtividade apresentou valor médio inferior e foi estatisticamente diferente quando comparado às classes de média e baixa produtividade que apresentaram valores médios maiores, sendo estes dois considerados iguais entre si. Desta forma, este parâmetro apresentou aumento de seu valor em função da redução da classe de produtividade.

O índice de rigidez foi afetado com mais ênfase em função dos tipos de classes de produtividade, sendo diferente em cada uma das classes de produtividade. As classes de alta produtividade apresentaram valores inferiores as classes de média produtividade enquanto que as classes de baixa produtividade foram superiores as duas anteriores. Assim o índice de rigidez apresentou um aumento de seu valor médio em função da redução da classe de produtividade.

As diferenças observadas podem ser explicadas mais uma vez mediante a análise crítica das dimensões e características dos traqueóides que compuseram cada um dos tratamentos analisados.

Desta forma, as classes de alta produtividade que foram caracterizadas por sempre apresentarem menor valor médio de porcentagem de lenho tardio, quando comparado com as classes de baixa produtividade, as quais apresentaram maior valor médio desse parâmetro e, como já descrito no estudo as características intrínsecas de cada um desses lenhos, estes são os responsáveis pelas variações observadas para os valores de resistência do papel.

Assim, as classes de alta produtividade, por apresentarem maior quantidade de lenho inicial em suas composições, apresentaram valores superiores para os parâmetros de comprimento de auto-ruptura, índice de tração e índice de arrebentamento. Em contrapartida conforme a redução gradativa da classe de produtividade, há uma redução da porção de lenho inicial e aumentando a porção de lenho tardio, houve a redução gradativa dos valores médios desses parâmetros.

Porém, a tendência descrita acima é invertida quando se analisa os parâmetros índice de rasgo e rigidez, pois à medida que houve a redução da classe de produtividade houve um aumento gradativo na porção de lenho tardio caracterizado por apresentar paredes mais espessas e ser mais rígido, refletindo em um aumento no valor médio destes parâmetros.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir:

A idade exerceu influência significativa sobre todas as características e parâmetros observados neste estudo, exceto a viscosidade da polpa celulósica.

A classe de produtividade exerceu influência significativa sobre a maioria das características e parâmetros avaliados neste estudo, exceto a largura dos traqueóides, os rendimentos bruto e depurado, o teor de rejeito e a viscosidade.

A interação dos fatores idade e classe de produtividade foi observada apenas nas características teor de lignina, teor de extrativos totais, material inorgânico, e sólidos no licor negro residual.

Com o aumento da idade, observou-se um aumento significativo dos teores de holocelulose e extrativos totais, comprimento dos traqueóides, porcentagem de lenho tardio, densidade básica, rendimentos bruto e depurado, rejeito, álcali residual do licor, espessura do papel, volume aparente, índice de rasgo e índice de rigidez. O teor de lignina, material inorgânico, largura dos traqueóides, sólidos do licor, densidade aparente, comprimento de auto-ruptura, índice de tração e índice de rasgo apresentaram tendência inversa.

Com a redução da classe de produtividade observou-se um aumento significativo das características teor de holocelulose, comprimento de traqueóides, lenho tardio, densidade básica, álcali residual do licor, espessura do papel, volume aparente, índice de rasgo e índice de rigidez. Os teores de lignina, extrativos totais, material inorgânico, sólidos no licor, densidade aparente do papel, comprimento de auto-ruptura, índice de tração e índice de arrebentamento apresentaram tendência inversa.

Assim considerando tudo que foi exposto no estudo, pode-se concluir como um todo que tanto a idade como as classes de produtividade tenderam a condicionar e exercer influência sobre a qualidade da madeira e as propriedades da celulose e do papel nas condições estudadas. Desta forma, as informações geradas no estudo poderão servir de base para um melhor planejamento futuro em empresas produtoras de polpa celulósica e papel.

7 RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados e conclusões obtidas neste estudo, as seguintes recomendações são sugeridas:

- Avaliação dos fatores idade e classe de produtividade em outras etapas de processo, como a refinação e branqueamento da polpa celulósica.
- Avaliação das combinações entre os tratamentos (idades e classes de produtividade) para se uniformizar processos industriais.
- Testes em escala piloto ou industrial para avaliação do comportamento observado.
- Avaliação econômica da utilização da matéria-prima oriunda das diferentes idades e classes de produtividade no processo industrial de fabricação de polpa celulósica e papel.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTCP, **Curso de refinação da pasta celulósica**. Guaíba. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 68p. 1999.

