

À Deus e todas as forças superiores que nos fortalecem, sustentando-nos em momentos difíceis.

Meus Agradecimentos.

À minha mãe Nercina, que me ensinou a importância de trilhar todos os caminhos com amor, dignidade e perseverança, incentivando-me a iniciar mais esta luta, sem, entretanto, ver o final...

Saudades...

Ao meu pai João que, com sua riqueza de espírito, pôde prosseguir me apoiando.

Ao meu esposo Alberto, minha filha Juliana, minhas irmãs Vera, Valderês e Vandecilce, meu cunhado Sinésio e as minhas sobrinhas Gianna e Jaqueline, que tanto me incentivaram nesta luta...

Dedico

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade.

Ao Professor Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pela orientação e confiança.

Ao Engenheiro Dr. Admir Lopes Mora, pelo apoio e colaboração prestados em todas as fases do trabalho, pela dedicação profissional e amizade.

Ao Professor Dr. Osmir José Lavoranti, pela co-orientação e dedicação.

À Pesquisadora da Embrapa, Dra. Valderês Aparecida de Sousa, pelo apoio e sugestões.

Ao Engenheiro Carlos Puehringer, pelo valioso auxílio e empenho na coleta do material e de dados.

Aos componentes da banca examinadora, Prof. Dr. Luiz E. G. Barrichelo, Dr. José Carlos D. Pereira, Dr. Admir Lopes Mora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Graciela Bolzon de Muñiz, pelas valiosas contribuições ao trabalho durante a defesa de tese.

À empresa Florestal Vale do Corisco, pelo fornecimento do material.

À Norske Skog Pisa e aos colegas Irene Dobins, Letícia D. de Souza e João L. da Rosa, pela colaboração na coleta de dados e análises laboratoriais.

À empresa Valor Florestal – Gestão de Ativos Florestais Ltda, pelo apoio na coleta do material e informações fornecidas.

Aos colegas Marlene Paoli Oliveira, pela elaboração da apresentação, Márcio Gonçalves, pelo apoio na elaboração do “Abstract” e Engenheiro João Carlos Mancini de Oliveira, pelas preciosas informações.

À Maria Aparecida Bonato, pelo incentivo, estímulo e amizade.

Aos Professores Dr. Setsuo Iwakiri, componente do Comitê de orientação, e Dr. Umberto Klock, pelos ensinamentos durante o curso.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, Setor de Tecnologia de Produtos Florestais, demais professores, alunos e colegas que direta ou indiretamente colaboraram na execução do trabalho.

## BIOGRAFIA

**VANILDA ROSÂNGELA DE SOUZA SHIMOYAMA**, filha de João Ferreira de Souza e Nercina Martins Fontes de Souza, nasceu em Brasitânia, Estado de São Paulo, em 15 de abril de 1964.

Concluiu o Curso de Ensino de Primeiro Grau em 1978 e o Ensino de Segundo Grau em 1981, na Escola Estadual de 1º e 2º Graus "Líbero de Almeida Silveiras", em Fernandópolis – SP.

Em 1983 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, em Piracicaba (SP), graduando-se em dezembro de 1986.

Entre 1987 e 1990 desempenhou atividades como Engenheira Autônoma junto ao IPEF, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, em Piracicaba (SP).

Em 1988 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, em Piracicaba (SP), onde obteve, em 1990, o título M.Sc. em Ciências Florestais.

Entre os anos de 1991 e 1996 atuou como Engenheira Florestal pela Pisa Florestal S.A, desempenhando atividades no setor de tecnologia da madeira – Adequação matéria-prima x processo.

Em janeiro de 1997 tornou-se Sócio-gerente da empresa TECMAD – Estudos de Madeira, Processos e Serviços Ltda, desempenhando, até o presente momento, atividades de Consultoria e Prestação de Serviços em diversas áreas do setor florestal e industrial, coordenando trabalhos nas áreas Técnica e Operacional, como tecnologia, ambiência, colheita e preparo de madeira, planejamento florestal, etc.

Em 2001 iniciou o Programa de Doutorado no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, concluindo o presente trabalho.

Paralelamente, em 2003 iniciou trabalhos de auditoria em Manejo de Plantações Florestais e Cadeia de Custódia para padrões FSC (Forest Stewardship Council), como Auditor pela SCS (Scientific Certification Systems).

