

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**AVALIAÇÃO DE ASPECTOS DE QUALIDADE DA MADEIRA
UTILIZANDO O ULTRA-SOM**

CARLOS TEIXEIRA PUCCINI

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**AVALIAÇÃO DE ASPECTOS DE QUALIDADE DA MADEIRA
UTILIZANDO O ULTRA-SOM**

Tese submetida à banca examinadora para
obtenção do título de Doutor em Engenharia
Agrícola, na área de concentração Construções
Rurais e Ambiente

CARLOS TEIXEIRA PUCCINI

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Gonçalves

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P961a Puccini, Carlos Teixeira
Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando
o ultra-som / Carlos Teixeira Puccini. --Campinas, SP:
[s.n.], 2002.

Orientador: Raquel Gonçalves.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Ultra-som. 2. Madeiras - Defeitos. I. Gonçalves,
Raquel. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

“Os homens que constroem o futuro são os que sabem que os melhores tempos ainda estão por vir e que eles próprios ajudarão a trazer esses tempos. Suas mentes são iluminadas pelo fulgurante sol da esperança. Eles nunca param para sentir dúvidas. Não têm tempo para tal”

MELVIN J. EVANS

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Raquel Gonçalves, pela dedicação e ensinamento, pela estima, carinho e principalmente a amizade durante a orientação, sem os quais, eu não teria obtido êxito neste trabalho.

Ao Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, pelo empréstimo do material madeira para a realização dos ensaios;

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo, pela colaboração durante a permanência no Laboratório;

À Profa. Dra. Voichita Bucur, da Université Henri Poincaré – Nancy, França, por ter concebido o plano de pesquisa, pela ajuda e apoio demonstrado durante o trabalho;

Aos Professores da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, pela atenção dada a mim;

Aos colegas de trabalho e funcionários do Laboratório de Materiais e Estruturas, pelo companheirismo demonstrado durante o trabalho;

À Agência Financiadora CAPES por ter concedido a Bolsa para a realização da pesquisa;

A todos os funcionários, que direta ou indiretamente, contribuíram com minha pesquisa;

Aos alunos Alexandre Nader (Iniciação Científica, FEAGRI/UNICAMP) e Mariu Elisio Alves Monteiro (IMECC/UNICAMP) pela grande ajuda na execução dos ensaios e ao Professor Reinaldo Charnet.

Aos amigos que compartilharam comigo essa jornada;

Ao Kiko pelo apoio;

Aos meus irmãos por todo carinho a mim dedicado;

Ao meu pai, “*in memórian*” e, em especial, à minha Mãe, pelo suporte e compreensão em mais esta etapa da minha vida e, principalmente, pelo amor dedicado a mim.

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Fatores anatômicos que influenciam as propriedades da madeira ..	03
2.1.1. Nós	04
2.1.2. Inclinação da grã	04
2.1.3. Medula	05
2.2. Generalidades sobre métodos não destrutivos empregados na avaliação de materiais	05
2.3. Avaliação da Qualidade da Madeira pelo Método Visual.....	08
2.4. Aspectos Normativos de Avaliação da Qualidade da Madeira pelo Método Visual	09
2.4.1. IRAM - Proposta de Norma: “Classificación visual de la madeira aserrada de Quebracho blanco”	09

2.4.2.	NBR 9192/85: Paletes de Madeira – Materiais	12
2.4.3.	Norma para Classificação de Madeira Serrada de Folhosas – IBDF – Ministério da Agricultura	14
2.5.	Aspectos teóricos relativos à propagação das ondas de ultra-som	18
2.5.1.	Propagação de ondas em sólidos ortotrópicos	18
2.5.2.	Velocidade das ondas de ultra-som na madeira	19
2.5.3.	Sistemas de medida da propagação da onda	20
2.5.4.	Aspectos referentes aos corpos-de-prova para o ensaio utilizando o ultra-som	21
2.5.5.	Frequência do equipamento ultra-som	26
2.5.6.	Equação fundamental para determinação das constantes elásticas	27
2.6.	Avaliação da madeira utilizando o ultra-som	29
3 .	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1.	Material	33
3.1.1.	Origem do material	33
3.1.2.	Equipamentos	34
3.2.	Metodologia	35
3.2.1.	Planejamento Experimental	35
3.2.1.1	Determinação do tamanho da amostra (quantidade de corpos-de-prova)	35
3.2.2.	Preparação das peças	36

3.2.3.	Nomenclatura das peças	37
3.2.4.	Adoção de critério de análise visual	40
3.2.5.	Análise visual	41
3.2.6.	Ensaio utilizando equipamento de ultra-som	43
3.2.7.	Determinação do teor de umidade	46
3.2.8.	Determinação da densidade aparente.....	47
3.2.9.	Análise Estatística	47
3.2.10.	Avaliação comparativa com Norma de Classificação baseada em Método Visual	48
3.2.11.	Determinação da constante elástica (C_{LL}) em cada corpo- de-prova, nos dois pontos de medição	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1.	Resultados dos ensaios	49
4.2.	Análise Estatística das médias dos resultados obtidos nos corpos- de-prova	50
4.2.1.	Nós	50
4.2.2.	Medula	52
4.2.3.	Inclinação da grã	53
4.2.4.	Correlação Múltipla	56
4.3.	Discussão geral dos resultados	57
4.3.1.	Inclinação da grã	57
4.3.2.	Nós	59

4.3.3. Medula	60
4.4. Classes	60
4.5. Avaliação do comportamento da velocidade de propagação (V_{LL}) e da constante dinâmica (C_{LL}) nos pontos 1 e 2, separadamente	62
5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXO I	74

LI STA DE FI GURAS

	Página
Figura 2.1. Velocidades de ultra-som para materiais ortotrópicos (BUCUR, 1995)	19
Figura 2.2. Diagrama de blocos de um sistema de medidas de ultra-som (BUCR,1995)	20
Figura 2.3 Influência da seção transversal do corpo-de-prova na determinação da velocidade para a espécie <i>Sapin Douglas</i> (BUCUR, 1984)	23
Figura 2.4. Influência do comportamento do corpo-de-prova na determinação da velocidade longitudinal V_{LL} (BUCUR, 1984, apud BUCUR, 1995) ...	24
Figura 2.5. Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L/λ em corpos-de-prova de Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) (BUCUR,1984)	25
Figura 2.6. Influência da frequência na determinação da velocidade de ultra-som (BUCUR, 1995)	26
Figura 2.7. Variação da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas em função da presença de nós (SANDOZ, 1989)	31

Figura 2.8.	Mapeamento da constante elástica indicando a localização, tamanho e natureza dos nós (BUCUR, 1988)	31
Figura 3.1.	Tora semi-desdobrada	34
Figura 3.2.	Dimensão do corpo-de-prova	37
Figura 3.3.	Confecção do corpo-de-prova	37
Figura 3.4.	Croqui das indicações de árvores e toras	38
Figura 3.5.	Desdobro da tábua e prancha	38
Figura 3.6.	Numeração da peça na tábua ou prancha	39
Figura 3.7.	Exemplo de uma peça (corpo-de-prova) com nomenclatura “2/1 1D”	40
Figura 3.8.	Preparação da nomenclatura	40
Figura 3.9.	Madeira sã	42
Figura 3.10.	Madeira com inclinação de grã	42
Figura 3.11.	Madeira com a presença de nós	42
Figura 3.12.	Madeira com a presença de medula	42
Figura 3.13.	Madeira com a presença de medula – corte transversal	42
Figura 3.14.	Equipamento de ultra-som	44
Figura 3.15.	Aplicação do ultra-som no corpo-de-prova	44
Figura 3.16.	Representação da localização dos pontos de medição do tempo de propagação da onda de ultra-som no corpo-de-prova	45

Figura 4.1.	Relação entre os intervalos de inclinação da grã e a velocidade longitudinal de propagação da onda ultra-sônica	58
Figura 4.2.	Relação entre a área dos nós nos corpos-de-prova e a velocidade de propagação longitudinal da onda ultra-sônica	59
Figura 4.3.	Figura comparativa entre valores médios de V_{LL} para o corpo-de-prova no ponto 1 do <i>Pinus taeda L.</i>	64
Figura 4.4.	Figura comparativa entre valores médios de V_{LL} para o corpo-de-prova no ponto 2 do <i>Pinus taeda L.</i>	64

LI STA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1. Defeitos admitidos para a classificação visual da madeira de <i>Quebracho blanco</i> (CORONEL, 1995)	11
Tabela 2.2. Influência da variação simultânea de comprimento e seção transversal na velocidade longitudinal V_{LL} . Espécie: Spruce (Sitka spruce). Teor de umidade 12%. Frequência 1 MHz. Transdutor de diâmetro = 8 mm (BUCUR, 1984)	24
Tabela 2.3. Coeficientes de Poisson Médios para coníferas e dicotiledôneas (BODY e JAYNE, 1982) apud GOULET e LAFOREST (1987)	28
Tabela 4.1. Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas	49
Tabela 4.2. Testes de significância do modelo para a variável independente, nó ...	51
Tabela 4.3. Testes de significância do modelo para a variável independente, nó ...	51
Tabela 4.4. Testes de significância do modelo para a variável independente	53

	medula	
Tabela 4.5.	Testes de significância do modelo para a variável independente inclinação da grã	54
Tabela 4.6.	Testes de significância do modelo para a variável independente inclinação da grã	55
Tabela 4.7.	Resultados do teste de medida de correlação	56
Tabela 4.8.	Média das velocidades de propagação de ondas ultras-sônicas em cada classe apresentada por CORONEL (1995)	61
Tabela 4.9.	Valores médios da velocidade de propagação da onda para os dois pontos de leitura do corpo-de-prova	62
Tabela 4.10.	Valores médios das constante dinâmica para os dois pontos de leitura do corpo-de-prova	63
Tabela 01.	Planilha dos resultados da análise visual e da análise utilizando o ultra-som	74
Tabela 02.	Planilha dos valores da velocidade de propagação e da constante dinâmica no ponto 01 da peça	92
Tabela 03.	Planilha dos valores da velocidade de propagação e da constante dinâmica no ponto 02 da peça	110

LI STA DE EQUAÇÕES

	Página
Equação 2.1.	19
Equação 2.2.	27
Equação 2.3.	28
Equação 2.4.	29
Equação 3.1.	45
Equação 3.2.	46
Equação 3.3.	47

RESUMO

Os métodos visuais para a detecção de defeitos na madeira, ainda que de grande utilidade, podem ser falhos e exigem a utilização de mão-de-obra relativamente bem treinada. Muitas vezes a presença de nós, rachaduras ou ainda regiões com medula no interior de uma peça serrada podem ser imperceptíveis na avaliação visual. Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas acústicas, destacando-se, dentre elas, o ultra-som. O objetivo deste trabalho foi avaliar, estatisticamente, a possibilidade de se utilizar o método do ultra-som na detecção de defeitos em peças de madeira serrada. Para isso foram utilizadas 882 peças de *Pinus taeda L.*, de dimensões nominais: 1,6 cm de espessura; 4,0 cm de largura e 38,5 cm de comprimento, retiradas de tábuas e pranchas provenientes de árvores do Horto Florestal de Manduri/SP. Inicialmente foi realizada uma análise visual das peças e, posteriormente, a determinação da velocidade de propagação de ondas de ultra-som. Todas as peças foram secas ao ar e ensaiadas na umidade aproximada de 12% (umidade considerada como a de equilíbrio para a região de Campinas). Para a realização dos ensaios foi utilizado o equipamento de emissão de ondas de ultra-som marca Steinkamp BP-7, equipado com transdutores exponenciais de 45 kHz. Inicialmente foi realizada uma análise visual dos defeitos e, então, foi medida a velocidade de propagação da onda de ultra-som nas amostras de madeira. Com os resultados, realizou-se uma análise exploratória das variáveis e obteve-se um modelo de regressão, visando verificar a relação entre a presença de defeitos e a velocidade de propagação da onda do ultra-som na madeira. Os resultados demonstraram que, para todos os defeitos avaliados, a variável velocidade foi altamente significativa. Além dessa análise, foi realizada uma comparação do comportamento da velocidade de propagação longitudinal da onda ultra-sônica na madeira, com os resultados obtidos pela classificação das amostras através da norma de classificação baseada em método visual, bem como a determinação das constantes dinâmicas de ultra-som para o *Pinus taeda L.* para amostras de madeira sã e para amostras de madeiras com presença de nós e de medula e desvio de grã.

Palavras chave: Análise visual; ultra-som; defeitos na madeira.

ABSTRACT

The visual methods to detect wood defects, although with great usefulness, can give results without any confidence and demand a well-trained operator to carry it out. The presence of knots, cracks or coeur regions inside a sawed wood piece can be imperceptible by a visual inspection. One of the great progresses obtained in the last years in materials characterization, from the mechanical and the quality point of view, is the application of acoustics techniques like ultrasound. The objective of this work was to evaluate, by statistical methods, the sensibility of the ultrasonic method to detect defects in pieces of sawed wood. For this experiment it was used 882 pieces of *Pinus taeda L.* with nominal dimensions of 1.6 cm of thickness, 4.0 cm of width and 38.5 cm of length were used. These samples were obtained from lumbers of trees grown at the “Horto Florestal de Manduri - SP.” These samples were tested at air-dried condition (approximately 12% moisture content, considered equilibrium moisture for this specie at the Campinas region). To test the wood samples was used a Steinkamp BP-7 ultrasonic waves emitter with exponential 45 kHz transducers. Initially the wood pieces were analyzed by visual method and then the velocity of ultrasonic waves through the wood pieces was measured. An exploratory analysis of the variables was done and a regression model was obtained to identify a relationship between wood defects and propagation velocity of the ultrasonic waves. The results showed that for all defects analyzed the ultrasonic waves propagation velocity was highly significant. Also, it was made a comparison of the behavior of the longitudinal ultrasonic waves propagation velocities for the wood samples and the results of classification of these samples by a visual classification standard method. The determination of the ultrasonic dynamic constants for perfect samples, samples with knots or Coeur and fiber directions were made.

Key words: visual analysis; ultrasound; wood defects

1. INTRODUÇÃO

O uso da madeira para diversas finalidades construtivas é reconhecido e valorizado em diversas partes do mundo. Países como Canadá, França, Suíça, Japão e Estados Unidos têm investido recursos financeiros e humanos na busca de um maior conhecimento das propriedades deste material, bem como de novas técnicas de aplicação e composição da madeira com outros materiais visando um uso racional.

No Brasil, vários pesquisadores têm se dedicado ao trabalho de pesquisar, ensinar e disseminar o conhecimento da madeira, buscando atingir níveis tecnológicos compatíveis aos já alcançados internacionalmente.

Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas não-destrutivas, denominadas internacionalmente como NDT – Non Destructive Testing e NDE – Non Destructive Evaluation, destacando-se, dentre elas, o uso do ultra-som.

Enquanto que em países desenvolvidos existem normas bem definidas para a classificação da madeira, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade para as mais diversas aplicações, no Brasil, a NBR 7190/97 menciona classes de resistência mas incorpora apenas ensaios destrutivos realizados em corpos-de-prova para a caracterização mecânica da madeira visando sua aplicação em estruturas.

Em relação à qualidade da madeira, no Brasil não existe uma norma de uso generalizado e sim normas visando aplicações específicas. Essas normas não descrevem critérios de classificação, mas apenas especificações que definem a aceitação ou rejeição de um determinado lote e se baseiam, tão somente, em métodos visuais.

Os métodos visuais, bastante utilizados no passado em normas de classificação, ainda que de grande utilidade, podem ser falhos e exigem a utilização de mão-de-obra relativamente bem treinada. Muitas vezes a presença de nós, rachaduras ou ainda regiões com medula no interior de uma peça serrada podem ser imperceptíveis na avaliação visual. A presença de madeira juvenil só pode ser identificada por um avaliador com grande experiência. O estudo de metodologia que incorpore técnicas modernas e precisas na avaliação da madeira terá importância vital para a aplicação futura do material no país.

O objetivo dessa pesquisa foi, portanto:

- ✍ Avaliar a sensibilidade do método do ultra-som na detecção de características indesejáveis (presença de nós e medula e de desvio de grã) em peças de madeira para aplicação industrial, a partir dos valores experimentais tratadas estatisticamente;
- ✍ Comparar a classificação obtida por meio da velocidade de propagação longitudinal da onda ultra-sônica, na madeira de *Pinus taeda L*, com resultados obtidos por meio da Norma de Classificação baseada em método visual;
- ✍ Determinar a constante dinâmica do *Pinus taeda L* para a madeira sã e para a madeira com presença de nós e medula e de desvio de grã.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Levando-se em consideração o objetivo do trabalho, a revisão da literatura buscou, primeiramente, apresentar os fatores anatômicos que influenciam as propriedades da madeira e que foram objeto de estudo. Na sequência são apresentadas generalidades sobre métodos não destrutivos utilizados na avaliação de materiais em geral. Em seguida, são apresentadas referências relacionadas com os dois métodos de avaliação da madeira utilizados nesse trabalho: avaliação visual e com o auxílio do ultra-som. No caso da avaliação visual são apresentadas, a título de exemplo, algumas normas de classificação. No caso da utilização do ultra-som, foram apresentados, primeiramente, os aspectos teóricos que envolvem a compreensão da propagação das ondas ultra-sônicas na madeira, incluindo-se aspectos que podem afetar o ensaio. Finalizando o capítulo são apresentadas referências que ilustram resultados já alcançados por outros pesquisadores na avaliação da madeira utilizando o ultra-som.

2.1. Fatores anatômicos que influenciam as propriedades da madeira

Por ser um material de origem biológica, a madeira está sujeita a variações em sua estrutura que podem acarretar mudanças nas suas propriedades. Tendo em vista os objetivos deste trabalho, neste item serão definidos, de maneira breve, alguns desses fatores.

2.1.1. Nós

Os nós, originários dos galhos existentes nos troncos da madeira, interrompem a direção das fibras dando origem ao desvio da grã, com pronunciadas inclinações. A influência de um nó na resistência da peça depende do seu tamanho e localização. Quando localizados próximos às bordas de uma peça estrutural, reduzem consideravelmente suas resistências à tração, na proporção da largura que ocupam na viga (FURIATI, 1981).

Existem nós firmes e nós soltos. Ambos reduzem a resistência da madeira para algumas solicitações, por interromperem a continuidade da direção das fibras. Os nós podem causar, também, efeitos localizados de tensão concentrada.

O nó é um defeito bastante comum, principalmente em coníferas, e pode afetar de maneira significativa a resistência da madeira. Essa redução é mais significativa em peças tracionadas do que em peças comprimidas. Estudos demonstraram que essa redução de resistência pode estar em torno de 24%, quando o nó está em uma posição central na peça, e em torno de 43%, quando se localiza próximos às bordas (HAYGREEN e BOWER, 1995).

2.1.2. Inclinação da grã

O desvio ou inclinação da grã é normalmente descrito como sendo o ângulo entre a direção das fibras na peça (ASTM D 245-81). BECHTEL e ALLEN (1987) definiram desvio de fibras como sendo o ângulo entre os elementos longitudinais da madeira e o eixo do tronco.

A inclinação da grã pode ocorrer como resultado do corte das peças ou como resultado da existência natural de grã espiralada. No primeiro caso, essa inclinação é facilmente notada, principalmente em espécies onde se pode visualizar os anéis de crescimento. Já no segundo caso, mesmo quando os anéis de crescimento estão paralelos às bordas da peça, internamente podem ocorrer inclinações significativas (HAYGREEN e BOWER, 1995).

Essa inclinação pode ter influência significativa sobre as propriedades da madeira, a partir de certos valores. A norma brasileira NBR 7190/97 (Projeto de Estruturas de Madeira)

permite desconsiderar a influência da inclinação da grã para ângulos até 6°. A partir desse valor é preciso considerar a redução da resistência pela fórmula de HANKINSON.

É importante lembrar, ainda, que o efeito da inclinação da grã tem diferentes magnitudes, dependendo do esforço ao qual a peça está submetida. FURIATI (1981) declarou que para peças submetidas à compressão paralela, o efeito da inclinação da grã é mais significativo, pois origina componentes de tensão que agem em direções nas quais a madeira apresenta menor resistência. Por outro lado, HAYGREEN e BOWER (1995) declararam que a tração é mais fortemente afetada pela inclinação da grã do que a flexão ou a compressão.

Por último, cabe ainda destacar que os efeitos da inclinação da grã sobre as características de resistência são mais significativos do que sobre as características de elasticidade (FURIATI, 1981).

2.1.3. Medula

Quando a peça serrada contém a medula, ocorre uma diminuição da resistência mecânica. No cerne, próximo à medula, existem fortes tensões internas, o que facilita o aparecimento de rachaduras.

2.2. Generalidades sobre métodos não-destrutivos empregados na avaliação de materiais

A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar suas capacidades de uso (ROSS et al., 1998). Várias técnicas podem ser consideradas como sendo não destrutivas, desde o exame visual até os ensaios químicos, os testes mecânicos e o uso de técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas, raios x, etc.

A avaliação visual da madeira é utilizada para indicar sua qualidade com o auxílio de, por exemplo, cor, quantidade e posição dos nós, desvio da grã, sinais de apodrecimento ou ataque de organismos xilófagos, etc.

Os ensaios químicos podem avaliar a presença e composição dos tratamentos preservativos ou ignífugos, aos quais a madeira tenha sido submetida.

Os ensaios mecânicos consistem na medição do módulo de elasticidade estático à flexão de uma peça de madeira, sendo esse o princípio básico de funcionamento da máquina de classificação estrutural mecânica da madeira serrada - MSR - *Machine Stress Rating*. Na prática, contudo, as condições estáticas e de carregamento do material podem variar significativamente em relação às condições elementares do teste, mesmo nas estruturas mais simples. Seu uso é ainda restrito a elementos estruturais isolados, sendo inviável sua aplicação em estruturas e elementos estruturais em uso (BALLARIN e GONÇALVES, 2001). Além das restrições citadas, há ainda que se destacar a necessidade de serem fixadas bitolas, o que de certa forma restringe a avaliação da madeira para finalidades diferentes da aplicação estrutural da que ela tenha sido proposta.

Na madeira os métodos vibracionais têm se destacado dentre aqueles os empregados para testes não-destrutivos (NDT), conforme relatado por HEARMON, 1966, segundo BALLARIN e GONÇALVES (2001).

Diversos métodos que se utilizam de propagação das ondas de tensão têm sido pesquisados para uso como ferramentas de testes não-destrutivos na madeira. A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida é o principal parâmetro analisado nesses casos (BALLARIN e GONÇALVES, 2001).

Embora as ondas de ultra-som estejam sendo utilizadas desde a década de 70, na avaliação não-destrutiva de diferentes materiais, somente mais recentemente essa técnica passou a ser empregada sistematicamente em produtos à base de madeira. Esse relativo atraso, deve-se às peculiaridades anatômicas desse material, as quais dificultam a compreensão do fenômeno de propagação das ondas quando comparadas com outros materiais homogêneos (aço e concreto, por exemplo).

BALLARIN e GONÇALVES (2001) comentaram ainda que, o método usual do ultra-som considera como parâmetro quase que exclusivo de análise a velocidade de propagação da

onda de tensão induzida e que, quando o método baseia-se numa completa observação e análise dos parâmetros da forma da onda aplicada à madeira e compósitos, a técnica recebe a denominação característica de emissão acusto-ultrassônica, internacionalmente referida como AU – *acousto-ultrasonic emission*. Nesse caso, ao invés de privilegiar a definição precisa e clara de um caminho de propagação da onda — indicativo maior de falhas no material — a técnica da emissão acusto-ultrassônica requer que o sinal recebido seja o resultado das múltiplas interações com a microestrutura do material.

Vários investigadores, tais como, BUCUR (1984), WAUBKE (1981), SANDOZ (1990), HERZIG (1992), STEIGER (1996), KOUBAA et al. (1997), HERNÁNDEZ et al. (1998), BARTHOLOMEU et al. (1998), GONÇALVES e BARTHOLOMEU (2000), OLIVEIRA e SALES (2000); BARTHOLOMEU (2001), comprovaram a eficiência do método do ultra-som para determinar as constantes elásticas da madeira. Alguns desses autores chegaram a, inclusive, apresentar proposta de classificação de peças estruturais de madeira utilizando o ultra-som (WAUBKE, 1981), SANDOZ (1990), STEIGER (1996). Essa classificação é baseada, primeiramente, em correlações existentes entre a velocidade de propagação da onda de ultra-som na madeira e parâmetros de resistência e rigidez. Posteriormente, através dessas correlações, os autores propuseram faixas de velocidades, relacionadas às classes que representam diferentes expectativas de resistência e elasticidade da madeira. SANDOZ (1993) enfatizou o uso do ultra-som como um elemento auxiliar ao emprego das normas que utilizam o conceito dos estados limites, já que nesse caso se poderia utilizar essa ferramenta para separar, inicialmente, a madeira em classes de resistência.

A existência de vários pesquisadores preocupados em descobrir o método de avaliação mais adequado para a madeira, demonstra a existência de uma preocupação em garantir ao consumidor a qualidade do material adquirido e, ao projetista, a resistência e elasticidade a serem utilizadas no projeto, com segurança e economia.

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, especial atenção será dada a dois métodos de avaliação não destrutiva da madeira: o método visual e o método utilizando o ultra-som.

2.3. Avaliação da Qualidade da Madeira pelo Método Visual

A avaliação visual é o primeiro e o mais tradicional método de classificação da madeira, sendo bastante utilizada na Comunidade Européia e nos EUA. Esse método consiste na análise das peças estruturais, por um profissional de larga experiência, visando a detecção de nós, desvio e distorção da grã, presença de fungos e insetos e demais defeitos que venham comprometer a aparência e resistência das peças.

A classificação é realizada com base na quantidade de defeitos, sendo as classes determinadas pelo Eurocode-5 na Europa, ou, nos EUA, por Normas específicas adotadas por cada Estado Federativo.

A avaliação visual é também muito utilizada para a pré-classificação de peças, ou seja, para o descarte inicial de peças de madeira contendo irregularidades (nós, bolsas de resina, etc.), inclinação acentuadas de grã ou partes da seção com baixa densidade (medula, faixas de parênquima, etc.).

Na elaboração do código de classificação visual europeu realizou-se um grande estudo das propriedades mecânicas de madeira serradas associada à classificação visual. Para isso, foram analisadas amostras de 580 peças de seções comerciais (10x14 cm, 10x18 cm, 10x22 cm). As vigas foram ensaiadas à flexão, conforme as especificações do código CIB W18 (Rilem/CIB-3tt, 1978). Os resultados mostraram que a aplicação da técnica visual, como forma única de avaliação, produziu resultados incertos, muito diferentes de um país a outro, além de ser antieconômica (KESSEL e SANDOZ, 1989; SANDOZ, 1991).

SANDOZ (1989) realizou um outro estudo comparando a classificação da madeira por meio dos métodos visual e estático (módulo de elasticidade e resistência). Os resultados demonstraram que o método de classificação visual apresentou uma porcentagem de acerto, em relação à classificação por método estático, de 49%. A maior porcentagem de erro foi observada para a madeira classificada como de primeira classe (45%). Para a madeira classificada como de segunda classe o erro foi de apenas 6%. O autor concluiu, então, que a classificação visual não é adequada e que, por introduzir grandes erros, os fatores de segurança das estruturas tornam-se tão elevados.

2.4. Aspectos Normativos de Avaliação da Qualidade da Madeira pelo Método Visual

Tendo em vista que um dos objetivos deste trabalho foi avaliar a sensibilidade do ultrassom na detecção de defeitos na madeira, foi necessário criar-se uma comparação com métodos já estabelecidos de avaliação de defeitos. Sendo assim, algumas normas nacionais e internacionais de classificação visual foram analisadas, de maneira a serem estabelecidos os principais parâmetros de análise.

2.4.1. IRAM – Proposta de Norma: "*Clasificación visual de la madera aserrada de Quebracho blanco*".

Essa proposta de Norma do Instituto Argentino de Racionalização de Materiais (IRAM) contém especificações para a classificação visual da madeira da espécie *Quebracho blanco*. Esta classificação separa a madeira em três graus de qualidade considerando:

- a) Estrutura da madeira e defeitos (defeitos naturais, locais de crescimento e aspectos da madeira relacionados à aparência);
- b) Influências do acondicionamento e condições de corte;
- c) Fatores que podem influenciar as propriedades físicas e mecânicas da espécie.

A referida proposta de Norma sugere que sejam consultados as Normas complementares: IRAM 9502 - Definição geral e terminologia da madeira (vocabulário sobre madeira), IRAM 9532 - Determinação do teor de umidade da madeira, IRAM 9560 - Critério de avaliação dos defeitos da madeira.

Para a separação dos graus de qualidade da madeira são considerados a quantidade, o estado, o lugar e as dimensões dos defeitos externos da madeira. Com base nesses aspectos são apresentados os seguintes graus de qualidade:

- Grau de Qualidade I – Madeira de construção serrada com alta capacidade de resistência;

-
- Grau de Qualidade II – Madeira de construção serrada com média capacidade de resistência;
 - Grau de Qualidade III – Madeira de construção serrada com baixa capacidade de resistência;

Os requisitos para que as peças sejam classificadas nestes três graus de qualidade são apresentados na Tabela 2.1.

Para os defeitos da madeira admitidos na Tabela 2.1 são válidas as limitações indicadas na Norma IRAM 9560.

Exigências especiais são estabelecidas para o acondicionamento, ou seja, a madeira serrada deve ter uma porcentagem de umidade variando entre 12 e 20%, de acordo com a Norma IRAM 9532.

Tabela 2.1. Defeitos admitidos para a classificação visual da madeira de *Quebracho blanco* (CORONEL,

CONCEITO	CLASSE I	CLASSE II
- Nós simples: diâmetro em relação à largura ou espessura da seção transversal.	Admite-se um valor até 1/5	Admite-se um valor até 1/3
- Nós agrupados: Somas dos diâmetros na largura ou espessura da peça a cada 1 m de comprimento	Admite-se um valor até 2/5	Admite-se um valor até 2/3
-Rachaduras internas:	Admite-se uma rachadura até 10 cm de comprimento.	Admite-se uma rachadura até cm de comprimento.
-Rachaduras superficiais:	Admite-se uma rachadura em um lado até 10% do comprimento da peça.	Admite-se uma rachadura em lado até 20% de longitudinal.
- Inclinação das fibras	Admite-se até 8°	Admite-se até 12°
- Defeitos causados por fungos	Admite-se até 3% da superfície da peça	Admite-se até 10% da superfície da peça
- Defeitos causados por insetos (presença de orifícios pequenos)	Admite-se até 2 orifícios por m de comprimento e diâmetro inferior a 2 mm cada um	Admite-se até 3 orifícios por m de comprimento e diâmetro inferior a 3 mm cada um
- Curvatura (altura da flecha a cada 3 m de comprimento)	Admite-se até 1/20 da largura	Admite-se até 1/12 da largura.

2.4.2. NBR 9192/85 : Paletes de Madeira – Materiais

Esta norma brasileira fixa as condições exigíveis para as peças de madeira a serem utilizadas na fabricação de paletes. Sua aplicação requer a utilização das Normas Complementares: NBR 8254 – Paletes – Terminologia; NBR 8255 – Fixadores para paletes de madeira – Resistência da fixação ao arrancamento – Método de ensaio; NBR 9199 – Madeira utilizada na confecção de caixas e engradados – Terminologia.

Os parâmetros avaliados e as respectivas características de cada parâmetro são:

a) Nós;

Nas faces em que ocorrem devem:

- ter o diâmetro máximo não maior do que $1/3$ da largura da face;
- ter a soma dos diâmetros dos nós são, não superior a $2/3$ da largura da peça;
- podem estar localizados em qualquer posição, se forem são. Nós cariados, soltos (nó que não fica firmemente retido na madeira seca) ou vazados não devem ser permitidos em áreas de fixação das travessas e das tábuas;
- estar situados a uma distância mínima de 10 cm um do outro.

b) Rachaduras:

Não pode haver mais do que duas rachaduras, e cujo comprimento não seja maior do que 10 cm cada, em tábuas de extremidade. Em tábuas intermediárias não pode ocorrer mais do que duas rachaduras por tábuas, e a soma dos comprimentos não ultrapasse duas vezes a largura da peça. Nas travessas, não são admitidas mais do que duas rachaduras por peças e no comprimento máximo de 5 cm cada. Não se admite rachaduras em partes de madeira.

c) Desvio da grã:

As peças podem apresentar desvio da grã não maior 1:20 em relação ao seu eixo para as travessas e tábuas da extremidade, salvo nas proximidades dos nós, onde pode ser maior. Para as tábuas intermediárias não deve ser maior do que 1:10.

d) Quina morta ou esmoada:

Não deve exceder a 1/3 da largura e 1/10 do comprimento de qualquer peça. Não mais do que a metade das peças do palete deve conter quina morta. Esse defeito não deve ser permitido em tábuas de extremidade.

e) Defeitos de secagem:

As peças de madeira podem apresentar os seguintes desvios máximos:

- empenamento do eixo: 15 mm
- encanoamento: 5 mm

f) Bolsas de resina:

Não se admite a presença de bolsas de resina nas tábuas de extremidade e nem nas travessas.

g) Defeitos de processamento:

Não é permitida a existência de nenhum defeito de processamento que tenha efeito maior na resistência das tábuas e travessas do que os defeitos naturais.

h) Deterioração:

Furos produzidos por insetos adultos ou por suas larvas podem ser permitidos desde que não afetem a resistência mecânica da peça. Não deve haver contaminação e infestações biológicas ativas.