ABTCP, **Curso sobre refinação da pasta celulósica**. São Paulo. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 87p. 2001.

ANDRADE, A.S.; KLOCK, U.; BITTENCOURT, E.; MOCELIN, E.Z.; CREPALDI, C. Composição química quantitativa da madeira e qualidade do papel de *Pinus taeda* L. **X EVINCI**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. p.62. 2002.

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

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal. UNESP. ed.2, 247p. 1992.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A utilização da madeira na produção de celulose. **Circular Técnica IPEF**. Piracicaba. n.86. 12p. 1979.

BARRICHELO, L.E.G. *Pinus caribaea* var. *hondurensis* – Principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose. **Circular Técnica IPEF**. Piracicaba. n.86. 9p. 1980.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; SILVA, F.G. Instruções para coleta de amostras de madeira destinadas a processos de análises químicas laboratoriais. Piracicaba. IPEF. Disponível em: <http://www.ipef.br/tecprodutos/coleta.asp> . Capturado em janeiro de 2006.

BENDTSEN, B. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest products journal**, v.28, n.10, p.61-72, 1978.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. Santa Maria. 2003. 110p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

BIERMANN, C.J., **Handbook of Pulping and Papermaking**. San Diego. Academic Press. ed.2, 754p. 1996.

BITTENCOURT, E. Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel. Curitiba. 2004. 61p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

BODIG, J. **Mechanics of wood and wood composites**. New York. Van Nostrand Reinhold. 712p. 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 de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

BRACELPA. O setor brasileiro de celulose e papel. **Associação Brasileira de Celulose e Papel**. São Paulo. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br>. Capturado em janeiro de 2006.

BROWN, H.P.; PASHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology**. New York. Mac Graw Hill. 783p. 1952.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. Anatomia da madeira. São Paulo. Livraria Nobel S.A. 154p. 1991.

BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B; DIAS, C.; MENOCELLI S. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose III. A importância da altura de amostragem para avaliação da densidade básica média da árvore. **III Congresso Latino-americano de Celulose e Papel**. São Paulo. p55-72. 1983.

CASEY, J.P. **Pulpa y papel, química e tecnología química**. México. Editorial Limusa S.A. ed.1, v.3, 659p. 1991.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Curitiba. 2005. 123p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

COLE, D.E.; ZOBEL, B.J.; ROBERDS, J.H. Slash,loblolly, and longleaf pine in a mixed natural stand; a comparison of their wood properties, pulp yields, and paper properties. **TAPPI Journal**. n.49, p.161–166. 1966.

DAVIS, K.P. **Forest managment, regulation and valuation**. USA : Mc Graw Hill, 519p. 1966.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest Management**. New York. McGraw-Hill Inc. ed.3, 790p. 1987.

DINWOODIE, J.M. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. **TAPPI**. Atanta. v.48, n.8, p.440-446. 1965.

DUEÑAS, R.S. **Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel**. Guadalajara. Universidad de Guadalajara. ed.1, 293p. 1997.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood. Chemistry: Ultrastructure: Reactions**. Berlin. Walter de Gruyter. 1989.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. Boletim Técnico. **IPEF**. Piracicaba. v.6, n.20, pA1-A15. 1978.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G., GARCIA, W.; BRITO, J.O. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **IPEF**. Piracicaba. n.12, p.127-142. 1976.

GESSEL, S.P. **Forest site and productivity**. Dordrecht. Martinus Nijhoff Publishers. 270p. 1986.

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. **IPEF**. Piracicaba. n.43/44, p.40-49.1990.

GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTII, V. **Forest nutrition and fertilization**. IPEF. Piracicaba. 421p. 2000.

HANLON, J.F.; KELSEY, R.J.; FORCINIO, H.E. **Handbook of package engineering**. CRC Press. ed.3, 680p. 1998.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de Pinus taeda L. de procedência da África do Sul**. Curitiba. 2003. 107p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

HON, D.N.S.; SHIRAISHI, N. **Wood and cellulosic chemistry**. Marcel Dekker. ed.2, 928p. 2000.

