

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

FILIPPE BRUNO BATISTA DOS SANTOS

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DE ESPÉCIES ARBÓREAS POR
TOMOGRAFIA DE IMPULSO PARA AUXILIAR NO MANEJO FLORESTAL
NA AMAZÔNIA**



Manaus – AM
2019

FILIPPE BRUNO BATISTA DOS SANTOS

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DE ESPÉCIES ARBÓREAS POR
TOMOGRAFIA DE IMPULSO PARA AUXILIAR NO MANEJO FLORESTAL
NA AMAZÔNIA**

Projeto apresentado ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestas e Ambientais.

Orientadora: Dra. Claudete Catanhede do Nascimento
Coorientador: Dr. David Galbraith

Manaus – AM
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237p Santos, Filipe Bruno Batista dos
Potencial Tecnológico de Espécies Arbóreas por Tomografia de
Impulso para Auxiliar no Manejo Florestal na Amazônia / Filipe
Bruno Batista dos Santos. 2019
76 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Claudete Catanhede do Nascimento
Coorientador: David Galbraith
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Tomografia de Impulso. 2. Metodologia não Destrutiva. 3.
Manejo Florestal. 4. Tecnologia Florestal. I. Nascimento, Claudete
Catanhede do II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

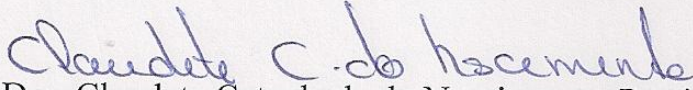
FILIPPE BRUNO BATISTA DOS SANTOS

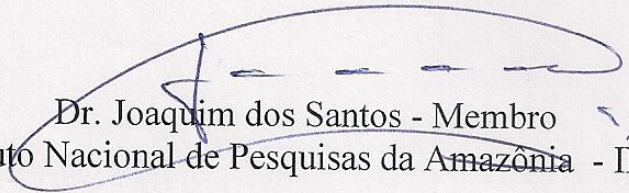
POTENCIAL TECNOLÓGICO DE ESPÉCIES
ARBÓREAS POR TOMOGRAFIA DE IMPULSO PARA
AUXILIAR NO MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA

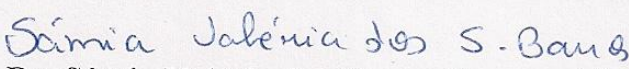
Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais e
Ambientais da Universidade Federal do
Amazonas, como requisito para obtenção
do título de Mestre em Ciências Florestais e
Ambientais, área de concentração em
Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovada em 13 de Maio de 2019

BANCA EXAMINADORA


Dra. Claudete Catanhede do Nascimento- Presidente
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA


Dr. Joaquim dos Santos - Membro
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA


Dr. Sâmia Valéria dos Santos Barros - Membro
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA

A DEUS, pelo privilégio e o dom da vida.

Agradeço

*Aos meus pais Raimundo Euniro e Maria José
pelo sacrifício, dedicação, ensinamentos, respeito
e exemplo de vida com dignidade que muito me
ensinaram ao longo da vida e até nos dias de hoje
contribuíram e contribuem com minha vida.*

Meu reconhecimento

*Aos técnicos do Laboratório de Engenharia e
Artefatos de Madeira Roberto, Gean e Marta pelo
Apoio e auxílio no que foi preciso durante essa
etapa e a pesquisadora Doutora Claudete pelo apoio,
conselhos e orientação em cada momento dessa jornada.*

Minha gratidão

*A minha esposa Giselle Rebouças, que me
Acompanhou nessa empreitada, me aturou em
Cada momento mostrando paciência, disponibilização
e compreensão durante a execução do trabalho.*

Ofereço

A todos que possam achar a leitura interessante.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente Deus, por me guiar em cada escolha feita e me mostrar o caminho certo a cada erro cometido ao longo da vida.

Aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado e confiarem que seus ensinamentos seriam seguidos arisca por mim, meus melhores amigos que fizeram sacrifícios para não deixar nada faltar em minha vida e de meus irmãos, em nossas vidas nada nos faltou, principalmente amor.

A minha esposa Giselle Rebouças e meu filho Heitor Bruno, que me deram forças para seguir em frente e quebrar as barreiras de gelos que surgiam no caminho seguido, o meu total amor e dedicação aos dois.

Aos meus irmãos, Marcio Batista dos Santos e Caroline Batista dos Santos que sempre estiveram presentes para me apoiar em todos os aspectos. O companheirismo deles foi de fundamental importância para minha vida.

A Dra. Claudete Catanhede do Nascimento pela honra que foi ser seu orientado, depois de tê-la conhecido descobri que o mundo me reservava muitas surpresas boas, como conhecer um novo ser de luz que ela se tornou em minha vida.

Ao Dr. David Galbraith pelo tempo disponibilizado, a paciência de ensinar a manusear um equipamento de tomografia de impulso e a honra de tê-lo conhecido e sempre se mostrando um amigo prestativo.

Aos amigos Fernanda Barbosa, Suzana Medeiros, Danielle Fróez, Roberto Daniel, Marta Brasil e Gean dos Santos, pela amizade e convivência dentro e fora do ambiente do trabalho.

A empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, por permitirem minha entrada em suas áreas de trabalho para realizar minha coleta de dados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais e a Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA por todo apoio dispensado na realização desta pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

E a todos amigos que participaram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho.

Muito obrigado.

RESUMO

A Amazônia, com sua vasta biodiversidade, é muito cobiçada para exploração, mas é pouco estudada, devido à sua vasta extensão e diversidade. Essa diversidade madeireira na Amazônia faz com que as espécies apresentem características diferenciadas uma das outras, tendo espécies consagradas e outras desconhecidas. Entretanto, observamos hoje uma mudança, pois atualmente, há um rico debate na sociedade brasileira sobre o futuro de nossa floresta tropical. O Manejo Florestal deixou de ser um termo técnico e com significado somente para os florestais, trazendo o paradigma do desenvolvimento sustentável para uma forma prática de emprego. O baixo índice tecnológico do maquinário, de conhecimento de espécies e até mesmo de uma programação na orientação prévia de corte, aumenta o desperdício que finda comprometendo a sustentabilidade econômica e ambiental madeireira. A utilização de novas tecnologias no manejo florestal, pode ajudar a diminuir o desperdício de madeira, de tempo e melhorar o investimento tecnológico em cada setor de trabalho. Como exemplo de uma nova tecnologia pode-se citar a tomografia de impulso, que é um método não destrutivo de análise, que dá uma visão transversal do lenho da árvore. Com o auxílio da tomografia pode-se fazer uma melhor programação para a retirada da espécie do campo. Pressupondo se a árvore realmente deve ser explorada ou se sua permanência em pé seria melhor para sustentabilidade. Com a implementação de tecnologia no manejo de florestas tropicais pode-se vislumbrar um futuro promissor com a redução do desperdício gerado no abate de árvores, com a otimização da tomada de decisão na melhor empregabilidade de espécies de madeiras. A pesquisa foi realizada na área de manejo florestal da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda., localizada no município de Itacoatiara região metropolitana de Manaus, capital do estado do Amazonas, na estrada AM 010 km 270. Com o auxílio do tomógrafo, que é um método não destrutivo, as árvores foram avaliadas na área de exploração antes da derrubada. A análise por tomografia também levou em consideração a geometria da árvore, sendo possível analisar a diferenciação da coloração de pixels, em cada árvore, que posteriormente foram comparados com uma fotografia do fuste da árvore, já abatida. Na análise visual, os resultados mostram equiparidade em relação a imagem por tomografia de impulso. As médias de velocidade de propagação mostraram que a redução na velocidade está relacionada com a presença de ocos na árvore. As imagens trabalhadas no software Imagem J, mostraram a porcentagem deteriorada no fuste da árvore quando possuía deterioração e a volumetria calculada com o tomógrafo foi aproximado com o obtido pelo volume geométrico utilizado pela empresa. O uso de tomografia auxilia no manejo florestal e garante o melhor aproveitamento da madeira, ao garantir um menor desperdício.

Palavras-chave: Tomografia de Impulso, Metodologia não Destrutiva, Manejo Florestal e Tecnologia Florestal.