As condições de amostragem, bem como a aceitação ou rejeição da madeira, segundo a avaliação detalhada, devem ser definidas em comum acordo entre fornecedor e comprador.

2.4.3. Norma para Classificação de Madeira Serrada de Folhosas – IBDF – Ministério da Agricultura.

Essa Norma foi elaborada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, com a participação de entidades governamentais e associação de comércio e indústria de madeira, entidades importadoras internacionais, Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO) e pela Associação Técnica Internacional de Madeira Tropical – ATIBT, da França. É uma norma que se refere a especificações para duas classificações:

- ✍ Mercado Geral – madeira, em geral, destinada a ser re-serrada anteriormente à utilização final;
- ✍ Mercados Especiais – madeira, em geral, destinada a ser utilizada nas seções fornecidas ou a certos usos finais específicos.

De maneira geral, a classificação apresentada nesta Norma tem como objetivo determinar a qualidade de uma peça de madeira, definida em função da classe na qual a peça se enquadre.

Uma classe é definida de acordo com a descrição da pior peça que possa nela ser incluída.

Cada classe pode conter todas as peças que se encontrarem entre o limite inferior dessa classe até aquelas que não possam ser incluídas na classe imediatamente superior a essa.

Todas as peças de madeira de qualidade inferior à classe mais baixa são rejeitadas.

Na presente Norma, os seguintes métodos de classificação são usados para determinar as classes de qualidade:

- ✍ rendimento dos cortes limpos (para classificação das peças destinadas ao Mercado Geral);

☞ quantidade e importância dos defeitos encontrados na peça, isto é, classificação por aparência (Mercados Especiais).

O princípio da classificação baseada no rendimento dos cortes limpos consiste em determinar e considerar, relativamente à peça inteira, a parte isenta de defeitos na face a ser classificada. Nessa classificação apenas uma face é considerada. O resultado, ou seja, a superfície limpa total obtida, permite que a peça seja enquadrada em uma determinada classe.

As definições básicas utilizadas nesse processo de classificação são:

☞ cortes: porção retangular que pode ser obtida por corte imaginário, transversal ao eixo da peça, por corte imaginário longitudinal, ou pelas duas operações;

☞ corte limpo: é um corte isento de defeitos. Alguns defeitos podem ser tolerados em certas classes de qualidade e para determinadas espécies;

☞ unidade de corte (UC): é a área de um corte de 0,30 m de comprimento por 25 mm de largura. Quando esta área é livre de defeitos, ela é convencionalmente definida como uma Unidade de Corte Limpo (UCL). Para finalidades de cálculo, esse corte recebe o valor 1. Essas dimensões também servem como unidades de comprimento e largura para determinação do número de unidades de corte durante a classificação;

☞ superfície limpa total: é a área do corte limpo ou a soma das áreas dos cortes limpos contidos na face da peça classificada. No sistema de classificação por cortes, essa área é expressa pelo número de unidade de corte limpo;

☞ rendimento de cortes limpos: é o percentual máximo que pode ser obtido entre a soma das unidades de corte limpo e o total de unidade de corte, da face da peça a ser classificada;

☞ pior face: é a face na qual os defeitos depreciam mais a peça.

O sistema de classificação por cortes é empregado, de acordo com o que foi definido anteriormente, sobre a pior face, exceto se houver especificações em contrário.

A classe da peça depende das dimensões, da natureza e da importância dos defeitos que contenha; das dimensões dos cortes limpos, da quantidade e do rendimento de cortes limpos.

Os procedimentos da classificação são:

☞ determinar a pior face da peça.

☞ examinar visualmente a face, a fim de tomar uma decisão quanto à aceitação ou à rejeição da peça (dimensões da peça, pequenos defeitos, um defeito particular, ou um defeito muito importante, etc.) para a continuidade da classificação. Durante esse exame, deve-se ter o cuidado de verificar se a parte não incluída nos cortes limpos e também as bordas contêm defeitos que a excluam pelas exigências particulares da classe em que a peça deverá ser enquadrada. Onde houver dúvida, deve-se marcar com giz os defeitos da pior face da peça, a fim de delimitar um ou mais cortes limpos. Convém salientar que as dimensões dos cortes devem corresponder a múltiplos inteiros do comprimento e da largura de uma unidade de corte. É necessário satisfazer às seguintes condições: que as dimensões dos cortes limpos atendam aos requisitos mínimos da classe prevista, e que o número máximo de cortes limpos não seja superior ao da classe prevista, em função da área total da face classificada.

☞ determinar a quantidade de unidades de corte de cada corte limpo, para obter o total dessas unidades na peça. Esse total é comparado ao mínimo especificado a fim de incluir uma peça numa determinada classe.

☞ após a análise das condições supracitadas, caso a peça não satisfaça uma das condições, deverá ser enquadrada numa classe inferior ou rejeitada.

A classificação baseada nos defeitos da peça tem como princípio determinar a quantidade e a importância dos defeitos encontrados em toda a peça. Os conceitos utilizados nesse método de classificação são:

☞ elemento: é uma porção da peça que pode ser obtida por corte imaginário transversal ao eixo da peça. Assim sendo, a largura do elemento é sempre igual à largura total da peça;

☞ elemento limpo: esse elemento é um elemento livre de defeitos. Contudo, pode-se permitir alguns defeitos em certas classes e em determinadas espécies. O comprimento do elemento limpo é expresso em unidades de 0,30 m;

☞ superfície limpa total: é a área do elemento ou a soma das áreas dos elementos limpos contidos na face (ou nas faces) da peça classificada;

☞ Rendimento de elementos limpos: é a percentagem que a superfície limpa total obtida representa. Essa relação é obtida nas quatro faces e os defeitos são imaginariamente transportados para uma face e o rendimento de elementos limpos é obtido como especificado anteriormente;

☞ Melhor face: é a face na qual os defeitos depreciam menos a peça;

☞ Pior face: é a face na qual os defeitos depreciam mais a peça.

Os defeitos são avaliados de acordo com os critérios de classificação e são eliminados por corte imaginário transversal para determinar os elementos limpos. A classe da peça depende da aparência, das dimensões, da natureza, quantidade e importância dos defeitos que contenha, do comprimento dos elementos limpos, e da quantidade de elementos.

O procedimento a ser seguido:

☞ escolher a face ou as faces que determinem a classe da peça, em função das exigências peculiares de cada um dos Mercados Especiais;

☞ examinar visualmente a peça, o que possibilitará julgar os defeitos e tomar a decisão quanto à aceitação em uma classe ou à rejeição da mesma. Em caso de dúvida, deve-se marcar com um giz os elementos limpos da peça, que devem ser os maiores possíveis. O rendimento, a quantidade e o comprimento dos elementos limpos enquadram a peça na classe apropriada;

☞ calcular a percentagem que a superfície limpa total obtida representa em relação à superfície total da face da peça classificada (rendimento de elementos limpos) ou determinar o comprimento total dos elementos limpos, expresso como percentagem do comprimento total da peça, já que a largura dos elementos é constante e igual à largura da peça.

A descrição das normas IRAM, NBR 9192/85 e da IBDF permitem observar a complexidade e a variação existente na classificação da madeira, por meio do método visual. Além disso, o tempo gasto e o custo operacional, despendidos na aplicação dessa classificação desestimulam engenheiros e construtores a utilizá-las.

Tendo em vista a maior clareza e simplicidade de análise, os resultados obtidos neste trabalho serão comparados à classificação visual da proposta de Norma do Instituto Argentino

de Racionalização de Materiais (CORONEL, 1995) para a classificação visual da madeira da espécie *Quebracho blanco* (item 2.4.1).

2.5. Aspectos Teóricos relativos à propagação das ondas de ultra-som

Os aspectos tratados neste item foram retirados de diversos capítulos de publicação de autoria de BUCUR (1995). A referida bibliografia é referência internacional no assunto e apresenta uma compilação de aspectos teóricos e resultados práticos obtidos pela autora, e por diversos outros pesquisadores na área de acústica da madeira.

2.5.1. Propagação de ondas em sólidos ortotrópicos

Dois tipos de ondas podem ser reconhecidos nos sólidos: as ondas de volume e ondas de superfície. As ondas de volume podem ainda se subdividir em ondas de compressão, ondas de cisalhamento e ondas de torção.

Os métodos mais comuns de análise por ultra-som utilizam tanto as ondas de compressão (longitudinais) quanto as de cisalhamento.

Quando a polarização se dá ao longo da direção de propagação da onda diz-se que a onda é longitudinal. Quando a polarização se dá perpendicularmente à direção de propagação, a onda é denominada transversal ou de cisalhamento.

No caso das ondas de superfície, a polarização ocorre de maneira elíptica no plano perpendicular à superfície ensaiada e paralela à direção de propagação.

Em materiais anisotrópicos, tanto as ondas longitudinais quanto as de cisalhamento podem se propagar na direção dos eixos de simetria ou fora deles. A Figura 2.1 representa os vetores das velocidades de ondas de volume em materiais ortotrópicos.

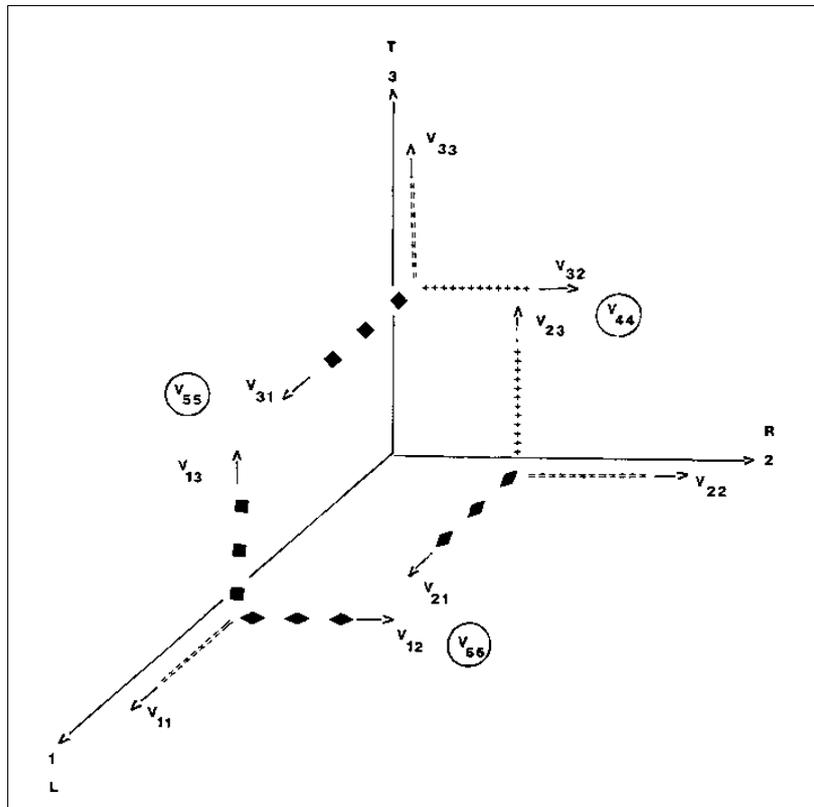


Figura 2.1. Velocidades de ultra-som para materiais ortotrópicos. Ondas longitudinais: $V_{11} = V_{LL}$; $V_{22} = V_{RR}$; $V_{33} = V_{TT}$. Ondas Transversais: $V_{44} = V_{RT}$, deduzidas de V_{23} e V_{32} ; $V_{55} = V_{LT}$, deduzidas de $V_{13} = V_{31}$; $V_{11} = V_{LL}$; $V_{66} = V_{LR}$, deduzidas de V_{12} e V_{21} (BUCUR, 1995).

2.5.2. Velocidade das ondas de ultra-som na madeira

Os fundamentos da propagação do ultra-som em sólidos homogêneos foram apresentados por MCSKIMIN (1964) e PAPADAKIS (1990).

A velocidade de propagação da onda do ultra-som (V) em função da frequência é dada por:

$$V = f \lambda \quad \text{.....Equação 2.1.}$$

onde: f = frequência da onda de ultra-som;

λ = comprimento de onda.

A dispersão da onda pode ocorrer em função da geometria do corpo-de-prova, da natureza do material, da dispersão da energia dentro do material durante a propagação (atenuação da onda), etc.

2.5.3. Sistemas de medida da propagação da onda

A Figura 2.2 apresenta esquematicamente o tipo mais comum de sistema de medida da propagação da onda de ultra-som em um material. O sinal elétrico é transmitido por um gerador e transformado em pulso de ultra-som. Este pulso atravessa o corpo-de-prova e é recebido pelo receptor onde é transformado em sinal elétrico, o qual pode ser visualizado em um osciloscópio. Isso permite a medição do tempo decorrido entre a saída e a chegada da onda, ou seja, entre a emissão e a recepção do sinal. Medidas mais sofisticadas podem ser realizadas utilizando-se análise espectral, ou seja, pode-se avaliar outros parâmetros característicos da onda de transmissão, por exemplo, atenuação, amplitude e energia de transmissão, o que permite mais flexibilidade para acessar outras propriedades do material. Nesse caso os dados são analisados no domínio do tempo e da frequência, com uso de diversas ferramentas matemáticas, como por exemplo, as transformadas rápidas de Fourier (FFT).

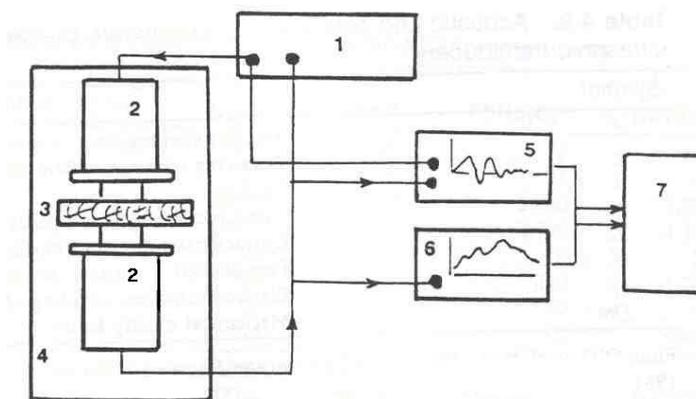


Figura 2.2. Diagrama de blocos de um sistema de medidas de ultra-som. (1) gerador de ultra-som; (2) transdutor; (3) corpo-de-prova; (4) plano mecânico; (5) osciloscópio; (6) analisador espectral; (7) computador adaptado. (BUCUR, 1995).

A base física da geração e detecção dos sinais de ultra-som pelos transdutores piezoelétricos foi extensivamente discutida em textos de SACHSE e HSU (1979), HUTCHINS e HAYWARD (1990). Nos transdutores, os sinais elétricos são convertidos em vibrações ou as vibrações em sinais elétricos (emissor e receptor, respectivamente). Diversos são os modelos existentes mas, de qualquer um deles devem ser esperadas características tais como, sensibilidade, resolução e robustez para aplicação em condições adversas (BUCUR, 1995).

A maior limitação dos transdutores piezoelétricos é a necessidade de haver uma interface entre eles e o material a ser ensaiado. Muito freqüentemente o sinal é perturbado e interferências são introduzidas na leitura devido à ausência ou ao uso de material inadequado nessa interface. A opção pelo tipo de material de interface deve ser feita em função das circunstâncias de utilização (temperatura, umidade, etc.).

Atualmente já existem transdutores que dispensam o contato direto. Nesses transdutores o material de interface é uma pequena camada de ar. Essa facilidade pode ser muito útil em aplicações em linhas de produção industrial.

2.5.4. Aspectos referentes aos corpos-de-prova para o ensaio utilizando o ultra-som

Nas avaliações utilizando o ultra-som, o corpo-de-prova pode ser a própria árvore, peças pequenas e isentas de defeitos obtidos de madeira maciça, peças de tamanho estrutural ou ainda compósitos à base de madeira.

A velocidade de propagação da onda na madeira, com teor de umidade de 12%, submetida à uma freqüência de 1 MHz, situa-se em torno de 6000 m/s para ondas longitudinais na direção das fibras, e de 2000 m/s para ondas transversais no plano radial-tangencial, desde que a dimensão da peça permita que a propagação da onda não seja afetada, ou seja, que as

influências das condições de contorno possam ser negligenciadas (FREDERICK, 1965). Segundo esse mesmo autor, para que a propagação da onda se dê sem interferências, é necessário que a barra tenha comprimento “infinito”, ou muitas vezes superior ao comprimento da onda, e que o diâmetro seja da ordem de 1/10 do comprimento da onda que nele se propaga.

Quando se utilizam corpos-de-prova que apresentem pequenas dimensões (comprimento e espessura) em relação ao comprimento de onda (?), as condições de propagação das ondas de ultra-som são afetadas.

BUCUR (1984) estudou a variação da velocidade de propagação da onda de ultra-som, em função da variação da seção transversal de corpos-de-prova de *Sapin Douglas (Abies alba)* de 0,30 m de comprimento e com relação base/altura da seção transversal variando entre 1 e 14.

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 2.3 e mostram que a velocidade V_{LL} apresenta diferença de 12% quando se comparou a relação $b/h = 1$ e a relação b/h igual a 14. A velocidade máxima foi obtida para relações b/h entre 1 e 2 (viga) e a mínima para relações b/h entre 13 e 14 (placa). A figura mostra, ainda que, as velocidades V_{RR} e V_{TT} , correspondentes às medidas obtidas na seção transversal do corpo-de-prova, foram menos afetadas pela modificação da geometria da seção. Para relações $b/h \geq 10$, a seção transversal não influenciou os valores de V_{RR} e V_{TT} .

Em todos os casos estudados, as dimensões do corpo-de-prova correspondentes à propagação nas direções R e T eram maiores que 2λ . Por essa razão as velocidades V_{RR} e V_{TT} não foram afetadas pela modificação no tamanho do corpo-de-prova.

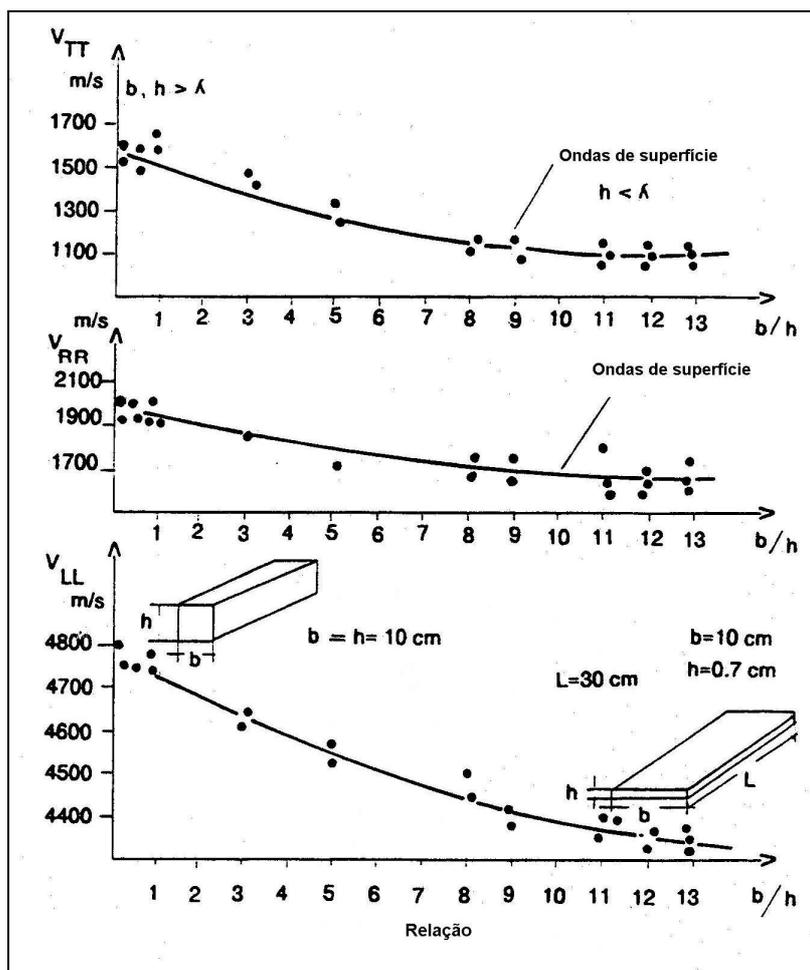


Figura 2.3. Influência da seção transversal do corpo-de-prova na determinação da velocidade para a espécie *Sapin Douglas* (BUCUR, 1984).

A Figura 2.4 apresentou o resultado de ensaios realizados com a espécie Beech (*Fagus sylvatica*), com seção transversal constante e comprimento variável. A velocidade longitudinal V_{LL} foi aproximadamente constante, quando a relação comprimento/largura variou de 20 a 40. Abaixo deste limite os valores de V_{LL} diminuíram. A Figura 2.5 mostra, ainda, que as velocidades são sempre maiores para madeira com teor de umidade de 12% do que para a madeira verde.

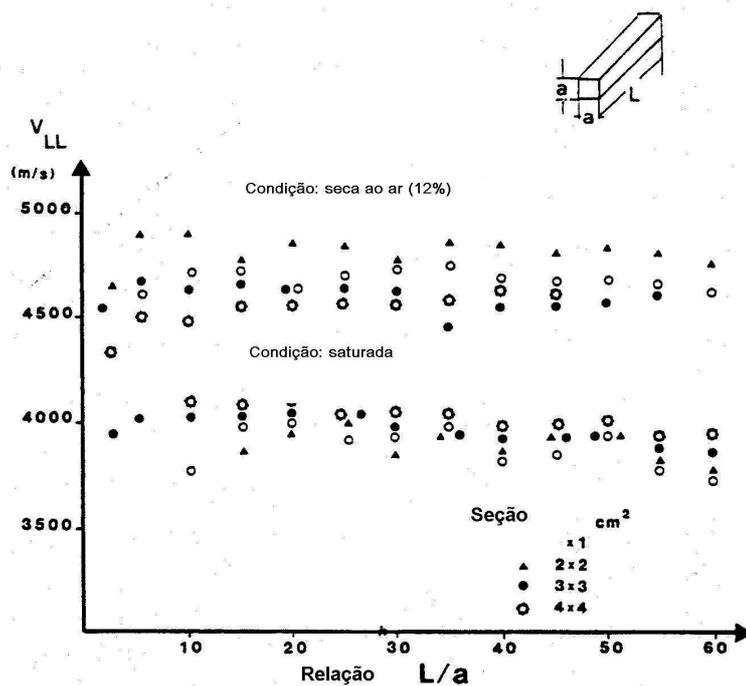


Figura 2.4. Influência do comportamento do corpo-de-prova na velocidade longitudinal V_{LL} quando a seção transversal é constante. Espécie Beech (*Fagus silvatica*) com 12% e saturado (BUCUR, 1984).

A influência da variação simultânea do comprimento e da seção do corpo-de-prova na velocidade longitudinal V_{LL} pode ser vista na Tabela 2.2. A velocidade V_{LL} diminuiu em torno de 12% entre o maior e o menor comprimento, embora a relação L/b fosse mantida.

Tabela 2.2. Influência da variação simultânea de comprimento e seção transversal na velocidade longitudinal V_{LL} . Espécie: Spruce (*Sitka spruce*). Teor de umidade 12%. Freqüência 1 MHz. Transdutor de diâmetro = 8 mm (BUCUR, 1984).

Dimensões (mm)			Relação L/b	V_{LL} (m/s)
L	b	h		
180	60	60	3	5570
120	40	40	3	5100
60	20	20	3	4900

Um outro aspecto relacionado com a adoção das dimensões do corpo-de-prova para o ensaio com ultra-som é a relação L/λ , ou seja, a relação entre a distância a ser percorrida pela onda e o seu comprimento de onda.

O comprimento da onda é dado pela Equação 2.1.

BUCUR (1984) analisou a variação de velocidade de ondas longitudinais em função da relação L/λ , em corpos-de-prova de Hêtre (*Fagus sylvatica*), obtendo os resultados apresentados na Figura 2.5.

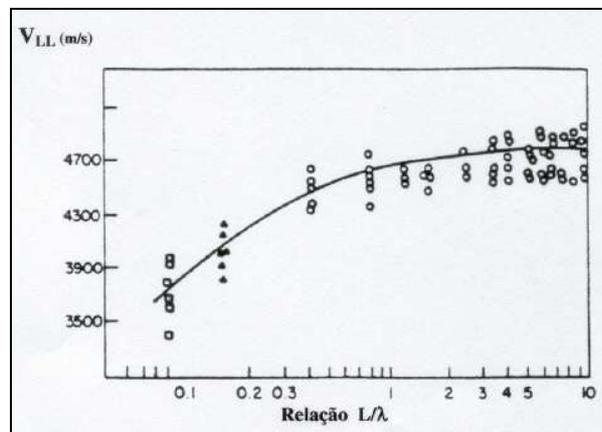


Figura 2.5. Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L/λ em corpos-de-prova de Hêtre (*Fagus sylvatica*) (BUCUR, 1984).

Nota-se que na Figura 2.5, a velocidade longitudinal apresentou uma taxa mais acentuada entre as relações $L/\lambda = 0,1$ e $L/\lambda = 1$, ou seja, uma variação da velocidade de aproximadamente 30%, enquanto que, entre as relações $L/\lambda = 1$ e $L/\lambda = 10$, a variação ficou em 2,6%.

A relação L/λ , apresentada nesta Tese, para os corpos-de-prova de Pinus situou-se em torno de 3,5.

2.5.5. Freqüência do equipamento ultra-som

Estudos realizados por diferentes autores demonstram não haver consenso sobre a influência da freqüência na velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas. Sabe-se, no entanto, que essa influência também depende das dimensões do corpo-de-prova adotado para o ensaio.

BUCUR E FEENEY (1992) realizaram um estudo com ondas longitudinais e transversais, no qual utilizaram freqüências de 100, 250, 500, 1000 e 1500 kHz.

A Figura 2.6 representa as observações realizadas na experimentação. A velocidade longitudinal V_{LL} foi a mais influenciada pela freqüência, sofrendo grande acréscimo no intervalo compreendido entre 100 e 250 kHz e um pequeno, mas constante acréscimo, no intervalo compreendido entre 250 a 1500 kHz. Os valores relativamente pequenos de velocidades, medidas quando foi utilizada a freqüência de 100 kHz, foram provavelmente induzidos pela dispersão da onda. As velocidades V_{22} , V_{33} , V_{44} , V_{55} e V_{66} foram insensíveis à variação das freqüências para valores acima de 250 kHz.

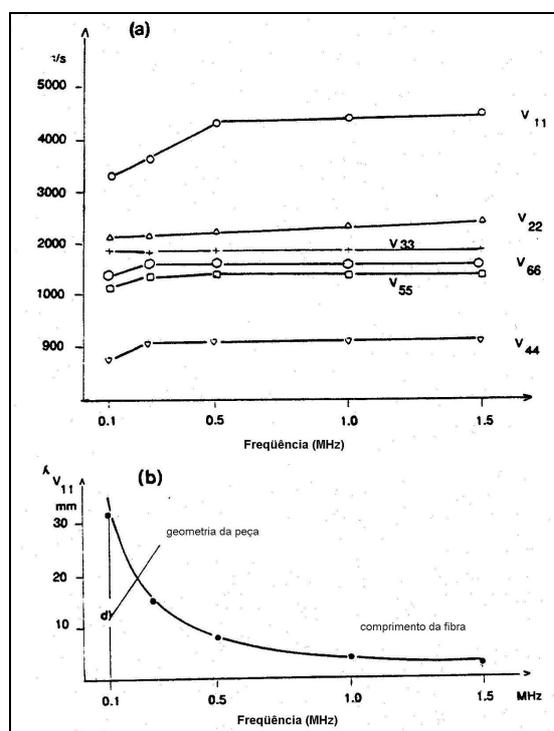


Figura 2.6. Influência da freqüência na velocidade de ultra-som. (a) velocidade x freqüência de 0,1 a 1,5 MHz; (b) comprimento de onda correspondente a V_{LL} x freqüência (BUCUR, 1995).

HERZIG (1992), citado por BARTHOLOMEU (2001), desenvolveu um trabalho utilizando frequências de 1 e 5 MHz em ensaios com a espécie Épinette (*Picea sp.*). Seus resultados demonstraram que, até um comprimento de 0,05 m, a velocidade aumenta com o aumento da frequência e que, a partir desse comprimento, as velocidades obtidas na frequência de 5 MHz foram inferiores àsquelas obtidas na frequência 1 MHz. A autora atribuiu o fenômeno à atenuação da onda que ocorre na madeira quando o comprimento de onda é igual ou menor à dimensão dos elementos anatômicos que a constituem.

BUCUR (1984) estudou a variação da velocidade de propagação em peças de pequeno diâmetro (0,005 m), da espécie Hêtre (*Fagus sylvatica*), utilizando frequências de 80 kHz a 2 MHz. Os resultados obtidos pela autora mostraram que houve um aumento da velocidade longitudinal decorrente do aumento da frequência. O mesmo resultado foi encontrado por HERZIG (1992) utilizando peças de mesma dimensão.

Por outro lado, MISHIRO e MIWA (1994), de acordo com BARTHOLOMEU (2001), não encontraram variação da velocidade com a frequência. Os autores fizeram o estudo utilizando corpos-de-prova de 0,10 m de comprimento proveniente das espécies Spruce (*Picea sp*) e Katsura (*Cercidiphyllum japonicum*).

2.5.6. Equação fundamental para determinação das constantes elásticas

A equação fundamental para a determinação da constante elástica $C_{(L,R,T)ii}$ por meio do ultra-som, dada pela segunda lei de Newton, é:

$$C_{(L,R,T)ii} = \rho V^2 \dots\dots\dots\text{Equação 2.2.}$$

onde : ρ = densidade do material;

V = velocidade de propagação da onda de ultra-som.

Segundo BUCUR (1984), em peças com comprimento longitudinal algumas vezes superior às dimensões de sua seção transversal, negligencia-se os efeitos dos coeficientes de Poisson (?), podendo-se adotar que:

$$C_{LL} = E_L \dots\dots\dots \text{Equação 2.3.}$$

onde: E_L = módulo de elasticidade longitudinal

Segundo HERZIG (1992), o módulo dinâmico C_{LL} traduz as características elásticas das fibras pois utiliza-se da propagação de energia entre elas, enquanto que o módulo de elasticidade longitudinal (E_L) é mais função das propriedades elásticas tridimensionais do corpo-de-prova por inteiro (efeito de Poisson), razão pela qual E_L é quase sempre menor que C_{LL} .

BODIG e JAYNE (1982), citados por GOULET e LAFOREST (1987), apresentaram coeficientes de Poisson médios para coníferas e dicotiledôneas (Tabela 2.5).

Tabela 2.3. Coeficientes de Poisson Médios para Coníferas e Dicotiledôneas (BODIG e JAYNE, 1982) apud GOULET e LAFOREST (1987).

Coeficiente de Poisson	Coníferas	Dicotiledôneas
ν_{LR}	0,37	0,37
ν_{LT}	0,42	0,50
ν_{RT}	0,47	0,67
ν_{TR}	0,35	0,33
ν_{RL}	0,041	0,044
ν_{TL}	0,033	0,027

Para se obter a relação da constante elástica segundo o eixo longitudinal com o módulo de elasticidade longitudinal, deve-se substituir os valores da Tabela 2.5 na equação:

$$C_{LL} = E_{LL} \frac{1 + \nu_{RT/TR}}{1 + \nu_{LR/RL} + \nu_{RT/TR} + \nu_{LT/TL} + 2\nu_{RL/TR} + \nu_{LT/TL}} \dots\dots\dots\text{Equação 2.4.}$$

A relação entre a constante elástica e o módulo de elasticidade em peças da madeira pode ser dada, de uma forma geral, por:

Para as dicotiledôneas: $C_{LL} = 1,06 E_L$

Para as coníferas : $C_{LL} = 1,05 E_L$

BARTHOLOMEU (2001) avaliou a correlação entre valores da constante elástica e de resistência e módulo de elasticidade. Segundo o autor, os valores de C_{LL} são sempre mais elevados do que os valores do módulo de elasticidade longitudinal (E_L). Os resultados demonstraram que, para os corpos-de-prova de espécie *Pinus elliottii*, na condição seca ao ar, o C_{LLc} foi 38% maior que o módulo de elasticidade à compressão paralela (E_c) e para as vigas, os valores de C_{LL} foram 42% maiores do que o módulo de elasticidade à flexão (E_f).

2.6. Avaliação da madeira utilizando o ultra-som

A hipótese fundamental de utilização de métodos de vibração está baseada na constatação de que as propriedades de armazenamento e dissipação de energia em um determinado material são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático do material (JAYNE, 1959, citado por ROSS e PELLERIN, (1994).