## SUMÁRIO

	continua
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	vi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	5
2.1 PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....	5
2.1.1 Dimensões das Fibras .....	5
2.1.2 Relações entre as Dimensões de Fibras.....	11
2.2 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS.....	13
2.2.1 Percentual de Lenhos.....	13
2.2.2 Ângulo de Grã.....	15
2.3 DENSIDADE BÁSICA.....	16
2.4 NÓS.....	19
2.5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	20
2.6 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA POR EMIÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO.....	25
2.6.1 Aplicação de Ondas Acústicas em Produtos Sólidos e Compostos de Madeira.....	26
2.6.2 Aplicação de Ondas Acústicas em Toras.....	28
2.6.3 Aplicação de Ondas Acústicas em Árvores em Pé.....	29
2.7 INFLUÊNCIAS DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA SOBRE A PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS.....	30
2.7.1 Direção de Propagação da Onda.....	30
2.7.2 Dimensões de Fibras e suas Relações.....	30
2.7.3 Densidade Básica.....	32
2.7.4 Percentual de Lenhos.....	32
2.7.5 Madeira Juvenil e Adulta.....	33
2.7.6 Ângulo de Grã.....	33
2.7.7 Teor de Umidade.....	34
2.7.8 Nós.....	35
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	36
2.8.1 Análise de Componentes Principais.....	37
2.8.2 Análise Fatorial.....	40
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
3.1- MATERIAL.....	43
3.2- MÉTODOS.....	45
3.2.1- Avaliação nas Árvores em Pé.....	47
3.2.2- Avaliação nas Toras.....	50
3.2.3- Avaliação nos Discos.....	51
3.2.4- Avaliação nas Lâminas.....	55
3.2.5- Avaliação nas Tábuas.....	58

3.3- ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>64</b>
4.1 DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES.....	64
4.1.1 Árvores.....	64
4.1.2 Toras.....	65
4.2 PERCENTUAL DE LENHOS.....	67
4.3 DENSIDADE BÁSICA.....	70
4.4- VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO.....	72
4.4.1 Velocidade das Ondas para as Árvore em Pé e Toras.....	73
4.4.2 Velocidade das Ondas para as Tábuas.....	74
4.4.3 Velocidade das Ondas para as Lâminas.....	76
4.4.4 Correlações da Velocidade das Ondas entre Árvores, Toras, Tábuas e Lâminas.....	79
4.5 DIÂMETRO, FREQUÊNCIA E ÁREA DE NÓS.....	81
4.5.1 Toras 1.....	82
4.5.2 Toras 2.....	85
4.6 ÂNGULO DE GRÃ.....	85
4.7 DENSIDADE APARENTE E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	88
4.8 INTER-RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS.....	89
4.8.1 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Árvores.....	89
4.8.2 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Toras 1.....	99
4.8.3 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Toras 2.....	105
4.8.4 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Tábuas.....	109
4.8.5 Inter-relações entre as Propriedades Avaliadas para as Lâminas.....	117
4.9 Regressão para as Variáveis Avaliadas.....	123
4.9.1 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Árvores.....	123
4.9.2 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Toras 1.....	125
4.9.3 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Toras 2.....	126
4.9.4 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Tábuas.....	127
4.9.5 Modelos para Estimar as Propriedades Avaliadas nas Lâminas.....	130
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>132</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>136</b>

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	INFORMAÇÕES SOBRE O POVOAMENTO.....	44
QUADRO 2 -	DIÂMETRO DAS ÁRVORES SELECIONADAS, TORAS E DISCOS AMOSTRADOS.....	45