ABSTRACT

The Amazon, with its vast biodiversity, is much coveted for exploration, but is little studied due to its vast extent and diversity. This timber diversity in the Amazon causes the species to present characteristics differentiated from each other, having consecrated species and others unknown. However, today we see a change, because today there is a rich debate in Brazilian society about the future of our tropical forest. Forest Management is no longer a technical term and meaning only for forestry, bringing the paradigm of sustainable development to a practical form of employment. The low technological index of the machinery, of species knowledge and even of a programming in the previous orientation of cut, increases the waste that ends up compromising the economic and environmental sustainability logging. The use of new technologies in forest management can help reduce wood waste, time and improve the technological investment in each sector of work. As an example of a new technology can be cited to impulse tomography, which is a non-destructive method of analysis, which gives a transverse view of the tree. With the aid of the tomography can make a better schedule for the removal of the species from the field. Assuming whether the tree really should be explored or whether its standing would be better for sustainability. With the implementation of technology in the management of tropical forests, a promising future can be seen with the reduction of the waste generated in the tree harvesting, with the optimization of the decision making in the best employability of wood species. The research was carried out in the area of forest management of the company Mil Madeiras Preciosas Ltda., Located in the municipality of Itacoatiara metropolitan region of Manaus, capital of the state of Amazonas, on the highway AM 010 km 270. With the aid of the tomograph, which is a non-destructive method, the trees were evaluated in the exploration area before clearing. The tomography analysis also took into consideration the geometry of the tree, and it is possible to analyze the differentiation of the pixel coloration in each tree, which were later compared with a photograph of the tree stem, already felled. In the visual analysis, the results show similarity to the image by impulse tomography. The propagation speed averages showed that the reduction in velocity is related to the presence of hollows in the tree. The images worked on the Image J software showed the deteriorated percentage in the shaft of the tree when it had deterioration and the volumetry calculated with the tomograph was approximated with the one obtained by the geometric volume used by the company. The use of tomography assists in the forest management and guarantees the best use of the wood, guaranteeing less waste.

Key words: Impulse Tomography, Non-Destructive Methodology, Forest Management and Forest Technology.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características das árvores selecionadas para exploração, área da unidade de produção: FLA01 Bloco:328/9680/ Unidade de Campo: F16 e F03	42
Quadro 2. Árvores de <i>M. huberi</i> , numeração no inventário, Diâmetro a altura do peito, média d velocidade de propagação sonora, desvio padrão da velocidade e coeficiente de variação da velocidade em porcentagem.	60
Quadro 3. Árvores de <i>Ocotea</i> sp., numeração no inventário, Diâmetro a altura do peito, média d velocidade de propagação sonora, desvio padrão da velocidade e coeficiente de variação da velocidade em porcentagem.	62
Quadro 4. Árvores de <i>M. huberi</i> , com área total, área calculada, porcentagem de decaimento e de decaimento severo.	64
Quadro 5. Árvores de <i>Ocotea</i> sp., com área total em cm ² , área calculada em cm ² , porcentagem de decaimento e decaimento severo.	65
Quadro 6. Volume disponibilizado pela empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, e volume obtido pelo tomógrafo de impulso em metros cúbicos.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama força aplicada x flecha na flexão	27
Figura 2. Movimento das partículas associado aos vários tipos de ondas.	29
Figura 3. Imagens da empresa Mil Madeiras Preciosas.	32
Figura 4. Localização geográfica da área de manejo da empresa Mil Madeiras Preciosas.	33
Figura 5. Coleta de dados.	34
Figura 6. Maleta de acessório e componentes do tomógrafo sônico PICUS	35
Figura 7. Tomada de medidas para formação da geometria da árvore.	36
Figura 8. Layout do software de armazenamento e tabulação dos dados.	37
Figura 9. A identificação das amostras foi feita pelo pesquisador Jorge Alves de Freitas do INPA.	38
Figura 10. As imagens são da espécie <i>Manilkara huberi</i> (Ducke)	44
Figura 11. Imagens da espécie <i>Ocotea</i> sp. (louro preto).	45
Figura 12. Árvore nº 01 da espécie massaranduba.	46
Figura 13. Árvore nº 02 da espécie massaranduba.	47
Figura 14. Árvore nº 03 da espécie massaranduba.	47
Figura 15. Árvore nº 03 da espécie massaranduba.	48
Figura 16. Árvore nº 04 da espécie massaranduba.	49
Figura 17. Árvore nº 05 da espécie massaranduba.	50
Figura 18. Árvore nº 06 da espécie massaranduba.	50
Figura 19. Árvore nº 07 da espécie massaranduba.	51
Figura 20. Árvore nº 08 da espécie massaranduba.	52
Figura 21. Árvore nº 09 da espécie massaranduba.	53
Figura 22. Árvore nº 10 da espécie massaranduba.	54
Figura 23. Árvore nº 23 da espécie louro preto.	55
Figura 24. Árvore nº 24 da espécie louro preto.	55
Figura 25. Árvore nº 25 da espécie louro preto.	56
Figura 26. Árvore nº 26 da espécie louro preto.	57
Figura 27. Árvore nº 27 da espécie louro preto.	57
Figura 28. Árvore nº 28 da espécie louro preto.	58
Figura 29. Árvore nº 29 da espécie louro preto.	59

SUMÁRIO

Resumo	VI
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 PRESSUPOSTOS	15
1.2.1 Geral	15
1.2.2 Específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 MANEJO	16
2.2 RENDIMENTO DA MADEIRA.....	17
2.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA	17
2.4 AGENTES BIODEGRADADORES DA MADEIRA	18
2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	19
2.6 MÉTODOS DESTRUTIVOS.....	20
2.7 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS	21
2.7.1 Temporizador de Ondas de Tensão (Stress Wave Timer)	21
2.7.2 Resistógrafo	22
2.7.3 Ultra-Sons	23
2.7.4 Método das Vibrações Transversal	24
2.7.5 Radiografia - Raio X	24
2.7.6 Espectroscopia do Infravermelho Próximo – NIR	25
2.7.7 Tomografia de Impulso	25
2.8 Módulo de elasticidade	26
2.8.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOEd)	28
2.9 PROPAGAÇÃO DE ONDAS NA MADEIRA.....	28
2.9.1 Características que Influenciam na Propagação de Onda	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.2 APRESENTAÇÃO DO PROJETO PARA EMPRESA.....	33
3.3 SELEÇÃO DA ÁREA E ESPÉCIES PARA COLETA DE DADOS.....	34
3.4 AVALIAÇÃO DAS ÁRVORES	34
3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES	38
3.6 DETERMINAÇÃO DO VOLUME.....	39
3.7 ANÁLISE DE DADOS	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Análise visual das Árvores	41
4.2 ANÁLISE POR TOMOGRAFIA de impulso	45
4.3 Variabilidade da velocidade de propagação de ondas	60
4.4 Nível de degradação das árvores e qualidade da madeira obtidas pelo software de foto shop Imagem J	63
4. 5 Comparação do rendimento volumétrico da madeira	66
5 Conclusão	70
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia, com sua vasta biodiversidade, é muito cobiçada para exploração, mas é pouco estudada. Sua riqueza não está somente em sua fauna, mas também em sua flora, que é bastante diversificada. A variedade de espécies arbóreas existentes, proporcionam uma imensidão de possíveis usos de produtos madeireiros, mas a floresta finda sendo desmatada para o uso de poucas espécies conhecidas. Isso gera uma dúvida quanto à sustentabilidade da exploração madeireira na Amazônia, principalmente pela escassez de estudos que visem identificar novas espécies semelhantes às tradicionalmente exploradas.

A diversidade madeireira na Amazônia faz com que as espécies apresentem características diferenciadas uma das outras, tendo espécies consagradas e outras desconhecidas. Contudo, o potencial dessas espécies não é valorizado, um exemplo está no baixo rendimento no desdobro, sendo explicado pelo pouco investimento tecnológico, relacionado principalmente ao maquinário, seleção das espécies de madeira e do produto final, gerando muito resíduo e um baixo aproveitamento deste recurso natural (MEDEIROS, 2013).

A Amazônia contém um dos maiores estoques de madeira do mundo. No entanto, a exuberância não se equipara com abundância do recurso madeireiro. Até recentemente, a madeira era abundante e barata, e havia pouca motivação para reduzir o desperdício no processamento. Entretanto, observamos hoje uma mudança, pois atualmente, há um rico debate na sociedade brasileira sobre o futuro de nossa floresta tropical. O Manejo Florestal deixou de ser um termo técnico e com significado somente para os florestais, trazendo o paradigma do desenvolvimento sustentável para uma forma prática de emprego. Tornando a madeira um produto mais valorizado e escasso, despertando pesquisadores e o setor produtivo para buscar soluções e reduzir o desperdício (SILVA, 2012).

Na Amazônia, a exploração madeireira ainda consiste em retirar um pequeno grupo seletivo de espécies com aceitação no mercado. Essa ação acaba por pressionar a exploração de espécies mais conhecidas, o que pode torná-las mais suscetível à extinção, principalmente de espécies que são endêmicas.

As operações, de abate no campo e o beneficiamento na indústria geram resíduos que são normalmente destinados à geração de energia. O baixo índice tecnológico do maquinário, o conhecimento de espécies e até mesmo uma não programação na

orientação prévia de corte aumenta o desperdício que finda comprometendo a sustentabilidade econômica e ambiental madeireira.

A seleção de espécies e dos indivíduos arbóreos que serão abatidos é um fator crítico na exploração florestal de espécies nativas. Atualmente, as espécies a serem exploradas são selecionadas com base no DAP, na frequência que ocorrem na área, na forma da árvore e na presença ou não de oco. Sendo que a baixa eficiência dos métodos tradicionais de identificação e quantificação de lesões e ocos na região amazônica é responsável pela geração de um grande volume de resíduos, tanto na floresta como nas indústrias (ULIANA, 2010).