A utilização do ultra-som na avaliação de defeitos da madeira, utilizando equipamentos portáteis, pode ter grande aplicação prática do ponto de vista industrial (BUCUR, 1995). Exemplos dessas aplicações são apresentadas pela autora: detecção da inclinação das fibras em árvores, detecção de ataques biológicos, avaliação de chapas de fibras, etc.

SANDOZ (1989) apresentou um trabalho no qual analisou resultados provenientes de três tipos de avaliações: ensaios mecânicos destrutivos de flexão estática, análise visual e determinação da velocidade de propagação de ondas de ultra-som. Para isso, ensaiou 341 vigas de diversas bitolas da espécie Spruce (*Picea sp*), com teores de umidade de 14% e 22%. Com os resultados, o autor determinou correlações entre os três tipos de ensaios. Utilizando correlações o autor propôs um método de classificação que sugere, como parâmetro, a velocidade de propagação do ultra-som nas peças estruturais, relacionando-a com as classes determinadas na Norma Suíça (SAI). Os resultados de suas pesquisas foram tão importantes e reconhecidos que o autor projetou e patenteou um equipamento de ultra-som portátil, denominado Sylvatest, para ensaios in-loco de peças estruturais de madeira. Esse equipamento, além de determinar a velocidade da propagação das ondas ultra-sonoras fornece também o teor de umidade da peça. O teor de umidade é utilizado para corrigir a velocidade de propagação da onda a qual, por sua vez, é correlacionada com o módulo de ruptura à flexão, originalmente referida a um teor de umidade de 12%. Esses resultados permitiram ao autor a proposição de três classes, estabelecidas em concordância com normas de avaliação visual e velocidades de propagação de ondas de ultra-som. Correspondentes a essas classes o autor estabeleceu três intervalos de velocidade: para a primeira classe, $V \geq 5600$ m/s; para a segunda classe, 5230 m/s $< V < 5600$ m/s e para a terceira classe, $V \geq 5230$ m/s.

O autor observou, ainda, que o defeito que apresentou maior influência na velocidade de propagação das ondas de ultra-som foi a soma dos diâmetros dos nós (Figura 2.7), e concluiu que essa técnica é uma ferramenta poderosa para a classificação de peças de madeira na indústria, onde peças de tamanho estrutural são avaliadas. O autor finalizou seu artigo enfatizando que, no futuro, essa prática deverá substituir a atual técnica visual.

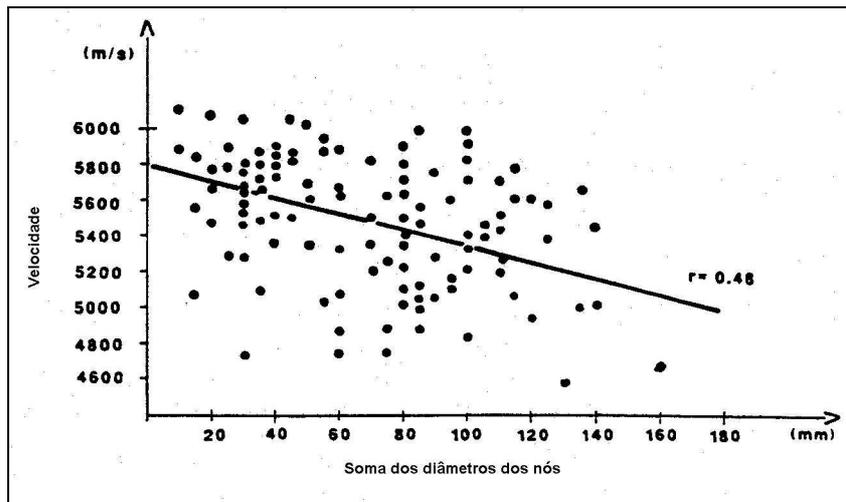


Figura 2.7. Variação da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas em função de nós (SANDOZ, 1989).

BUCUR (1988) demonstrou que a técnica do ultra-som pode ser utilizada para mapear uma peça, indicando, por meio da constante dinâmica, a localização, tamanho e natureza de nós (Figura 2.8).

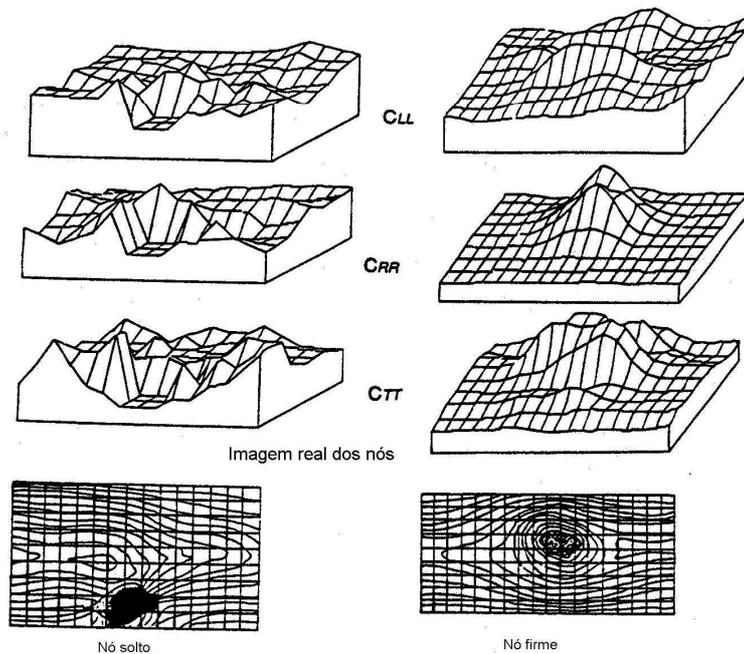


Figura 2.8. Mapeamento da constante elástica indicando a localização, tamanho e natureza dos nós (BUCUR, 1988).

STEIGER (1996) ensaiou 809 peças da espécie Fichte (*Picea abies*) de diversas bitolas, secas ao ar (12%) e saturadas, à flexão estática, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, utilizando o ultra-som e, também, utilizando o método visual. Trata-se de trabalho bastante completo e recente sobre o tema. Utilizando os resultados obtidos o autor propôs um método de classificação, a partir das velocidades de propagação do ultra-som, relacionando-as com as classes de resistência da Euronorm EN 338 (março de 1994). Para os ensaios utilizando o ultra-som o autor testou dois equipamentos: o Sylvatest e Steinkamp e apresentou em seu trabalho parâmetros de comparação de velocidade e classes de resistência para os dois equipamentos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

A espécie de madeira adotada nesse trabalho foi o *Pinus taeda* L. A adoção dessa madeira se deu em função da grande aplicação da mesma em embalagens e paletes e, principalmente, por se tratar de espécie cuja presença de defeitos, tais como nós e desvio de grã é mais abundante. Em peças comerciais é comum a presença de medula e madeira juvenil devido ao pequeno diâmetro das toras e à idade de corte das mesmas.

3.1.1. Origem do material

As peças para confecção dos corpos-de-prova foram obtidas junto à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Botucatu/SP, no Departamento. Segundo GABRIEL (2000), as peças eram provenientes de toras originárias de plantios manejados do Horto Florestal, no município de Manduri/SP (latitude 23°00'sul, longitude 49°19'oeste e altitude de 700 m). Essas árvores eram oriundas de sementes procedentes dos Estados Unidos da América, plantadas em um talhão de 1,60 ha, espaçadas de 1,50 m x 1,50 m. O plantio foi realizado em 1960 e, desde essa data até o corte, foram feitos 05 desbastes.

De cada árvore foram retiradas 3 toras, com cerca de 225 cm de comprimento cada uma. As toras foram desdobradas em tábuas e pranchas na serraria do próprio Horto Florestal

de Manduri. De cada tora foi retirada uma prancha central (Figura 3.1), com aproximadamente 150 cm de comprimento, 6 cm de espessura, e largura variável, resultando em um total de 18 pranchas. Deu-se o nome de prancha por ser de espessura maior que as tábuas. Todas as pranchas continham a medula, por serem retiradas da parte central da tora.

As tábuas foram retiradas das costaneiras laterais esquerda e direita das toras. A quantidade de tábuas retiradas era dependente do diâmetro da tora de origem. No total foram obtidas 108 tábuas com dimensões aproximadas de 150 cm de comprimento, 2,5 cm de espessura e larguras variadas, de acordo com o diâmetro das toras de origem.

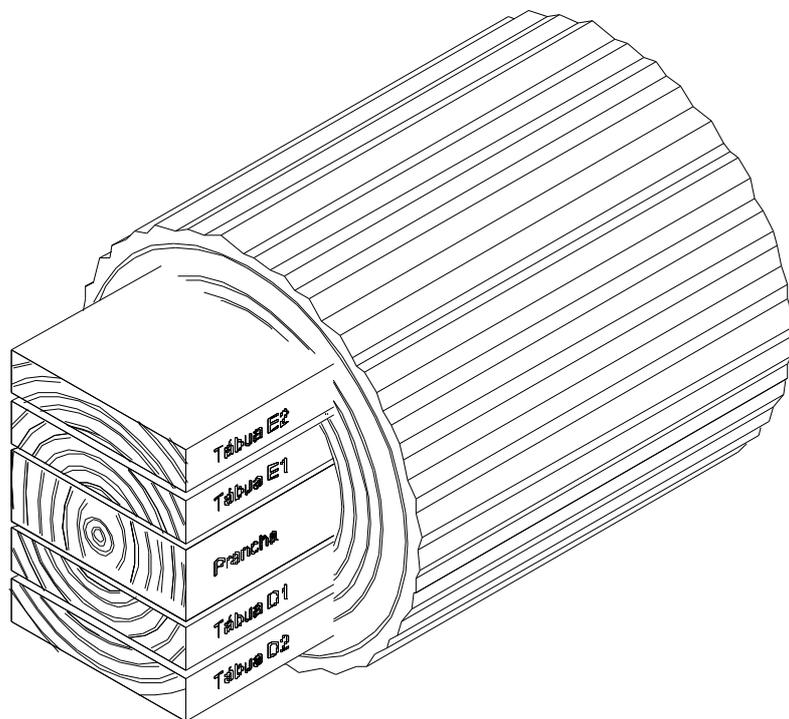


Figura 3.1. Tora semi-desdobrada.

3.1.2. Equipamentos

Para a realização dos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais:

- Equipamento de emissão de ondas de ultra-som marca Steinkamp, modelo BP-7, com transdutores piezelétricos de seção exponencial com frequência de 45 kHz;

- Balança eletrônica da marca Marte com sensibilidade de 0,01 g, para a determinação da densidade dos corpos-de-prova;

3.2. Metodologia

3.2.1. Planejamento Experimental

O detalhamento da amostragem foi definido durante o Planejamento Estatístico da Experimentação, realizado no IMECC/UNICAMP, pelo acadêmico Mariu Elisio Alves Monteiro, sob supervisão do Professor Reinaldo Charnet.

3.2.1.1. Determinação do tamanho da amostra (quantidade de corpos-de-prova)

A quantidade de corpos-de-prova foi obtida utilizando-se o seguinte procedimento:

a) foi pressuposto que as variáveis aleatórias X_1 (número de peças com defeito usando o método de análise visual) e X_2 (número de peças com defeito usando o método de análise com o ultra-som) seguissem uma distribuição binomial (n, p_i) $i=1,2$ (cada “i” representando um método de análise das peças).

b) foram fixados o erro percentual (α) do parâmetro de interesse ($p = p_1 - p_2 =$ diferença entre as proporções de peças defeituosas pelos dois métodos) em 5% e o nível de significância (β) em 10%.

c) usando o intervalo de confiança assintótico para a diferença de 2 binomiais, tem-se:

$$P(p_1 - p_2 \pm z(\alpha/2) \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n} + \frac{p_2(1-p_2)}{n}}) = 1 - \beta$$

sendo $z(\alpha/2) =$ valor da Normal padronizada cuja probabilidade acumulada é $1 - \beta$

Substituindo os valores fixados anteriormente e considerando a variância máxima para: $\pi(1-\pi)$, então:

$$P(p \pm 0,05 | p = 0,25) = z_{(0,10/2)} \sqrt{\frac{(0,25)(0,25)}{n}} \pm 0,05$$

$$P(p \pm 0,05 | p = 0,25) = 1,68 \sqrt{\frac{0,5}{n}} \pm 0,05$$

isolando-se “n”, tem-se:

$$n = 558$$

Com esse número de corpos-de-prova garante-se, com 90% de probabilidade, um erro máximo de 5%, ou seja, uma precisão satisfatória para o parâmetro.

3.2.2. Preparação das peças

De cada tábua e prancha obtida pelo procedimento proposto por GABRIEL (2000), foram confeccionados 882 corpos-de-prova de seção transversal nominal 0,016 m x 0,040 m e comprimento de 0,385 m (Figura 3.2). Com esse número de corpos-de-prova garante-se, com uma probabilidade acima de 90%, a precisão dos parâmetros analisados. Essas dimensões foram adotadas devido ao interesse futuro em dar continuidade ao projeto de pesquisa, realizando ensaios de flexão estática (destrutivos) e aplicação de “stress wave”, a fim de se estabelecer relações entre os ensaios.

As peças foram todas confeccionadas na marcenaria da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Botucatu/SP (Figura 3.3).

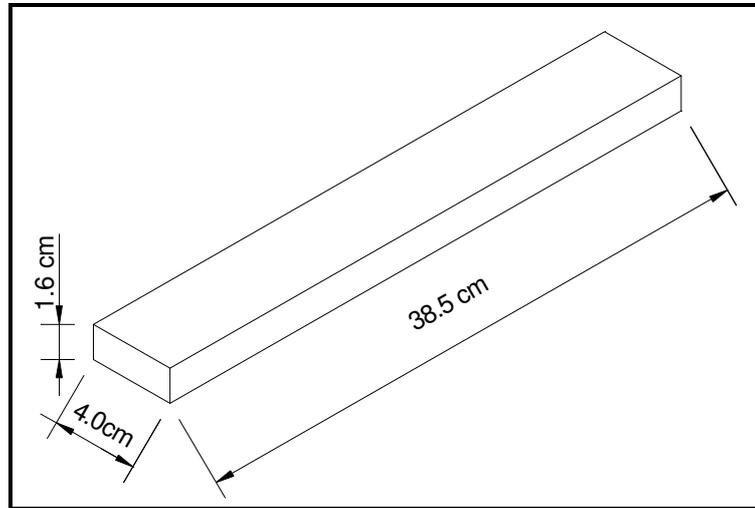


Figura 3.2. Dimensão do corpo-de-prova.



Figura 3.3. Confeção dos corpos-de-prova.

3.2.3. Nomenclatura das peças

Cada corpo-de-prova foi identificado pela nomenclatura proposto por GABRIEL (2000) e complementada por mais duas identificações. O primeiro dígito indica a árvore e o segundo dígito, após a barra, indica a tora (Figura 3.4).

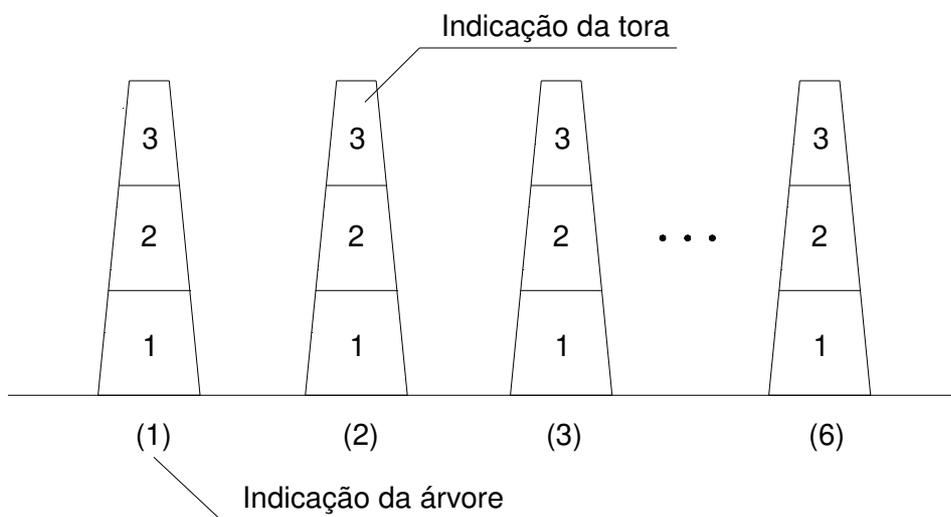


Figura 3.4. Croqui das indicações de árvores e toras.

Apenas para as tábuas foi acrescentada uma identificação que representava o desdobro das costaneiras laterais das toras, segundo GABRIEL (2000). A letra “D” ou “E” representava o lado direito e esquerdo da tábua, respectivamente, seguida do dígito de cada tábua, retirada a partir das costaneiras laterais da tora, sempre de “dentro” para “fora” (Figura 3.5).

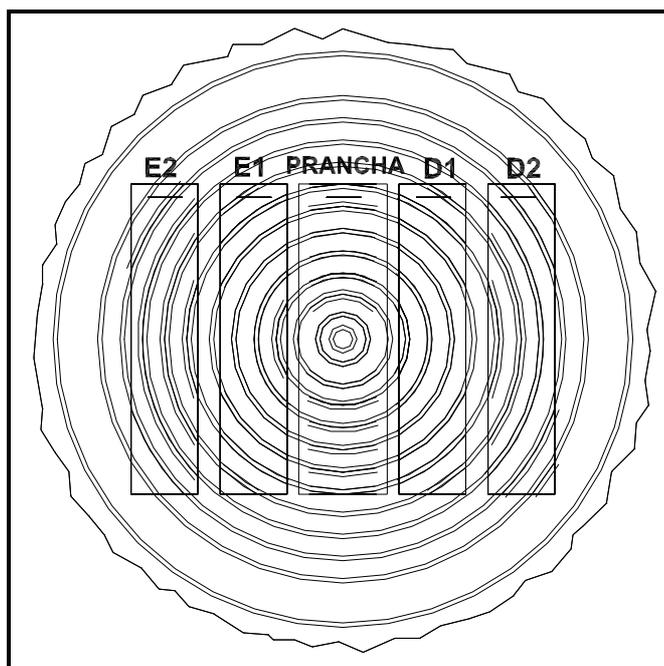


Figura 3.5. Desdobro da tábua e prancha.

Complementando-se a nomenclatura definida por GABRIEL (2000), acrescentou-se uma numeração (1, 2 ou 3) que indicava a posição no comprimento das tábuas e pranchas, e as letras (A, B, C, D ...), que indicavam a posição na largura das tábuas. Esse procedimento permitiu a reconstituição da tábua de origem, conforme ilustrado na Figura 3.6.

A prancha, por ter maior espessura, possibilitou a confecção de duas tábuas. Dessa forma, foi necessária a inclusão de mais um índice na nomenclatura para diferenciá-las, pois os corpos-de-prova teriam a mesma numeração de árvore e tora, e a mesma posição de comprimento e de largura. Adotou-se, então, o sinal positivo “+” em uma das tábuas para diferenciá-las.

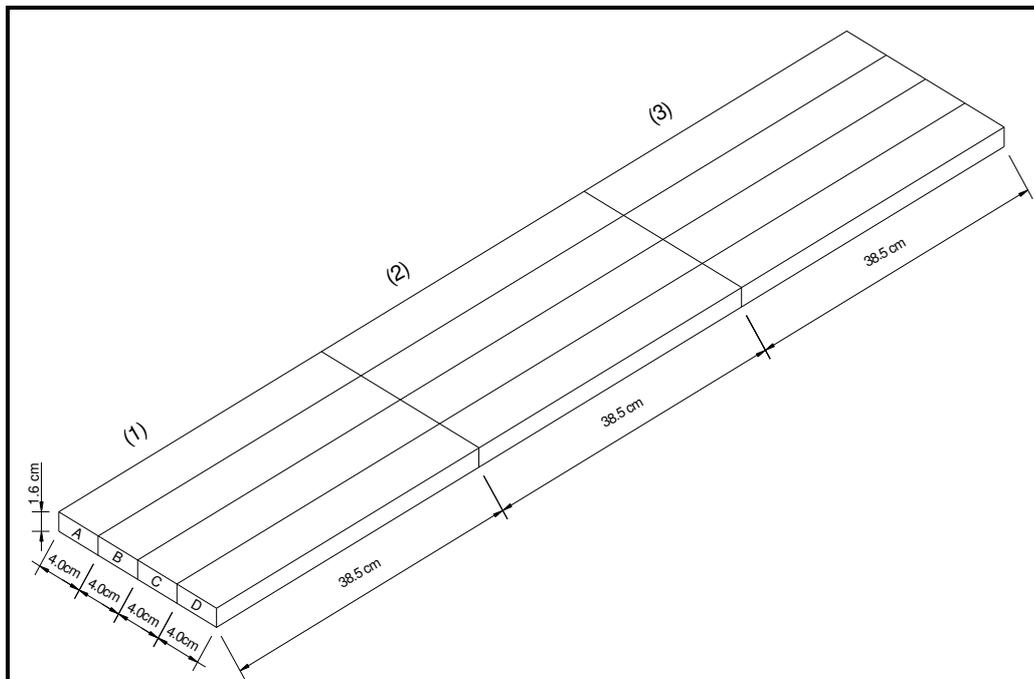


Figura 3.6. Numeração da peça na tábua ou prancha.

Assim, por exemplo, um corpo-de-prova com a nomenclatura “2/1 1D” (Figura 3.7), representa uma peça proveniente de uma prancha, por não possuir a indicação do desdobramento de tábuas laterais, representadas pelas letras D. No caso desse exemplo, sabe-se que se trata, portanto, de uma tábua (proveniente de uma prancha) retirada da árvore “2”; da tora “1”; da posição “1” em relação ao comprimento e da posição “D” em relação à largura.

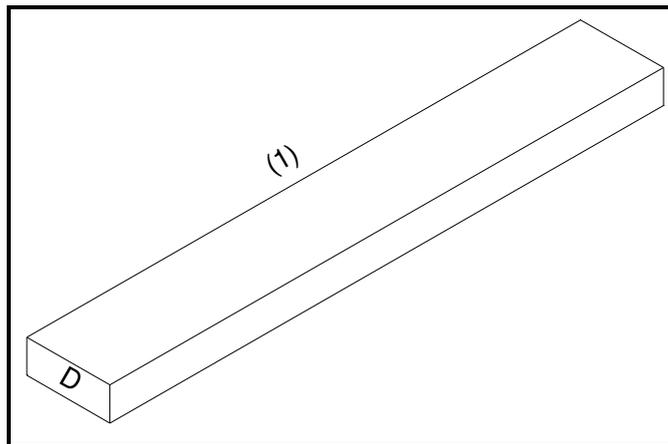


Figura 3.7. Exemplo de uma peça (corpo-de-prova) com nomenclatura “2/1 1D”.



Figura 3.8. Preparação da nomenclatura.

Todas as peças foram ensaiadas após atingirem a umidade de equilíbrio ao ar (aproximadamente 12% na região de Campinas). Para cada peça foi determinada a velocidade de propagação da onda de ultra-som e realizada a análise visual.

3.2.4. Adoção de critério de análise visual

Para avaliar a sensibilidade do ultra-som na detecção de defeitos na madeira, optou-se pela comparação da velocidade de propagação da onda com a análise visual das peças.

Normas que avaliam a qualidade da madeira se baseiam em critérios de aceitação ou rejeição de um lote, segundo aspectos ligados à presença de diversas características consideradas como defeitos, tais como: nós, desvio de grã, ataque de microorganismos, rachaduras, variações dimensionais, presença de medula etc.

Levando-se em consideração a proposta do trabalho, definiu-se inicialmente como parâmetros de análise as seguintes características: nós, desvio de grã, presença de medula e presença de madeira juvenil. Essa definição inicial tinha como base a avaliação de tábuas comerciais adquiridas em serrarias. No entanto, após discussões com pesquisadores da área, decidiu-se que o estudo seria realizado utilizando-se peças cuja origem fosse conhecida. Além disso, para que o material fosse utilizado para um estudo mais amplo, envolvendo outros ensaios nas mesmas peças, optou-se pelas dimensões 1,6 cm x 4,0 cm. Esses dois fatores inviabilizaram a já difícil tarefa de identificar a presença de madeira juvenil. Dessa forma os parâmetros adotados na análise visual foram somente inclinação da grã e presença de nós e de medula.

3.2.5. Análise visual

Cada peça foi analisada visualmente e todos os detalhes mencionados no item 3.2.3 foram anotados em uma planilha.

Essa análise visual constou do detalhamento de cada peça, indicando-se por peça se aquela que fosse isenta de qualquer tipo de defeito, conforme ilustrado na Figura 3.9. Para peças com desvio de grã foi detalhada a inclinação (Figura 3.10). Para as peças com presença de nó foram detalhados o tamanho, o tipo e a quantidade de nós no trecho considerado (Figura 3.11). No caso de peças com a presença de medula (Figura 3.12) houve apenas a indicação dessa existência. A Figura 3.13 apresenta uma seção transversal de um corpo-de-prova com presença de medula.



Figura 3.9.

Madeira Sã.

Figura 3.10.

Madeira com
inclinação de grã.

Figura 3.11.

Madeira com
presença de nós.

Figura 3.12.

Madeira com a
presença de medula.

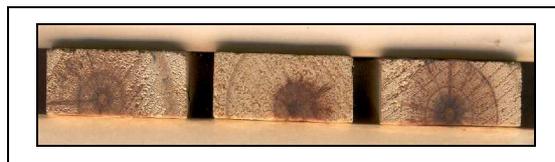


Figura 3.13.

Madeira com a presença de medula -
Seção transversal.

3.2.6. Ensaio utilizando equipamento de ultra-som.

O equipamento utilizado neste trabalho foi da marca Steinkamp, modelo BP-7 (Figura 3.14) e transdutores piezelétricos de seção exponencial de frequência 45 kHz. A adoção do transdutor exponencial se deu em virtude da dimensão da seção transversal da peça, pois o diâmetro do transdutor plano (30 mm) faria com que parte do mesmo ficasse fora da seção transversal, provocando uma guia de onda que, segundo a literatura, interferiria na leitura da velocidade de propagação. A frequência do equipamento foi adotada em função do comprimento de onda. O cálculo do comprimento de onda foi realizado utilizando-se leituras preliminares. Essas leituras indicaram que a velocidade média obtida nas peças sãs era de, aproximadamente, 5000 m/s.

De acordo com a literatura, o comprimento de onda “ λ ” é expresso pela Equação 2.1.

Sendo assim, o comprimento de onda foi de, aproximadamente:

$$\lambda = \frac{5000}{45000} = 0,11\text{m}$$

Tendo em vista que o corpo-de-prova ensaiado tinha comprimento nominal (L) de 38,5 cm, foi possível trabalhar-se com uma relação $L/\lambda = 3,5$ o qual, conforme a literatura, permitiria trabalhar-se em uma faixa na qual as velocidades de propagação seriam pouco afetadas para essa ordem de grandeza de L/λ .



Figura 3.14. Equipamento de ultra-som.

Foram submetidos ao ensaio utilizando o equipamento de ultra-som, os mesmos 882 corpos-de-prova avaliados visualmente. Os transdutores exponenciais foram posicionados nas faces laterais do corpo-de-prova, de maneira que as ondas se propagassem na direção longitudinal da peça (Figura 3.15). Por se utilizar os transdutores exponenciais, não houve necessidade do uso do gel na interface transdutor - corpo-de-prova.



Figura 3.15. Aplicação do ultra-som no corpo-de-prova

O equipamento de ultra-som foi calibrado, no início de cada série de ensaios, utilizando-se o corpo-de-prova acrílico e conforme os procedimentos especificados no manual do equipamento.

Após a calibração, os ensaios foram realizados seguindo-se os procedimentos com os transdutores acoplados ao corpo-de-prova por meio de uma leve pressão. Imediatamente realizou-se a leitura do tempo de propagação da onda de ultra-som (t) em ?s.

De posse do tempo de propagação da onda e do comprimento do trecho percorrido (L), calculou-se a velocidade de propagação da onda em cada corpo-de-prova utilizando-se a expressão:

$$V = \frac{L}{t} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots\text{Equação 3.1}$$

Onde: V = velocidade de propagação da onda (m/s);
L = distância percorrida pela onda (m) – comprimento do corpo-de-prova;
t = tempo de propagação da onda (s).

As medições do tempo de propagação foram realizadas na direção longitudinal, em dois pontos: ponto 1 e ponto 2 na seção transversal do corpo-de-prova, conforme ilustrado na Figura 3.16.

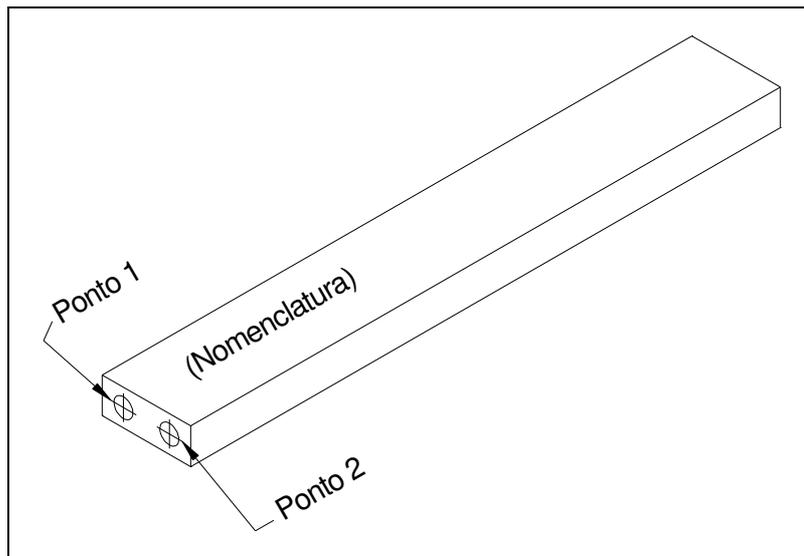


Figura 3.16. Representação da localização dos pontos de medição do tempo de propagação da onda de ultra-som no corpo-de-prova.

A partir das medições do tempo de propagação das ondas nos dois pontos do corpo-de-prova, foi calculada a velocidade média, em m/s.

Para uma melhor visualização de todos os resultados e, para se proceder as avaliações estatísticas, as velocidades de propagação foram inseridas nas planilhas da análise visual.

3.2.7. Determinação do teor de umidade

Os corpos-de-prova utilizados nos ensaios eram provenientes de toras desdobradas já há algum tempo e mantidas em local coberto e ventilado, tendo atingido a condição de equilíbrio ao ar. No entanto, para que se conhecesse de maneira aproximada o valor da umidade do lote, procedeu-se à determinação do teor de umidade de alguns corpos-de-prova (amostras de controle).

Segundo a NBR 7190/97, o teor de umidade da madeira é determinado pela relação:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 3.2.}$$

Onde: m_i = massa inicial da madeira (g);
 m_s = massa da madeira anidra (g).

Conforme essa equação, determinou-se a massa inicial de alguns corpos-de-prova com uso na balança digital. Após a determinação dessa massa, os corpos-de-prova foram submetidos à secagem em estufa à temperatura de, aproximadamente, 103 °C ± 2 °C.

Foram feitas as medições de massa diariamente, até que os corpos-de-prova atingissem massa constante, ou seja, massa anidra. Diante dos resultados da massa inicial e da massa seca de cada corpo-de-prova, determinou-se o teor de umidade, definida pela expressão

mencionada. A umidade média das amostras de controle foi de 12,46% podendo-se assumir que os corpos-de-prova estavam na condição seca ao ar para a região de Campinas durante o mês de Março/2001.

3.2.8. Determinação da densidade aparente

De acordo com a NBR 7190/97, a densidade aparente da madeira pode ser calculada com base na relação entre a massa e volume do corpo-de-prova no teor de umidade de equilíbrio ao ar, utilizando-se da expressão:

$$\rho_a = \frac{m_{12}}{v_{12}} \dots\dots\dots \text{Equação 3.3.}$$

onde: m = massa da madeira (kg);
 v = volume da madeira (m^3).

Com esse procedimento foi obtida a densidade aparente de cada corpo-de-prova. Tendo em vista que se assumiu que os corpos-de-prova possuíam teor de umidade médio em torno de 12%, a densidade aparente de cada um deles pôde ser calculada pela expressão mencionada.

3.2.9. Análise Estatística

Como as variáveis estudadas (inclinação da grã e presença de nós e de medula) são categóricas (qualitativas e não quantitativas), aplicou-se um modelo de regressão logística para verificar a relação existente entre essas variáveis e a velocidade de propagação da onda. A

variável velocidade também foi categorizada de acordo com o procedimento fornecido pelo PROC LOGISTIC do sistema SAS, de maneira a possibilitar a obtenção de valores que indicassem limites abaixo dos quais a probabilidade da existência de uma determinada característica fosse significativa (valores de corte). Para o estudo conjunto das variáveis, aplicou-se uma correlação múltipla, além de correlações parciais.