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E SUAS RELAÇÕES PARA A SECÇÃO DE TRONCO AVALIADA.....	64
TABELA 2 -	VALORES DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES PARA AS TORAS 1.....	65
TABELA 3 -	VALORES DAS DIMENSÕES DE FIBRAS E SUAS RELAÇÕES PARA AS TORAS 2.....	66
TABELA 4 -	VALORES DE $t$ PARA AS MÉDIAS DAS DIMENSÕES DE FIBRAS DAS TORAS 1 E 2.....	66
TABELA 5 -	PERCENTUAL DE LENHO INICIAL E TARDIO PARA A SECÇÃO DE TRONCO AVALIADA E TORAS.....	68
TABELA 6 -	VALORES MÉDIOS DOS PERCENTUAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL E ADULTA E TESTE DE NORMALIDADE SEGUNDO SHAPIRO-WILK.....	69
TABELA 7 -	RESULTADO DO TESTE $t$ (STUDENT) PARA OS PERCENTUAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO.....	70
TABELA 8 -	VALORES MÉDIOS PARA DENSIDADE BÁSICA DAS SEÇÕES DE TRONCO, TORAS E DISCOS.....	71
TABELA 9 -	VALOR DE $t$ PARA AS MÉDIAS DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE AS TORAS 1 E 2.....	72
TABELA 10 -	VALORES DA VELOCIDADE MÉDIA DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA AS ÁRVORES EM PÉ E TORAS.....	73
TABELA 11 -	VALORES MÉDIOS PARA A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO DAS TÁBUAS ÚMIDAS (RECÉM DESDOBRADAS) E SECAS AO AR, OBTIDAS DAS TORAS 2.....	75
TABELA 12 -	VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO PARA AS LÂMINAS OBTIDAS DAS TORAS 1.....	77
TABELA 13 -	VALORES DE $t$ PARA AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS, TÁBUAS E LÂMINAS.....	78
TABELA 14 -	CORRELAÇÕES DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO ENTRE OS GRUPOS ÁRVORES, TORAS, TÁBUAS E LÂMINAS.....	80
TABELA 15 -	VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO, FREQUÊNCIA E ÁREA DE NÓS, OBTIDOS NAS LÂMINAS DAS TORAS 1.....	82
TABELA 16 -	VALORES DE $t$ PARA AS PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DAS TORAS 1.....	84
TABELA 17 -	VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO, FREQUÊNCIA E ÁREA DE NÓS OBTIDOS NAS TÁBUAS DAS TORAS 2.....	85
TABELA 18 -	VALORES MÉDIOS DO ÂNGULO DE GRÃ DOS TRÊS PONTOS AVALIADOS E DA TÁBUA INTEIRA.....	85
TABELA 19 -	VALORES DE $t$ PARA OS ÂNGULOS DE GRÃ DETERMINADOS NOS DIFERENTES PONTOS DA TÁBUA.....	87
TABELA 20 -	VALOR MÉDIO DO ÂNGULO DE GRÃ DETERMINADO NA TÁBUA INTEIRA.....	87
TABELA 21 -	VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE APARENTE E MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS TÁBUAS SECAS AO AR.....	89
TABELA 22 -	CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ.....	91
TABELA 23 -	AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ.....	93

TABELA 24 -	FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ.....	94
TABELA 25 -	CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 1.....	100
TABELA 26 -	AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TORAS 1.....	102
TABELA 27 -	MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TORAS 1.....	102
TABELA 28 -	CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 2.....	106
TABELA 29 -	AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS TORAS 2.....	107
TABELA 30 -	MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TORAS 2.....	107
TABELA 31 -	CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS TÁBUAS.....	110
TABELA 32 -	AUTOVALORES DAS SETE PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TÁBUAS.....	112
TABELA 33 -	MATRIZ DOS FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS TÁBUAS.....	113
TABELA 34 -	CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS LÂMINAS.....	118
TABELA 35 -	AUTOVALORES DAS CINCO PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS OBTIDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS LÂMINAS.....	120
TABELA 36 -	MATRIZ DE FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS LÂMINAS.....	120
TABELA 37 -	MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NA ÁRVORE EM PÉ.....	124
TABELA 38 -	MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 1.....	125
TABELA 39 -	MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TORAS 2.....	127
TABELA 40 -	MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS TÁBUAS.....	128
TABELA 41 -	MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES AVALIADAS NAS LÂMINAS.....	130

#### LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	ESQUEMA DE UMA FIBRA.....	6
FIGURA 2 -	VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS NO SENTIDO RADIAL PARA ÁRVORES DE <i>Pinus</i> .....	7
FIGURA 3 -	VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DE <i>P. taeda</i> E <i>P. elliottii</i> AO LONGO DO TRONCO.....	8
FIGURA 4 -	VARIAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS DE <i>P. taeda</i> E <i>P. elliottii</i> O LONGO DO TRONCO.....	10
FIGURA 5 -	VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO DENTRO DE ÁRVORES DE <i>P. taeda</i> e <i>P. elliottii</i> .....	14
FIGURA 6 -	VARIAÇÃO DO ÂNGULO DE GRÃ NO SENTIDO RADIAL.....	16
FIGURA 7 -	ESQUEMA DE VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DENTRO DA ÁRVORE - <i>P. radiata</i> .....	18
FIGURA 8 -	VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ONDAS ACÚSTICAS EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO DA GRÃ.....	34
FIGURA 9 -	VARIAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA.....	35
FIGURA 10 -	ESQUEMA DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA.....	36
FIGURA 11 -	AUTOVALORES DAS COMPONENTES PRINCIPAIS OBTIDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ÁRVORES EM PÉ.....	39