O oco pode estar em diferentes alturas do tronco das árvores. O teste do oco, no processo de exploração, é realizado a uma altura pré-determinada, e pode acabar não detectando ocos em alturas maiores. Assim, a árvore acaba entrando no processo de beneficiamento na indústria, e somente assim se detecta a presença de ocos que não foram detectados na exploração. O oco não detectado acaba reduzindo o rendimento das árvores no processo industrial.

A utilização de novas tecnologias no manejo florestal, pode ajudar a diminuir o desperdício de madeira, de tempo e melhorar o investimento tecnológico em cada setor de trabalho. Como exemplo de uma nova tecnologia pode-se citar a tomografia de impulso, que é um método não destrutivo de análise, que dá uma visão transversal do lenho da árvore. Esse método mostra se o tronco está sadio e até existência de fungos que causam o trincamento, oco ou qualquer fator que possa alterar o resultado da imagem computacional através do impulso sonoro gerada pelo tomógrafo.

Com o auxílio da tomografia pode-se fazer uma melhor programação para a retirada da espécie do campo. Pressupondo se a árvore realmente deve ser explorada ou se sua permanência em pé seria melhor para sustentabilidade, e até mesmo um diagnóstico no melhor sentido de corte da espécie na indústria (corte direcional), diminuindo assim, o desperdício e aumentando seu valor agregado.

Segundo Medeiros (2013), com a caracterização tecnológica de madeira, o processo torna-se dinâmico e menos oneroso evitando o desperdício em todo processo produtivo, resultando em ganhos e reduzindo impactos negativos causados pela exploração de árvores com lesões internas. Assim tem-se uma maior qualidade no produto final, através de uma rígida análise de sua estrutura interna, garantindo matéria prima de qualidade nos produtos, supondo um aumento no rendimento.

Com a implementação de tecnologia no manejo de florestas tropicais pode se vislumbrar um futuro promissor com a redução do desperdício gerado no abate de árvores com uma fitossanidade baixa, com a otimização da tomada de decisão na melhor empregabilidade de espécies distintas de madeiras, com uma redução no tempo de trabalho, redução de custos e podemos finalmente pensar numa resposta final sobre o manejo de florestas tropicais e na melhor empregabilidade da utilização de nossas madeiras nativas.

Partindo do princípio que a detecção de lesões no lenho da árvore é essencial para um maior aproveitamento industrial da madeira, o presente trabalho visa utilizar a tomografia de impulso (método não destrutivo) para detectar essas lesões. Assim, espera-se trazer respostas importantes quanto à sustentabilidade do manejo florestal, contribuindo para a redução do desperdício de matéria prima através do abatimento desnecessário de espécies, reduzindo a geração de resíduos e até mesmo à retirada de indivíduos indesejados.

1.1 PRESSUPOSTOS

É possível por meio de técnica não destrutiva criar mecanismo para avaliar o manejo florestal?

Com o conhecimento da sanidade do material lenhoso e do volume estimado da madeira na árvore em pé na floresta seria possível classificar as árvores em categorias?

1.2.1 Geral

Avaliar eficiência da tomografia de impulso na classificação de árvores em pé para sustentabilidade da floresta.

1.2.2 Específicos

Avaliar associação da técnica não destrutiva com a qualidade do fuste.

Classificar as árvores a partir da técnica utilizada (tomografia de impulso).

Avaliar e comparar os dados obtidos com a tomografia de impulso e a estimativa de volume útil da madeira determinado pela empresa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MANEJO

A definição de manejo florestal sustentável está em determinar a retirada de produtos florestais com o maior aproveitamento e menor degradação da floresta, obtendo produtos de forma que não iram se extinguir com o passar dos anos ocasionando à escassez de matéria prima mantendo sua produção futura com valores atrelados a boa pratica de extração e sem causar danos excessivos no meio ambiente social e físico (ITTO,1998).

Contudo, na Amazônia brasileira, a exploração madeireira se caracteriza pela extração de poucas espécies de interesse comercial e pela grande geração de resíduos, tanto na floresta como na indústria. Características inerentes a determinadas espécies madeireiras e a baixa qualidade das operações florestais e tecnológicas indústrias são fatores que contribuem fortemente para o desperdício de recursos madeireiros, para a degradação das florestas e para o comprometimento da sustentabilidade econômica e ambiental na atividade madeireira (ULIANA, 2010).

O manejo florestal é a ciência que vem organizar, ordenar, e controlar a produtividade e eficiência alcançando objetivos definidos sob o regime de rendimento sustentado que é o levantamento e planejamento de todos os produtos que podem ser extraídos de um povoamento florestal pensando no aproveitando apenas do que a floresta é capaz de produzir, indeterminam-te do tempo, mantendo sua estrutura o mais próximo do natural (HIGUCHI, 1994).

Atualmente, a exploração de indivíduos arbóreos é um fator crítico no que se referem ao aproveitamento da madeira, as espécies são selecionadas pela sua aceitação no mercado que é muito restritivo, os indivíduos são extraídos com base no seu Diâmetro, na frequência que ocorrem na área, no seu fator de forma sendo o menos tortuoso possível e sem a presença de oco (ULIANA, 2010).

Com a exaustiva exploração de espécies madeireiras tradicionalmente comercializadas, acabam ocasionando uma saturação na floresta acarretando a escassez de indivíduos que antes tinham ampla distribuição no sitio e agora se tornam espécies degradadas pelo o excesso de exploração e exigindo que novas espécies com características semelhantes sejam incluídas para produção de madeira (MEDEIROS, 2013).

De acordo com Meirelles filho (2006) a exploração de forma sustentável da Amazônia acarretaria numa redução de área utilizada para exploração. Cerca de 20% do território da floresta seriam suficientes para suprir a demanda de madeira no mercado, garantindo assim a liderança do mercado internacional, gerando divisas bem maiores que aquelas obtidas pela soja, pecuária e a retirada de madeira não manejada.

2.2 RENDIMENTO DA MADEIRA

O limite máximo de aproveitamento de tora em madeira serrada é de 35%, essa porcentagem é referente ao Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV), e tem como finalidade aperfeiçoar regras para transporte e a industrialização de madeira extraída legalmente. O objetivo é impedir a geração de créditos excedentes de madeira no sistema do Documento de Origem Florestal (DOF), diminuindo a movimentação ilegal de madeira. (IBAMA, 2017).

Sendo que no ano de 2009 o Amapá obteve uma exploração de 94 mil metros cúbico em toras com um total de 41 mil metros cúbicos de madeira processada, aproximando a um rendimento de 41% de rendimento. Destacando como espécies mais comercializadas, *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-vermelho) e *Manilkara huberi* Ducke (massaranduba) (HUMMEL *et al.*, 2010).

Novas técnicas estão sendo empregada no setor florestal para aumentar a confiabilidade da estimativa de produção e rendimento de madeira serrada. Um dos métodos modelagem estatística e modelos de regressão, sempre levando em consideração a relação da madeira produzida em tora e a produção de madeira serrada (BIASE; ROCHA, 2007).

Obtendo a estimativa do rendimento da madeira serrada extraímos importantes informações para composição de modelos para formação de sistemas produtivos com estratégias seguras, visando os mercados de produtos madeireiros de espécies florestais (MURARA JUNHOR *et al.*, 2013; MANHIÇA *et al.*, 2013).

2.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA

Existem várias diferenças nas propriedades de qualidade da madeira, o que torna possível escolher aquela espécie que melhor satisfaz em seu uso. Embora seja difícil conceituar a qualidade da madeira, alguns fatores como massa específica, orientação das

fibras, presença de nós, percentagem de cerne e alburno, tornam-se variáveis para determinar a qualidade da madeira (BIRKLAND, 1990; DUFFIELD, 1993; CHIEZ 2005).

Existem duas metodologias para avaliar a qualidade da madeira, método destrutivo e o não destrutivo. A metodologia destrutiva consiste em retiradas de corpos de prova, ocasionando a destruição das amostras, sendo totalmente inutilizadas para outros fins e até mesmo para reanálises dos mesmos corpos de prova. Já na metodologia não destrutiva os parâmetros observados, nos permitem uma melhor avaliação, sem necessidade de retirada de corpos de prova, e pode ser feita numa peça ou até mesmo na árvore.

2.4 AGENTES BIODERADADORES DA MADEIRA

A biodegradação da madeira é um processo natural de reciclagem de matéria orgânica que potencializa a colonização de organismos que solubilizam os polissacarídeos e lignina, que são componentes de moléculas simples, químicos e estruturais (DANIEL, 2003).

Os agentes biodegradadores da madeira são agrupados em três categorias: (i) que provocam a podridão branda ou “soft-rot” (Ascomycetes e Deuteromycetes); (ii) podridão parda “brown-rot” (Basidiomycetes); e (iii) os fungos da podridão branca “white-rot” (Ascomycetes – Xylariales e Basidiomycetes), sendo que nessa última condição, todos os componentes da madeira são degradados (HIGUCHI, 1985; FENGEL E WEGENER, 1989; DEACON, 1997).