3.2.10. Avaliação comparativa com Norma de Classificação baseada em Método Visual

Visando efetuar uma comparação do comportamento da velocidade de propagação longitudinal da onda ultra-sônica, com norma de classificação baseada em método visual, adotou-se aquela citada por CORONEL (1995). A classificação dos corpos-de-prova foi realizada utilizando os mesmos intervalos de classe propostos na referida norma, e a velocidade de propagação média da madeira enquadrada em cada um dos intervalos foi calculada e avaliada.

3.2.11. Determinação da constante elástica (C_{LL}) em cada corpo-de-prova, nos dois pontos de medição

Nessa etapa foi calculado o valor da constante elástica C_{LL} , da espécie estudada, nos dois pontos de medida especificados na Figura 3.16. Com base nos resultados discutiu-se a variação do comportamento de C_{LL} na madeira sã e na madeira com desvio de grã e com presença de nós e de medula.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resultados dos ensaios

Os resultados obtidos nos ensaios da análise visual e da análise utilizando o ultra-som, detalhados no capítulo anterior, foram inseridos em uma planilha, a qual permite uma melhor visualização conjunta desses resultados apresentados no Anexo I.

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores da média e do coeficiente de variação da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas, para cada aspecto considerado nesse trabalho, ou seja, madeira sã (sem nenhum defeito observado na análise visual), madeira com presença de nó, madeira com inclinação da grã e madeira com presença de medula.

Tabela 4.1. Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas

	Aspectos de qualidade da madeira			
	Madeira sã	Madeira com nó	Madeira com inclinação da grã	Madeira com medula
Velocidade média (m/s)	5368	4589	5091	4769
Coeficiente de variação (%)	6	13	13	8

4.2. Análise Estatística das médias dos resultados obtidos nos corpos-de-prova

Tendo em vista que um dos objetivos deste trabalho foi o de avaliar a sensibilidade do ultra-som na detecção de defeitos na madeira, primeiramente avaliou-se se a velocidade de propagação da onda ultra-sônica foi afetada pela presença de defeitos nos corpos-de-prova. Para isso decidiu-se verificar se, estatisticamente, a velocidade esteve correlacionada com os defeitos encontrados durante a análise visual. Tendo em vista que as análises visuais representaram variáveis qualitativas e não quantitativas, utilizou-se para a avaliação estatística o modelo logístico, considerando como variável independente a velocidade, e como variáveis dependentes a presença de nós, a inclinação da grã e a presença de medula. Cada variável foi analisada separadamente.

4.2.1. Nós

Para a aplicação do modelo logístico (SAS) foi considerada como variável independente a presença de nós, e como variável dependente a velocidade de propagação da onda ultra-sônica na direção longitudinal (V , em m/s). Para a variável independente (nós) atribuiu-se valor 1 à presença e 0 à ausência. Aplicando-se o modelo às variáveis definidas, foram obtidos os seguintes resultados:

Modelo estimado:

$$\text{logit}[P(V)] = \log \frac{P(V)}{1 - P(V)} = 14,2340 + 0,00302V$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: Goodness of fit = 606,0; Log Likelihood Ratio = 646,0; $\chi^2 = 40,0$ ($P < 0,01$) e a razão de acerto entre observados e preditos: 85,50%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Testes de significância do modelo para a variável independente nó.

Variáveis	estimado	Erro padrão	Wald	Gl	Sig	Exp (B)
V (?)	0,00302	0,000217	193,1517	1	0,0001	0,9403
Constante (?)	-14,234	1,082100	173,0360	1	0,0001	

Os valores obtidos nos testes demonstravam que o modelo foi altamente significativo. Com 85,50% de acerto dos valores observados para os preditos, pode-se dizer que o modelo apresentou um poder de predição satisfatório.

Ambos parâmetros, β_1 e β_2 , foram significativos para o modelo. Para o β_1 , a estatística do teste de Wald foi igual a 173,036 ($P=0,0001$), e para o parâmetro β_2 , a estatística do teste de Wald foi igual a 193,1517 ($P=0,0001$). Pode-se concluir, portanto, que a variável velocidade foi altamente significativa para o modelo.

A variável velocidade foi, então, dividida em dois intervalos, sendo o valor de corte de 4848 m/s determinado pelo programa SAS. Aplicando-se o modelo à variável independente nós e à nova variável dependente Z (categorizada), foram obtidos os seguintes resultados:

$$\text{Modelo estimado: } \text{logit}[Z(V)] = \log \frac{\beta_1 + \beta_2(V)}{1 + \beta_2(V)} = 0,8664 + 2,5360V$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: $\chi^2 = 80,9$ ($P < 0,01$) e a razão de acerto entre observados e preditos: 95,6%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Testes de significância do modelo para a variável independente nó.

Variáveis	Estimado	Erro padrão	Wald	Gl	Sig	Exp (B)
V (?)	2,5360	0,1763	206,9402	1	0,0001	0,6307
Constante (?)	-0,8664	0,1385	39,10760	1	0,0001	

Os valores obtidos nos testes de significância demonstravam que o modelo foi altamente significativo. Com 95,6% de acerto dos valores observados para os preditos, pode-se dizer que o modelo apresentou um poder de predição satisfatório.

Ambos parâmetros, β_0 e β_1 , foram significativos para o modelo. Para o β_0 , a estatística do teste de Wald foi igual a 39,1076 ($P= 0,0001$), e para o parâmetro β_1 , a estatística do teste de Wald foi igual a 206,9402 ($P= 0,0001$). Pode-se concluir, portanto, que a variável velocidade foi altamente significativa para o modelo. O valor da $\text{Exp}(\beta_1)$, que representa o incremento na chance de ausência de nós para cada unidade de velocidade, mostrou que a chance de ausência de nós aumentou de 36,93% para cada m/s de velocidade. O intervalo de confiança ($\alpha = 0,10$) para o parâmetro $\beta_0 = 2,5360$ foi: $[2,2495 \text{ } \beta_0 \text{ } 2,8297]$ e para o parâmetro $\beta_1 = -0,8664$ foi: $[-1,0981 \text{ } \beta_1 \text{ } -0,6418]$.

A probabilidade estimada da presença de nós, se a velocidade do ultra-som for maior que 4848 m/s é:

$$P(Z \leq 1) = \frac{\exp(-0,8464 - 2,5360 \cdot 1)}{1 + \exp(-0,8464 - 2,5360 \cdot 1)} = 0,02876 = 2,876\%$$

ou seja, a chance de presença de nós, para velocidades maiores que 4848, mostrou-se muito pequena (2,88%).

4.2.2. Medula

Para a aplicação do modelo logístico foram consideradas como variável independente a presença de medula no corpo-de-prova, e como variável dependente, a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas na direção longitudinal (V , em m/s). Para a variável independente (medula) atribuiu-se valor 1 à presença e 0 à ausência.

Aplicando-se o modelo às variáveis definidas foram obtidos os seguintes resultados:

Modelo estimado:

$$\text{logit}[P(V)] = \log \frac{P(V)}{1 - P(V)} = -4,9464 - 0,00161V$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: Goodness of fit = 296,8; Log Likelihood Ratio = 482,1; $\chi^2 = 185,3$ ($P < 0,01$), e a razão de acerto entre observados e preditos: 82,9%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Testes de significância do modelo para a variável independente medula

Variáveis	Estimado	Erro padrão	Wald	Gl	Sig	Exp (B)
V (?)	0,00161	0,000218	54,4504	1	0,0001	0,5006
Constante (?)	-4,9464	0,996700	24,6282	1	0,0001	

Os valores obtidos nos testes de significância demonstravam que o modelo foi altamente significativo. Com 82,90% de acerto dos valores observados para os preditos, pode-se dizer que o modelo mostrou um poder de predição satisfatório.

Ambos parâmetros, β_1 e β_0 , foram significativos para o modelo. Para o β_1 , a estatística do teste de Wald foi igual a 24,6282 ($P= 0,0001$), e para o parâmetro β_0 , a estatística do teste de Wald foi igual a 54,4504 ($P= 0,0001$). Pode-se concluir, portanto, que a variável V foi altamente significativa para o modelo. O valor da $Exp(\beta_1)$, que representa o incremento na chance da ausência de medula para cada unidade de velocidade, mostrou que a chance de ausência de medula aumentou 49,97% para cada m/s de velocidade. O intervalo de confiança ($\alpha = 0,10$) para o parâmetro $\beta_1 = 0,00161$ foi: [0,00125 ; 0,00197], e para o parâmetro $\beta_0 = -4,9464$ foi: [-6,5954 ; -3,3071].

Para esse caso não houve possibilidade de se determinar uma velocidade de corte com confiabilidade significativa, como no caso da variável independente nós, pois a quantidade de peças com presença de medula não permitiu que fosse obtido um modelo com poder de predição satisfatório para a variável velocidade categorizada.

4.2.3. Inclinação da grã

Para a aplicação do modelo logístico foram consideradas como variável independente a inclinação da grã no corpo-de-prova, e como a variável dependente, a velocidade de

propagação longitudinal das ondas ultra-sônicas (V, em m/s). Para a variável independente (inclinação) atribuiu-se valor 1 à presença e 0 à ausência.

Aplicando o modelo às variáveis definidas foram obtidos os seguintes resultados:

Modelo estimado:

$$\text{logit}[P(V)] = \log \frac{P(V)}{1 - P(V)} = 2,7591 + 0,00032V$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: Goodness of fit = 665,3; Log Likelihood Ratio = 594,3; $\chi^2 = 71,0$ ($P < 0,01$), e a razão de acerto entre observados e preditos: 71,50%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Testes de significância do modelo para a variável independente inclinação da grã.

Variáveis	Estimado	Desvio padrão	Wald	Gl	Sig	Exp (B)
V (?)	-0,00032	0,000148	4,5862	1	0,0322	- 0,098872
Constante (?)	2,75910	0,761100	13,1403	1	0,0001	

Os valores obtidos nos testes de significância demonstram que o modelo foi altamente significativo. Com 85,50% de acerto dos valores observados para os preditos, pode-se dizer que o modelo apresentou um poder de predição satisfatório.

Ambos parâmetros, β_0 e β_1 , foram significativos para o modelo. Para o β_1 , a estatística do teste de Wald foi igual a 2,7591 ($P= 0,0001$), e para o parâmetro β_0 , a estatística do teste de Wald foi igual a -0,00032 ($P= 0,0322$). Pode-se concluir, portanto, que a variável velocidade foi altamente significativa para o modelo. O valor da Exp(β_0), que representa o incremento na chance da ausência de medula para cada unidade de velocidade, mostrou que a chance de ausência de inclinação diminui 90,11% para cada m/s de velocidade. O intervalo de confiança ($\alpha=0,10$) para o parâmetro $\beta_0=-0,00302$ foi: [$-0,00057$; $-0,00008$] e para o parâmetro $\beta_1 = 2,7591$ foi: [1,5322 ; 4,0391].

Como há interesse na determinação de corte para valores de velocidade categorizou-se a velocidade de tal maneira que para os valores abaixo de 5200 m/s foi atribuído o valor 0 e para os valores acima de 5200 m/s atribui-se o valor 1. Esse valor de corte foi determinado pelo Programa SAS.

$$\text{Modelo estimado: } \text{logit}[P(V)] = \log\left(\frac{P(V)}{1-P(V)}\right) = 1,1245 + 0,0532V$$

Os resultados dos testes de significância do modelo foram: $\chi^2 = 85,7$ ($P < 0,01$), e a razão de acerto entre observados e preditos: 24,5%.

A significância dos parâmetros pode ser visualizada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Testes de significância do modelo para a variável independente inclinação da grã.

Variáveis	Estimado	Erro padrão	Wald	Gl	Sig	Exp (B)
V (?)	0,0532	0,1607	0,1097	1	0,7404	0,0144
Constante (?)	1,1245	0,1021	121,2231	1	0,0001	

Os valores obtidos nos testes de significância demonstravam que o modelo foi não-significativo uma vez que o coeficiente 0,0532 foi não-significativo. Além disso, como apenas 24,5% de acerto dos valores observados para os preditos, pode-se dizer que o modelo não tem um poder de predição satisfatório. Pode-se concluir que não foi possível estabelecer um intervalo de corte para a velocidade acima da qual se pudesse associar a presença ou ausência de inclinação. Este resultado não elimina a análise realizada sem determinação do corte; apenas não foi possível especificar esse valor.

4.2.4. Correlação Múltipla

Para que se pudesse avaliar qual parâmetro era mais significativo no modelo, ou seja, qual parâmetro analisado teria maior influência na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, foi realizado um teste de correlação múltipla. Uma vez que as variáveis nó, inclinação da grã e medula são categorizadas (0 e 1), aplicou-se um teste de medida de correlação, para se determinar qual dessas medidas teria maior associação com a velocidade. Assim, como mostram os resultados da Tabela 4.7, o fator que representou a presença de nó foi o que mais se associou com velocidade (0,78), seguido da presença de medula (0,46) e, por último, da inclinação da grã (0,36).

Tabela 4.7. Resultados do teste de medida de correlação.

VARIÁVEIS	r
Nó	0,78
Inclinação	0,36
Medula	0,46

Utilizando-se, ainda, da avaliação de correlação múltipla, uma análise foi proposta com intuito de estabelecer a relação entre a velocidade de propagação longitudinal de ondas ultrassônicas e a presença de qualquer um dos defeitos. Contudo, o ajuste do modelo foi extremamente próximo ao modelo obtido quando se considerou somente a presença de nós, o que era esperado, em função da alta correlação desse parâmetro com a velocidade e, também, devido à baixa correlação múltipla entre as variáveis estudadas.

Esses resultados, obtidos utilizando-se a velocidade média obtida nos pontos 1 e 2, permitiram verificar que o ultra-som apresentou sensibilidade suficiente para permitir detectar defeitos em peças de madeira já que, para todos os casos, a análise estatística demonstrou que a velocidade de propagação longitudinal das ondas ultrassônicas foi significativa no modelo de correlação.

4.3. Discussão geral dos resultados

4.3.1. Inclinação da grã

Observando-se com mais detalhes a tabela de resultados (Anexo I), verificou-se que, no caso da inclinação, em apenas, aproximadamente 25% das peças, os valores foram superiores a 10°; em 35% das peças os valores foram superiores a 8° e, em 46% das peças, as inclinações foram superiores a 6°. Apesar disso, para qualquer valor da inclinação foi atribuída, na análise estatística (item 4.2.3), o valor “1”, ou seja, a existência do defeito. Essa análise pode ter afetado os resultados, uma vez que, para pequenos valores de inclinação (< 6°) a velocidade não foi afetada, ficando próxima da velocidade média obtida para a madeira sã (2% abaixo). Esse resultado foi compatível com o que se esperava em termos de resistência e rigidez, ou seja, os valores são afetados para inclinações superiores a 6° (NBR 7190/97). Tomando-se, por exemplo, o valor da compressão paralela às fibras tabelado na NBR 7190, para o *Pinus taeda* L, 4,44 kN/cm². Utilizando-se a fórmula de Hankinson pode-se calcular o valor previsto para a resistência à compressão, para uma inclinação de 8° (4,20 kN/cm²). A diferença entre esses valores é da ordem de 6%. Pela fórmula de Hankinson, considerando-se 6° de inclinação, essa diferença cai para 2%. Destaca-se que, para o caso do Módulo de Elasticidade, a norma não apresenta uma expressão que permita o cálculo para peças com inclinação da grã, embora a relação entre $f_{c90}/f_{c0} = 0,25$ e a relação entre $E_{c90}/E_{c0} = 0,05$, de onde se conclui que a inclinação da grã seja muito mais significativa para a rigidez do que para a resistência.

Tomando-se como base a classificação definida por CORONEL (1995), o qual dividiu as classes, em termos de inclinação, nos intervalos até 8° (intervalo 1), entre 8 e 12° (Intervalo 2) e de 12 a 18° (Intervalo 3), os resultados mostraram que, até 8°, obteve-se uma velocidade 3% inferior à madeira sem inclinação; entre 8 e 12° obteve-se uma velocidade 5% inferior à madeira sem inclinação e entre 12 a 18° obteve-se uma velocidade 9% inferior à madeira sem inclinação.

A Figura 4.1 mostra a relação entre os intervalos definidos e as médias das velocidades de propagação longitudinal das ondas ultra-sônicas obtidas nesses intervalos. Destaca-se que se acrescentou o intervalo 4, que corresponde a inclinações superiores a 18° (descartadas pela classificação).

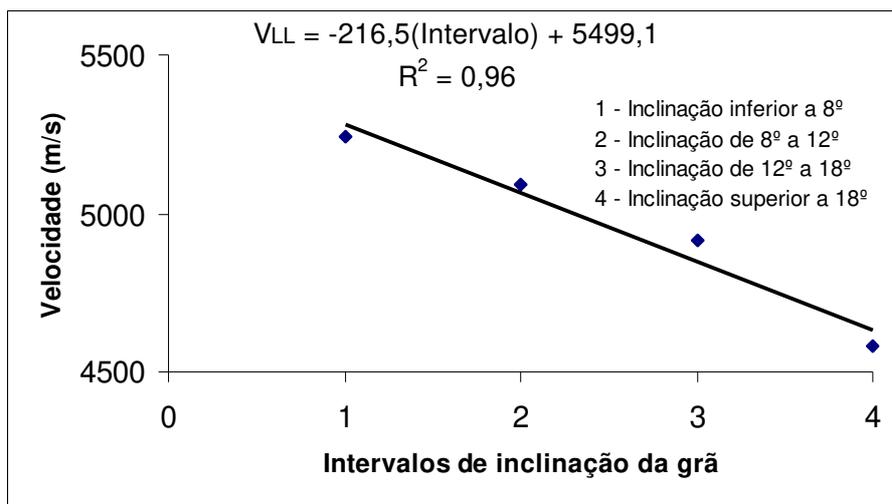


Figura 4.1. Relação entre os intervalos de inclinação da grã e a velocidade longitudinal de propagação da onda ultra-sônica.

Da Figura 4.1 pode-se observar que, quando se tomam as inclinações por intervalos de variação, a correlação entre a velocidade de propagação da onda e os intervalos torna-se altamente significativa.

Tomando-se como base os valores médios apresentados na Tabela 4.1, observou-se, mais uma vez, que a análise geral, sem separação em intervalos de inclinação, de certa forma mascarou os resultados. A velocidade média obtida no conjunto foi apenas 5% inferior à velocidade para a madeira sã. Em relação à dispersão dos resultados, os valores dos coeficientes de variação indicaram que a madeira com inclinação da grã apresentou valores muito mais dispersos (13%) do que a madeira sã (6%). Esse resultado corroborou a hipótese de que, quando se misturam os resultados obtidos com pequenas inclinações, com aqueles obtidos com grandes inclinações, os valores deixam de ser representativos.

4.3.2. Nós

Ainda em relação ao resultado da análise estatística, tomando-se como base a velocidade média nos corpos-de-prova (item 4.2), verificou-se que os resultados foram compatíveis com aqueles obtidos por SANDOZ (1989), ou seja, o parâmetro que mais afetou a velocidade de propagação foi o nó (item 4.2.4).

A Figura 4.2 permite avaliar a relação entre a área dos nós nos corpos-de-prova e a velocidade de propagação longitudinal das ondas ultra-sônicas. Observa-se que as correlações, nesse caso, também foram altamente significativas.

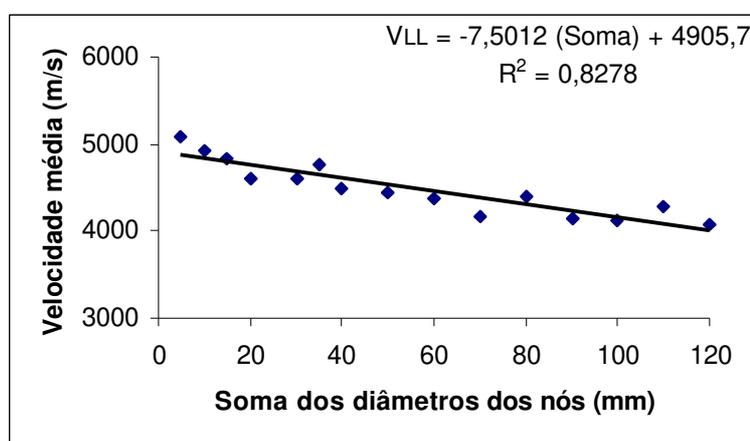


Figura 4.2. Relação entre a área dos nós nos corpos-de-prova e a velocidade de propagação longitudinal das ondas ultra-sonoras.

Da tabela que apresenta os valores médios da velocidade de propagação longitudinal das ondas, para cada situação estudada (Tabela 4.1) observou-se que a velocidade média para a madeira com presença de nós foi 17% inferior à velocidade média obtida na madeira sã. Em relação à dispersão dos resultados, os valores dos coeficientes de variação indicaram que a madeira com nó apresentou valores muito mais dispersos (13%) do que a madeira sã (6%). Esse resultado era esperado, já que a análise foi realizada sem a separação dos nós por tamanho, quantidade ou região.

4.3.3. Medula

Da tabela que apresenta os valores médios da velocidade de propagação longitudinal das ondas, para cada situação estudada (Tabela 4.1) observou-se que a velocidade média para a madeira com presença de medula foi 13% inferior à velocidade média obtida na madeira sã. Em relação à dispersão dos resultados, os valores dos coeficientes de variação indicaram que a madeira com medula apresentou valores de dispersão levemente superiores (8%) aqueles obtidos para a madeira sã (6%). Essa dispersão deveu-se, provavelmente, em consequência da análise conjunta dos pontos 1 e 2 para a obtenção da média pois, em vários casos, a medula encontrava-se posicionada em um dos lados, o que produzia um resultado médio diferente daquele quando a mesma estava posicionada no meio da peça.

4.4. Classes

Para que se pudesse comparar os resultados com alguma norma de classificação visual, adotou-se a norma IRAM apresentada por CORONEL (1995). Cada corpo-de-prova foi, então, classificado segundo essa norma (Tabela 1 - Anexo 1). Para facilitar a visualização, os resultados médios da velocidade de propagação longitudinal das ondas, para cada classe, estão indicados na Tabela 4.8. Visando analisar todas as peças (com exceção das peças com medula que não entraram na classificação adotada), foi acrescentada mais uma faixa de classificação, correspondendo às peças descartadas (“d”), ou seja, aquelas que não se encaixariam em nenhuma das categorias.

Tabela 4.8. Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas em cada classe apresentada por CORONEL (1995).

	Classes apresentadas em CORONEL (1995)			
	I	II	III	d

Velocidade média (m/s)	5331	5080	4740	4482
Coefficiente de variação (%)	6	6	12	13

Dessa tabela observa-se que as velocidades médias decresceram no mesmo sentido em que as categorias da madeira diminuíram. A velocidade média de propagação das ondas na madeira da Classe I foi 5% superior à da madeira da classe II; 13% maior do que na madeira da classe III e 19% maior do que na madeira descartada.

Para a avaliação da equivalência das médias de velocidade obtidas para as classes estabelecidas por CORONEL (1995) (Tabela 4.8), foi utilizado o teste F. Os resultados deste teste permitem concluir que as médias de velocidades obtidas nas classes I e II são estatisticamente diferentes ($F = 1,09$ e $F_{crit} = 1,49$); as médias de velocidades obtidas nas classes II e III são, também, estatisticamente diferentes ($F = 0,36$ e $F_{crit} = 0,64$), enquanto que, as médias de velocidades obtidas nas classes III e “d” são estatisticamente equivalentes ($F = 0,87$ e $F_{crit} = 0,73$).

Esse resultado permitiu visualizar a possibilidade de obtenção de intervalos de velocidade que se associassem à classes que correspondam à existência de nós e ao desvio da grã. Esses intervalos, no entanto, deverão ser propostos somente após o cruzamento desses resultados com os resultados dos ensaios de flexão estática, a serem realizados em outra pesquisa. Após essa etapa de ensaios destrutivos poder-se-á, também, avaliar a situação particular de alguns corpos-de-prova nos quais, embora a avaliação visual tenha indicado madeira sã, as velocidades foram baixas. Nesses casos as peças deverão ser cortadas para se verificar a provável existência de defeitos internos, não perceptíveis na análise visual. Esse procedimento mostrou-se bastante válido em ensaios preliminares, quando, em todos os casos onde se tinha observado velocidades baixas associadas à avaliação visual sem indicação de defeito, detectou-se defeito interno.

4.5. Avaliação do comportamento da velocidade de propagação (V_{LL}) e da constante dinâmica (C_{LL}) nos pontos 1 e 2, separadamente

Conforme descrito no Capítulo 3, a velocidade de propagação das ondas foi determinada nos pontos 1 e 2 (Figura 3.16). Esse procedimento fez com que, em diversos casos, a propagação da onda se realizasse em uma região com defeito para um dos pontos de análise e em uma região sem defeito para o outro ponto analisado. Embora seja difícil, na maioria dos casos, separar-se nitidamente essas regiões, realizou-se uma análise de resultados separando-se esses pontos. As Tabelas 2 e 3 do Anexo 1 apresentam todos os resultados de velocidade e de constante dinâmica, nos pontos 1 e 2. As Tabela 4.9 e 4.10 resumem os valores médios das velocidades e das constantes dinâmicas nos pontos (ponto 1 e ponto 2) de leitura no corpo-de-prova, conforme Figura 3.17, respectivamente.

Tabela 4.9. Valores médios da velocidade de propagação da onda para os dois pontos de leitura do corpo-de-prova.

V_{LL} (kN/cm ²)	Madeira sã		Nó		Inclinação		Medula	
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2
Média	5363	5372	4595	4602	5151	5146	4864	4642
C.V.	6%	6%	13%	13%	8%	8%	9%	10%

Tabela 4.10. Valores médios da constante dinâmica para os dois pontos de leitura do corpo-de-prova.

C _{LL} (kN/cm ²)	Madeira sã		Nó		Inclinação		Medula	
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2
Média	1709	1709	1259	1237	1609	1612	1267	1157
C.V.	20 %	20 %	27 %	31 %	22 %	21 %	18 %	21 %

Observou-se que, pela Tabela 4.9, as velocidades nos pontos 1 e 2 foram estatisticamente equivalentes para todos os casos, exceto para o caso da presença de medula, quando essa diferença foi de 5%. Esse resultado demonstrou que a análise efetuada para a média pode ser considerada significativa para o caso da presença de nós e da inclinação da grã. Para o caso da presença de medula é provável que os resultados fossem melhores (variações maiores de velocidade em função da presença de medula), caso a análise tivesse sido realizada separadamente para as regiões 1 e 2 do corpo-de-prova. Esse resultado pôde ser melhor compreendido quando se observou que, em muitos corpos-de-prova, a medula estava realmente localizada apenas em uma parte da peça (esquerda ou direita). Essa divisão tornou-se menos nítida para o caso de nós e praticamente inexistente para o caso de inclinação da grã.

Quando se analisou a constante dinâmica, observou que, pela Tabela 4.10, para a madeira sã e para a madeira com inclinação da grã, os resultados foram estatisticamente equivalentes enquanto que, para a madeira com presença de nó e de medula, esses valores foram 2 e 9% inferiores, respectivamente. Essa diferenciação, no caso da constante dinâmica, seria mais evidente para esses dois tipos de defeitos (nó e medula), caso a determinação da densidade aparente tivesse sido feita também por região. Em ambos os casos, a densidade aparente na madeira sã é bem diferente da densidade nessas regiões anatomicamente diferenciadas, ou seja é maior no nó e menor na medula, o que se traduziria em valores também diferenciados da constante dinâmica.

As Figuras 4.3 e 4.4 permitem uma melhor visualização, destacando, assim, a relação dos valores médios da velocidade de propagação e a constante elástica apresentados nas Tabelas 09 e 10, correspondentes aos pontos 1 e 2, respectivamente.

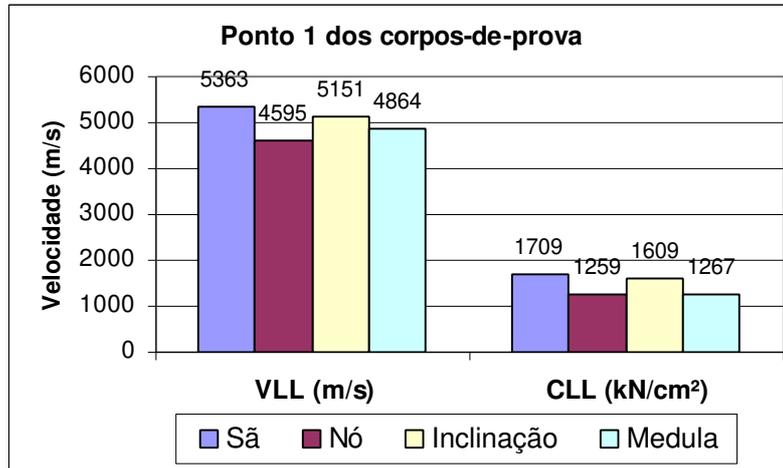


Figura 4.3. Figura comparativa entre valores médios de V_{LL} para o corpo-de-prova no ponto 1 do *Pinus taeda L.*

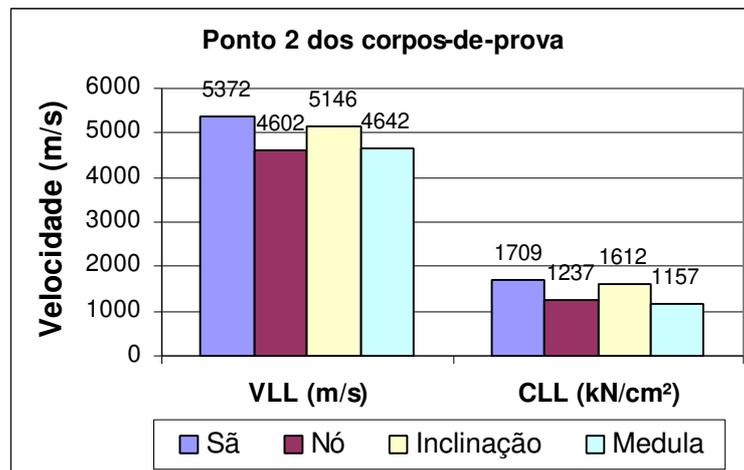


Figura 4.4. Figura comparativa entre valores médios de V_{LL} para o corpo-de-prova no ponto 2 do *Pinus taeda L.*

O valor médio da constante dinâmica (C_{LL}) da madeira sã, obtida nesse trabalho para o *Pinus taeda L.* foi 1709 kN/cm^2 . O módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), dado pela NBR 7190/97, para a mesma espécie é de 1330 kN/cm^2 . Comparando-se esses dois valores observa-se que $C_{LL} \approx 1,28 E_{c0}$. A literatura indica que C_{LL} é sempre maior do que o módulo de elasticidade, chegando muito próximo a desse, quando se utiliza para o cálculo de C_{LL} a expressão completa, com a correção do coeficiente de Poisson. Os resultados obtidos neste trabalho foram compatíveis com aqueles obtidos por BARTHOLOMEU (2001), na qual também não foi inserida a correção do coeficiente de Poisson para o cálculo de C_{LL} .

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS

Os resultados obtidos na experimentação discutidos no capítulo 4 permitem apresentar, para a espécie estudada nesse trabalho (*Pinus taeda sp*), as seguintes conclusões:

- ✍ A velocidade foi altamente significativa para os modelos envolvendo, como variável independente a presença de nós e de medula e desvio de grã. Os resultados permitiram concluir que a velocidade é um parâmetro que pode ser associado às características analisadas, e que, portanto, poderá ser utilizada como ferramenta de análise para a detecção de defeitos na madeira. A análise de correlação múltipla permitiu concluir, ainda, que a característica mais associada à variação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica foi a presença do nó, assim como SANDOZ (1989), que chegou nos resultados onde a presença de nó apresentava uma maior influência na velocidade de propagação de onda.
- ✍ A velocidade média da propagação das ondas ultra-sônicas decresceu no mesmo sentido em que as classes da norma IRAM, baseada em análise visual (CORONEL, 1995), decresceu em graus de qualidade. Ao serem analisados separadamente (um a um e não na média), alguns resultados apresentaram discrepâncias (velocidade elevada associadas à classe III ou velocidade baixa associada à classe I). Esse resultado pode ser explicado pelo elevado coeficiente de variação da classe III, ou ainda, pela possível presença de defeitos não detectados pela análise visual. A comparação da velocidade

média com a classificação visual adotada (IRAM), permitiu indicar os seguintes intervalos:

- ✍ $V \geq 5350$ – Classe I
- ✍ $5050 \geq V < 5350$ – Classe II
- ✍ $4680 \geq V < 5050$ – Classe III
- ✍ $V < 4680$ – Descartado

- ✍ O valor médio da constante dinâmica C_{LL} na madeira são 28% acima do valor do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}), apresentado na NBR 7190/97. Esse valor foi compatível aos apresentados pela literatura nacional e internacional para C_{LL} calculados pela equação simplificada, ou seja, sem a correção pelo coeficiente de Poisson.
- ✍ A avaliação utilizando-se a velocidade média nos pontos 1 e 2 pode ser considerada correta, uma vez que a análise das velocidades consideradas separadamente nos pontos 1 e 2 demonstraram não haver diferença estatisticamente significativa entre esses pontos, exceto para a presença de medula. Nesse caso, a avaliação separada poderia ter apresentado coeficientes mais significativo na análise estatística.
- ✍ A avaliação utilizando-se a constante dinâmica C_{LL} nos pontos 1 e 2 foi mais significativa quando se analisou a presença dos nós e da medula, uma vez que, para esses dois parâmetros, há variação de densidade, o que influencia o valor da constante dinâmica e pode permitir uma análise ainda mais significativa da intensidade de variação dessa constante, quando comparada com a madeira sã.

PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✍ Comparar os resultados desse trabalho com resultados de ensaios de flexão estática realizados nas mesmas peças;
- ✍ Avaliar a existência de defeitos internos, nos corpos-de-prova onde as velocidades foram baixas, embora a avaliação visual não tenha detectado nenhum defeito (madeira sã), ou onde tenham sido detectados apenas a presença de pequenos nós ou desvios de grã.
- ✍ Adequar a metodologia para atender a demanda do mercado industrial nos diversos setores que utilizam a madeira tendo em vista que a técnica se mostrou altamente viável para permitir um salto tecnológico importante na avaliação da qualidade da madeira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira – Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9192/95 – Paletes de Madeira – Materiais. Rio de Janeiro, 1997. 06p.

ASTM D-245-81. Standard Methods for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visual Graded Lumber. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

BALLARIN, Adriano Wagner; GONÇALVES, Raquel. Ensaio não destrutivo aplicado aos produtos à base de madeira: a situação brasileira. Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, V, São Paulo (SP). 11p. 2001. CD-rom.

BARTHOLOMEU, André. **Classificação de Peças Estruturais de Madeira através do Ultra-som**. 105p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. 2001.

BARTHOLOMEU, André; GONÇALVES, Raquel; HERNÁNDEZ, Roger E. Montagem de equipamento para ensaios não destrutivos em madeira utilizando ultra-som. In: Encontro

Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, VI, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis (SC): Imprensa Universitária da UFSC, v.4, p;345-354, 1998.

BECHTEL, F.K; ALLEN, J.R. Methods of implementing grain angle measurements in the machine stress rating process. Proc. 6th Symp. Nondestructive Testing of Wood. Washington State University, Pullman, 303-353. 1987.

BODIG, J. and JAYNE, B. A. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold, New York. 1982.

BUCUR, Voichita. **Ondes Ultrasonores dans le Bois. Caracterisation mécanique et qualité de certaines essences de bois.** 188p. Thèse (Doctorat en Génie Mécanique) - Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique, Saint-Ouen, France, 1984.

_____ **Acoustics of Wood.** Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc., 1995.

BUCUR, V; FEENEY, F. Attenuation of ultrasound on solid wood. Ultrasonics. 30(2), 76-81. 1992.

CORONEL, Eduardo O. **Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas.** Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Edición Argentina. Editora EL LIBERAL de Santiago del Estero, 1995.

FREDERICK, Julian R. **Ultrasonic Engineering.** New York, USA :John Wiley & Sons, Inc., 1965.

FURIATI, Marcos. **Classificação Estrutural de Peças de Madeira.** 131p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1981.

GONÇALVES, Raquel; BARTHOLOMEU, André. Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), v.4, n.2, p.269-274, 2000.

GONÇALVES, Raquel e PUCCINI, Carlos Teixeira. **UTILIZAÇÃO DO ULTRA-SOM NA AVALIAÇÃO DE ASPECTOS DE QUALIDADE DA MADEIRA**. VII EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos. São Paulo. 12 a 14 de Julho de 2000. CD-Rom.

GORNIK, Elianice e MATOS, Jorge Luis Monteiro de. **Métodos não destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira**. VII EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos. São Paulo. 12 a 14 de Julho de 2000. CD-Rom.

HAYGREEN, John G; BOWYER, Jim L. **Forest Products and wood science: An Introduction**. 2ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 500p, 1989.

HERNANDEZ, R; KOUBAA, A; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science*, vol 30, n 2. 1998.

HERZIG, L. Evaluation du module d'Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage. 290p., M.Sc. Thesis (Génie Forestière), Faculté de Foresterie et de Géomatique, Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Université Laval, Québec, Canada, 1992.

KESSEL, M. H.; SANDOZ, J.L. Zur Effizienz der Festigkeitssortierung von Fichtenkantholz. Teil 1. Vergleich europäischer Normen. 1989. *Holz als Roh- und Werkstoff* 47:279-289

KOUBAA, A; HERNANDEZ, R; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y.; POLIQUIN J. 1997 - Nondestructive evaluation of physical, mechanical and anatomical properties of fast growing poplar hybrid clones. Proceedings CTIA/UFRO International wood quality workshop "Timber management toward wood quality and end-product value". Québec, p.47-53. 1997.

MCSKIMIN, H. J. Ultrasonic methods for measuring the mechanical properties of liquids and solids. In Physical Acoustics. Vol. 1, Part A, Mason, W. P. (Ed.). Academic Press, New York. 1964.

MISHIRO, Akiyoshi; MIWA, Yushiro. Some factors influencing on ultrasonic velocity in wood. Research Bulletin of the Niigata University Forests, Niigata, Japan, v.27, p49-56, 1994.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Brasil. IBDF. **Norma para Classificação de Madeira Serrada de Folhosas**. Ministério da Agricultura. 1983. 67p.

OLIVEIRA, Fabiana Goia R de e SALES, Almir. **Propagação de ondas acústicas na madeira**. VII EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos. São Paulo. 12 a 14 de Julho de 2000. CD-Rom.

PAPADAKIS, E. P. The measurement of ultrasonic attenuation in “Physical Acoustics”. Vol. 19, Thurston, R. N. and Pierce, A.D. (Eds). Academic Press, New York, 108-155. 1990.

RILEM. Materials and Structures n^o 66, Nov., Dec., 1978. Ed. Dunop.

ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. - Nondestructive evaluation of wood. Forest Products Journal, vol.48, n.1, p.14-19. 1994.

SANDOZ, Jean Luc. Grading of Construction timber by ultrasound. Wood Science and Technology, 23(2), 95-108, 1989.

_____. Triage et fiabilité des bois de construction. 186p. Thèse (Doctorat en Sciences Techniques) – Département de Génie Civil, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 1990.

_____. Form and treatment effects on conical roundwood tested in bending. Wood. Sci. Technol. 25(3), 203-214. 1991.

_____. Moisture content and temperature effect on ultrasound timber grading. Wood Science and Technology, 27:373-380, 1993.

SAS Institute - ETS user's guide. 5th rev. c1984. 738p.

STEIGER, René. Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten – Bauholz bei Biege-, Zug-, Druck- und Kombinierten M/N Beanspruchung. 168p. Doktorarbeit in Technischen Wissenschaften – Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Zürich, Schweiz, 1996.

WAUBKE, Nils Valerian. Grundsätzliche Untersuchungen zur Eignung der Ultraschall – Impulslaufzeitmessungen als vereinfachte und genauere Methode zur Klassifikation von Bauhölzern. 56p. Institut für Baustoffkunde und Bauphysik der Hochschule der Bundeswehr München, Deutschland, 1981.

ANEXO I

Tabela 01. Planilha dos resultados da análise visual e da análise utilizando o ultra-som.

	Nomen- clatura	Velocidade Média (m/s)	Densidade (g/cm³)	nós (*)	incli- nação	medula (**)	Classes (***)
1	(5) 1A	5220	0,66	--	10 ^º		2
2	(5) 1A+	5524	0,64	--	--	--	1
3	(5) 1B	5063	0,55	(1) 3	--	--	d
4	(5) 1B+	4433	0,62	(2) 3r / 3,5	--	--	d
5	(5) 1C	5174	0,58	--	--	--	1
6	(5) 1D	4608	0,55	(1) 1	--	--	2
7	(5) 1D+	4450	0,60	(2) 1 / 2	14 ^º	--	3
8	(5) 2A	5300	0,64	(1) 2	--	--	3
9	(5) 2A+	5204	0,62	--	--	--	1
10	(5) 2B	4399	0,54	(1) 3	--	--	d
11	(5) 2B+	5151	0,54	--	--	--	1
12	(5) 2C	4804	0,60	(1) 4	--	--	d
13	(5) 2D	5104	0,57	--	--	--	1
14	(5) 2D+	5014	0,58	(1) 2	--	--	3
15	1/1 1B	5512	0,54	--	--	--	1
16	1/1 1B+	5547	0,54	--	--	--	1

17	1/1 1D	3325	0,64	(1) 5	--	meio	m
18	1/1 1D+	3879	0,63	(2) 1 / 6	--	esquerdo	m
19	1/1 1E	4756	0,65	(2) 5 / 8	--	--	d
20	1/1 1E+	5206	0,56	--	6º	--	1
21	1/1 1F	5141	0,62	--	8º	--	1
22	1/1 1F +	5424	0,60	(2) 1 / 2	--	--	3
23	1/1 2B	5422	0,58	--	--	--	1
24	1/1 2B+	5445	0,55	--	--	--	1
25	1/1 2D	4126	0,61	(2) 2 / 2	--	meio	m
26	1/1 2E	4061	0,67	(1) 7	--	--	d
27	1/1 2E+	5110	0,57	(1) 4	--	--	d
28	1/1 2F	5492	0,61	--	6º	--	1
29	1/1 3B	5193	0,54	--	--	--	1
30	1/1 3B+	5143	0,54	--	--	--	1
31	1/1 3C	5175	0,51	--	--	--	1
32	1/1 3D	4814	0,52	(1) 3	--	esquerdo	m
33	1/1 3D+	4632	0,57	--	--	esquerdo	m
34	1/1 3E	5564	0,56	--	--	--	1
35	1/1 3E+	5532	0,57	(1) 3	--	--	d
36	1/1 3F	5879	0,64	--	--	--	1
37	1/1 3F+	5781	0,63	--	--	--	1
38	1/1 D1 1A	5324	0,56	--	3º	--	1
39	1/1 D1 1B	5235	0,55	--	1,8º	--	1
40	1/1 D1 1C	5256	0,55	--	--	--	1
41	1/1 D1 1D	5306	0,61	--	--	--	1
42	1/1 D1 2A	5133	0,54	--	--	--	1
43	1/1 D1 2B	5072	0,54	(1) 1,5	--	--	1
44	1/1 D1 2C	5362	0,56	--	3,5º	--	1

45	1/1 D1 2D	5450	0,64	--	3,6 ^º	--	1
46	1/1 D2 1A	5344	0,55	--	1,5 ^º	--	1
47	1/1 D2 1B	5206	0,57	(1) 1,5 s	--	--	3
48	1/1 D2 1C	5154	0,55	--	--	--	1
49	1/1 D2 2A	5278	0,56	--	1,8 ^º	--	1
50	1/1 D2 2B	5178	0,54	--	3 ^º	--	1
51	1/1 D2 2C	5110	0,57	--	3 ^º	--	1
52	1/1 D3 1A	5202	0,60	(1) 1	--	--	2
53	1/1 D3 1B	5218	0,58	--	2 ^º	--	1
54	1/1 D3 2A	5358	0,64	--	6 ^º	--	1
55	1/1 D3 2B	5229	0,61	--	2 ^º	--	1
56	1/1 E1 1A	5347	0,52	--	2 ^º	--	1
57	1/1 E1 1B	5450	0,53	--	--	--	1
58	1/1 E1 1C	5390	0,52	--	3,5 ^º	--	1
59	1/1 E1 1D	5647	0,62	--	--	--	1
60	1/1 E1 2A	5576	0,53	--	1,9 ^º	--	1
61	1/1 E1 2B	5581	0,55	--	2,4 ^º	--	1
62	1/1 E1 2C	5530	0,54	--	--	--	1
63	1/1 E1 2D	5686	0,64	--	--	--	1
64	1/1 E2 1A	5549	0,58	--	1,7 ^º	--	1
65	1/1 E2 1B	5482	0,55	--	--	--	1
66	1/1 E2 1C	5618	0,63	--	2,8 ^º	--	1
67	1/1 E2 2A	5341	0,57	--	1,9 ^º	--	1
68	1/1 E2 2B	5321	0,54	--	1,8 ^º	--	1
69	1/1 E2 2C	5668	0,64	--	--	--	1
70	1/1 E3 1A	5712	0,63	--	2,3 ^º	--	1
71	1/1 E3 1B	5375	0,58	--	1,8 ^º	--	1
72	1/1 E3 1C	5734	0,68	--	2,7	--	1

73	1/1 E3 2A	5178	0,58	--	1,8 ^º	--	1
74	1/1 E3 2B	5670	0,62	--	--	--	1
75	1/1 E3 2C	5626	0,65	--	2,8 ^º	--	1
76	1/2 1A	5474	0,62	--	--	--	1
77	1/2 1A+	5466	0,62	--	--	--	1
78	1/2 1B	5173	0,54	(2) 1 / 3	--	--	d
79	1/2 1B+	5177	0,55	(1) 2	--	--	3
80	1/2 1C	4499	0,57	(3) 1 / 2 / 3	--	meio	m
81	1/2 1D	5003	0,51	(1) 2	--	--	3
82	1/2 1D+	5552	0,51	--	--	--	1
83	1/2 1E	5719	0,58	--	--	--	1
84	1/2 1E+	5757	0,57	--	--	--	1
85	1/2 2A	5542	0,62	--	--	--	1
86	1/2 2A+	5523	0,61	--	--	--	1
87	1/2 2B	5308	0,53	--	--	--	1
88	1/2 2B+	5430	0,53	--	--	direito	m
89	1/2 2C	5339	0,53	(1) 2	--	--	3
90	1/2 2D	5371	0,52	--	--	--	1
91	1/2 2D+	5430	0,51	--	--	--	1
92	1/2 2E	5727	0,60	--	--	--	1
93	1/2 2E+	5782	0,59	--	--	--	1
94	1/2 3A	4567	0,66	(1) 8	--	--	d
95	1/2 3A+	5110	0,59	(1) 1	--	--	2
96	1/2 3B	4734	0,59	(3) 1 / 1 / 6	--	--	d
97	1/2 3B+	4886	0,57	(1) 6	--	direito	m
98	1/2 3C	5223	0,53	--	--	direito	m
99	1/2 3D	5348	0,48	--	--	--	1
100	1/2 3E	5689	0,62	--	--	--	1

101	1/2 3E+	5529	0,60	--	--	--	1
102	1/2 D1 1A	5168	0,49	--	--	--	1
103	1/2 D1 1B	5014	0,50	--	--	--	1
104	1/2 D1 1C	5121	0,57	(2) 0,5 / 0,5	--	--	2
105	1/2 D1 2A	4479	0,56	(1) 4	--	--	d
106	1/2 D1 2B	5182	0,52	--	--	--	1
107	1/2 D1 2C	5458	0,60	--	--	--	1
108	1/2 D2 1A	5310	0,54	--	--	--	1
109	1/2 D2 1B	5268	0,58	--	--	--	1
110	1/2 D2 1C	5689	0,62	--	--	--	1
111	1/2 D2 2A	4715	0,59	(1) 4	--	--	d
112	1/2 D2 2B	5231	0,56	--	--	--	1
113	1/2 D2 2C	5530	0,60	--	--	--	1
114	1/2 D3 1A	5882	0,60	--	--	--	1
115	1/2 D3 1C	5764	0,59	--	--	--	1
116	1/2 D3 2A	5785	0,61	--	--	--	1
117	1/2 D3 2C	5573	0,60	--	4,5 ^o	--	1
118	1/2 E1 1A	5137	0,54	--	--	--	1
119	1/2 E1 1B	5139	0,53	(1) 0,5	--	--	1
120	1/2 E1 1C	5507	0,58	--	--	--	1
121	1/2 E1 2A	5072	0,54	(1) 2,5	--	--	d
122	1/2 E1 2B	4795	0,54	(1) 2,5	--	--	d
123	1/2 E1 2C	5589	0,58	--	--	--	1
124	1/2 E2 1A	5142	0,56	(1) 1,5	--	--	3
125	1/2 E2 1B	5179	0,53	--	3 ^o	--	1
126	1/2 E2 1C	5446	0,58	(1) 0,5	6,5 ^o	--	1
127	1/2 E2 2A	5494	0,57	--	--	--	1
128	1/2 E2 2B	5272	0,53	(1) 0,8	--	--	1

129	1/2 E2 2C	5781	0,64	--	--	--	1
130	1/3 1B	4794	0,53	--	--	esquerdo	m
131	1/3 1B+	4584	0,60	(2) 4 / 4	--	--	d
132	1/3 1C	5213	0,54	(2) 2 / 2	--	--	d
133	1/3 1C+	4350	0,56	(1) 4	--	direito	m
134	1/3 1D	4696	0,62	(1) 4	--	--	d
135	1/3 1D+	5224	0,56	--	--	--	1
136	1/3 2B	4902	0,55	--	--	esquerdo	m
137	1/3 2B+	5179	0,50	--	--	direito	m
138	1/3 2C+	5469	0,52	--	--	--	1
139	1/3 2D	5150	0,58	--	--	--	1
140	1/3 2D+	5046	0,60	--	10º	--	2
141	1/3 3B	5567	0,57	--	--	--	1
142	1/3 3B+	5349	0,53	--	--	--	1
143	1/3 3C	4937	0,48	--	--	esquerdo	m
144	1/3 3C+	4631	0,51	(1) 1	--	direito	m
145	1/3 D1 1A	5333	0,58	--	2º	--	1
146	1/3 D1 1B	5153	0,60	--	--	--	1
147	1/3 D1 2A	5450	0,60	--	--	--	1
148	1/3 D1 2B	5141	0,57	--	--	--	1
149	1/3 D2 1A	5303	0,63	--	--	--	1
150	1/3 D2 1B	4912	0,64	--	--	--	1
151	1/3 D2 2A	5010	0,59	--	2º	--	1
152	1/3 D2 2B	5013	0,63	--	--	--	1
153	1/3 E1 1A	5019	0,61	(1) 3	--	--	d
154	1/3 E2 1A	4663	0,61	(1) 3	--	--	d
155	1/3 E2 1B	4962	0,58	--	--	--	1
156	1/3 E2 2A	5504	0,59	(1) 0,5	--	--	1

157	2/1 1A	5301	0,58	--	--	--	1
158	2/1 1A+	5405	0,64	--	--	--	1
159	2/1 1B	5118	0,53	(1) 2	--	--	3
160	2/1 1C	3597	0,67	(2) 4 / 3	--	esquerdo	m
161	2/1 1C+	4370	0,51	(2) 3 / 4	--	--	d
162	2/1 1D+	4548	0,63	(3) 6 / 3 / 2	--	--	d
163	2/1 1E	5504	0,65	--	--	--	1
164	2/1 1E+	5601	0,65	--	--	--	1
165	2/1 2A+	5147	0,59	(1) 1	--	--	2
166	2/1 2B	4553	0,58	(1) 6	--	--	d
167	2/1 2C	4051	0,59	--	--	meio	m
168	2/1 2C+	4063	0,55	(4) 3,5/3,5/2/2	--	meio	m
169	2/1 2D	5038	0,56	(1) 5	--	--	d
170	2/1 2D+	4768	0,57	(1) 4,5	--	--	d
171	2/1 2E	5319	0,67	(1) 5	--	--	d
172	2/1 3A	5220	0,59	--	--	--	1
173	2/1 3A+	5052	0,61	(1) 4	--	--	d
174	2/1 3B	3995	0,61	(3) 7 / 4 / 1	--	--	d
175	2/1 3B+	4789	0,58	(3) 2 / 2 / 3	--	--	d
176	2/1 3C	3524	0,68	(5) 2/2/1/1/3	--	meio	d
177	2/1 3C+	4758	0,53	(2) 3 / 0,5	--	--	d
178	2/1 3D	4029	0,68	(2) 2 / 9	--	--	d
179	2/1 3D+	5029	0,55	(1) 5	--	--	d
180	2/1 3E	5362	0,66	--	--	--	1
181	2/1 3E+	5006	0,67	(2) 2s / 3s	--	--	d
182	2/1 D1 1A	5139	0,60	--	--	--	1
183	2/1 D1 1B	5213	0,52	--	3º	--	1
184	2/1 D1 1C	5178	0,55	(1) 0,5	--	--	1

185	2/1 D1 1D	5504	0,62	--	--	--	1
186	2/1 D1 1E	5914	0,71	--	--	--	1
187	2/1 D1 2A	5358	0,58	--	3º	--	1
188	2/1 D1 2B	5023	0,51	--	--	--	1
189	2/1 D1 2C	5016	0,53	--	--	--	1
190	2/1 D1 2D	5655	0,62	--	--	--	1
191	2/1 D1 2E	5842	0,72	--	--	--	1
192	2/1 D2 1A	5351	0,61	--	--	--	1
193	2/1 D2 1B	5484	0,57	(1) 1	--	--	2
194	2/1 D2 1D	5791	0,69	--	--	--	1
195	2/1 D2 2A	5528	0,59	--	3º	--	1
196	2/1 D2 2B	5218	0,58	--	--	--	1
197	2/1 D2 2C	5572	0,62	--	--	--	1
198	2/1 D2 2D	5825	0,69	--	--	--	1
199	2/1 D3 1A	5556	0,65	--	--	--	1
200	2/1 D3 1B	5457	0,62	--	--	--	1
201	2/1 D3 1C	5370	0,58	--	--	--	1
202	2/1 D3 1D	5568	0,66	--	2º	--	1
203	2/1 D3 2A	5730	0,67	--	--	--	1
204	2/1 D3 2B	5404	0,61	--	--	--	1
205	2/1 D3 2C	5524	0,60	--	--	--	1
206	2/1 D3 2D	5670	0,66	--	--	--	1
207	2/1 D4 1A	5887	0,69	--	--	--	1
208	2/1 D4 1B	5689	0,65	--	--	--	1
209	2/1 D4 1C	5892	0,68	--	--	--	1
210	2/1 D4 2A	5844	0,69	--	--	--	1
211	2/1 D4 2B	5838	0,72	--	--	--	1
212	2/1 D4 2C	5799	0,69	--	--	--	1

213	2/1 E1 1A	5388	0,64	--	--	--	1
214	2/1 E1 1B	5315	0,59	--	--	--	1
215	2/1 E1 1C	4861	0,55	(1) 0,5	--	--	1
216	2/1 E1 1D	5130	0,56	--	--	--	1
217	2/1 E1 1E	5248	0,64	--	--	--	1
218	2/1 E1 2B	5772	0,71	--	2º	--	1
219	2/1 E1 2C	5197	0,60	--	--	--	1
220	2/1 E1 2D	5255	0,57	--	--	--	1
221	2/1 E1 2E	5393	0,64	--	--	--	1
222	2/1 E2 1A	5236	0,63	--	14º	--	3
223	2/1 E2 1B	5282	0,59	--	--	--	1
224	2/1 E2 1C	5593	0,66	--	7,5º	--	1
225	2/1 E2 1D	5617	0,69	(1) 3 s	--	--	d
226	2/1 E2 2A	4862	0,60	--	--	--	1
227	2/1 E2 2B	4789	0,55	--	--	--	1
228	2/1 E2 2C	5147	0,61	--	2º	--	1
229	2/1 E2 2D	5662	0,71	--	3º	--	1
230	2/1 E3 1A	5278	0,67	(1) 1,5	--	--	2
231	2/1 E3 1B	5729	0,70	--	--	--	1
232	2/1 E3 1C	5696	0,72	--	7º	--	1
233	2/1 E3 2A	5549	0,67	--	2º	--	1
234	2/2 1A	5000	0,57	--	--	--	1
235	2/2 1A+	4474	0,60	(1) 5	--	--	d
236	2/2 1B	4920	0,51	(1) 3	--	--	d
237	2/2 1B+	4334	0,54	(1) 6	--	--	d
238	2/2 1C	4169	0,49	(2) 5 / 1	--	esquerdo	m
239	2/2 1C+	3759	0,61	(3) 7 / 3 / 5	--	meio	m
240	2/2 1D+	4495	0,53	(1) 3	9,5º	--	d

241	2/2 1E+	5071	0,61	--	5	--	1
242	2/2 2A	5085	0,61	--	--	--	1
243	2/2 2A+	5000	0,59	--	--	--	1
244	2/2 2B	5020	0,52	--	--	--	1
245	2/2 2B+	4945	0,51	--	--	--	1
246	2/2 2C	4014	0,63	--	--	meio	m
247	2/2 2C+	4837	0,46	(2) 3 / 2	--	meio	m
248	2/2 2D	4677	0,48	(1) 2	--	--	3
249	2/2 2D+	4792	0,48	--	--	--	1
250	2/2 2E	5262	0,55	--	--	--	1
251	2/2 2E+	5060	0,53	(1) 2 sr	--	--	3
252	2/2 3A	4238	0,58	(1) 6	--	--	d
253	2/2 3A+	3313	0,70	(1) 9	--	--	d
254	2/2 3B	4425	0,56	(2) 4 / 3	--	direito	m
255	2/2 3B+	3461	0,71	(1) 8	--	direito	m
256	2/2 3C	4377	0,52	(3) 1/ 2/ 6	--	esquerdo	m
257	2/2 3C+	4158	0,50	--	--	esquerdo	m
258	2/2 3D	4772	0,55	(1) 5	--	--	d
259	2/2 3D+	4285	0,56	(2) 6 / 2	--	--	d
260	2/2 3E	4991	0,60	(1) 3	--	--	d
261	2/2 D1 1A	5423	0,56	--	--	--	1
262	2/2 D1 1B	4604	0,63	(1) 5	--	--	d
263	2/2 D1 1C	5183	0,58	(1) 3	--	--	d
264	2/2 D1 1D	5359	0,60	--	4º	--	1
265	2/2 D1 2A	5244	0,57	--	5º	--	1
266	2/2 D1 2B	5270	0,51	--	--	--	1
267	2/2 D1 2C	5238	0,51	--	--	--	1
268	2/2 D1 2D	5477	0,62	--	4º	--	1

269	2/2 D2 1A	5304	0,61	--	--	--	1
270	2/2 D2 1B	5406	0,61	--	--	--	1
271	2/2 D2 1C	4974	0,62	--	12 ^º	--	2
272	2/2 D2 2A	4922	0,62	--	8,5 ^º	--	2
273	2/2 D2 2C	5501	0,65	--	14 ^º	--	3
274	2/2 D3 1A	5569	0,63	--	6,8 ^º	--	1
275	2/2 D3 1D	5470	0,60	--	2,8 ^º	--	1
276	2/2 D3 2A	5151	0,60	(1) 5 s	--	--	d
277	2/2 D3 2C	5341	0,60	--	8 ^º	--	1
278	2/2 E1 1A	3918	0,57	(1) 1,5	--	--	3
279	2/2 E1 1B	3892	0,55	(1) 5	--	--	d
280	2/2 E1 1C	4018	0,58	(1) 6 r	--	--	d
281	2/2 E1 1D	5075	0,55	--	--	--	1
282	2/2 E1 2A	3406	0,63	(1) 5	--	--	d
283	2/2 E1 2B	4162	0,52	(2) 1 / 2	--	--	3
284	2/2 E1 2C	4672	0,47	--	--	--	1
285	2/2 E1 2D	3432	0,72	(1) 7	--	--	d
286	2/2 E2 1A	3892	0,58	(1) 7	--	--	d
287	2/2 E2 1B	4286	0,56	(1) 3	--	--	d
288	2/2 E2 1C	3636	0,61	(1) 4	--	--	d
289	2/2 E2 2A	4166	0,52	(1) 0,5	--	--	1
290	2/2 E2 2B	4307	0,49	(1) 1	--	--	2
291	2/2 E2 2C	4216	0,59	--	5 ^º	--	1
292	2/2 E3 1B	4328	0,63	(1) 7	--	--	d
293	2/2 E3 1C	5116	0,60	--	16 ^º	--	3
294	2/2 E3 2B	4768	0,54	(1) 1,5	--	--	3
295	2/2 E3 2C	5179	0,60	--	--	--	1
296	2/3 1A	4548	0,57	--	--	--	1

297	2/3 1A+	4548	0,62	--	4º	--	1
298	2/3 1B	4707	0,51	--	--	--	1
299	2/3 1B+	4464	0,53	(2) 0,5 / 0,5	--	--	1
300	2/3 1C	3837	0,58	(1) 4	--	meio	m
301	2/3 1C+	4535	0,53	(1) 3	--	--	d
302	2/3 1D	4398	0,54	(2) 4 / 2	--	--	d
303	2/3 1E	4653	0,62	(1) 3	--	--	d
304	2/3 1E+	5106	0,54	--	11º	--	2
305	2/3 2A	4762	0,60	--	--	--	1
306	2/3 2A+	4642	0,59	--	--	--	1
307	2/3 2B	4906	0,51	--	--	--	1
308	2/3 2B+	4845	0,52	--	--	--	1
309	2/3 2C	4462	0,54	--	--	meio	m
310	2/3 2C+	4792	0,46	--	--	--	1
311	2/3 2D	4642	0,50	--	--	--	1
312	2/3 2D+	4744	0,49	--	--	--	1
313	2/3 2E	5235	0,58	--	--	--	1
314	2/3 2E+	5102	0,56	--	--	--	1
315	2/3 3A	3638	0,67	(1) 6	--	--	d
316	2/3 3A+	4494	0,53	--	--	--	1
317	2/3 3B	4137	0,56	(3) 2 / 3 / 7r	--	--	d
318	2/3 3B+	3654	0,64	(1) 6	--	esquerdo	m
319	2/3 3C	4363	0,49	(1) 2	--	esquerdo	m
320	2/3 3C+	4220	0,53	(1) 6	--	direito	m
321	2/3 3D	4278	0,54	(1) 4	--	--	d
322	2/3 3E+	4558	0,60	(1) 3	--	--	d
323	2/3 D1 1A	4555	0,60	(1) 1,5	--	--	3
324	2/3 D1 1B	4312	0,56	(1) 3	--	--	d

325	2/3 D1 1C	4448	0,58	(1) 3,5	--	--	d
326	2/3 D1 1D	5041	0,58	--	--	--	1
327	2/3 D1 2A	4639	0,55	--	--	--	1
328	2/3 D1 2B	4808	0,54	(1) 2 r	--	--	3
329	2/3 D1 2C	3874	0,63	(1) 2,5	--	--	d
330	2/3 D1 2D	5114	0,59	--	14 ^º	--	3
331	2/3 D2 1A	4834	0,59	--	--	--	1
332	2/3 D2 1B	3964	0,63	(1) 3,5	--	--	d
333	2/3 D2 1C	4570	0,62	--	14 ^º	--	3
334	2/3 D2 2A	4821	0,60	--	8 ^º	--	1
335	2/3 D2 2B	3563	0,64	(1) 3	--	--	d
336	2/3 D2 2C	4740	0,60	--	9 ^º	--	2
337	2/3 D3 1A	4729	0,59	--	26 ^º	--	d
338	2/3 D3 2A	4962	0,57	--	1,8 ^º	--	1
339	2/3 D3 2B	3600	0,60	(1) 3 s	--	--	d
340	2/3 E1 1A	3660	0,64	(1) 4	--	--	d
341	2/3 E1 1B	3906	0,56	(1) 1,5	--	--	3
342	2/3 E1 1C	4220	0,56	--	--	--	1
343	2/3 E1 1D	4436	0,56	--	--	--	1
344	2/3 E1 2A	4514	0,52	--	20 ^º	--	d
345	2/3 E1 2B	3839	0,58	(1) 3	--	--	d
346	2/3 E1 2C	4238	0,60	(1) 2	--	--	3
347	2/3 E1 2D	4627	0,59	--	11 ^º	--	2
348	2/3 E2 1A	4362	0,58	--	15 ^º	--	3
349	2/3 E2 1C	4273	0,57	--	--	--	1
350	2/3 E2 2A	4138	0,56	--	4 ^º	--	1
351	2/3 E2 2B	3882	0,64	--	79 ^º	--	d
352	2/3 E2 2C	3887	0,63	--	30 ^º	--	d

353	2/3 E3 1?	3884	0,69	--	4º	--	1
354	2/3 E3 2?	3117	0,63	(1) 3	--	--	d
355	3/1 1A	5816	0,60	--	--	--	1
356	3/1 1A+	5807	0,60	--	--	--	1
357	3/1 1B	5348	0,54	(1) 3	--	--	d
358	3/1 1B+	5412	0,51	--	--	--	1
359	3/1 1C	5203	0,50	(1) 3	--	--	d
360	3/1 1C+	4981	0,49	(1) 4	--	--	d
361	3/1 1D	4434	0,48	(2) 4 / 2	--	meio	m
362	3/1 1D+	4150	0,50	(3) 3 / 3 / 3r	--	--	d
363	3/1 1E	5019	0,51	(1) 3	--	--	d
364	3/1 1F	5335	0,56	(1) 4 s	--	--	d
365	3/1 1F+	5444	0,56	(1) 2 s	--	--	3
366	3/1 2A	5747	0,61	--	--	--	1
367	3/1 2A+	5774	0,60	--	--	--	1
368	3/1 2B	4990	0,53	--	--	--	1
369	3/1 2B+	5344	0,52	--	--	--	1
370	3/1 2C	4608	0,53	(2) 4 / 4	--	--	d
371	3/1 2C+	5135	0,45	--	9,5º	--	2
372	3/1 2D	4120	0,49	(1) 5	--	direito	m
373	3/1 2D+	4371	0,05	(2) 3 / 2	--	direito	m
374	3/1 2E	4837	0,50	--	9,5º	--	2
375	3/1 2F	5156	0,57	(1) 4 s	--	--	d
376	3/1 2F+	5371	0,56	--	--	--	1
377	3/1 3A	5765	0,60	--	--	--	1
378	3/1 3A+	5693	0,58	--	--	--	1
379	3/1 3B	5443	0,52	--	--	--	1
380	3/1 3B+	5442	0,54	--	--	--	1