FIGURA 12 -	MAPA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS.....	43
FIGURA 13 -	VISTA PARCIAL DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL ESTUDADO.....	44
FIGURA 14 -	ESQUEMA DA ÁRVORE MÉDIA UTILIZADA PARA O ESTUDO.....	46
FIGURA 15 -	FLUXOGRAMA REPRESENTANDO O MATERIAL ESTUDADO DESDE A ÁRVORE EM PÉ.....	47
FIGURA 16 -	APARELHO “STRESS WAVE TIMER” E ACESSÓRIOS.....	48
FIGURA 17 -	APARATO UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ.....	49
FIGURA 18 -	PONTOS DE EMISSÃO E RECEPÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ.....	49
FIGURA 19 -	ESQUEMA DE DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DAS TORAS.....	50
FIGURA 20 -	PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS.....	51
FIGURA 21 -	ESQUEMA DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS.....	51
FIGURA 22 -	ESQUEMA DE AMOSTRAGEM DOS DISCOS PARA ANÁLISE DA DENSIDADE BÁSICA.....	53
FIGURA 23 -	ESQUEMA DE AMOSTRAGEM DOS DISCOS PARA DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS.....	54
FIGURA 24 -	ESQUEMA DE AMOSTRAGEM NA LÂMINA PARA DETERMINAÇÃO DOS NÓS.....	56
FIGURA 25 -	ESQUEMA DE APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS LÂMINAS.....	57
FIGURA 26 -	APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS LÂMINAS.....	57
FIGURA 27 -	PONTOS DE CONTAGEM E MEDIÇÃO DOS DIÂMETROS DE NÓS NAS TÁBUAS DISPOSTAS LADO A LADO.....	58
FIGURA 28 -	ESQUEMA DE APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TÁBUAS.....	59
FIGURA 29 -	INSTRUMENTO RISCADOR USADO PARA MEDIÇÃO DO ÂNGULO DE GRÃ..	60
FIGURA 30 -	ESQUEMA DE DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE GRÃ NOS 3 PONTOS DA TÁBUA.....	61
FIGURA 31 -	ESQUEMA DE DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE GRÃ NA TÁBUA INTEIRA.....	61
GRÁFICO 1 -	DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS DAS ÁRVORES NO PONTO DE COLETA....	45
GRÁFICO 2 -	VARIAÇÃO DO LENHO INICIAL AO LONGO DOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO.....	53
GRÁFICO 3 -	TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS NA SECÇÃO DE TRONCO ESTUDADA.....	67
GRÁFICO 4 -	TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHOS NA SECÇÃO DE TRONCO ESTUDADA.....	68
GRÁFICO 5 -	TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA NA SECÇÃO DE TRONCO ESTUDADA.....	72
GRÁFICO 6 -	FREQUÊNCIA DE NÓS NA MADEIRA JUVENIL E ADULTA, OBTIDA NAS LÂMINAS DAS TORAS 1.....	83
GRÁFICO 7 -	DIÂMETRO DOS NÓS DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA, OBTIDOS NAS LÂMINAS DAS TORAS 1.....	83
GRÁFICO 8 -	ÁREA TOTAL DE NÓS POR METRO QUADRADO DE LÂMINA DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DAS TORAS 1.....	84
GRÁFICO 9 -	COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AVALIADAS PARA AS ÁRVORES EM PÉ.....	93
GRÁFICO 10 -	RELAÇÃO ENTRE OS FATORES PROPRIEDADES ACÚSTICAS E ÁREAS DE NÓS E A RIGIDEZ DAS FIBRAS.....	97
GRÁFICO 11 -	RELAÇÃO ENTRE OS FATORES PROPRIEDADES ACÚSTICAS E ÁREA DE NÓS E OS PERCENTUAIS DE LENHOS.....	98
GRÁFICO 12 -	COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS PROPRIEDADES DAS TORAS 1.....	101
GRÁFICO 13 -	RELAÇÕES ENTRE OS FATORES NÓS E PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA.....	104