Segundo Ryvarden (1991), os fungos de podridão branca atuam na superfície da parede celular vegetal, degradando seus três componentes (celulose, hemicelulose e lignina). A madeira atacada apresenta modificação na característica do lenho tornando-os macios, esponjosos e com uma aparência esbranquiçada se rompendo facilmente no sentido das fibras. Sua ocorrência envolve a remoção simultânea de celulose, hemicelulose e lignina, mais comum, e a menos frequente, envolve a remoção seletiva de lignina e polioses, mantendo a celulose praticamente intacta.

A podridão parda também conhecida como podridão seca, por ser capaz de agir em condições de baixa humidade, degradam a superfície da parede celular, principalmente as frações polissacarídicas (celulose e hemicelulose) por ação enzimática e não enzimática, causando à coloração pardo-escuro, tornando o lenho

rígido, friável e quebradiço no sentido transversal das fibras, gerando um resíduo rico em lignina (RYVARDEM, 2007).

Segundo Ryvar den (2007), a podridão branca, ou mole, atua e amolece as superfícies da madeira, devido a degradação da hemicelulose e celulose. Podem ainda degradar tanto os polissacarídeos quanto a lignina, porém em velocidades muito reduzidas. Produzem tipicamente cavidades, na camada S2 nas madeiras em ambientes aquáticos ou terrestres.

Existe a biodegradação por cupins, que são agrupados por seus hábitos de nidificação, divididos em três categorias, as principais são: (i) cupins de madeira seca, que nidificam madeira seca ou úmida; (ii) de solo, que desenvolvem colônias no solo; e (iii) arborícolas, que constituem colônias em árvores. Os cupins se alimentam basicamente de celulose presente no lenho. Atualmente no Brasil existem 312 espécies de cupins descritas em diferentes famílias Katalotermittidae, Rhinotermittidae, Serrittittidae e Termittittidae. Apesar de uma vasta quantidade de espécies a grande maioria não causam grandes prejuízos alimentando-se de madeira apodrecida ou de partes mortas da madeira (OLIVEIRA, 1986; BRAZOLIN, 2009).

2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

A madeira é produto de um processo orgânico que forma um material lenhoso, formado por células dispostas nos sentidos radial e axial, ligadas pela lignina, conferindo-lhe sustentação ao tronco, passando por diferentes estágios de desenvolvimento, influenciados por fatores, genéticos, edáficos, climáticos, silviculturas, geográficos, dentre outros, apresentando variações dimensionais e químicas, tornando-se um material não uniforme, com alta variabilidade, entre e dentro da árvore (ZOBEL *et al.*, 1989).

Conhecer as propriedades da madeira é de grande importância porque essas propriedades podem influenciar significativamente no desempenho e resistência da madeira. Devido a este grande número de fatores, os valores numéricos das propriedades de diferentes espécies de madeira, obtidos em ensaios de laboratório, oscilam apresentando uma ampla dispersão. Entre as características físicas destacam-se: densidade, umidade e retratibilidade (SBRT, 2007).

A densidade básica é indiscutivelmente aceita como um dos principais parâmetros de qualidade da madeira, variando entre espécies e até mesmo entre

indivíduos da mesma espécie, tanto no sentido longitudinal como no sentido radial da medula para casca. Em síntese, os padrões de variação longitudinal decrescem uniformemente com a altura ou decresce até certo ponto e cresce deste, até o topo da árvore. Contudo, deve-se correlacionar cada um dos parâmetros com o uso a que se deseja destinar a madeira (MENDES *et al.*, 2004).

O teor de umidade refere-se à água que encontramos na madeira, podendo estar em três condições, nas paredes celulares (água de adesão), no conteúdo protoplasmático das células e como água livre nas cavidades e espaços intercelulares. Varia de acordo com a espécie e a posição dentro de um mesmo indivíduo, sendo inversamente proporcional a densidade, definido como quantidade de água presente em relação a sua massa (KOLLMANN, 1959).

A retratibilidade é o fenômeno da variação dimensional da madeira quando, há alteração no seu teor de umidade. Em função da troca de umidade do material com o meio em que o envolve, quando esta perde ou ganha umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras (IPT, 1985). O princípio da retratibilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando, portanto, contração da madeira (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

2.6 MÉTODOS DESTRUTIVOS

A metodologia destrutiva obedece à normas específicas necessitando confeccionar corpos de prova retirados do lenho da árvore com uma determinada padronização. Não é possível aproveitar as amostras depois dos testes, pois eles são destruídos acarretando grande desperdício de matéria e de recursos financeiros (MEDEIROS, 2013).

Seguindo o exemplo do método destrutivo em relação ao desperdício, o mesmo também ocorre na confecção de corpos de prova para descrição anatômica. Ao se seguir a norma da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), por exemplo, se faz necessária à retirada de um disco de 15 cm de espessura a 1,30 m do solo para confecção de corpos de prova.

A padronização dos corpos de prova a serem usados na metodologia destrutiva, seguem os requisitos prescritos em normas técnicas, como a da Associação brasileira de

Normas Técnicas (ABNT) e a Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). Tais normas descrevem os métodos de coleta de amostras, forma e tamanho dos corpos de prova como também os métodos de obtenção das variáveis que a madeira deve apresentar no momento das medições e a forma de apresentação dos resultados.

O método destrutivo para constatação de oco consiste em introduzir o sabre do motosserra na árvore e, pela facilidade de corte e pela cor da serragem que sai do lenho da árvore, o operador estima se há ou não oco ou alguma lesão e o tamanho do mesmo. Sendo um parâmetro subjetivo que pode levar a um grande desperdício e elevados índices de impacto na produção de madeira serrada (ULIANA, 2010).

2.7 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

Avaliação não destrutiva é definida como “métodos de identificação das propriedades físicas e mecânicas, com o objetivo de verificar a existência de descontinuidades ou defeitos sem interferir em seu uso final”, assumindo um papel importante ao permitir análises mais precisas das informações sobre as propriedades, desempenho e a condição da madeira ao estabelecer critérios práticos de classificação e caracterização do material (PELLERIN; ROSS, 2002).

Pesquisas demostram, que o uso de técnicas baseadas em conceitos de amostragem não destrutivas, traz resultados confiáveis, podendo predizer uma dada propriedade da madeira com base na informação obtida no ensaio não destrutivo (CADIAN *et al.*, 2009).

Métodos científicos não destrutivos estão sendo desenvolvidos e testados em indivíduos da arborização urbana visando identificar árvores que apresentam risco de queda e também sendo utilizados para aplicação no manejo florestal (ULIANA, 2010). Contribuindo para o avanço do conhecimento da variabilidade natural da madeira, além de estabelecer relações funcionais entre os ensaios não destrutivos e os de caráter destrutivos da madeira (OLIVEIRA, 2011).

2.7.1 Temporizador de Ondas de Tensão (Stress Wave Timer)

Este método consiste na medição da velocidade de propagação de ondas de choque ao longo das fibras da madeira, podendo ser um bom indicador das suas

propriedades mecânicas. Sendo possível estabelecer uma correlação que permitam obter parâmetros para o módulo de elasticidade. Uma vez que as ondas de choque se propagam, é possível identificar podridões, defeitos e vazios nos interiores da madeira, pela tomada de velocidade de ondas de tensão, sendo que em madeira sadia a velocidade é maior que em amostras deterioradas (BOTELHO JUNIOR, 2006).

Este método baseia-se na técnica de propagação de ondas unidirecionadas em objetos homogêneo e elástico com um equipamento chamado *Stress Wave Timer*, requisitos que não se enquadram as propriedades físicas e mecânicas da madeira, mas pesquisadores obtiveram bons resultados com essa metodologia, como estimativa de propriedades mecânicas, avaliação de ataques biológicos, classificação de laminas e peças maciças (SILVEIRA, 2007).

A aplicação da medição das ondas de tensão consiste no instrumental, unidade central, martelo de impacto e um ou dois acelerômetros, alocados na árvore resultando numa onda acústica posteriormente ao choque do impacto do martelo no lenho da mesma. A unidade central registra a o tempo decorrido da onda de tensão entre os acelerômetros sobre o material (SCHAAD *et al.*, 1996; MATTOS 1997).

2.7.2 Resistógrafo

O resistógrafo é um aparelho que perfura a madeira com uma broca de aço de aproximadamente 3 mm de diâmetro, medindo a resistência à perfuração, em função da energia despendida enquanto rompe a parede celular, é utilizado na inspeção de estruturas de madeiras e de árvores em pé. Sua origem de fabricação vem da Alemanha do ano de 1985, sendo utilizadas em diversas situações como, inspeção estruturais de edifícios antigos, pontes de madeira e avaliação da degradação biológica de árvores (BERTOLINI; ANTHONY *et al.*, 1998).

É um método de inspeção não destrutivo bastante interessante para aplicação sobre estruturas por meio de sensores eletrônicos, permitindo detectar defeitos internos, variação de densidade e secções dos elementos estruturais, quando tal não é possível medir diretamente. Sua medida é denominada de amplitude e seus resultados expressados em porcentagem, com perfurações quase imperceptíveis (BOTELHO JUNIOR; LIMA *et al.*, 2006).