381	3/1 3C	5015	0,43	--	--	--	1
382	3/1 3C+	4863	0,44	--	--	esquerdo	m
383	3/1 3D	5053	0,45	--	--	--	1
384	3/1 3D+	4620	0,45	(1) 3	--	--	d
385	3/1 3E	4913	0,51	--	--	--	1
386	3/1 3E+	5123	0,52	--	--	--	1
387	3/1 3F	5369	0,56	--	--	--	1
388	3/1 3F+	5508	0,54	--	--	--	1
389	3/1 D1 1A	5512	0,55	(1) 1,5	--	--	3
390	3/1 D1 1B	5020	0,51	(1) 2	--	--	3
391	3/1 D1 1C	5111	0,48	--	--	--	1
392	3/1 D1 1D	5274	0,53	--	--	--	1
393	3/1 D1 1E	5589	0,56	--	--	--	1
394	3/1 D1 2A	5457	0,54	--	3º	--	1
395	3/1 D1 2B	5224	0,51	--	2,5º	--	1
396	3/1 D1 2C	5130	0,50	--	--	--	1
397	3/1 D1 2D	5140	0,52	--	--	--	1
398	3/1 D1 2E	5698	0,59	--	--	--	1
399	3/1 D2 2A	5393	0,51	--	15º	--	3
400	3/1 D2 2B	5165	0,53	(1) 3,5 s	--	--	d
401	3/1 D2 2C	5469	0,53	--	--	--	1
402	3/1 D2 2D	5744	0,62	--	--	--	1
403	3/1 D3 1A	5662	0,61	--	--	--	1
404	3/1 D3 1B	5434	0,57	--	--	--	1
405	3/1 D3 1C	5370	0,62	--	9º	--	1
406	3/1 D3 2A	5501	0,58	--	--	--	1
407	3/1 D3 2B	5400	0,55	--	--	--	1
408	3/1 D3 2C	5571	0,60	--	--	--	1

409	3/1 D4 1A	5789	0,66	--	--	--	1
410	3/1 D4 1B	5731	0,65	--	--	--	1
411	3/1 D4 2A	5798	0,65	--	--	--	1
412	3/1 D4 2B	5790	0,65	--	--	--	1
413	3/1 E1 1A	5538	0,59	--	--	--	1
414	3/1 E1 1B	5097	0,48	(1) 2,5	--	--	d
415	3/1 E1 1C	5221	0,48	--	10 ⁹	--	2
416	3/1 E1 1D	5404	0,51	--	--	--	1
417	3/1 E1 1E	5680	0,61	--	--	--	1
418	3/1 E1 2A	5340	0,52	--	--	--	1
419	3/1 E1 2B	5293	0,47	--	--	--	1
420	3/1 E1 2D	5206	0,50	--	2,5 ⁹	--	1
421	3/1 E1 2E	5717	0,59	--	2,8 ⁹	--	1
422	3/1 E2 1A	5626	0,54	--	--	--	1
423	3/1 E2 1B	5312	0,52	(1) 3	--	--	d
424	3/1 E2 1C	5205	0,55	(1) 3,5	--	--	d
425	3/1 E2 1D	5512	0,52	--	--	--	1
426	3/1 E2 1E	5747	0,61	--	--	--	1
427	3/1 E2 2A	5337	0,55	--	--	--	1
428	3/1 E2 2B	5469	0,52	--	--	--	1
429	3/1 E2 2C	5415	0,53	--	--	--	1
430	3/1 E2 2D	5319	0,51	--	--	--	1
431	3/1 E2 2E	5662	0,59	--	--	--	1
432	3/1 E3 1A	5621	0,57	--	12 ⁹	--	2
433	3/1 E3 1B	5009	0,55	(1) 4 s	--	--	d
434	3/1 E3 1C	5612	0,56	--	--	--	1
435	3/1 E3 1D	5679	0,61	--	--	--	1
436	3/1 E3 2A	5645	0,56	--	12 ⁹	--	2

437	3/1 E3 2B	5528	0,54	--	--	--	1
438	3/1 E3 2C	5512	0,54	--	--	--	1
439	3/1 E4 1C	5829	0,59	--	--	--	1
440	3/1 E4 2B	5772	0,60	--	--	--	1
441	3/2 1A	4611	0,57	(1) 2	--	--	3
442	3/2 1A+	3517	0,70	(1) 10	--	--	d
443	3/2 1B	3644	0,62	(1) 8	--	--	d
444	3/2 1B+	4152	0,53	(1) 4	--	--	d
445	3/2 1C	4600	0,43	(1) 1	--	--	2
446	3/2 1C+	4273	0,48	(1) 3	--	esquerdo	m
447	3/2 1D	4993	0,44	--	--	--	1
448	3/2 1D+	4875	0,45	(1) 2	--	--	3
449	3/2 1E	5050	0,51	--	14º	--	3
450	3/2 1E+	5156	0,51	--	4º	--	1
451	3/2 2A	5250	0,57	--	--	--	1
452	3/2 2A+	5107	0,55	--	4,7º	--	1
453	3/2 2B	4337	0,52	(2) 2 / 4	--	--	d
454	3/2 2B+	4780	0,46	--	--	--	1
455	3/2 2C	4627	0,44	(2) 2 / 3	--	--	d
456	3/2 2C+	4476	0,41	(1) 2	--	esquerdo	m
457	3/2 2D	4484	0,49	(1) 2	--	--	3
458	3/2 2D+	4874	0,45	--	--	--	1
459	3/2 2E	5150	0,50	--	--	--	1
460	3/2 2E+	4883	0,52	--	9,5º	--	2
461	3/2 3A	4831	0,52	--	9,5º	--	2
462	3/2 3A+	4891	0,52	--	14º	--	3
463	3/2 3B	4548	0,47	(1) 2	--	--	3
464	3/2 3B+	4235	0,53	(1) 4	--	--	d

465	3/2 3C	4025	0,45	(1) 2	--	meio	m
466	3/2 3C+	4619	0,43	(1) 3	--	--	d
467	3/2 3D	4955	0,45	--	--	--	1
468	3/2 3D+	5059	0,46	--	--	--	1
469	3/2 3E	5220	0,50	--	--	--	1
470	3/2 3E+	5315	0,53	--	--	--	1
471	3/2 D1 1A	5094	0,50	--	--	--	1
472	3/2 D1 1B	3812	0,54	(1) 4	--	--	d
473	3/2 D1 1C	4846	0,54	--	18°	--	3
474	3/2 D1 1D	5377	0,61	--	--	--	1
475	3/2 D1 2A	4985	0,51	--	11°	--	2
476	3/2 D1 2B	4877	0,48	--	--	--	1
477	3/2 D1 2C	5165	0,53	--	--	--	1
478	3/2 D1 2D	5239	0,63	--	6°	--	1
479	3/2 D2 1A	4969	0,53	--	17°	--	3
480	3/2 D2 1B	4033	0,62	(1) 6	--	--	d
481	3/2 D2 1C	5307	0,60	--	--	--	1
482	3/2 D2 2A	5056	0,55	--	--	--	1
483	3/2 D2 2B	5245	0,57	--	--	--	1
484	3/2 D2 2C	5227	0,62	--	9°	--	2
485	3/2 D3 1A	5066	0,63	(1) 3,5	--	--	d
486	3/2 D3 1B	4330	0,66	(1) 6,5	--	--	d
487	3/2 D3 1C	5336	0,60	--	15°	--	3
488	3/2 D3 2A	5492	0,63	--	--	--	1
489	3/2 D3 2B	5299	0,60	--	--	--	1
490	3/2 D3 2C	5366	0,58	--	--	--	1
491	3/2 E1 1A	4867	0,45	(1) 0,5	--	--	1
492	3/2 E1 1C	4854	0,44	--	--	--	1

493	3/2 E1 1D	3560	0,56	(1) 3	--	--	d
494	3/2 E1 2A	3621	0,54	(1) 2	--	--	3
495	3/2 E1 2A	4654	0,48	--	14°	--	3
496	3/2 E1 2C	3984	0,53	(1) 2	--	--	3
497	3/2 E1 2D	5082	0,50	--	--	--	1
498	3/2 E2 1A	5172	0,49	--	1°	--	1
499	3/2 E2 1B	4385	0,49	(1) 2	--	--	3
500	3/2 E2 1C	4837	0,49	--	9°	--	2
501	3/2 E2 1D	4707	0,56	--	20°	--	d
502	3/2 E2 2A	3566	0,57	(1) 4 r	--	--	d
503	3/2 E2 2B	5121	0,51	--	--	--	1
504	3/2 E2 2C	5178	0,51	(1) 2	--	--	3
505	3/2 E2 2D	5439	0,57	--	--	--	1
506	3/2 E3 1A	5228	0,51	--	1°	--	1
507	3/2 E3 1B	5249	0,56	(1) 2 s	--	--	3
508	3/2 E3 1C	5196	0,60	--	15°	--	3
509	3/2 E3 2A	3625	0,57	(1) 3 r	--	--	d
510	3/2 E3 2B	4895	0,52	--	18°	--	3
511	3/2 E3 2C	5531	0,59	(1) 1 s	--	--	1
512	3/2 E4 1A	3504	0,65	(1) 4	--	--	d
513	3/2 E4 1B	5556	0,63	--	--	--	1
514	3/2 E4 1C	5589	0,64	--	9°	--	2
515	3/2 E4 2A	5501	0,65	--	--	--	1
516	3/2 E4 2B	5102	0,61	--	22°	--	d
517	3/3 1A	5489	0,62	--	--	--	1
518	3/3 1A+	5498	0,57	--	--	--	1
519	3/3 1B	5334	0,49	--	--	--	1
520	3/3 1B+	5186	0,47	--	--	--	1

521	3/3 1C	5199	0,46	--	--	--	1
522	3/3 1C+	4661	0,42	--	--	esquerdo	m
523	3/3 1D	4893	0,50	--	--	--	1
524	3/3 1D+	4864	0,46	--	--	--	1
525	3/3 1E	5089	0,54	--	--	--	1
526	3/3 1E+	3516	0,64	(2) 2 / 5	--	--	d
527	3/3 2A	5114	0,63	--	--	--	1
528	3/3 2A+	5441	0,61	--	--	--	1
529	3/3 2B	4838	0,50	--	--	--	1
530	3/3 2B+	4961	0,49	--	--	--	1
531	3/3 2C	4990	0,45	--	--	--	1
532	3/3 2C+	3887	0,53	(1) 4 r	--	meio	m
533	3/3 2D	4092	0,58	(2) 4 / 2 r	--	--	d
534	3/3 2E	3557	0,57	(1) 2	20º	--	3
535	3/3 3A	5151	0,53	--	--	--	1
536	3/3 3B	4783	0,48	(2) 2,5 / 3 r	--	esquerdo	m
537	3/3 3B+	4979	0,42	(1) 1	--	--	2
538	3/3 3C	5039	0,48	(1) 1,5	--	--	3
539	3/3 3C+	5123	0,44	--	--	--	1
540	3/3 3D	5404	0,55	--	--	--	1
541	3/3 3D+	5340	0,56	--	--	--	1
542	3/3 3E	5684	0,61	--	--	--	1
543	3/3 3E+	5642	0,59	--	--	--	1
544	3/3 D1 1A	3656	0,59	--	7,9º	--	1
545	3/3 D1 1B	4161	0,55	(2) 2 / 2	--	--	d
546	3/3 D1 1C	5007	0,52	(1) 2	--	--	3
547	3/3 D1 1D	5350	0,60	(2) 1,5 / 2 s	--	--	d
548	3/3 D1 2A	4881	0,55	--	--	--	1

549	3/3 D1 2B	4596	0,64	--	25 ^o	--	d
550	3/3 D1 2C	4541	0,54	(1) 2	--	--	3
551	3/3 D1 2D	5155	0,58	--	5,7 ^o	--	1
552	3/3 D2 1A	5281	0,57	--	14 ^o	--	3
553	3/3 D2 1B	4502	0,57	--	13 ^o	--	3
554	3/3 D2 2A	4145	0,58	(1) 2	--	--	3
555	3/3 D2 2B	4004	0,57	(1) 2	7 ^o	--	3
556	3/3 D2 2C	3675	0,63	(1) 2	--	--	3
557	3/3 D3 1A	3695	0,63	(1) 2 r	--	--	3
558	3/3 D3 1B	4442	0,62	--	14 ^o	--	3
559	3/3 D3 2A	4983	0,60	--	17 ^o	--	3
560	3/3 D3 2B	5548	0,62	--	--	--	1
561	3/3 E1 1A	5207	0,56	--	--	--	1
562	3/3 E1 1B	4995	0,54	(1) 0,5	--	--	1
563	3/3 E1 1C	4965	0,61	(2) 3 / 2	--	--	d
564	3/3 E1 2A	3256	0,57	(1) 2 r	--	--	3
565	3/3 E1 2B	4823	0,54	--	22 ^o	--	d
566	3/3 E1 2C	5421	0,61	--	4 ^o	--	1
567	3/3 E2 1A	5209	0,59	--	11 ^o	--	2
568	3/3 E2 1B	3658	0,62	--	14 ^o	--	3
569	3/3 E2 1C	3556	0,63	(1) 3 r	--	--	d
570	3/3 E2 2A	5039	0,60	(1) 0,5	--	--	1
571	3/3 E2 2B	5172	0,57	--	--	--	1
572	3/3 E2 2C	4912	0,57	--	21 ^o	--	d
573	3/3 E3 1A	5262	0,61	--	17 ^o	--	3
574	3/3 E3 1B	4780	0,58	--	9,5 ^o	--	2
575	3/3 E3 2A	5319	0,64	--	14 ^o	--	3
576	3/3 E3 2B	3605	0,62	(1) 2	--	--	3

577	4/1 1A	5794	0,67	--	--	--	1
578	4/1 1A+	5738	0,66	--	--	--	1
579	4/1 1B	5481	0,62	--	--	--	1
580	4/1 1B+	5548	0,63	--	--	--	1
581	4/1 1C+	4864	0,55	--	--	esquerdo	m
582	4/1 1D	5389	0,54	--	--	--	1
583	4/1 1D+	5288	0,55	--	--	--	1
584	4/1 1E	5580	0,64	--	--	--	1
585	4/1 1E+	5716	0,62	--	--	--	1
586	4/1 2A	5746	0,67	--	--	--	1
587	4/1 2A+	5751	0,66	--	--	--	1
588	4/1 2B	5488	0,63	--	--	--	1
589	4/1 2B+	5416	0,62	--	--	--	1
590	4/1 2C+	5038	0,52	(1) 3	--	esquerdo	m
591	4/1 2E	5096	0,62	--	--	--	1
592	4/1 2E+	5621	0,67	(1) 6	--	--	d
593	4/1 3A	5873	0,68	--	--	--	1
594	4/1 3A+	5739	0,66	--	--	--	1
595	4/1 3B	5465	0,62	--	--	--	1
596	4/1 3B+	5450	0,61	--	--	--	1
597	4/1 3C+	4819	0,59	--	--	esquerdo	m
598	4/1 3D	5121	0,58	--	--	esquerdo	m
599	4/1 3D+	5385	0,58	--	--	--	1
600	4/1 3E+	5650	0,68	--	--	--	1
601	4/1 D1 1A	5480	0,65	--	--	--	1
602	4/1 D1 1C	5069	0,60	--	3,9 ^e	--	1
603	4/1 D1 1D	5673	0,65	--	--	--	1
604	4/1 D1 1E	5821	0,69	--	--	--	1

605	4/1 D1 2A	5621	0,65	--	--	--	1
606	4/1 D1 2B	5395	0,64	--	--	--	1
607	4/1 D1 2C	5073	0,59	--	--	--	1
608	4/1 D1 2D	5239	0,64	(1) 2	--	--	3
609	4/1 D1 2E	5621	0,68	--	3,5 ^o	--	1
610	4/1 D2 1A	5540	0,61	--	--	--	1
611	4/1 D2 1B	5267	0,65	--	2,9 ^o	--	1
612	4/1 D2 1C	5469	0,64	--	--	--	1
613	4/1 D2 1D	5660	0,68	--	--	--	1
614	4/1 D2 2A	4545	0,66	(1) 4,5	--	--	d
615	4/1 D2 2B	5344	0,63	--	--	--	1
616	4/1 D2 2C	5344	0,61	--	--	--	1
617	4/1 D2 2D	5704	0,68	--	--	--	1
618	4/1 D3 1A	5683	0,67	--	--	--	1
619	4/1 D3 1B	5625	0,67	--	--	--	1
620	4/1 D3 1C	5874	0,72	--	--	--	1
621	4/1 D3 2A	5544	0,65	--	3 ^o	--	1
622	4/1 D3 2B	4684	0,68	(1) 6	--	--	d
623	4/1 D3 2C	5244	0,72	(1) 4	--	--	d
624	4/1 D4 1A	5637	0,72	--	6 ^o	--	1
625	4/1 D4 1B	5378	0,61	--	--	--	1
626	4/1 D4 1C	4861	0,72	(1) 7	--	--	d
627	4/1 D4 2A	5789	0,71	--	4 ^o	--	1
628	4/1 D4 2B	5328	0,72	(1) 4	--	--	d
629	4/1 D4 2C	5759	0,70	--	--	--	1
630	4/1 E1 1A	5675	0,64	--	--	--	1
631	4/1 E1 1B	5358	0,64	--	--	--	1
632	4/1 E1 1C	5374	0,55	--	--	--	1

633	4/1 E1 1D	4292	0,73	(1) 7	--	--	d
634	4/1 E1 1E	5608	0,64	--	--	--	1
635	4/1 E1 2A	5588	0,63	--	--	--	1
636	4/1 E1 2B	5386	0,62	--	--	--	1
637	4/1 E1 2D	5478	0,62	--	--	--	1
638	4/1 E1 2E	4813	0,70	(1) 5	--	--	d
639	4/1 E2 1A	5733	0,63	--	--	--	1
640	4/1 E2 1C	5419	0,64	--	--	--	1
641	4/1 E2 1D	5738	0,62	--	--	--	1
642	4/1 E2 2A	5541	0,64	--	--	--	1
643	4/1 E2 2C	5612	0,62	--	--	--	1
644	4/1 E2 2D	3812	0,68	(1) 7	--	--	d
645	4/1 E3 1A	5878	0,66	--	--	--	1
646	4/1 E3 1B	5742	0,63	--	--	--	1
647	4/1 E3 1C	5816	0,65	--	--	--	1
648	4/1 E3 2A	5280	0,65	(1) 2,5 s	--	--	d
649	4/1 E3 2B	5734	0,64	--	--	--	1
650	4/1 E3 2C	5506	0,66	--	9,5°	--	2
651	4/1 E4 1A	5869	0,70	--	--	--	1
652	4/1 E4 1B	5776	0,69	--	--	--	1
653	4/1 E4 2A	5729	0,69	--	5,5°	--	1
654	4/1 E4 2B	5448	0,68	(1) 1	--	--	2
655	4/2 1A	5011	0,26	--	14°	--	3
656	4/2 1A+	4313	0,69	--	8°	--	1
657	4/2 1B	4881	0,59	--	6°	--	1
658	4/2 1B+	5353	0,61	--	--	--	1
659	4/2 1C	5080	0,48	--	--	--	1
660	4/2 1C+	4694	0,54	--	--	meio	m

661	4/2 1D	5087	0,59	--	--	--	1
662	4/2 1D+	5046	0,59	--	--	--	1
663	4/2 1E	5557	0,66	--	--	--	1
664	4/2 1E+	5619	0,67	--	--	--	1
665	4/2 2A	5472	0,65	--	--	--	1
666	4/2 2A+	5671	0,67	--	--	--	1
667	4/2 2B	5385	0,60	--	--	--	1
668	4/2 2B+	5308	0,58	--	--	--	1
669	4/2 2C	4806	0,51	(2) 0,5 / 0,5	--	meio	m
670	4/2 2C+	4854	0,55	(2) 2 / 2	--	direito	m
671	4/2 2D	4171	0,59	(1) 6	--	--	d
672	4/2 2D+	4131	0,65	(2) 5 / 5	--	--	d
673	4/2 2E	5412	0,67	--	6º	--	1
674	4/2 2E+	5096	0,68	(1) 3	--	--	d
675	4/2 3A	3458	0,67	(1) 5	--	--	d
676	4/2 3A+	5293	0,66	--	19º	--	d
677	4/2 3B	5062	0,54	--	--	--	1
678	4/2 3B+	4454	0,56	(1) 7	--	--	
679	4/2 3C	4689	0,57	(1) 3	--	direito	m
680	4/2 3C+	5188	0,53	--	--	--	1
681	4/2 3D	5596	0,63	--	--	--	1
682	4/2 3D+	5245	0,64	--	11º	--	2
683	4/2 3E	5785	0,70	--	--	--	1
684	4/2 3E+	5461	0,70	--	14º	--	3
685	4/2 D1 1A	5190	0,62	--	1,7º	--	1
686	4/2 D1 1B	5116	0,63	--	--	--	1
687	4/2 D1 1C	5435	0,65	--	--	--	1
688	4/2 D1 2A	5548	0,64	(1) 0,5	--	--	1

689	4/2 D1 2B	5446	0,63	--	--	--	1
690	4/2 D1 2C	5492	0,66	--	9º	--	2
691	4/2 D2 1A	5242	0,64	--	3º	--	1
692	4/2 D2 1B	5271	0,66	--	1,7º	--	1
693	4/2 D2 1C	5662	0,71	--	6º	--	1
694	4/2 D2 2A	5511	0,68	--	--	--	1
695	4/2 D2 2B	5576	0,68	--	--	--	1
696	4/2 D2 2C	5785	0,69	--	2º	--	1
697	4/2 D3 1A	5556	0,67	--	2º	--	1
698	4/2 D3 1B	5687	0,70	--	1,7º	--	1
699	4/2 D3 2A	5716	0,66	--	--	--	1
700	4/2 D3 2B	5772	0,69	--	--	--	1
701	4/2 E1 1A	4783	0,58	--	--	--	1
702	4/2 E1 1B	4891	0,57	--	3,8º	--	1
703	4/2 E1 1C	3769	0,63	(1) 3	--	--	d
704	4/2 E1 1D	4765	0,61	--	5º	--	1
705	4/2 E1 2A	3889	0,68	(1) 5	--	--	d
706	4/2 E1 2B	4689	0,50	(1) 1	3º	--	2
707	4/2 E1 2C	4183	0,61	--	5,7º	--	1
708	4/2 E1 2D	3120	0,73	(1) 4	--	--	d
709	4/2 E2 1A	4308	0,67	(1) 4	--	--	d
710	4/2 E2 1B	5080	0,61	--	3º	--	1
711	4/2 E2 1C	4724	0,63	--	7º	--	1
712	4/2 E2 1D	3747	0,68	(1) 6	--	--	d
713	4/2 E2 2A	5220	0,60	--	--	--	1
714	4/2 E2 2B	4788	0,56	(2) 1 / 2	--	--	3
715	4/2 E2 2C	5114	0,60	--	6º	--	1
716	4/2 E2 2D	5132	0,62	--	5º	--	1

717	4/2 E3 1A	5136	0,66	(1) 1,5	--	--	3
718	4/2 E3 1B	5477	0,64	--	2,5º	--	1
719	4/2 E3 1C	5072	0,66	--	11º	--	2
720	4/2 E3 2A	5289	0,65	--	7º	--	1
721	4/2 E3 2B	5231	0,65	--	5º	--	1
722	4/2 E3 2C	5434	0,64	--	5,4º	--	1
723	4/2 E4 1A	5420	0,66	(2) 1,5 / 1,5 s	--	--	3
724	4/2 E4 1B	5649	0,67	--	9º	--	2
725	4/2 E4 2A	5469	0,68	--	3º	--	1
726	4/2 E4 2B	5351	0,66	--	3,5º	--	1
727	4/3 1A	4401	0,65	(1) 2	6º	--	3
728	4/3 1A+	3927	0,71	--	5º	--	1
729	4/3 1C	4446	0,50	(2) 3 / 3		meio	m
730	4/3 1C+	4521	0,52	(2) 2 / 3	--	meio	m
731	4/3 1E	4524	0,69	(1) 2	--	--	3
732	4/3 1E+	5538	0,70	--	--	--	1
733	4/3 2A	4760	0,59	--	--	--	1
734	4/3 2A+	4892	0,59	--	--	--	1
735	4/3 2B+	4602	0,64	--	--	--	1
736	4/3 2C+	5089	0,54	--	--	--	1
737	4/3 2E	5378	0,67	--	--	--	1
738	4/3 2E+	5419	0,67	--	--	--	1
739	4/3 3A	4643	0,64	--	12º	--	2
740	4/3 3A+	4783	0,64	--	20º	--	d
741	4/3 3B+	5026	0,62	--	7º	--	1
742	4/3 3C	4465	0,56	(1) 4 r	--	meio	m
743	4/3 3C+	4704	0,59	(1) 5 r	--	--	d
744	4/3 3E	4664	0,63	--	5º	--	1

745	4/3 3E+	4141	0,67	(1) 2	--	--	3
746	4/3 D1 1A	5044	0,65	--	7º	--	1
747	4/3 D1 1B	5330	0,62	--	--	--	1
748	4/3 D1 1D	4317	0,69	--	13º	--	3
749	4/3 D1 2A	5332	0,64	--	--	--	1
750	4/3 D1 2B	5256	0,60	(1) 0,5	--	--	1
751	4/3 D1 2D	5470	0,69	--	--	--	1
752	4/3 D2 1A	5488	0,70	--	7º	--	1
753	4/3 D2 1C	5426	0,69	(1) 0,5	--	--	1
754	4/3 D2 2A	5480	0,67	(1) 0,5	--	--	1
755	4/3 D2 2B	5256	0,64	--	--	--	1
756	4/3 D2 2C	3197	0,69	(2) 3 / 2	--	--	d
757	4/3 D3 1A	5469	0,64	--	10º	--	2
758	4/3 D3 1B	5662	0,65	--	--	--	1
759	4/3 D3 2A	5641	0,63	--	--	--	1
760	4/3 E1 1A	4886	0,61	(1) 1,5	--	--	3
761	4/3 E1 1B	5042	0,63	--	--	--	1
762	4/3 E1 1C	5137	0,64	--	--	--	1
763	4/3 E1 2A	4606	0,61	--	--	--	1
764	4/3 E1 2B	4611	0,64	(1) 2	--	--	3
765	4/3 E2 1A	4735	0,67	--	2º	--	1
766	4/3 E2 1B	4690	0,69	--	2º	--	1
767	4/3 E2 1C	5046	0,60	--	3,8º	--	1
768	4/3 E2 2A	4456	0,65	--	8,5º	--	2
769	4/3 E2 2C	5281	0,66	--	10º	--	3
770	4/3 E3 1A	5079	0,69	--	4,5º	--	1
771	4/3 E3 1B	5014	0,65	--	8º	--	1
772	4/3 E3 2A	4230	0,71	--	18º	--	3

773	4/3 E3 2B	3644	0,73	(1) 2	--	--	3
774	5/1 D1 1A	3188	0,74	(1) 4 r	--	--	d
775	5/1 D1 1B	5001	0,53	--	--	--	1
776	5/1 D1 1C	4236	0,62	(2) 3 / 3	--	--	d
777	5/1 D1 2A	5238	0,52	--	--	--	1
778	5/1 D1 2B	4132	0,61	(1) 4	--	--	d
779	5/1 D1 2C	5076	0,56	--	--	--	1
780	5/1 D2 1B	4786	0,58	(1) 2	35 ^º	--	3
781	5/1 D2 2B	5378	0,56	--	2,6 ^º	--	1
782	5/1 D3 1A	5721	0,67	--	--	--	1
783	5/1 D3 1B	5552	0,61	--	--	--	1
784	5/1 D3 1C	5516	0,66	--	--	--	1
785	5/1 D3 2A	5307	0,64	--	10 ^º	--	2
786	5/1 D3 2B	5278	0,61	--	3,4 ^º	--	1
787	5/1 D3 2C	5101	0,71	(1) 4	--	--	d
788	5/1 E1 1B	5016	0,52	--	2,5 ^º	--	1
789	5/1 E1 1C	4318	0,63	(2) 4 / 4	--	--	d
790	5/1 E1 2B	4752	0,56	(1) 3	--	--	d
791	5/1 E1 2C	5232	0,55	--	--	--	1
792	5/1 E3 1A	5548	0,64	--	6,3 ^º	--	1
793	5/1 E3 1B	5423	0,63	--	2 ^º	--	1
794	5/1 E3 1C	5101	0,68	(2) 2 / 4	--	--	d
795	5/1 E3 2A	5007	0,61	--	17 ^º	--	3
796	5/1 E3 2B	4834	0,59	(1) 3 s	--	--	d
797	5/1 E3 2C	5458	0,67	--	8 ^º	--	1
798	5/2 D1 1A	3804	0,63	(1) 6	--	--	d
799	5/2 D1 1B	5099	0,56	--	--	--	1
800	5/2 D1 1C	5442	0,64	--	--	--	1

801	5/2 D1 2A	5235	0,57	--	--	--	1
802	5/2 D1 2B	5095	0,57	(1) 1	--	--	2
803	5/2 D1 2C	5493	0,63	--	--	--	1
804	5/2 E1 1B	4990	0,52	--	--	--	1
805	5/2 E1 1C	4573	0,56	(1) 2	--	--	3
806	5/2 E1 1D	5137	0,61	(1) 1	--	--	2
807	5/2 E1 2B	4646	0,59	(1) 5,5	--	--	d
808	5/2 E1 2D	5348	0,62	--	3,9 ^o	--	1
809	5/2 E2 1C	5166	0,61	--	9 ^o	--	2
810	5/2 E2 2C	5076	0,61	--	--	--	1
811	5/2 E3 1A	4584	0,67	(1) 6	--	--	d
812	5/2 E3 1B	5053	0,68	(1) 5	--	--	d
813	5/2 E3 2A	4902	0,62	--	2 ^o	--	1
814	5/2 E3 2B	5147	0,62	--	6 ^o	--	1
815	5/3 D1 1C	4771	0,65	(1) 3	--	--	d
816	5/3 D1 2C	4372	0,69	(1) 2	--	--	3
817	5/3 D2 1A	4673	0,67	--	3,4 ^o	--	1
818	5/3 D2 1C	4644	0,65	(1) 2	--	--	3
819	5/3 D2 2A	4577	0,65	--	6 ^o	--	1
820	5/3 D2 2B	5016	0,69	--	--	--	1
821	5/3 D2 2C	4839	0,65	(1) 1,5	--	--	3
822	5/3 E2 1A	4029	0,64	(1) 5	--	--	d
823	5/3 E2 1B	5014	0,59	(1) 2	--	--	3
824	5/3 E2 1C	5329	0,59	--	--	--	1
825	5/3 E2 2A	4374	0,60	(2) 2 / 2	--	--	d
826	5/3 E2 2B	5340	0,62	--	2 ^o	--	1
827	5/3 E2 2C	5435	0,61	--	4,7 ^o	--	1
828	6/1 D1 1A	5074	0,54	(2) 2 / 4	--	--	d

829	6/1 D1 1B	5161	0,49	--	7°	--	1
830	6/1 D1 1C	5332	0,50	--	--	--	1
831	6/1 D1 1D	5654	0,63	--	7°	--	1
832	6/1 D1 2A	5392	0,50	--	--	--	1
833	6/1 D1 2B	5274	0,49	--	4°	--	1
834	6/1 D1 2C	5386	0,54	--	4,3°	--	1
835	6/1 D1 2D	5658	0,62	--	--	--	1
836	6/1 D2 1A	5572	0,53	--	2,5°	--	1
837	6/1 D2 1B	5442	0,55	(2)0,8s / 0,5s	--	--	1
838	6/1 D2 1C	5625	0,61	--	--	--	1
839	6/1 D2 2A	5572	0,52	--	--	--	1
840	6/1 D2 2B	5516	0,57	--	2,8°	--	1
841	6/1 D2 2C	5608	0,63	--	4°	--	1
842	6/1 D3 1A	5768	0,65	--	--	--	1
843	6/1 D3 1B	5763	0,66	--	1,5 °	--	1
844	6/1 D3 1C	5751	0,62	--	--	--	1
845	6/1 D3 2A	5717	0,63	--	7°	--	1
846	6/1 D3 2B	5803	0,62	--	--	--	1
847	6/1 D3 2C	5717	0,62	--	5,5°	--	1
848	6/1 E1 1A	5423	0,55	--	--	--	1
849	6/1 E1 2A	5389	0,55	--	--	--	1
850	6/1 E2 1B	5249	0,50	--	--	--	1
851	6/1 E2 1C	5532	0,58	--	--	--	1
852	6/1 E2 2B	5329	0,50	(1) 2 s	--	--	3
853	6/1 E2 2C	5469	0,54	--	--	--	1
854	6/1 E3 1A	5431	0,67	--	18°	--	3
855	6/1 E3 1B	5172	0,65	--	--	--	1
856	6/1 E3 2A	5289	0,65	--	--	--	1

857	6/1 E3 2B	5318	0,61	--	--	--	1
858	6/1 E4 1A	5431	0,67	--	--	--	1
859	6/1 E4 1B	5435	0,65	--	--	--	1
860	6/1 E4 2A	5524	0,66	--	--	--	1
861	6/1 E4 2B	5516	0,68	--	--	--	1
862	6/2 D2 1A	5423	0,55	--	3,7 ^º	--	1
863	6/2 D2 1B	5255	0,57	(1) 0,5	3 ^º	--	1
864	6/2 D2 2A	5312	0,54	(1) 3	--	--	d
865	6/2 D2 2B	4806	0,58	(2) 4,5 / 2	--	--	d
866	6/2 D2 2C	5508	0,61	--	--	--	1
867	6/2 D3 1A	5469	0,60	--	--	--	1
868	6/2 D3 1B	5461	0,62	--	--	--	1
869	6/2 D3 2A	4801	0,58	(1) 4,5 s	--	--	d
870	6/2 D3 2B	4943	0,60	(1) 2,5 s	6 ^º	--	d
871	6/2 E2 1A	5439	0,60	--	--	--	1
872	6/2 E2 2A	4937	0,57	--	--	--	1
873	6/3 D1 1B	5217	0,51	--	--	--	1
874	6/3 D1 1C	5211	0,54	--	--	--	1
875	6/3 D1 2B	4719	0,52	(1) 3 r	--	--	d
876	6/3 D1 2C	5253	0,53	--	--	--	1
877	6/3 D2 1B	5413	0,58	--	7,5 ^º	--	1
878	6/3 D2 2B	5569	0,58	--	--	--	1
879	6/3 E1 1A	4085	0,52	(1) 4	--	--	d
880	6/3 E1 2A	4965	0,49	--	11 ^º	--	2
881	6/3 E2 1B	4928	0,57	--	--	--	1
882	6/3 E2 2B	4640	0,60	(1) 4	--	--	d
Média		5052	0,59				

Desvio Pad.	565	0,07				
Coef. Var. %	11	11				
	Velocidade	Densidade	nós	incl-	medula	Classes
	Média (m/s)	(g/cm ³)	(*)	nação	(**)	(***)

(*) Os valores entre parênteses correspondem aos números encontrados nas peças. Os valores fora dos parênteses correspondem ao tamanho do nó, em cm. As indicações representadas são: "r" = rachaduras e "s" = nó solto.