GRÁFICO 14 - COMPONENTES PRINCIPIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES AVALIADAS PARA AS TORAS 2.....	107
GRÁFICO 15 - COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AVALIADAS PARA AS TÁBUAS.....	112
GRÁFICO 16 - RELAÇÕES ENTRE OS FATORES PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA – CONDIÇÃO ÚMIDA E ÂNGULO DE GRÃ.....	116
GRÁFICO 17 - COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AVALIADAS PARA AS LÂMINAS.....	119
GRÁFICO 18 - RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DOS FATORES PERCENTUAIS DE LENHOS E NÓS COM AS PROPRIEDADES ACÚSTICAS LONGITUDINAIS DA MADEIRA – LÂMINAS.....	122

## RESUMO

Para atender às exigências do mercado em relação à produção e qualidade dos produtos de madeira e, ao mesmo tempo, utilizar as plantações florestais de forma adequada é importante o conhecimento prévio de suas propriedades. Para isso é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem maior facilidade e rapidez na obtenção dos resultados, com um menor custo possível. Dentro desse contexto, esse trabalho teve como objetivo geral testar a técnica não destrutiva de aplicação de ondas de tensão para estimativa das propriedades da madeira, verificando a viabilidade de utilização da mesma como ferramenta para seleção de árvores em pé e toras. Para tanto, a técnica foi empregada nas árvores em pé de *P. taeda*, aos 28 anos de idade, utilizando-se o equipamento “Stress Wave Timer”. Posteriormente, foi aplicada nas toras, tábuas e lâminas obtidas das mesmas árvores, determinando-se, para cada grupo avaliado, o tempo e a velocidade de propagação das ondas de tensão. A checagem das relações entre as variáveis do método e a densidade básica, dimensões de fibras e suas relações, percentuais de lenhos inicial e tardio, ângulo de grã, diâmetro, frequência e área de nós foi realizada com a determinação destas propriedades, através de análises laboratoriais convencionais. Correlações significativas entre o tempo e a velocidade de propagação das ondas e as demais propriedades avaliadas nas árvores em pé, toras e produtos foram detectadas, indicando que a técnica pode ser empregada para determinação indireta destas propriedades, com precisão, eficiência e rapidez na obtenção dos resultados. Estas determinações podem ser realizadas através das equações obtidas, considerando-se o tempo e a velocidade de propagação das ondas como variáveis independentes. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que a qualidade dos produtos pode ser estimada através da aplicação da técnica de propagação de ondas de tensão em árvores em pé e em toras, podendo ser utilizada como ferramenta na seleção do melhor material para diversas finalidades, dentre elas, a produção de celulose, pastas, papel, madeira serrada e laminados.

## ABSTRACT

The previous knowledge of wood properties is necessary to attend the needs of wood market in relation to production, product quality and also to adequately use of forest resources. New technologies need to be developed to obtain the fastest and cheapest results. Within this context and as a general goal, this study aimed at testing the nondestructive technique of using stress wave to estimate the wood properties, verifying the feasibility of the stress wave usage as a tool to select standing trees and logs. So, the technique was applied to *Pinus taeda* standing trees, 28 years old, by using the “Stress Wave Timer” equipment. Later, it was applied to the logs, boards and veneers obtained from the same trees, determining the stress wave time and velocity for each group assessed. The checking of the relationships between the method variables and the basic density, fiber dimensions and their relations, percentage of the earlywood and latewood, grain angle, diameter, frequency and knot area was carried out with the determination of these properties, through conventional laboratory analyses. Significant correlations between wave time and velocity variables and the others evaluated properties from the standing trees, logs and products were detected, indicating that the technique can be employed for indirect determination of these properties, with accuracy, efficiency and swiftness in obtaining results. These determinations can be performed through the equations obtained, considering the stress wave time and velocity as independent variables. According to the results obtained, it was concluded that the quality of the products can be estimated through the application of the stress wave technique to standing trees and logs, and it can be used as a tool to select the best material for several purposes such as the production of pulp, paper, sawn wood and veneers.