HUNTER, D. **Papermaking, The history and technique of an ancient craft**. Courier Dove Publications. 672p. 1978.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Brasil. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Capturado em março de 2006.

IPT. **Celulose e Papel**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. v.1, ed.2, 1988.

ITC. Specification Sheet. ITC Limited. Disponível em: <http://itcpspd.com/>. Capturado em janeiro de 2006.

KIRK. D.G.; BREEMAN, L.G.; ZOBEL, B.J. **TAPPI**. Atlanta. 42(5), p345-356. 1959.

KLINE, J.E. **Paper and paperboard, manufacturing and converting fundamentals**. San Francisco. ed.2, 245p. 1991.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Morre**. Curitiba. 2000. 297p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, U. Amostragem e preparo da madeira para análise química. Nota de Aula do Curso de Engenharia Industrial Madeireira. Curitiba. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/UmbertoKlock/>. Capturado em janeiro de 2006.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B; BITTENCOURT, E.; ANDRADE, A.S.; Densidade básica da madeira ao longo do fuste e entre classes diamétricas de *Pinus taeda*. **VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira**. Uberlândia. v.1, p.10-20. 2002.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. *Growndise der Forestbenutzung*. Hamburg and Berlin. Verlag Paul Parey. 584p. 1966.

KOCUREK, M.J. **Mill control and control systems: quality and testing, environmental corrosion, electrical**. Atlanta. TAPPI. ed.3, vol.9, 430p. 1992.

KOLLMANN, F.F.P. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647p. 1959.

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.

LARSON, P.R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines**. USDA – Forest Products Laboratory. General Technical report FPL-GTR-129. 42p. 2001.

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.

MARK, R.E.; HABEGER, C.C.; BORCH, J. **Handbook of physical testing of paper**. Marcel Dekker. v.1, ed.2, 1040p. 2001.

MIMMS, A. **Kraft pulping, a compilation of notes**. Atlanta. TAPPI PRESS. ed.2, 181p. 1993.

MOCELIN, E.Z. **Antraquinona e surfactante para otimização do processo Kraft com *Pinus spp.*** Curitiba. 2005. 72p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

MOORE, W.E.; EFFLAND, M. Chemical composition of fast-growth juvenile wood and slow-growth mature sycamore and cottonwood. **TAPPI**. Atlanta. 57(8), p.96-8. 1974.

MORESCHI, J.C. **Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos Estados do Sul do Brasil**. Curitiba. 1975. 162p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

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. 235p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

NIGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba. 2005. 160p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

PAINE, F.A.; PAINE, H.Y. **A handbook of food packaging**. Springer. ed.2, 516p. 1993.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York. Mc Graw Hill. ed.4, 722p. 1980.

PUNCHES, J. **Tree growth, forest management, and their implications for wood quality**. Oregon State University. 8p. 2004.

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

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**. Viçosa. v.29, n.5, p.701-709. 2005.

ROZENBERG, P.; CAHALAN, C. Spruce and wood quality: Genetic Aspects (A Review). **Silvae Genetica**. v.46, n.5, p.270-274. 1997.

SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v.10, n.1, p.85-93. 2000.

SCHONAU, A.P. Problems in using vegetation or soil classification in determining site quality. **South African forestry journal**. Pretoria. n.141, p8-13. 1987.

SCHULTZ, R.P. **Loblolly pine - The ecology and culture of loblolly pine (Pinus taeda L.)**. USDA Forest Service. Agricultural Handbook. 514p. 1997.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do Crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras. Universidade Federal de Lavras. 453p. 1998.

SCOTT, W.E.; ABBOTT, J.C.; TROSSET, S. **Properties of paper: An introduction**. TAPPI PRESS. Atlanta. 191p. 1995.

SELLE, G.L.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Classificação de sítio para Pinus taeda L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil.

Ciência Florestal. Santa Maria. v.4, n.1, p. 77-95. 1994.

SILVA, J.A.A.; SILVA, I.P. Estatística experimental aplicado à ciência florestal. Recife. Universidade Federal de Pernambuco. 291p. 1982.

SJÖSTRÖM. E. Wood Chemistry fundamentals and applications. New York. Academic Press. 223p. 1981.