(**) Indicações da localização da medula: esquerda, direita ou meio da peça.

(***) De acordo com CORONEL (1995), as indicações são:

"1" = classe I

"2" = classe II

"3" = classe III

"d" = peça

descartada

"m" = peça descartada devido à presença de medula

Tabela 02. Planilha dos valores da velocidade de propagação e da constante dinâmica no ponto 01 da peça (Figura 3.16 do capítulo 03).

Nomenclatura	SÃ		NÓ		INCLINAÇÃO		MEDULA	
	V _{LL}	C _{LL}						
Ponto 1	(m/s)	(kN/cm ²)						
1 (5) 1A	--	--	--	--	4949	1609	--	--
2 (5) 1A+	5556	1988	--	--	--	--	--	--
3 (5) 1B	--	--	5203	1499	--	--	--	--
4 (5) 1B+	--	--	4135	1056	--	--	--	--
5 (5) 1C	5052	1486	--	--	--	--	--	--
6 (5) 1D	--	--	4583	1161	--	--	--	--
7 (5) 1D+	--	--	--	--	4365	1146	--	--
8 (5) 2A	--	--	5224	1749	--	--	--	--
9 (5) 2A+	5288	1728	--	--	--	--	--	--
10 (5) 2B	--	--	4264	990	--	--	--	--
11 (5) 2B+	5203	1474	--	--	--	--	--	--
12 (5) 2C	--	--	4855	1412	--	--	--	--
13 (5) 2D	5033	1440	--	--	--	--	--	--
14 (5) 2D+	--	--	5281	1607	--	--	--	--
15 1/1 1B	5453	1619	--	--	--	--	--	--
16 1/1 1B+	5407	1578	--	--	--	--	--	--
17 1/1 1D	--	--	--	--	--	--	--	--
18 1/1 1D+	--	--	--	--	--	--	--	--
19 1/1 1E	--	--	4331	1222	--	--	--	--
20 1/1 1E+	--	--	--	--	5020	1415	--	--
21 1/1 1F	--	--	--	--	5203	1671	--	--
22 1/1 1F +	--	--	5524	1826	--	--	--	--

23	1/1 2B	5288	1630	--	--	--	--	--	--
24	1/1 2B+	5161	1471	--	--	--	--	--	--
25	1/1 2D	--	--	--	--	--	--	--	--
26	1/1 2E	--	--	4061	1103	--	--	--	--
27	1/1 2E+	--	--	4961	1408	--	--	--	--
28	1/1 2F	--	--	--	--	5500	1853	--	--
29	1/1 3B	5126	1426	--	--	--	--	--	--
30	1/1 3B+	5260	1486	--	--	--	--	--	--
31	1/1 3C	5039	1288	--	--	--	--	--	--
32	1/1 3D	--	--	--	--	--	--	--	--
33	1/1 3D+	--	--	--	--	--	--	5033	1438
34	1/1 3E	5580	1736	--	--	--	--	--	--
35	1/1 3E+	--	--	5540	1751	--	--	--	--
36	1/1 3F	5807	2146	--	--	--	--	--	--
37	1/1 3F+	5763	2103	--	--	--	--	--	--
38	1/1 D1 1A	--	--	--	--	5446	1658	--	--
39	1/1 D1 1B	--	--	--	--	5210	1485	--	--
40	1/1 D1 1C	5281	1538	--	--	--	--	--	--
41	1/1 D1 1D	5438	1812	--	--	--	--	--	--
42	1/1 D1 2A	5126	1412	--	--	--	--	--	--
43	1/1 D1 2B	--	--	5203	1473	--	--	--	--
44	1/1 D1 2C	--	--	--	--	5340	1593	--	--
45	1/1 D1 2D	--	--	--	--	5524	1966	--	--
46	1/1 D2 1A	--	--	--	--	5281	1547	--	--
47	1/1 D2 1B	--	--	5175	1536	--	--	--	--
48	1/1 D2 1C	5113	1435	--	--	--	--	--	--
49	1/1 D2 2A	--	--	--	--	5303	1579	--	--
50	1/1 D2 2B	--	--	--	--	5196	1452	--	--

51	1/1 D2 2C	--	--	--	--	5182	1522	--	--
52	1/1 D3 1A	--	--	5430	1768	--	--	--	--
53	1/1 D3 1B	--	--	--	--	5303	1627	--	--
54	1/1 D3 2A	--	--	--	--	5484	1927	--	--
55	1/1 D3 2B	--	--	--	--	5392	1783	--	--
56	1/1 E1 1A	--	--	--	--	5484	1550	--	--
57	1/1 E1 1B	5508	1604	--	--	--	--	--	--
58	1/1 E1 1C	--	--	--	--	5303	1471	--	--
59	1/1 E1 1D	5755	2058	--	--	--	--	--	--
60	1/1 E1 2A	--	--	--	--	5548	1642	--	--
61	1/1 E1 2B	--	--	--	--	5508	1669	--	--
62	1/1 E1 2C	5407	1588	--	--	--	--	--	--
63	1/1 E1 2D	5816	2168	--	--	--	--	--	--
64	1/1 E2 1A	--	--	--	--	5645	1837	--	--
65	1/1 E2 1B	5580	1727	--	--	--	--	--	--
66	1/1 E2 1C	--	--	--	--	5721	2063	--	--
67	1/1 E2 2A	--	--	--	--	5430	1668	--	--
68	1/1 E2 2B	--	--	--	--	5310	1528	--	--
69	1/1 E2 2C	5851	2189	--	--	--	--	--	--
70	1/1 E3 1A	--	--	--	--	5721	2053	--	--
71	1/1 E3 1B	--	--	--	--	5461	1732	--	--
72	1/1 E3 1C	--	--	--	--	5704	2208	--	--
73	1/1 E3 2A	--	--	--	--	5147	1527	--	--
74	1/1 E3 2B	5653	1981	--	--	--	--	--	--
75	1/1 E3 2C	--	--	--	--	5540	2007	--	--
76	1/2 1A	5548	1907	--	--	--	--	--	--
77	1/2 1A+	5385	1790	--	--	--	--	--	--
78	1/2 1B	--	--	5079	1401	--	--	--	--

79	1/2 1B+	--	--	5079	1412	--	--	--	--
80	1/2 1C	--	--	--	--	--	--	--	--
81	1/2 1D	--	--	5182	1363	--	--	--	--
82	1/2 1D+	5508	1557	--	--	--	--	--	--
83	1/2 1E	5914	2037	--	--	--	--	--	--
84	1/2 1E+	5869	1971	--	--	--	--	--	--
85	1/2 2A	5738	2047	--	--	--	--	--	--
86	1/2 2A+	5325	1717	--	--	--	--	--	--
87	1/2 2B	5392	1554	--	--	--	--	--	--
88	1/2 2B+	--	--	--	--	--	--	5430	1571
89	1/2 2C	--	--	5468	1596	--	--	--	--
90	1/2 2D	5453	1532	--	--	--	--	--	--
91	1/2 2D+	5407	1499	--	--	--	--	--	--
92	1/2 2E	5923	2098	--	--	--	--	--	--
93	1/2 2E+	5878	2032	--	--	--	--	--	--
94	1/2 3A	--	--	4600	1402	--	--	--	--
95	1/2 3A+	--	--	5066	1518	--	--	--	--
96	1/2 3B	--	--	4917	1416	--	--	--	--
97	1/2 3B+	--	--	--	--	--	--	--	--
98	1/2 3C	--	--	--	--	--	--	5039	1343
99	1/2 3D	5407	1389	--	--	--	--	--	--
100	1/2 3E	5500	1867	--	--	--	--	--	--
101	1/2 3E+	5303	1696	--	--	--	--	--	--
102	1/2 D1 1A	5140	1299	--	--	--	--	--	--
103	1/2 D1 1B	4955	1224	--	--	--	--	--	--
104	1/2 D1 1C	--	--	5423	1690	--	--	--	--
105	1/2 D1 2A	--	--	4326	1051	--	--	--	--
106	1/2 D1 2B	5196	1408	--	--	--	--	--	--

107	1/2 D1 2C	5612	1892	--	--	--	--	--	--
108	1/2 D2 1A	5325	1522	--	--	--	--	--	--
109	1/2 D2 1B	5196	1560	--	--	--	--	--	--
110	1/2 D2 1C	5580	1934	--	--	--	--	--	--
111	1/2 D2 2A	--	--	4825	1377	--	--	--	--
112	1/2 D2 2B	5210	1524	--	--	--	--	--	--
113	1/2 D2 2C	5407	1759	--	--	--	--	--	--
114	1/2 D3 1A	5869	2078	--	--	--	--	--	--
115	1/2 D3 1C	5704	1916	--	--	--	--	--	--
116	1/2 D3 2A	5772	2047	--	--	--	--	--	--
117	1/2 D3 2C	--	--	--	--	5662	1914	--	--
118	1/2 E1 1A	5093	1412	--	--	--	--	--	--
119	1/2 E1 1B	--	--	5039	1344	--	--	--	--
120	1/2 E1 1C	5310	1642	--	--	--	--	--	--
121	1/2 E1 2A	--	--	5059	1389	--	--	--	--
122	1/2 E1 2B	--	--	4730	1214	--	--	--	--
123	1/2 E1 2C	5423	1717	--	--	--	--	--	--
124	1/2 E2 1A	--	--	4936	1370	--	--	--	--
125	1/2 E2 1B	--	--	--	--	5133	1388	--	--
126	1/2 E2 1C	--	--	--	--	--	--	--	--
127	1/2 E2 2A	5385	1649	--	--	--	--	--	--
128	1/2 E2 2B	--	--	5377	1543	--	--	--	--
129	1/2 E2 2C	5807	2147	--	--	--	--	--	--
130	1/3 1B	--	--	--	--	--	--	4994	1310
131	1/3 1B+	--	--	4456	1193	--	--	--	--
132	1/3 1C	--	--	5210	1457	--	--	--	--
133	1/3 1C+	--	--	4264	1012	--	--	--	--
134	1/3 1D	--	--	4627	1326	--	--	--	--

135	1/3 1D+	5238	1539	--	--	--	--	--	--
136	1/3 2B	--	--	--	--	--	--	5252	1505
137	1/3 2B+	--	--	--	--	--	--	5099	1295
138	1/3 2C+	5430	1527	--	--	--	--	--	--
139	1/3 2D	4855	1356	--	--	--	--	--	--
140	1/3 2D+	--	--	--	--	4789	1369	--	--
141	1/3 3B	5704	1845	--	--	--	--	--	--
142	1/3 3B+	5438	1575	--	--	--	--	--	--
143	1/3 3C	--	--	--	--	--	--	5161	1284
144	1/3 3C+	--	--	--	--	--	--	--	--
145	1/3 D1 1A	--	--	--	--	5281	1610	--	--
146	1/3 D1 1B	5325	1698	--	--	--	--	--	--
147	1/3 D1 2A	5392	1731	--	--	--	--	--	--
148	1/3 D1 2B	5203	1546	--	--	--	--	--	--
149	1/3 D2 1A	5267	1754	--	--	--	--	--	--
150	1/3 D2 1B	4987	1581	--	--	--	--	--	--
151	1/3 D2 2A	--	--	--	--	4987	1468	--	--
152	1/3 D2 2B	4994	1583	--	--	--	--	--	--
153	1/3 E1 1A	--	--	5296	1698	--	--	--	--
154	1/3 E2 1A	--	--	4981	1510	--	--	--	--
155	1/3 E2 1B	5026	1470	--	--	--	--	--	--
156	1/3 E2 2A	--	--	5484	1777	--	--	--	--
157	2/1 1A	5203	1572	--	--	--	--	--	--
158	2/1 1A+	5310	1793	--	--	--	--	--	--
159	2/1 1B	--	--	5026	1345	--	--	--	--
160	2/1 1C	--	--	--	--	--	--	--	--
161	2/1 1C+	--	--	4226	906	--	--	--	--
162	2/1 1D+	--	--	4837	1478	--	--	--	--

163	2/1 1E	5453	1946	--	--	--	--	--	--
164	2/1 1E+	5653	2068	--	--	--	--	--	--
165	2/1 2A+	--	--	5154	1571	--	--	--	--
166	2/1 2B	--	--	4410	1123	--	--	--	--
167	2/1 2C	--	--	--	--	--	--	4091	991
168	2/1 2C+	--	--	--	--	--	--	--	--
169	2/1 2D	--	--	4949	1365	--	--	--	--
170	2/1 2D+	--	--	4789	1309	--	--	--	--
171	2/1 2E	--	--	5252	1835	--	--	--	--
172	2/1 3A	4987	1465	--	--	--	--	--	--
173	2/1 3A+	--	--	4942	1491	--	--	--	--
174	2/1 3B	--	--	4212	1088	--	--	--	--
175	2/1 3B+	--	--	4753	1303	--	--	--	--
176	2/1 3C	--	--	--	--	--	--	--	--
177	2/1 3C+	--	--	4904	1271	--	--	--	--
178	2/1 3D	--	--	3945	1065	--	--	--	--
179	2/1 3D+	--	--	4718	1221	--	--	--	--
180	2/1 3E	5392	1930	--	--	--	--	--	--
181	2/1 3E+	--	--	4759	1512	--	--	--	--
182	2/1 D1 1A	5238	1637	--	--	--	--	--	--
183	2/1 D1 1B	--	--	--	--	5210	1401	--	--
184	2/1 D1 1C	--	--	5140	1443	--	--	--	--
185	2/1 D1 1D	5461	1847	--	--	--	--	--	--
186	2/1 D1 1E	5914	2469	--	--	--	--	--	--
187	2/1 D1 2A	--	--	--	--	5355	1675	--	--
188	2/1 D1 2B	4886	1228	--	--	--	--	--	--
189	2/1 D1 2C	5039	1335	--	--	--	--	--	--
190	2/1 D1 2D	5572	1938	--	--	--	--	--	--

191	2/1 D1 2E	5825	2433	--	--	--	--	--	--
192	2/1 D2 1A	5355	1756	--	--	--	--	--	--
193	2/1 D2 1B	--	--	5492	1717	--	--	--	--
194	2/1 D2 1D	5687	2241	--	--	--	--	--	--
195	2/1 D2 2A	--	--	--	--	5524	1801	--	--
196	2/1 D2 2B	5310	1626	--	--	--	--	--	--
197	2/1 D2 2C	5637	1964	--	--	--	--	--	--
198	2/1 D2 2D	5997	2493	--	--	--	--	--	--
199	2/1 D3 1A	5484	1963	--	--	--	--	--	--
200	2/1 D3 1B	5461	1840	--	--	--	--	--	--
201	2/1 D3 1C	5370	1665	--	--	--	--	--	--
202	2/1 D3 1D	--	--	--	--	5508	2001	--	--
203	2/1 D3 2A	5789	2234	--	--	--	--	--	--
204	2/1 D3 2B	5355	1763	--	--	--	--	--	--
205	2/1 D3 2C	5492	1803	--	--	--	--	--	--
206	2/1 D3 2D	5687	2149	--	--	--	--	--	--
207	2/1 D4 1A	5905	2411	--	--	--	--	--	--
208	2/1 D4 1B	5572	2022	--	--	--	--	--	--
209	2/1 D4 1C	5842	2326	--	--	--	--	--	--
210	2/1 D4 2A	5755	2299	--	--	--	--	--	--
211	2/1 D4 2B	5798	2404	--	--	--	--	--	--
212	2/1 D4 2C	5851	2367	--	--	--	--	--	--
213	2/1 E1 1A	5260	1760	--	--	--	--	--	--
214	2/1 E1 1B	5238	1618	--	--	--	--	--	--
215	2/1 E1 1C	--	--	4849	1295	--	--	--	--
216	2/1 E1 1D	5175	1487	--	--	--	--	--	--
217	2/1 E1 1E	5370	1834	--	--	--	--	--	--
218	2/1 E1 2B	--	--	--	--	5763	2359	--	--

219	2/1 E1 2C	5126	1565	--	--	--	--	--	--
220	2/1 E1 2D	5362	1649	--	--	--	--	--	--
221	2/1 E1 2E	5446	1887	--	--	--	--	--	--
222	2/1 E2 1A	--	--	--	--	5161	1670	--	--
223	2/1 E2 1B	5210	1593	--	--	--	--	--	--
224	2/1 E2 1C	--	--	--	--	5500	2001	--	--
225	2/1 E2 1D	--	--	5548	2138	--	--	--	--
226	2/1 E2 2A	4813	1399	--	--	--	--	--	--
227	2/1 E2 2B	4741	1236	--	--	--	--	--	--
228	2/1 E2 2C	--	--	--	--	5140	1605	--	--
229	2/1 E2 2D	--	--	--	--	5612	2237	--	--
230	2/1 E3 1A	--	--	5210	1819	--	--	--	--
231	2/1 E3 1B	5729	2286	--	--	--	--	--	--
232	2/1 E3 1C	--	--	--	--	5629	2290	--	--
233	2/1 E3 2A	--	--	--	--	5637	2127	--	--
234	2/2 1A	5033	1444	--	--	--	--	--	--
235	2/2 1A+	--	--	4235	1082	--	--	--	--
236	2/2 1B	--	--	4942	1253	--	--	--	--
237	2/2 1B+	--	--	4519	1111	--	--	--	--
238	2/2 1C	--	--	--	--	--	--	--	--
239	2/2 1C+	--	--	--	--	--	--	--	--
240	2/2 1D+	--	--	--	--	--	--	--	--
241	2/2 1E+	--	--	--	--	5175	1630	--	--
242	2/2 2A	5303	1723	--	--	--	--	--	--
243	2/2 2A+	4955	1439	--	--	--	--	--	--
244	2/2 2B	5059	1334	--	--	--	--	--	--
245	2/2 2B+	4949	1238	--	--	--	--	--	--
246	2/2 2C	--	--	--	--	--	--	4340	1190

247	2/2 2C+	--	--	--	--	--	--	--	--
248	2/2 2D	--	--	4831	1129	--	--	--	--
249	2/2 2D+	4923	1153	--	--	--	--	--	--
250	2/2 2E	5079	1407	--	--	--	--	--	--
251	2/2 2E+	--	--	5133	1394	--	--	--	--
252	2/2 3A	--	--	4212	1032	--	--	--	--
253	2/2 3A+	--	--	3252	740	--	--	--	--
254	2/2 3B	--	--	--	--	--	--	--	--
255	2/2 3B+	--	--	--	--	--	--	--	--
256	2/2 3C	--	--	--	--	--	--	--	--
257	2/2 3C+	--	--	--	--	--	--	4208	881
258	2/2 3D	--	--	4639	1173	--	--	--	--
259	2/2 3D+	--	--	4180	982	--	--	--	--
260	2/2 3E	--	--	4949	1464	--	--	--	--
261	2/2 D1 1A	5355	1610	--	--	--	--	--	--
262	2/2 D1 1B	--	--	4425	1226	--	--	--	--
263	2/2 D1 1C	--	--	5113	1511	--	--	--	--
264	2/2 D1 1D	--	--	--	--	5415	1754	--	--
265	2/2 D1 2A	--	--	--	--	5347	1623	--	--
266	2/2 D1 2B	5252	1402	--	--	--	--	--	--
267	2/2 D1 2C	5217	1396	--	--	--	--	--	--
268	2/2 D1 2D	--	--	--	--	5477	1846	--	--
269	2/2 D2 1A	5245	1670	--	--	--	--	--	--
270	2/2 D2 1B	5288	1703	--	--	--	--	--	--
271	2/2 D2 1C	--	--	--	--	4974	1538	--	--
272	2/2 D2 2A	--	--	--	--	4837	1457	--	--
273	2/2 D2 2C	--	--	--	--	5556	2008	--	--
274	2/2 D3 1A	--	--	--	--	5645	2005	--	--

275	2/2 D3 1D	--	--	--	--	5540	1831	--	--
276	2/2 D3 2A	--	--	5168	1598	--	--	--	--
277	2/2 D3 2C	--	--	--	--	5415	1772	--	--
278	2/2 E1 1A	--	--	3990	909	--	--	--	--
279	2/2 E1 1B	--	--	3649	739	--	--	--	--
280	2/2 E1 1C	--	--	3909	889	--	--	--	--
281	2/2 E1 1D	5252	1509	--	--	--	--	--	--
282	2/2 E1 2A	--	--	3459	751	--	--	--	--
283	2/2 E1 2B	--	--	4070	856	--	--	--	--
284	2/2 E1 2C	4572	987	--	--	--	--	--	--
285	2/2 E1 2D	--	--	3475	871	--	--	--	--
286	2/2 E2 1A	--	--	3789	832	--	--	--	--
287	2/2 E2 1B	--	--	4131	953	--	--	--	--
288	2/2 E2 1C	--	--	3649	814	--	--	--	--
289	2/2 E2 2A	--	--	4240	938	--	--	--	--
290	2/2 E2 2B	--	--	4326	923	--	--	--	--
291	2/2 E2 2C	--	--	--	--	4061	969	--	--
292	2/2 E3 1B	--	--	4415	1226	--	--	--	--
293	2/2 E3 1C	--	--	--	--	5133	1576	--	--
294	2/2 E3 2B	--	--	4498	1091	--	--	--	--
295	2/2 E3 2C	5133	1579	--	--	--	--	--	--
296	2/3 1A	4695	1245	--	--	--	--	--	--
297	2/3 1A+	--	--	--	--	4695	1369	--	--
298	2/3 1B	4771	1150	--	--	--	--	--	--
299	2/3 1B+	--	--	4519	1076	--	--	--	--
300	2/3 1C	--	--	--	--	--	--	--	--
301	2/3 1C+	--	--	4513	1075	--	--	--	--
302	2/3 1D	--	--	4360	1024	--	--	--	--

303	2/3 1E	--	--	4712	1367	--	--	--	--
304	2/3 1E+	--	--	--	--	5066	1398	--	--
305	2/3 2A	4741	1348	--	--	--	--	--	--
306	2/3 2A+	4765	1343	--	--	--	--	--	--
307	2/3 2B	5052	1291	--	--	--	--	--	--
308	2/3 2B+	4747	1182	--	--	--	--	--	--
309	2/3 2C	--	--	--	--	--	--	4331	1015
310	2/3 2C+	4825	1078	--	--	--	--	--	--
311	2/3 2D	4524	1020	--	--	--	--	--	--
312	2/3 2D+	4747	1101	--	--	--	--	--	--
313	2/3 2E	5303	1627	--	--	--	--	--	--
314	2/3 2E+	5224	1536	--	--	--	--	--	--
315	2/3 3A	--	--	3702	914	--	--	--	--
316	2/3 3A+	4360	1014	--	--	--	--	--	--
317	2/3 3B	--	--	4345	1049	--	--	--	--
318	2/3 3B+	--	--	--	--	--	--	--	--
319	2/3 3C	--	--	--	--	--	--	--	--
320	2/3 3C+	--	--	--	--	--	--	--	--
321	2/3 3D	--	--	4131	929	--	--	--	--
322	2/3 3E+	--	--	4695	1316	--	--	--	--
323	2/3 D1 1A	--	--	4861	1409	--	--	--	--
324	2/3 D1 1B	--	--	4158	966	--	--	--	--
325	2/3 D1 1C	--	--	4302	1076	--	--	--	--
326	2/3 D1 1D	4880	1386	--	--	--	--	--	--
327	2/3 D1 2A	4513	1122	--	--	--	--	--	--
328	2/3 D1 2B	--	--	4994	1347	--	--	--	--
329	2/3 D1 2C	--	--	3738	875	--	--	--	--
330	2/3 D1 2D	--	--	--	--	5355	1688	--	--

331	2/3 D2 1A	4843	1380	--	--	--	--	--	--
332	2/3 D2 1B	--	--	3684	855	--	--	--	--
333	2/3 D2 1C	--	--	--	--	4684	1366	--	--
334	2/3 D2 2A	--	--	--	--	4616	1270	--	--
335	2/3 D2 2B	--	--	3838	942	--	--	--	--
336	2/3 D2 2C	--	--	--	--	4600	1270	--	--
337	2/3 D3 1A	--	--	--	--	4837	1385	--	--
338	2/3 D3 2A	--	--	--	--	4904	1378	--	--
339	2/3 D3 2B	--	--	4292	1096	--	--	--	--
340	2/3 E1 1A	--	--	3539	797	--	--	--	--
341	2/3 E1 1B	--	--	3823	813	--	--	--	--
342	2/3 E1 1C	4264	1013	--	--	--	--	--	--
343	2/3 E1 1D	4415	1098	--	--	--	--	--	--
344	2/3 E1 2A	--	--	--	--	4492	1041	--	--
345	2/3 E1 2B	--	--	3812	848	--	--	--	--
346	2/3 E1 2C	--	--	4065	999	--	--	--	--
347	2/3 E1 2D	--	--	--	--	4616	1258	--	--
348	2/3 E2 1A	--	--	--	--	4158	1006	--	--
349	2/3 E2 1C	4264	1031	--	--	--	0	--	--
350	2/3 E2 2A	--	--	--	--	4240	1016	--	--
351	2/3 E2 2B	--	--	--	--	3925	991	--	--
352	2/3 E2 2C	--	--	--	--	3789	900	--	--
353	2/3 E3 1?	--	--	--	--	3937	1069	--	--
354	2/3 E3 2?	--	--	2991	565	--	--	--	--
355	3/1 1A	5878	2084	--	--	--	--	--	--
356	3/1 1A+	5825	2019	--	--	--	--	--	--
357	3/1 1B	--	--	5196	1456	--	--	--	--
358	3/1 1B+	5572	1591	--	--	--	--	--	--

359	3/1 1C	--	--	5196	1343	--	--	--	--
360	3/1 1C+	--	--	4949	1203	--	--	--	--
361	3/1 1D	--	--	--	--	--	--	--	--
362	3/1 1D+	--	--	4036	816	--	--	--	--
363	3/1 1E	--	--	5133	1341	--	--	--	--
364	3/1 1F	--	--	5446	1660	--	--	--	--
365	3/1 1F+	--	--	5340	1595	--	--	--	--
366	3/1 2A	5789	2029	--	--	--	--	--	--
367	3/1 2A+	5887	2078	--	--	--	--	--	--
368	3/1 2B	4861	1259	--	--	--	--	--	--
369	3/1 2B+	5332	1477	--	--	--	--	--	--
370	3/1 2C	--	--	5013	1335	--	--	--	--
371	3/1 2C+	--	--	--	--	4981	1112	--	--
372	3/1 2D	--	--	--	--	--	--	--	--
373	3/1 2D+	--	--	--	--	--	--	--	--
374	3/1 2E	--	--	--	--	4849	1176	--	--
375	3/1 2F	--	--	5325	1625	--	--	--	--
376	3/1 2F+	5296	1578	--	--	--	--	--	--
377	3/1 3A	5860	2064	--	--	--	--	--	--
378	3/1 3A+	5596	1830	--	--	--	--	--	--
379	3/1 3B	5370	1495	--	--	--	--	--	--
380	3/1 3B+	5438	1588	--	--	--	--	--	--
381	3/1 3C	4813	1002	--	--	--	--	--	--
382	3/1 3C+	--	--	--	--	--	--	5093	1154
383	3/1 3D	4861	1056	--	--	--	--	--	--
384	3/1 3D+	--	--	4551	930	--	--	--	--
385	3/1 3E	4753	1143	--	--	--	--	--	--
386	3/1 3E+	4987	1303	--	--	--	--	--	--

387	3/1 3F	5492	1690	--	--	--	--	--	--
388	3/1 3F+	5500	1643	--	--	--	--	--	--
389	3/1 D1 1A	--	--	5524	1689	--	--	--	--
390	3/1 D1 1B	--	--	5033	1298	--	--	--	--
391	3/1 D1 1C	5026	1205	--	--	--	--	--	--
392	3/1 D1 1D	5281	1480	--	--	--	--	--	--
393	3/1 D1 1E	5508	1710	--	--	--	--	--	--
394	3/1 D1 2A	--	--	--	--	5492	1624	--	--
395	3/1 D1 2B	--	--	--	--	5224	1394	--	--
396	3/1 D1 2C	5126	1308	--	--	--	--	--	--
397	3/1 D1 2D	5113	1357	--	--	--	--	--	--
398	3/1 D1 2E	5564	1828	--	--	--	--	--	--
399	3/1 D2 2A	--	--	--	--	5332	1460	--	--
400	3/1 D2 2B	--	--	5020	1339	--	--	--	--
401	3/1 D2 2C	5430	1558	--	--	--	--	--	--
402	3/1 D2 2D	5629	1976	--	--	--	--	--	--
403	3/1 D3 1A	5712	1993	--	--	--	--	--	--
404	3/1 D3 1B	5484	1709	--	--	--	--	--	--
405	3/1 D3 1C	--	--	--	--	5310	1740	--	--
406	3/1 D3 2A	5564	1803	--	--	--	--	--	--
407	3/1 D3 2B	5392	1604	--	--	--	--	--	--
408	3/1 D3 2C	5704	1962	--	--	--	--	--	--
409	3/1 D4 1A	5798	2209	--	--	--	--	--	--
410	3/1 D4 1B	5637	2076	--	--	--	--	--	--
411	3/1 D4 2A	5772	2150	--	--	--	--	--	--
412	3/1 D4 2B	5816	2208	--	--	--	--	--	--
413	3/1 E1 1A	5645	1886	--	--	--	--	--	--
414	3/1 E1 1B	--	--	5033	1211	--	--	--	--