Os valores obtidos pelo resistógrafo são relacionáveis com suas propriedades mecânicas, tais como densidade, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura

(MOR) em direção ao fio (f_m). Assim, é possível extrair informações quantitativas da inspeção por esse método não destrutivo. Estudos realizados neste sentido apresentam um coeficiente de determinação (R^2) de até 80% que é bastante aceitável (ARRIAGA *et al.*, 2002).

2.7.3 Ultra-Sons

A técnica não destrutiva por meio de ultrassom parte do princípio da emissão de ondas ultrassônicas em uma determinada direção, através de um transdutor emissor e recebido por um transdutor receptor, este método apresenta diversas finalidades, permitindo a determinação de nós, presença de ataque de microrganismos ou insetos, direcionamento das fibras, decomposição, passando pela avaliação de elementos estruturais de madeira em uso, até a estimativa de alguns parâmetros como o módulo de elasticidade (GORNIAK; MATOS, 2000 e BARTOLOMEU, 2001).

Sua utilização pode ser feita por várias formas distintas, sempre utilizando a propagação ultrassônica.

2.7.3.1 Métodos de ecos

De acordo com Arriaga *et al.* (2002), o método de ecos analisa a reflexão das ondas ultrassônicas em descontinuidade ou superfícies da peça, sendo normalmente utilizada apenas uma sonda (emissora e receptora), em elementos heterogênicos apresenta resultados poucos satisfatórios, como por exemplo, na madeira, pois apresentam uma grande dispersão das ondas que atravessam a peça.

2.7.3.2 Método de ressonância

O método da ressonância baseia-se na frequência de vibração da amostra, através da ação de um emissor eletrodinâmico de oscilação sobre a madeira, aplicando este ensaio o resultado é um aumento brusco da amplitude de oscilação depois do teste feito. Em função de sua frequência de ressonância, densidade e dimensões da madeira, é possível obter o módulo de elasticidade da madeira (MEDEIROS, 2013).

2.7.3.3 Método de transmissão

Para realização deste ensaio, são necessárias duas sondas (emissora e receptora) que resultam uma propagação de ondas de frequência mais baixa que nos ensaios do método de ecos, sendo mais adequadas para analisar elementos heterogêneos, pois sua capacidade de tornear os defeitos é maior e com uma menor dispersão de ondas ultrassônicas, tornando-a forma mais utilizada e adequada para inspeção de madeira por teste de ultrassom (ARRIAGA, 2002).

2.7.3.4 Método de imersão

Segundo Machado (2003), o método de imersão pode ser equiparado ao de transmissão e o de ecos, distinguindo-se por um fator, os ensaios são realizados em amostras submersas em água. Uma metodologia utilizada para eliminar algumas possíveis interferências ocasionadas pelo teor de umidade, temperatura, estado de tensão da peça, direção da medição e diferenças anatômicas da peça.

2.7.4 Método das Vibrações Transversal

A avaliação não destrutiva com o emprego de vibração transversal é baseada na relação existente entre a rigidez e a frequência natural da vibração. Essa técnica foi um dos primeiros métodos não destrutivos para investigar a determinação do módulo de elasticidade da madeira. O método se mostra com grande potencial de aplicação, sobretudo pela precisão do modelo matemático e sua aplicação em peças de madeiras com dimensões estruturais (BALLARIN *et al.*, 2002; CARRERA, 2004).

2.7.5 Radiografia - Raio X

Em 1895, surge uma tecnologia conhecida como Raios x, anunciada por seu criador Roentengem. Uma metodologia baseada na transmissão de energia radiográfica através do material ensaiado, fornecendo uma imagem da sua constituição. Uma vez que a densidade do material condiciona a quantidade de radiação que o atravessa, resultando num esquema bidimensional da variação de densidade do elemento atravessado (ANTHONY, 2005). Mas essa metodologia começou a ser utilizada para inspecionar

estruturas de madeira a partir de 1950, permitindo identificar degradações, vazios e elementos diversos, sem perturbar o funcionamento da estrutura (BOTELHO JUNIOR, 2006).

2.7.6 Espectroscopia do Infravermelho Próximo – NIR

Essa metodologia consiste num ensaio em que a madeira é submetida a um feixe de luz que utiliza a espectroscopia do infravermelho próximo obtendo um resultado analítico. Demonstrando resultados da composição química, mecânicas e física da madeira como densidade básica. Também utilizada na identificação de espécies e famílias através do teste em suas folhas (SANTOS *et al.*, 2009; HEIN *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Mas existem poucos registros em relação ao uso da ferramenta NIR na caracterização de madeiras tropicais como da região amazônica, em relação as de florestas plantadas (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

A ferramenta NIR baseia-se na espectroscopia vibracional, com exposição de várias amostras a radiação eletromagnética na faixa de 4.000 a 12.000 cm^{-1} (750 a 2.500 nm), para obtenção dos espectros. Esta energia quando aplicada na madeira fornece informações que são associadas às várias propriedades físicas e mecânicas, possibilitando a combinação de variáveis desta matéria prima (HAUKSOON *et al.*, SCHINLECK *et al.*, 2001).

2.7.7 Tomografia de Impulso

Segundo Cadian *et al.* (2009), a técnica de tomografia de impulso é um processo dinâmico que está internamente relacionado com as propriedades físicas da madeira, detectando de forma não destrutiva a presença de furos, deterioração e rachaduras. A tomografia de impulso, é baseada na cronometragem e cálculo de velocidade de ondas mecânicas pelo lenho, através de sensores fincados no fuste da árvore na seção transversal (PICUS, 2010).

Contudo, existe uma carência de estudos em florestas tropicais, tornando necessária a avaliação técnica para espécies nativas, com a utilização da tomografia de impulso, para obtenção de uma melhor interpretação dos padrões corretos de resposta gerada pelas imagens do tomógrafo (LIMA *et al.*, 2014).

A tomografia de impulso permite a reconstrução de seções transversais da árvore, por meio de energia que translada a madeira. Possibilitando um levantamento de dados com rapidez e praticidade, mostrando a qualidade do interior das árvores (PEREIRA *et al.*, 2007).

O tomógrafo de impulso é composto por sensores que são fixados em seções transversais da árvore. Os sensores recebem pancadas de martelo que produzem ondas mecânicas, cujo tempos de percurso entre os sensores são medidos, e sua velocidade calculada pelo software do equipamento. É gerado, então, um gráfico de velocidade do impulso dentro da árvore que está também altamente correlacionada com a densidade do material (RINNTECH, 2005).

A técnica tem aplicação na indústria madeireira, permitindo a visualização do interior das toras, otimizando a localização e a orientação do corte das tabuas. Em setores públicos, órgãos governamentais e de proteção do meio ambiente utilizam a tomografia no diagnóstico de possíveis doenças ou mecanismos de degradação na árvore (AMODEI *et al.*, 2010).

A sanidade do lenho tem papel fundamental na resposta do tempo de propagação das ondas mecânicas, sendo que podridão, cavidades e fraturas reduzem o tempo de transmissão das ondas (RINNTECH, 2005).

2.8 MÓDULO DE ELASTICIDADE

A propagação de ondas ultrassônicas, estão relacionadas diretamente com as propriedades físicas e mecânicas dos materiais. Sendo que sua propagação, em um sólido, é a função da raiz quadrada da razão do módulo de elasticidade e da massa específica do material (TSOUNIC, 1991).

De acordo com a norma NBR 7190/ 1997, o módulo de elasticidade (MOE) tem como definição um corpo de prova com dimensões pequenas, sem defeitos em sua estrutura, que pode ser determinado pela flexão no trecho linear do diagrama força x deslocamento.

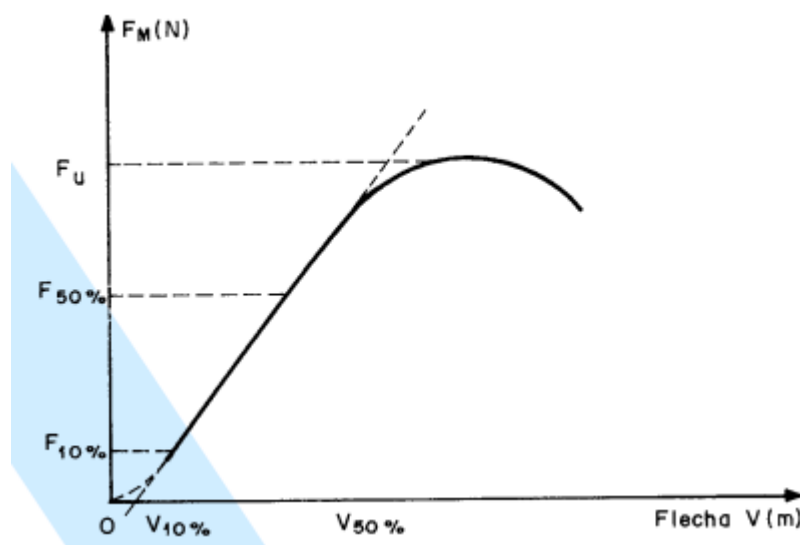


Figura 1. Diagrama força aplicada x flecha na flexão

Fonte: NBR 71900/1997, Anexo B

A determinação do MOE dar-se-á pela inclinação da reta secante à curva força aplicada (F) x flecha no meio do vão (V) (Figura 1) definida pelos pontos ($F_{10\%}$; $V_{10\%}$) e ($F_{50\%}$; $V_{50\%}$), correspondendo a 10% e 50% da força máxima (F_u) determinada no ensaio.

$$E_M = \frac{(F_{50\%} - F_{10\%}) * l^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) * 4 * b * h^3}$$

Sendo:

E_M = Módulo de elasticidade na flexão;

$F_{50\%}$ = Força aplicada equivalente a 50% da força máxima;

$F_{10\%}$ = Força aplicada equivalente a 10% da força máxima;

l = vão livre entre os apoios;

$V_{50\%}$ = deformação no centro do vão com aplicação de 50% da carga máxima;

$V_{10\%}$ = deformação no centro do vão com aplicação de 10% da carga máxima;

b = largura da peça ensaiada;

h = altura da peça ensaiada.