SMOOK, G.A. **Handbook for pulp and paper technologists**. Atlanta. TAPPI. 419p. 1989.

SWITZER, G.L. Determinants of forest stand productivity. In: TIPPIN, T. **Proceedings of the symposium on principles of maintaining productivity on prepared sites**. New Orleans, USDA. p.14-27. 1978.

TAPPI. **Test methods 1994 – 1995**. TAPPI PRESS. 1994.

TSOUMIS, G.; PANAGIOTIDIS, N. Effect of growth condition on quality characteristics of Black Pine (*Pinus nigra* Arn.) **Wood Science and Technology**, v. 14, p. 301-310, 1980.

UFPR – Universidade Federal do Paraná. **Pesquisas em recursos florestais do Estado do Paraná : qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucária angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel.** Relatório final. Financiadora de Estudos e Projetos, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia Florestal. 194p. 1979.

YAO, J. Influence of grown rate on specific gravity and other selected properties for Loblolly pine. **Wood Science Technology**. v.4, p.7-11, 1970.

WATSON, A.J.; DADSWELL, H.E. Influence on fiber morphology on paper properties – Part I. Fiber length. **APPITA**. v.14, n.5, p.168-178. 1961.

WATSON, A.J.; DADSWELL, H.E. Influence on fiber morphology on paper properties – Part II. Early wood and late wood. **APPITA**. v.15, n.6, p.116-128. 1962.

WENGER, K.F. **Forestry handbook**. Wiley-IEEE. ed.2, 1360p. 1984.

ZOBEL, B.J.; THORBJORNSSEN, 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.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: Its causes and control**. New York. Springer-Verlag. 1989.

ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO 1 – Resumo das análises de variância fatorial (ANOVA)

HOLOCELULOSE					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	17,5900	2	8,7950	224,5193	0,0001
PRODUTIVIDADE	2,5599	2	1,2799	32,6741	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,0198	4	0,0049	0,1263	0,9710
LIGNINA					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	23,1215	2	11,5607	608,2486	0,0001
PRODUTIVIDADE	2,4930	2	1,2465	65,5818	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	1,1807	4	0,2952	15,5306	0,0001
EXTRATIVOS TOTAIS					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	1,2192	2	0,6096	52,03	0,0001
PRODUTIVIDADE	1,7878	2	0,8939	76,31	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,2683	4	0,0671	5,73	0,0037
MATERIAL INORGÂNICO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	0,0210	2	0,0105	179,8683	0,0001
PRODUTIVIDADE	0,0050	2	0,0025	43,1970	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,0018	4	0,0005	7,8288	0,0008
COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	79,613	2	39,807	38,291	0,0001
PRODUTIVIDADE	10,447	2	5,224	5,025	0,0067
IDADE * PRODUTIVIDADE	1,548	4	0,387	0,372	0,8285
LARGURA DOS TRAQUEÓIDES					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	947,4593	2	473,7297	20,4460	0,0001
PRODUTIVIDADE	64,9663	2	32,4831	1,4020	0,2465
IDADE * PRODUTIVIDADE	11,1322	4	2,7830	0,1201	0,9754
PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	791,35	2	395,68	78,235	0,0000
PRODUTIVIDADE	45,60	2	22,80	4,508	0,0179
IDADE * PRODUTIVIDADE	10,50	4	2,63	0,519	0,7222
DENSIDADE BÁSICA					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	41436,4523	2	20718,2261	233,5672	0,0001
PRODUTIVIDADE	6879,6233	2	3439,8116	38,7788	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	339,3410	4	84,8353	0,9564	0,4406
UMIDADE DOS CAVACOS					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	0,3057	2	0,1529	0,1469	0,8638
PRODUTIVIDADE	0,6250	2	0,3125	0,3004	0,7420
IDADE * PRODUTIVIDADE	4,7643	4	1,1911	1,1447	0,3478

ANEXO 1 – Resumo das análises de variância fatorial (ANOVA)