415	3/1 E1 1C	--	--	--	--	5182	1290	--	--
416	3/1 E1 1D	5332	1441	--	--	--	--	--	--
417	3/1 E1 1E	5580	1913	--	--	--	--	--	--
418	3/1 E1 2A	5377	1493	--	--	--	--	--	--
419	3/1 E1 2B	5238	1288	--	--	--	--	--	--
420	3/1 E1 2D	--	--	--	--	5196	1355	--	--
421	3/1 E1 2E	--	--	--	--	5653	1899	--	--
422	3/1 E2 1A	5704	1772	--	--	--	--	--	--
423	3/1 E2 1B	--	--	5392	1523	--	--	--	--
424	3/1 E2 1C	--	--	5099	1438	--	--	--	--
425	3/1 E2 1D	5572	1617	--	--	--	--	--	--
426	3/1 E2 1E	5789	2050	--	--	--	--	--	--
427	3/1 E2 2A	5288	1549	--	--	--	--	--	--
428	3/1 E2 2B	5492	1577	--	--	--	--	--	--
429	3/1 E2 2C	5362	1512	--	--	--	--	--	--
430	3/1 E2 2D	5392	1475	--	--	--	--	--	--
431	3/1 E2 2E	5620	1877	--	--	--	--	--	--
432	3/1 E3 1A	--	--	--	--	5678	1839	--	--
433	3/1 E3 1B	--	--	4843	1292	--	--	--	--
434	3/1 E3 1C	5588	1749	--	--	--	--	--	--
435	3/1 E3 1D	5604	1909	--	--	--	--	--	--
436	3/1 E3 2A	--	--	--	--	5629	1761	--	--
437	3/1 E3 2B	5492	1643	--	--	--	--	--	--
438	3/1 E3 2C	5516	1649	--	--	--	--	--	--
439	3/1 E4 1C	5851	2033	--	--	--	--	--	--
440	3/1 E4 2B	5789	2009	--	--	--	--	--	--
441	3/2 1A	--	--	4589	1207	--	--	--	--
442	3/2 1A+	--	--	3581	892	--	--	--	--

443	3/2 1B	--	--	3674	843	--	--	--	--
444	3/2 1B+	--	--	4074	873	--	--	--	--
445	3/2 1C	--	--	4567	895	--	--	--	--
446	3/2 1C+	--	--	--	--	--	--	--	--
447	3/2 1D	4867	1049	--	--	--	--	--	--
448	3/2 1D+	--	--	4795	1035	--	--	--	--
449	3/2 1E	--	--	--	--	4987	1270	--	--
450	3/2 1E+	--	--	--	--	5252	1404	--	--
451	3/2 2A	5168	1518	--	--	--	--	--	--
452	3/2 2A+	--	--	--	--	5026	1392	--	--
453	3/2 2B	--	--	4249	944	--	--	--	--
454	3/2 2B+	4789	1055	--	--	--	--	--	--
455	3/2 2C	--	--	4622	948	--	--	--	--
456	3/2 2C+	--	--	--	--	--	--	--	--
457	3/2 2D	--	--	4390	946	--	--	--	--
458	3/2 2D+	4831	1040	--	--	--	--	--	--
459	3/2 2E	5267	1400	--	--	--	--	--	--
460	3/2 2E+	--	--	--	--	4861	1225	--	--
461	3/2 3A	--	--	--	--	4783	1183	--	--
462	3/2 3A+	--	--	--	--	4994	1305	--	--
463	3/2 3B	--	--	4545	964	--	--	--	--
464	3/2 3B+	--	--	4235	943	--	--	--	--
465	3/2 3C	--	--	--	--	--	--	--	--
466	3/2 3C+	--	--	4639	933	--	--	--	--
467	3/2 3D	4961	1117	--	--	--	--	--	--
468	3/2 3D+	5066	1193	--	--	--	--	--	--
469	3/2 3E	5231	1379	--	--	--	--	--	--
470	3/2 3E+	5252	1450	--	--	--	--	--	--

471	3/2 D1 1A	5020	1271	--	--	--	--	--	--
472	3/2 D1 1B	--	--	3831	790	--	--	--	--
473	3/2 D1 1C	--	--	--	--	4849	1280	--	--
474	3/2 D1 1D	5377	1757	--	--	--	--	--	--
475	3/2 D1 2A	--	--	--	--	4911	1225	--	--
476	3/2 D1 2B	4849	1129	--	--	--	--	--	--
477	3/2 D1 2C	5106	1384	--	--	--	--	--	--
478	3/2 D1 2D	--	--	--	--	5168	1671	--	--
479	3/2 D2 1A	--	--	--	--	5052	1347	--	--
480	3/2 D2 1B	--	--	4100	1047	--	--	--	--
481	3/2 D2 1C	5252	1647	--	--	--	--	--	--
482	3/2 D2 2A	5039	1384	--	--	--	--	--	--
483	3/2 D2 2B	5238	1566	--	--	--	--	--	--
484	3/2 D2 2C	--	--	--	--	5210	1692	--	--
485	3/2 D3 1A	--	--	5120	1649	--	--	--	--
486	3/2 D3 1B	--	--	4425	1298	--	--	--	--
487	3/2 D3 1C	--	--	--	--	5377	1745	--	--
488	3/2 D3 2A	5453	1876	--	--	--	--	--	--
489	3/2 D3 2B	5310	1684	--	--	--	--	--	--
490	3/2 D3 2C	5362	1664	--	--	--	--	--	--
491	3/2 E1 1A	--	--	4843	1066	--	--	--	--
492	3/2 E1 1C	4759	1004	--	--	--	--	--	--
493	3/2 E1 1D	--	--	3674	749	--	--	--	--
494	3/2 E1 2A	--	--	3684	732	--	--	--	--
495	3/2 E1 2A	--	--	--	--	4747	1085	--	--
496	3/2 E1 2C	--	--	4010	848	--	--	--	--
497	3/2 E1 2D	4961	1234	--	--	--	--	--	--
498	3/2 E2 1A	--	--	--	--	5126	1298	--	--

499	3/2 E2 1B	--	--	4153	853	--	--	--	--
500	3/2 E2 1C	--	--	--	--	4777	1125	--	--
501	3/2 E2 1D	--	--	--	--	4759	1269	--	--
502	3/2 E2 2A	--	--	3618	748	--	--	--	--
503	3/2 E2 2B	5046	1302	--	--	--	--	--	--
504	3/2 E2 2C	--	--	5362	1453	--	--	--	--
505	3/2 E2 2D	5604	1785	--	--	--	--	--	--
506	3/2 E3 1A	--	--	--	--	5274	1421	--	--
507	3/2 E3 1B	--	--	5281	1552	--	--	--	--
508	3/2 E3 1C	--	--	--	--	5203	1611	--	--
509	3/2 E3 2A	--	--	3801	827	--	--	--	--
510	3/2 E3 2B	--	--	--	--	5007	1310	--	--
511	3/2 E3 2C	--	--	5392	1719	--	--	--	--
512	3/2 E4 1A	--	--	3681	886	--	--	--	--
513	3/2 E4 1B	5572	1964	--	--	--	--	--	--
514	3/2 E4 1C	--	--	--	--	5524	1951	--	--
515	3/2 E4 2A	5446	1918	--	--	--	--	--	--
516	3/2 E4 2B	--	--	--	--	5362	1757	--	--
517	3/3 1A	5540	1916	--	--	--	--	--	--
518	3/3 1A+	5392	1670	--	--	--	--	--	--
519	3/3 1B	5231	1340	--	--	--	--	--	--
520	3/3 1B+	5120	1222	--	--	--	--	--	--
521	3/3 1C	5189	1243	--	--	--	--	--	--
522	3/3 1C+	--	--	--	--	--	--	4855	980
523	3/3 1D	4968	1235	--	--	--	--	--	--
524	3/3 1D+	4867	1094	--	--	--	--	--	--
525	3/3 1E	4968	1321	--	--	--	--	--	--
526	3/3 1E+	--	--	3702	882	--	--	--	--

527	3/3 2A	5203	1696	--	--	--	--	--	--
528	3/3 2A+	5629	1948	--	--	--	--	--	--
529	3/3 2B	4771	1142	--	--	--	--	--	--
530	3/3 2B+	4955	1205	--	--	--	--	--	--
531	3/3 2C	4994	1133	--	--	--	--	--	--
532	3/3 2C+	--	--	--	--	--	--	--	--
533	3/3 2D	--	--	4365	1105	--	--	--	--
534	3/3 2E	--	--	--	--	--	--	--	--
535	3/3 3A	5106	1392	--	--	--	--	--	--
536	3/3 3B	--	--	--	--	--	--	--	--
537	3/3 3B+	--	--	4892	1006	--	--	--	--
538	3/3 3C	--	--	5046	1219	--	--	--	--
539	3/3 3C+	5126	1156	--	--	--	--	--	--
540	3/3 3D	5556	1697	--	--	--	--	--	--
541	3/3 3D+	5477	1665	--	--	--	--	--	--
542	3/3 3E	5781	2037	--	--	--	--	--	--
543	3/3 3E+	5580	1838	--	--	--	--	--	--
544	3/3 D1 1A	--	--	--	--	3734	824	--	--
545	3/3 D1 1B	--	--	4316	1028	--	--	--	--
546	3/3 D1 1C	--	--	4955	1286	--	--	--	--
547	3/3 D1 1D	--	--	5580	1860	--	--	--	--
548	3/3 D1 2A	4795	1263	--	--	--	--	--	--
549	3/3 D1 2B	--	--	--	--	4503	1295	--	--
550	3/3 D1 2C	--	--	4472	1088	--	--	--	--
551	3/3 D1 2D	--	--	--	--	5217	1574	--	--
552	3/3 D2 1A	--	--	--	--	5260	1567	--	--
553	3/3 D2 1B	--	--	--	--	4425	1125	--	--
554	3/3 D2 2A	--	--	3998	926	--	--	--	--

555	3/3 D2 2B	--	--	--	--	--	--	--	--
556	3/3 D2 2C	--	--	3808	917	--	--	--	--
557	3/3 D3 1A	--	--	3688	862	--	--	--	--
558	3/3 D3 1B	--	--	--	--	4578	1301	--	--
559	3/3 D3 2A	--	--	--	--	5224	1636	--	--
560	3/3 D3 2B	5508	1883	--	--	--	--	--	--
561	3/3 E1 1A	5140	1491	--	--	--	--	--	--
562	3/3 E1 1B	--	--	4904	1290	--	--	--	--
563	3/3 E1 1C	--	--	5020	1547	--	--	--	--
564	3/3 E1 2A	--	--	3472	691	--	--	--	--
565	3/3 E1 2B	--	--	--	--	5013	1351	--	--
566	3/3 E1 2C	--	--	--	--	5540	1862	--	--
567	3/3 E2 1A	--	--	--	--	5332	1665	--	--
568	3/3 E2 1B	--	--	--	--	3494	757	--	--
569	3/3 E2 1C	--	--	3456	750	--	--	--	--
570	3/3 E2 2A	--	--	5013	1497	--	--	--	--
571	3/3 E2 2B	5238	1574	--	--	--	--	--	--
572	3/3 E2 2C	--	--	--	--	4994	1433	--	--
573	3/3 E3 1A	--	--	--	--	5079	1569	--	--
574	3/3 E3 1B	--	--	--	--	4831	1349	--	--
575	3/3 E3 2A	--	--	--	--	5224	1755	--	--
576	3/3 E3 2B	--	--	3601	799	--	--	--	--
577	4/1 1A	5738	2215	--	--	--	--	--	--
578	4/1 1A+	5798	2209	--	--	--	--	--	--
579	4/1 1B	5430	1828	--	--	--	--	--	--
580	4/1 1B+	5604	1968	--	--	--	--	--	--
581	4/1 1C+	--	--	--	--	--	--	5303	1554
582	4/1 1D	5446	1601	--	--	--	--	--	--

583	4/1 1D+	5296	1538	--	--	--	--	--	--
584	4/1 1E	5556	1979	--	--	--	--	--	--
585	4/1 1E+	5738	2027	--	--	--	--	--	--
586	4/1 2A	5712	2189	--	--	--	--	--	--
587	4/1 2A+	5755	2185	--	--	--	--	--	--
588	4/1 2B	5508	1911	--	--	--	--	--	--
589	4/1 2B+	5492	1881	--	--	--	--	--	--
590	4/1 2C+	--	--	--	--	--	--	--	--
591	4/1 2E	5079	1606	--	--	--	--	--	--
592	4/1 2E+	--	--	5653	2129	--	--	--	--
593	4/1 3A	5878	2358	--	--	--	--	--	--
594	4/1 3A+	5662	2123	--	--	--	--	--	--
595	4/1 3B	5516	1890	--	--	--	--	--	--
596	4/1 3B+	5508	1836	--	--	--	--	--	--
597	4/1 3C+	--	--	--	--	--	--	4861	1404
598	4/1 3D	--	--	--	--	--	--	5196	1579
599	4/1 3D+	5332	1642	--	--	--	--	--	--
600	4/1 3E+	5704	2204	--	--	--	--	--	--
601	4/1 D1 1A	5477	1936	--	--	--	--	--	--
602	4/1 D1 1C	--	--	--	--	5093	1564	--	--
603	4/1 D1 1D	5556	2012	--	--	--	--	--	--
604	4/1 D1 1E	5905	2420	--	--	--	--	--	--
605	4/1 D1 2A	5645	2067	--	--	--	--	--	--
606	4/1 D1 2B	5516	1942	--	--	--	--	--	--
607	4/1 D1 2C	5106	1531	--	--	--	--	--	--
608	4/1 D1 2D	--	--	5039	1627	--	--	--	--
609	4/1 D1 2E	--	--	--	--	5596	2126	--	--
610	4/1 D2 1A	5580	1884	--	--	--	--	--	--

611	4/1 D2 1B	--	--	--	--	5310	1840	--	--
612	4/1 D2 1C	5438	1900	--	--	--	--	--	--
613	4/1 D2 1D	5781	2260	--	--	--	--	--	--
614	4/1 D2 2A	--	--	4259	1197	--	--	--	--
615	4/1 D2 2B	5288	1756	--	--	--	--	--	--
616	4/1 D2 2C	5325	1729	--	--	--	--	--	--
617	4/1 D2 2D	5869	2346	--	--	--	--	--	--
618	4/1 D3 1A	5653	2127	--	--	--	--	--	--
619	4/1 D3 1B	5662	2143	--	--	--	--	--	--
620	4/1 D3 1C	5941	2543	--	--	--	--	--	--
621	4/1 D3 2A	--	--	--	--	5492	1960	--	--
622	4/1 D3 2B	--	--	4420	1335	--	--	--	--
623	4/1 D3 2C	--	--	5540	2219	--	--	--	--
624	4/1 D4 1A	--	--	--	--	5620	2263	--	--
625	4/1 D4 1B	5438	1801	--	--	--	--	--	--
626	4/1 D4 1C	--	--	4655	1567	--	--	--	--
627	4/1 D4 2A	--	--	--	--	5798	2395	--	--
628	4/1 D4 2B	--	--	5196	1940	--	--	--	--
629	4/1 D4 2C	5763	2314	--	--	--	--	--	--
630	4/1 E1 1A	5596	2006	--	--	--	--	--	--
631	4/1 E1 1B	5500	1930	--	--	--	--	--	--
632	4/1 E1 1C	5303	1549	--	--	--	--	--	--
633	4/1 E1 1D	--	--	4430	1442	--	--	--	--
634	4/1 E1 1E	5620	2027	--	--	--	--	--	--
635	4/1 E1 2A	5580	1972	--	--	--	--	--	--
636	4/1 E1 2B	5484	1863	--	--	--	--	--	--
637	4/1 E1 2D	5310	1752	--	--	--	--	--	--
638	4/1 E1 2E	--	--	4987	1751	--	--	--	--

639	4/1 E2 1A	5721	2065	--	--	--	--	--	--
640	4/1 E2 1C	5362	1826	--	--	--	--	--	--
641	4/1 E2 1D	5704	2018	--	--	--	--	--	--
642	4/1 E2 2A	5620	2025	--	--	--	--	--	--
643	4/1 E2 2C	5580	1925	--	--	--	--	--	--
644	4/1 E2 2D	--	--	3174	689	--	--	--	--
645	4/1 E3 1A	5887	2280	--	--	--	--	--	--
646	4/1 E3 1B	5763	2100	--	--	--	--	--	--
647	4/1 E3 1C	5816	2215	--	--	--	--	--	--
648	4/1 E3 2A	--	--	5175	1740	--	--	--	--
649	4/1 E3 2B	5704	2092	--	--	--	--	--	--
650	4/1 E3 2C	--	--	--	--	5392	1907	--	--
651	4/1 E4 1A	5842	2379	--	--	--	--	--	--
652	4/1 E4 1B	5772	2285	--	--	--	--	--	--
653	4/1 E4 2A	--	--	--	--	5746	2290	--	--
654	4/1 E4 2B	--	--	5629	2146	--	--	--	--
655	4/2 1A	--	--	--	--	4747	588	--	--
656	4/2 1A+	--	--	--	--	4226	1234	--	--
657	4/2 1B	--	--	--	--	5026	1503	--	--
658	4/2 1B+	5453	1818	--	--	--	--	--	--
659	4/2 1C	5026	1223	--	--	--	--	--	--
660	4/2 1C+	--	--	--	--	--	--	4400	1049
661	4/2 1D	5154	1564	--	--	--	--	--	--
662	4/2 1D+	5093	1541	--	--	--	--	--	--
663	4/2 1E	5653	2113	--	--	--	--	--	--
664	4/2 1E+	5500	2015	--	--	--	--	--	--
665	4/2 2A	5596	2048	--	--	--	--	--	--
666	4/2 2A+	5746	2206	--	--	--	--	--	--

667	4/2 2B	5332	1695	--	--	--	--	--	--
668	4/2 2B+	5392	1682	--	--	--	--	--	--
669	4/2 2C	--	--	--	--	--	--	--	--
670	4/2 2C+	--	--	--	--	--	--	--	--
671	4/2 2D	--	--	4176	1033	--	--	--	--
672	4/2 2D+	--	--	4140	1115	--	--	--	--
673	4/2 2E	--	--	--	--	5469	2015	--	--
674	4/2 2E+	--	--	5120	1776	--	--	--	--
675	4/2 3A	--	--	3591	859	--	--	--	--
676	4/2 3A+	--	--	--	--	5224	1807	--	--
677	4/2 3B	4942	1326	--	--	--	--	--	--
678	4/2 3B+	--	--	4400	1076	--	--	--	--
679	4/2 3C	--	--	--	--	--	--	--	--
680	4/2 3C+	5310	1502	--	--	--	--	--	--
681	4/2 3D	5556	1945	--	--	--	--	--	--
682	4/2 3D+	--	--	--	--	5238	1766	--	--
683	4/2 3E	5755	2324	--	--	--	--	--	--
684	4/2 3E+	--	--	--	--	5430	2078	--	--
685	4/2 D1 1A	--	--	--	--	5274	1735	--	--
686	4/2 D1 1B	5086	1620	--	--	--	--	--	--
687	4/2 D1 1C	5370	1871	--	--	--	--	--	--
688	4/2 D1 2A	--	--	5620	2023	--	--	--	--
689	4/2 D1 2B	5415	1839	--	--	--	--	--	--
690	4/2 D1 2C	--	--	--	--	5469	1981	--	--
691	4/2 D2 1A	--	--	--	--	5182	1717	--	--
692	4/2 D2 1B	--	--	--	--	5325	1861	--	--
693	4/2 D2 1C	--	--	--	--	5670	2278	--	--
694	4/2 D2 2A	5310	1918	--	--	--	--	--	--

695	4/2 D2 2B	5580	2109	--	--	--	--	--	--
696	4/2 D2 2C	--	--	--	--	5781	2299	--	--
697	4/2 D3 1A	--	--	--	--	5540	2063	--	--
698	4/2 D3 1B	--	--	--	--	5670	2235	--	--
699	4/2 D3 2A	5712	2161	--	--	--	--	--	--
700	4/2 D3 2B	5781	2317	--	--	--	--	--	--
701	4/2 E1 1A	4831	1363	--	--	--	--	--	--
702	4/2 E1 1B	--	--	--	--	5000	1435	--	--
703	4/2 E1 1C	--	--	3804	909	--	--	--	--
704	4/2 E1 1D	--	--	--	--	4789	1405	--	--
705	4/2 E1 2A	--	--	3929	1043	--	--	--	--
706	4/2 E1 2B	--	--	--	--	--	--	--	--
707	4/2 E1 2C	--	--	--	--	4122	1042	--	--
708	4/2 E1 2D	--	--	3153	723	--	--	--	--
709	4/2 E2 1A	--	--	3961	1052	--	--	--	--
710	4/2 E2 1B	--	--	--	--	5126	1614	--	--
711	4/2 E2 1C	--	--	--	--	4987	1564	--	--
712	4/2 E2 1D	--	--	3585	868	--	--	--	--
713	4/2 E2 2A	5231	1633	--	--	--	--	--	--
714	4/2 E2 2B	--	--	4627	1202	--	--	--	--
715	4/2 E2 2C	--	--	--	--	5175	1595	--	--
716	4/2 E2 2D	--	--	--	--	5245	1704	--	--
717	4/2 E3 1A	--	--	5020	1659	--	--	--	--
718	4/2 E3 1B	--	--	--	--	5508	1943	--	--
719	4/2 E3 1C	--	--	--	--	5072	1694	--	--
720	4/2 E3 2A	--	--	--	--	5325	1843	--	--
721	4/2 E3 2B	--	--	--	--	5252	1787	--	--
722	4/2 E3 2C	--	--	--	--	5400	1877	--	--

723	4/2 E4 1A	--	--	5492	1997	--	--	--	--
724	4/2 E4 1B	--	--	--	--	5653	2138	--	--
725	4/2 E4 2A	--	--	--	--	5461	2019	--	--
726	4/2 E4 2B	--	--	--	--	5310	1862	--	--
727	4/3 1A	--	--	--	--	--	--	--	--
728	4/3 1A+	--	--	--	--	4087	1185	--	--
729	4/3 1C	--	--	--	--	--	--	--	--
730	4/3 1C+	--	--	--	--	--	--	--	--
731	4/3 1E	--	--	4198	1222	--	--	--	--
732	4/3 1E+	5303	1962	--	--	--	--	--	--
733	4/3 2A	4825	1369	--	--	--	--	--	--
734	4/3 2A+	5020	1475	--	--	--	--	--	--
735	4/3 2B+	4701	1412	--	--	--	--	--	--
736	4/3 2C+	5066	1394	--	--	--	--	--	--
737	4/3 2E	5446	1982	--	--	--	--	--	--
738	4/3 2E+	5355	1925	--	--	--	--	--	--
739	4/3 3A	--	--	--	--	4456	1265	--	--
740	4/3 3A+	--	--	--	--	4765	1450	--	--
741	4/3 3B+	--	--	--	--	5013	1567	--	--
742	4/3 3C	--	--	--	--	--	--	--	--
743	4/3 3C+	--	--	4942	1438	--	--	--	--
744	4/3 3E	--	--	--	--	4551	1311	--	--
745	4/3 3E+	--	--	4078	1113	--	--	--	--
746	4/3 D1 1A	--	--	--	--	4974	1596	--	--
747	4/3 D1 1B	5260	1718	--	--	--	--	--	--
748	4/3 D1 1D	--	--	--	--	4503	1407	--	--
749	4/3 D1 2A	5453	1897	--	--	--	--	--	--
750	4/3 D1 2B	--	--	5260	1673	--	--	--	--

751	4/3 D1 2D	5385	1991	--	--	--	--	--	--
752	4/3 D2 1A	--	--	--	--	5492	2122	--	--
753	4/3 D2 1C	--	--	5453	2059	--	--	--	--
754	4/3 D2 2A	--	--	5461	2005	--	--	--	--
755	4/3 D2 2B	5210	1738	--	--	--	--	--	--
756	4/3 D2 2C	--	--	3046	636	--	--	--	--
757	4/3 D3 1A	--	--	--	--	5446	1889	--	--
758	4/3 D3 1B	5712	2116	--	--	--	--	--	--
759	4/3 D3 2A	5629	1986	--	--	--	--	--	--
760	4/3 E1 1A	--	--	4892	1463	--	--	--	--
761	4/3 E1 1B	5224	1723	--	--	--	--	--	--
762	4/3 E1 1C	5093	1657	--	--	--	--	--	--
763	4/3 E1 2A	4556	1261	--	--	--	--	--	--
764	4/3 E1 2B	--	--	4655	1389	--	--	--	--
765	4/3 E2 1A	--	--	--	--	4892	1615	--	--
766	4/3 E2 1B	--	--	--	--	4644	1497	--	--
767	4/3 E2 1C	--	--	--	--	5079	1551	--	--
768	4/3 E2 2A	--	--	--	--	4420	1278	--	--
769	4/3 E2 2C	--	--	--	--	5252	1826	--	--
770	4/3 E3 1A	--	--	--	--	5120	1801	--	--
771	4/3 E3 1B	--	--	--	--	4949	1581	--	--
772	4/3 E3 2A	--	--	--	--	4162	1238	--	--
773	4/3 E3 2B	--	--	3709	1008	--	--	--	--
774	5/1 D1 1A	--	--	3241	778	--	--	--	--
775	5/1 D1 1B	4936	1285	--	--	--	--	--	--
776	5/1 D1 1C	--	--	4268	1131	--	--	--	--
777	5/1 D1 2A	5281	1464	--	--	--	--	--	--
778	5/1 D1 2B	--	--	4287	1119	--	--	--	--

779	5/1 D1 2C	5120	1456	--	--	--	--	--	--
780	5/1 D2 1B	--	--	--	--	--	--	--	--
781	5/1 D2 2B	--	--	--	--	5303	1587	--	--
782	5/1 D3 1A	5704	2184	--	--	--	--	--	--
783	5/1 D3 1B	5564	1887	--	--	--	--	--	--
784	5/1 D3 1C	5500	1987	--	--	--	--	--	--
785	5/1 D3 2A	--	--	--	--	5303	1810	--	--
786	5/1 D3 2B	--	--	--	--	5224	1671	--	--
787	5/1 D3 2C	--	--	5189	1904	--	--	--	--
788	5/1 E1 1B	--	--	--	--	5000	1310	--	--
789	5/1 E1 1C	--	--	4053	1042	--	--	--	--
790	5/1 E1 2B	--	--	4855	1314	--	--	--	--
791	5/1 E1 2C	5161	1457	--	--	--	--	--	--
792	5/1 E3 1A	--	--	--	--	5604	2014	--	--
793	5/1 E3 1B	--	--	--	--	5377	1828	--	--
794	5/1 E3 1C	--	--	5438	2012	--	--	--	--
795	5/1 E3 2A	--	--	--	--	4994	1515	--	--
796	5/1 E3 2B	--	--	4837	1382	--	--	--	--
797	5/1 E3 2C	--	--	--	--	5407	1973	--	--
798	5/2 D1 1A	--	--	3801	910	--	--	--	--
799	5/2 D1 1B	5093	1459	--	--	--	--	--	--
800	5/2 D1 1C	5377	1853	--	--	--	--	--	--
801	5/2 D1 2A	5252	1565	--	--	--	--	--	--
802	5/2 D1 2B	--	--	5196	1527	--	--	--	--
803	5/2 D1 2C	5446	1874	--	--	--	--	--	--
804	5/2 E1 1B	4961	1284	--	--	--	--	--	--
805	5/2 E1 1C	--	--	4605	1194	--	--	--	--
806	5/2 E1 1D	--	--	4942	1484	--	--	--	--

807	5/2 E1 2B	--	--	4730	1327	--	--	--	--
808	5/2 E1 2D	--	--	--	--	5303	1757	--	--
809	5/2 E2 1C	--	--	--	--	5000	1521	--	--
810	5/2 E2 2C	5203	1638	--	--	--	--	--	--
811	5/2 E3 1A	--	--	4747	1506	--	--	--	--
812	5/2 E3 1B	--	--	5026	1725	--	--	--	--
813	5/2 E3 2A	--	--	--	--	4955	1520	--	--
814	5/2 E3 2B	--	--	--	--	5189	1664	--	--
815	5/3 D1 1C	--	--	4753	1475	--	--	--	--
816	5/3 D1 2C	--	--	4198	1210	--	--	--	--
817	5/3 D2 1A	--	--	--	--	4707	1489	--	--
818	5/3 D2 1C	--	--	4684	1426	--	--	--	--
819	5/3 D2 2A	--	--	--	--	4482	1301	--	--
820	5/3 D2 2B	5000	1716	--	--	--	--	--	--
821	5/3 D2 2C	--	--	4949	1594	--	--	--	--
822	5/3 E2 1A	--	--	3941	988	--	--	--	--
823	5/3 E2 1B	--	--	5203	1592	--	--	--	--
824	5/3 E2 1C	5310	1663	--	--	--	--	--	--
825	5/3 E2 2A	--	--	4302	1110	--	--	--	--
826	5/3 E2 2B	--	--	--	--	5385	1805	--	--
827	5/3 E2 2C	--	--	--	--	5516	1857	--	--
828	6/1 D1 1A	--	--	4837	1261	--	--	--	--
829	6/1 D1 1B	--	--	--	--	5140	1287	--	--
830	6/1 D1 1C	5203	1360	--	--	--	--	--	--
831	6/1 D1 1D	--	--	--	--	5721	2072	--	--
832	6/1 D1 2A	5415	1477	--	--	--	--	--	--
833	6/1 D1 2B	--	--	--	--	5281	1374	--	--
834	6/1 D1 2C	--	--	--	--	5303	1528	--	--

835	6/1 D1 2D	5653	1967	--	--	--	--	--	--
836	6/1 D2 1A	--	--	--	--	5564	1650	--	--
837	6/1 D2 1B	--	--	5385	1587	--	--	--	--
838	6/1 D2 1C	5620	1937	--	--	--	--	--	--
839	6/1 D2 2A	5564	1609	--	--	--	--	--	--
840	6/1 D2 2B	--	--	--	--	5508	1728	--	--
841	6/1 D2 2C	--	--	--	--	5620	1983	--	--
842	6/1 D3 1A	5798	2174	--	--	--	--	--	--
843	6/1 D3 1B	--	--	--	--	5772	2191	--	--
844	6/1 D3 1C	5687	2020	--	--	--	--	--	--
845	6/1 D3 2A	--	--	--	--	5653	2018	--	--
846	6/1 D3 2B	5789	2068	--	--	--	--	--	--
847	6/1 D3 2C	--	--	--	--	5763	2050	--	--
848	6/1 E1 1A	5400	1607	--	--	--	--	--	--
849	6/1 E1 2A	5415	1612	--	--	--	--	--	--
850	6/1 E2 1B	5303	1419	--	--	--	--	--	--
851	6/1 E2 1C	5500	1742	--	--	--	--	--	--
852	6/1 E2 2B	--	--	5362	1448	--	--	--	--
853	6/1 E2 2C	5446	1614	--	--	--	--	--	--
854	6/1 E3 1A	--	--	--	--	5484	2024	--	--
855	6/1 E3 1B	5217	1771	--	--	--	--	--	--
856	6/1 E3 2A	5446	1928	--	--	--	--	--	--
857	6/1 E3 2B	5318	1727	--	--	--	--	--	--
858	6/1 E4 1A	5377	1927	--	--	--	--	--	--
859	6/1 E4 1B	5492	1946	--	--	--	--	--	--
860	6/1 E4 2A	5548	2029	--	--	--	--	--	--
861	6/1 E4 2B	5508	2049	--	--	--	--	--	--
862	6/2 D2 1A	--	--	--	--	5392	1614	--	--

863	6/2 D2 1B	--	--	--	--	--	--	--	--
864	6/2 D2 2A	--	--	5415	1596	--	--	--	--
865	6/2 D2 2B	--	--	4813	1335	--	--	--	--
866	6/2 D2 2C	5508	1862	--	--	--	--	--	--
867	6/2 D3 1A	5446	1786	--	--	--	--	--	--
868	6/2 D3 1B	5508	1895	--	--	--	--	--	--
869	6/2 D3 2A	--	--	4981	1438	--	--	--	--
870	6/2 D3 2B	--	--	--	--	--	--	--	--
871	6/2 E2 1A	5508	1819	--	--	--	--	--	--
872	6/2 E2 2A	4873	1342	--	--	--	--	--	--
873	6/3 D1 1B	5245	1405	--	--	--	--	--	--
874	6/3 D1 1C	5377	1552	--	--	--	--	--	--
875	6/3 D1 2B	--	--	4650	1114	--	--	--	--
876	6/3 D1 2C	5310	1498	--	--	--	--	--	--
877	6/3 D2 1B	--	--	--	--	5508	1767	--	--
878	6/3 D2 2B	5670	1862	--	--	--	--	--	--
879	6/3 E1 1A	--	--	4044	853	--	--	--	--
880	6/3 E1 2A	--	--	--	--	5033	1230	--	--
881	6/3 E2 1B	4843	1341	--	--	--	--	--	--
882	6/3 E2 2B	--	--	4855	1411	--	--	--	--
Média		5363	1709	4595	1259	5151	1609	4864	1267
Desvio Pad.		325	337	616	344	436	352	422	227
Coef. Var. %		6	20	13	27	8	22	9	18
		SÃ		NÓ		INCLINAÇÃO		MEDULA	
		V _{LL}	C _{LL}	V _{LL}	C _{LL}	V _{LL}	C _{LL}	V _{LL}	C _{LL}
		(m/s)	(kN/cm ²)	(m/s)	(kN/cm ²)	(m/s)	(kN/cm ²)	(m/s)	(kN/cm ²)