Krestschmann (2010), descreve em seu trabalho três tipos de módulos de elasticidade, indicados como: módulo longitudinal paralelo ao eixo, módulo radial e módulo tangencial relativo aos eixos da madeira. Os resultados obtidos em todos os módulos descritos, variam entre espécies, teor de umidade e com o peso específico de cada madeira (ANDRADE, 2016).

2.8.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOEd)

O módulo de elasticidade dinâmico é obtido pelo teste de pequenas varetas de madeira, submetidas a vibrações de ondas ultra-sonoras. Com o conhecimento da distância entre duas ondas sonoras e do tamanho da peça de madeira, determina-se a velocidade do som (MORESCHI, 2014). E os módulos de elasticidade determinados pelos diferentes métodos, estático (por flexão, compressão ou tração da madeira) ou dinâmico, apresentam variações numéricas causadas por influências específicas das condições dos testes (velocidade, tipo de teste, tipo de corpo-de-prova, tensões sobrepostas, etc.).

2.9 PROPAGAÇÃO DE ONDAS NA MADEIRA

As ondas são denominadas como perturbações que acontecem no espaço ou em meio aos materiais transportando energia. Podendo ser classificadas como, ondas mecânicas, tendo sua propagação em meio aos materiais, como ondas sonoras e ondas sísmicas. E ondas eletromagnéticas, que são resultantes da combinação de campo elétrico e campo magnético, não precisando de meio físico para sua propagação, tendo como exemplo ondas de luz e raio x. (MENDES, 2015; CAVA, 2016).

Mendes (2015), descreve em seu artigo que as ondas podem ser classificadas considerando a direção de vibração, definida como onda transversal. Acontecendo quando as partículas do meio de propagação vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda. Um exemplo desse tipo de onda é a luz. A segunda classificação, são as de ondas longitudinais. Que ocorrem quando as partículas do meio de propagação vibram na mesma direção em que a onda se propaga, como é o caso das ondas sonoras.

De acordo com Ferreira (2005), a energia mecânica aplicada sobre um corpo sólido provoca o espalhamento progressivo dessa energia para a superfície e interior desse corpo, surgindo diversos tipos de ondas, discriminadas segundo suas características, sendo que as primeiras ondas possuem características de meios infinitos, subdivididas em ondas P e ondas S (Figura 2).

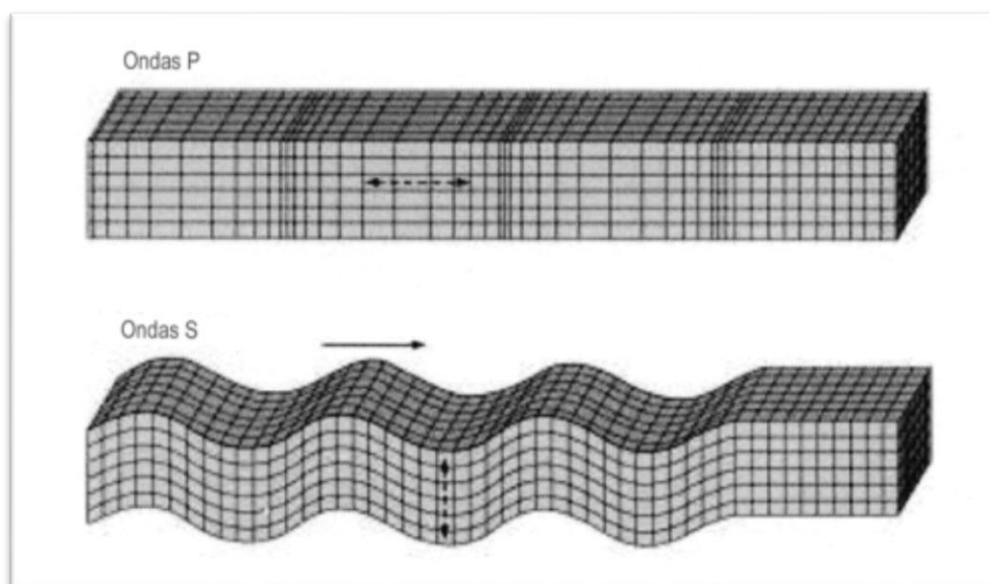


Figura 2. Movimento das partículas associado aos vários tipos de ondas.
Fonte: Bolt (1976)

Segundo Bolt (1976), as ondas P, também designadas de ondas primárias, ondas longitudinais, ondas irrotacionais ou ondas de compressão, são as ondas com maior velocidade de propagação, sendo por isso as primeiras a serem sentidas após aplicação de energia mecânica. Estas ondas imprimem às partículas um movimento colinear com o seu sentido de propagação. As ondas S, também designadas por ondas secundárias, ondas de corte, ondas rotacionais ou ondas equivolúmicas, caracterizam-se por imprimir movimentos exclusivamente num plano perpendicular ao seu sentido de propagação (FERREIRA, 2005).

2.9.1 Características que Influenciam na Propagação de Onda

2.9.1.1 Densidade da Madeira

A densidade da madeira depende de suas propriedades físicas, que em geral são utilizadas para sua classificação, demonstrando que madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras em comparação as madeiras leves, apresentando uma maior variabilidade e são de mais difícil trabalhabilidade (MORESCHI, 2014). E por serem madeiras mais densas resultam numa maior velocidade de propagação de ondas e apresentam uma maior disposição de celulose na parede celular, deixando a madeira mais rígida e caracterizando um menor teor de umidade (AZEVEDO JUNIOR, 2002).

2.9.1.2 Teor de Umidade

O teor de umidade é dado pela relação direta entre o peso da água contida no interior da madeira e o seu peso no estado completamente seco. Também está relacionada com as propriedades de resistência da madeira, com seu poder calorífico, sua suscetibilidade a fungos, entre outras propriedades. E como é uma característica distinta em espécies de madeira o nível de água na amostra pode alterar a propagação da onda, por se colocar como uma possível parede, desacelerando a velocidade de propagação (MORESCHI, 2014).

2.9.1.3 Propriedades da Madeira

Dada à natureza orgânica da madeira existem fatores que justificam a diversidade e heterogeneidade das características físicas e mecânicas de cada espécie madeireira, essas características também determinam a finalidade de seu uso. Dessa forma Botelho Junior (2006) e Ribeiro (2009), destacaram como fatores condicionantes das propriedades da madeira a espécie botânica, localização do elemento de madeira no tronco da árvore, a existência de defeitos, o teor de umidade e a temperatura. Moreschi (2005), classifica as propriedades da madeira como:

Térmicas – sendo as mais importantes a condutividade térmica, o calor específico, a transmissão térmica e o coeficiente de expansão térmica;

Elétricas – sendo as mais importantes a condutividade elétrica, a constante dielétrica e o fator de potência dielétrica;

Acústicas – que consideram conceitos como a frequência de vibração, velocidade e intensidade do som;

Mecânicas – sendo estas classificadas em resistência e de elasticidade.

2.9.1.4 Dimensões da seção transversal e comprimento do corpo-de-prova

Quanto maior o comprimento (L) do corpo-de-prova com uma mesma seção transversal (a) (maior a relação L/a), menor será a resistência à compressão paralela às fibras. Quanto maior a seção transversal do corpo-de-prova com um mesmo comprimento (menor a relação L/a), maior será sua resistência à compressão paralela às fibras (MORESCHI, 2015). Todas estas influências supracitadas mostram que:

independentemente dos testes a serem feitos nos corpos de prova, é indispensável a utilização de normas padronizadas, nunca podemos comparar resultados obtidos por testes diferentes (exceto em casos onde há um relacionamento entre os resultados muito alto), sempre há necessidade de se indicar e descrever detalhadamente as metodologias de processos ou testes empregados na avaliação efetuada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em quatro etapas. A primeira etapa foi a apresentação da proposta do projeto para a empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda. Posteriormente as árvores foram avaliadas por meio de método não destrutivo na área de exploração antes da derrubada realizando análise visual nas árvores para detectar presença de fungos e coleópteros sendo a segunda etapa, a terceira foi feito com o auxílio do tomógrafo. E na quarta finalizando com a avaliação do material lenhoso das árvores avaliadas na segunda etapa, através de registros fotográficos para constatação e validação do equipamento, e posterior tabulação do material.