RENDIMENTO BRUTO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	50,2379	2	25,1190	52,2020	0,0001
PRODUTIVIDADE	1,9608	2	0,9804	2,0374	0,1594
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,2265	4	0,0566	0,1177	0,9745
TEOR DE REJEITO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	9,4213	2	4,7106	13,2214	0,0003
PRODUTIVIDADE	0,3598	2	0,1799	0,5049	0,6118
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,0512	4	0,0128	0,0359	0,9973
RENDIMENTO DEPURADO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	16,2162	2	8,1081	20,4222	0,0001
PRODUTIVIDADE	0,6557	2	0,3279	0,8258	0,4538
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,2036	4	0,0509	0,1282	0,9702
NÚMERO KAPPA					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	2,9833	2	1,4917	0,3853	0,6857
PRODUTIVIDADE	7,7905	2	3,8953	1,0063	0,3852
IDADE * PRODUTIVIDADE	18,2446	4	4,5612	1,1783	0,3536
VISCOSIDADE					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	1,5389	2	0,7694	1,7507	0,2020
PRODUTIVIDADE	2,4442	2	1,2221	2,7806	0,0887
IDADE * PRODUTIVIDADE	1,6065	4	0,4016	0,9138	0,4771
DRENABILIDADE					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	0,5185	2	0,2593	0,4375	0,6523
PRODUTIVIDADE	0,2963	2	0,1481	0,2500	0,7815
IDADE * PRODUTIVIDADE	1,4815	4	0,3704	0,6250	0,6507
SOLIDOS NO LICOR					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	3,2149	2	1,6074	70,0429	0,0001
PRODUTIVIDADE	1,1075	2	0,5537	24,1290	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,4245	4	0,1061	4,6240	0,0096
ÁLCALI RESIDUAL					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	1,5499	2	0,7749	9,5473	0,0015
PRODUTIVIDADE	5,4451	2	2,7226	33,5423	0,0000
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,2973	4	0,0743	0,9157	0,4761

ANEXO 1 – Resumo das análises de variância fatorial (ANOVA)

GRAMATURA DO PAPEL					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	1,0724	2	0,5362	0,3073	0,7370
PRODUTIVIDADE	1,2589	2	0,6295	0,3607	0,6992
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,1137	4	0,0284	0,0163	0,9995
UMIDADE DO PAPEL					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	0,0004	2	0,0002	0,0308	0,9697
PRODUTIVIDADE	0,0050	2	0,0025	0,3576	0,7013
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,0422	4	0,0105	1,5021	0,2176
ESPESSURA DO PAPEL					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	15049,5926	2	7524,7963	154,9257	0,0001
PRODUTIVIDADE	1793,0370	2	896,5185	18,4581	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	495,1852	4	123,7963	2,5488	0,0521
DENSIDADE APARENTE DO PAPEL					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	0,0864	2	0,0432	120,7788	0,0001
PRODUTIVIDADE	0,0099	2	0,0049	13,7734	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,0018	4	0,0004	1,2434	0,3063
VOLUME APARENTE DO PAPEL					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	0,3618	2	0,1809	129,3327	0,0001
PRODUTIVIDADE	0,0442	2	0,0221	15,8045	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,0117	4	0,0029	2,0832	0,0988
COMPRIMENTO DE AUTO-RUPTURA					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	17,5109	2	8,7555	32,1565	0,0001
PRODUTIVIDADE	6,1651	2	3,0825	11,3213	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	1,7570	4	0,4393	1,6133	0,1874
ÍNDICE DE TRAÇÃO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	1685,1846	2	842,5923	32,1565	0,0000
PRODUTIVIDADE	593,3018	2	296,6509	11,3213	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	169,0915	4	42,2729	1,6133	0,1874
ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	5,4943	2	2,7472	33,4195	0,0001
PRODUTIVIDADE	0,7845	2	0,3923	4,7718	0,0132
IDADE * PRODUTIVIDADE	0,3433	4	0,0858	1,0442	0,3951
ÍNDICE DE RASGO					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	266,8258	2	133,4129	73,5265	0,0001
PRODUTIVIDADE	36,9471	2	18,4736	10,1811	0,0002
IDADE * PRODUTIVIDADE	7,6815	4	1,9204	1,0584	0,3881
ÍNDICE DE RIGIDEZ					
	SS	GL	QM	F	p
IDADE	52,3448	2	26,1724	88,7464	0,0001
PRODUTIVIDADE	9,8934	2	4,9467	16,7735	0,0001
IDADE * PRODUTIVIDADE	1,9576	4	0,4894	1,6595	0,1761