Figura 3. Imagens da empresa Mil Madeiras Preciosas. (A) Logo da empresa; (B) Visão aérea da indústria; (C) visão da exploração; e (D) visão interna da indústria.

Fonte: preciouswood.com

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A coleta de dados foi realizada na área de manejo florestal da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, localizada no município de Itacoatiara região metropolitana de

Manaus, capital do estado do Amazonas, na estrada AM 010 km 270. O acesso à empresa está a 227 km na rodovia AM 010 entrando na AM 363 km 02. A propriedade está localizada entre os paralelos 2°43' e 3°04' latitudes Sul e longitudes 58°31' e 58°47' Oeste de Greenwich, com uma área total de 127.729 hectares.

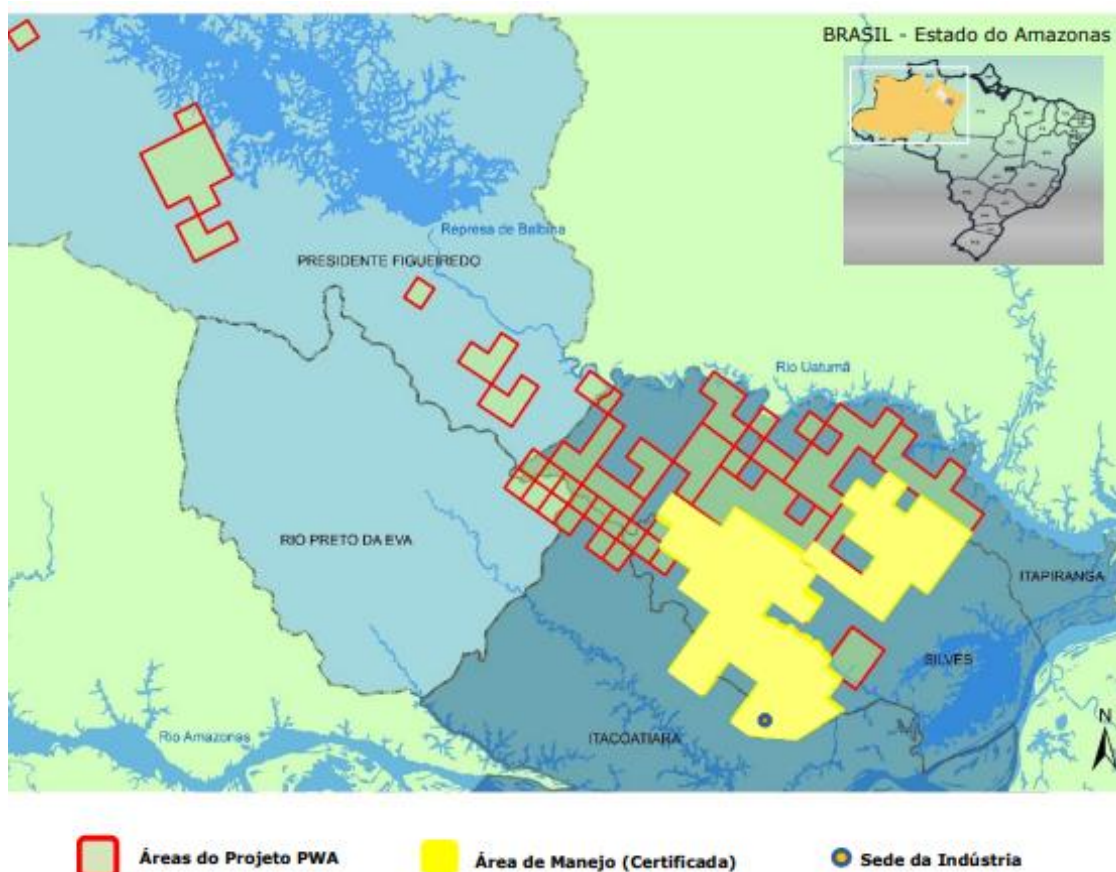


Figura 4. Localização geográfica da área de manejo da empresa Mil Madeiras Preciosas.
Fonte: preciouswood.com

As áreas que integram o projeto Precious Wood Amazon (2016), atualmente somam 506.698,60 hectares, todas no Estado do Amazonas. As fazendas onde se concentram as atividades da empresa, todas em regime de Manejo Florestal certificado (escopo da certificação), somam uma área de 209.269,36 hectares, entre os municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga, todas dentro do estado do Amazonas.

3.2 APRESENTAÇÃO DO PROJETO PARA EMPRESA

Para autorização da execução da proposta primeiramente foi solicitado uma reunião com os dirigentes da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, para apresentação

da proposta e sua importância para o manejo florestal sustentável na Amazônia. Com a aprovação do conselho foram tomados às medidas cabíveis para o início da coleta de dados como, preparativos com logística e equipamentos para entrada na área de coleta de dados.

3.3 SELEÇÃO DA ÁREA E ESPÉCIES PARA COLETA DE DADOS

Por se tratar de uma indústria madeireira, a seleção da área de exploração foi em conformidade com um dos planos de manejo da empresa, pois a coleta de dados e das amostras foram realizadas em período de exploração, seguindo o cronograma da empresa, com data estabelecida pelo grupo de colaboradores, para não gerar contratempo com a programação da atividade de exploração madeireira já prevista pela empresa.

3.4 AVALIAÇÃO DAS ÁRVORES

Inicialmente foi mensurado o DAP (diâmetro a altura do peito) do indivíduo selecionado, com fita métrica tomando a circunferência à altura do peito (CAP), para posteriormente definir o espaçamento entre os sensores, para alocação no entorno da árvore. E depois foi realizada a primeira análise visual do fuste, afim de verificar a presença ou não de fungos, coleópteros, etc. (figura 5).



Figura 5. Coleta de dados.

(A) Tomada de DAP; (B) Análise visual do tronco; (C) Confirmação de irregularidades no tronco.

Os dados coletados foram avaliados pelo método não destrutivo tomografia de impulso com o tomógrafo Sonic Tomograph PICUS 2000 juntamente com seus acessórios como, por exemplo, CALIPER. Todas as árvores selecionadas estavam no plano de corte da exploração.

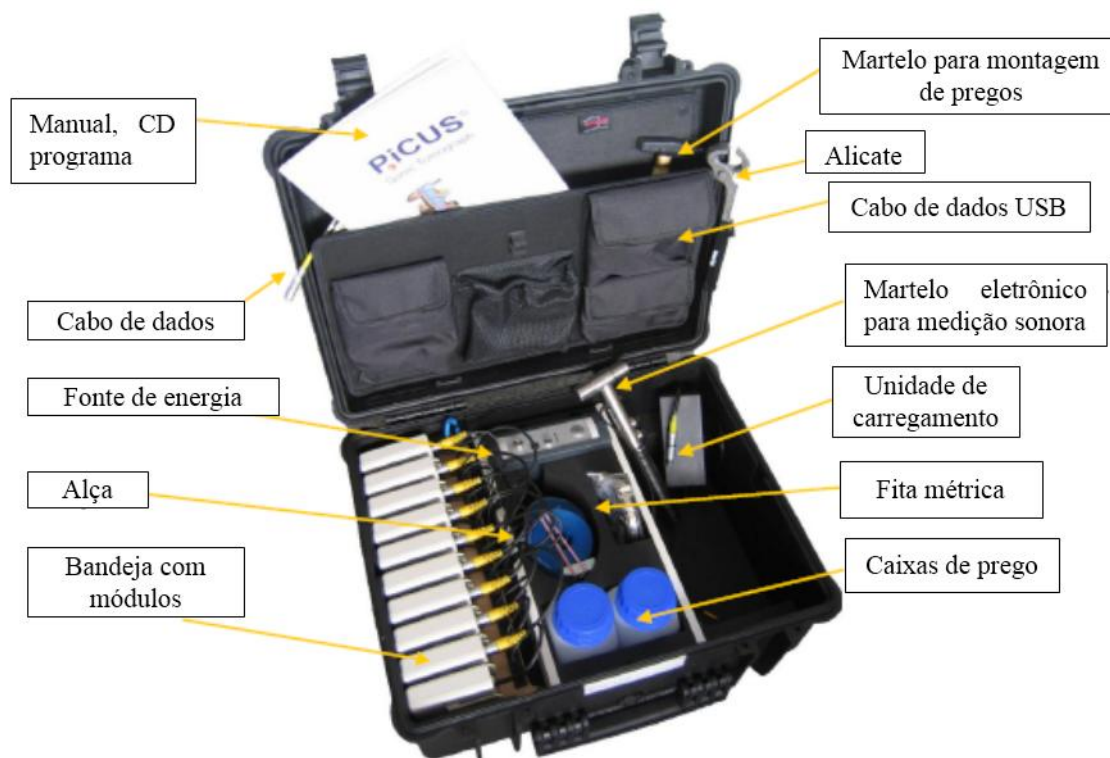


Figura 6. Maleta de acessório e componentes do tomógrafo sônico PICUS

O equipamento CALIPER foi utilizado para se obter o desenho geométrico do fuste da árvore. Após esta etapa, foi utilizado o tomógrafo de impulso, que possui um conjunto de 8 sensores. Os sensores foram colocados em pontos estratégicos nas árvores, com auxílio de uma fita e pregos fincados nos troncos perfurando a casca, para se alocar os *plugs* (receptores) (Figura 6).

Os dados obtidos com o tomógrafo e o CALIPER foram armazenados e processados em um notebook com os respectivos softwares. Para avaliação do lenho das árvores foi realizada a segunda análise visual, através da retirada de fotos na base das árvores logo após a sua exploração. Essa segunda análise visual foi efetuada para se realizar um comparativo entre o resultado obtido no tomógrafo e o retirado nas

fotografias, através da conversão dos dados do tomógrafo em arquivos JPEG, o mesmo das fotografias (Figura 7).

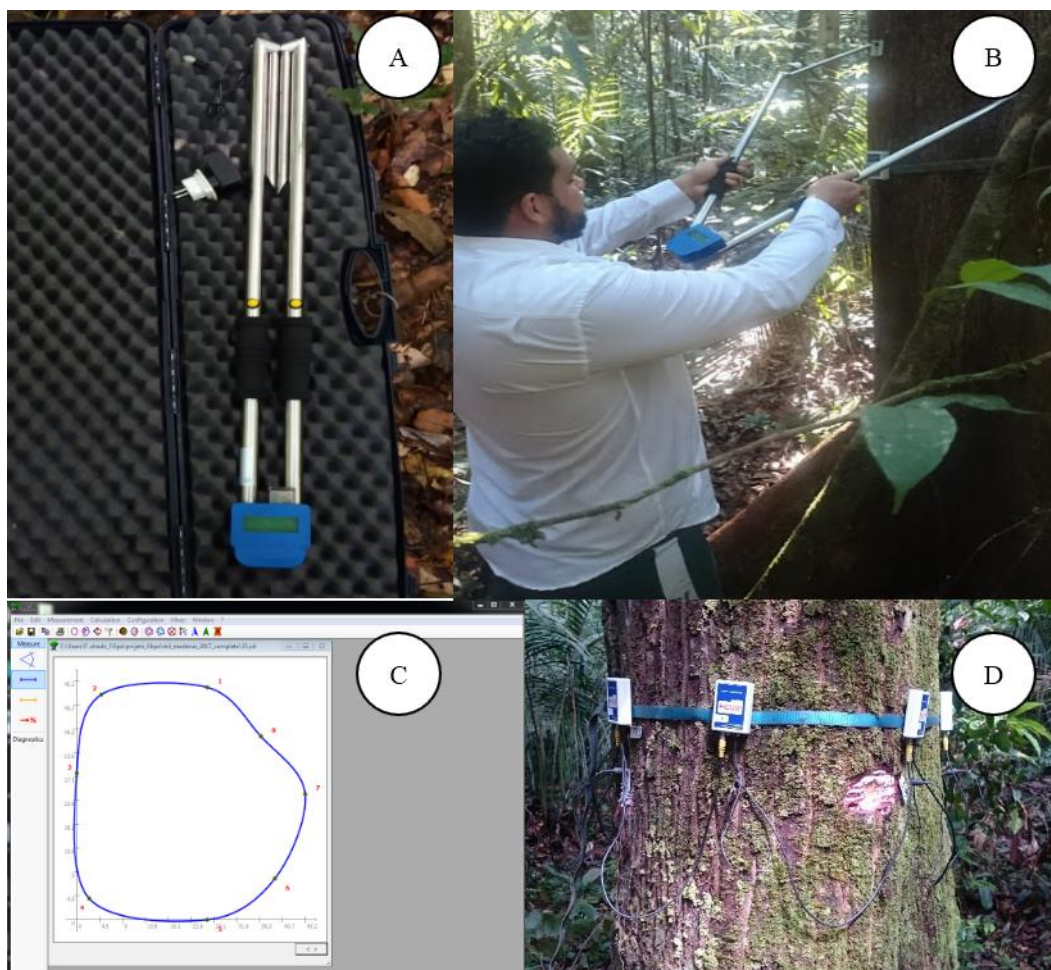


Figura 7. Tomada de medidas para formação da geometria da árvore.
(A) CALIPER; (B) Manuseio do CALIPER; (C) Layout do software na tomada da geometria;
(D) Sensores para captação dos dados.

Depois da mensuração do DAP e análise visual do fuste, faz-se a colocação dos pregos no entorno do fuste para posicionamento dos receptores e mensuração da geometria da árvore. Posteriormente executa-se uma batida, com o martelo sonoro, no primeiro sensor posicionada, para iniciar a propagação do impulso e recebimento da velocidade de propagação. O notebook com o *software* recebe os dados e os converte em imagens para posteriormente análise.

Nessa análise foram coletadas todas as espécies encontradas dentro da parcela para exploração, mas em se tratando de repetições de espécies não foi possível colocar no estudo todas as espécies coletadas, por não atingiram um número de repetições

adequados, tornando possível levar em consideração somente a *Manilkara huberi* (Ducke) (massaranduba) e *Ocotea* sp. (louro preto) (Quadro 1).

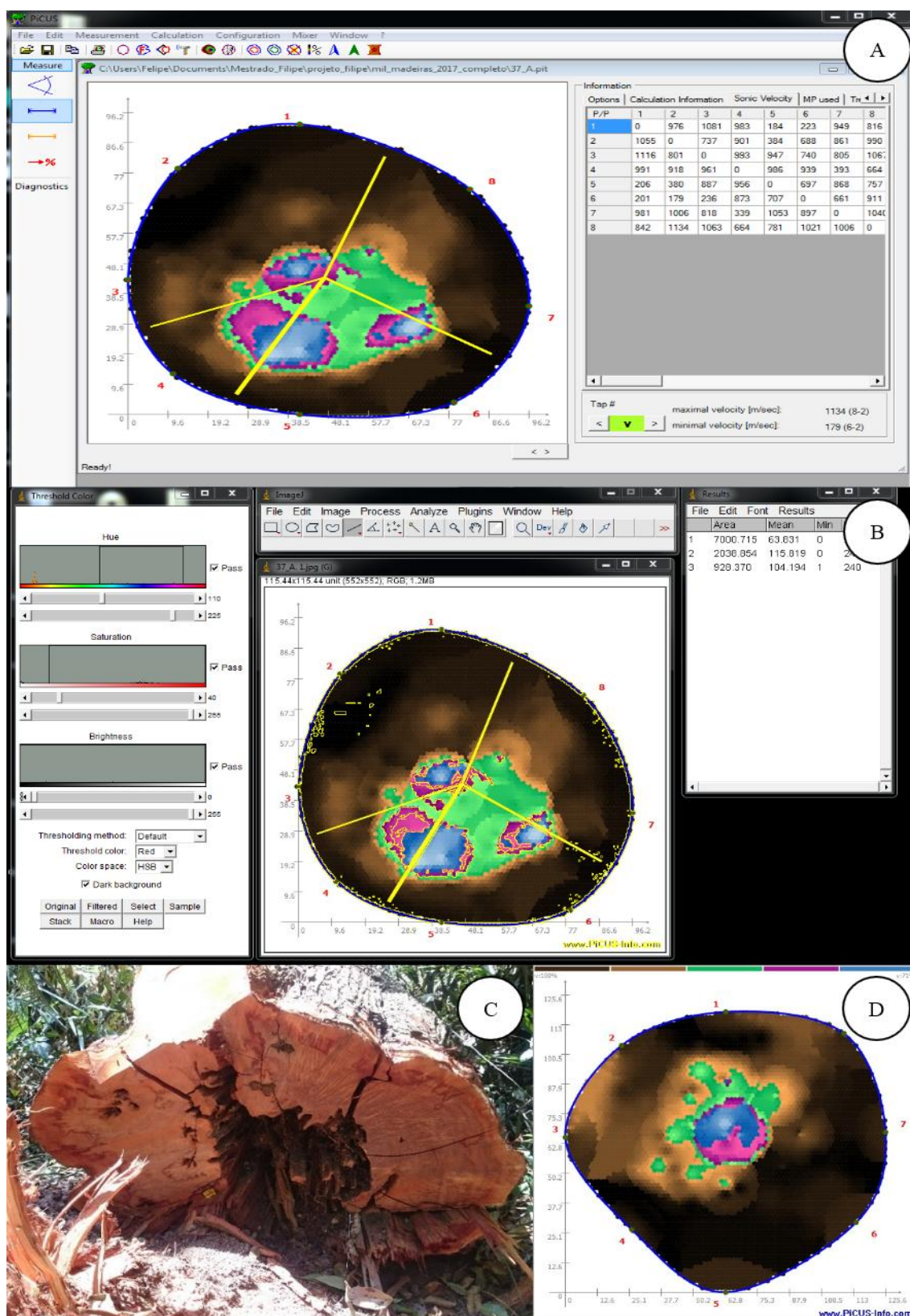


Figura 8. Layout do software de armazenamento e tabulação dos dados.

(A) Layout de ferramentas do tomógrafo PICUS; (B) Layout do software do programa de photoshop Image J; (C) Imagem gerada com uma máquina fotográfica; (D) Imagem gerada pelo software.

O software PICUSQ72EXPT, foi utilizado para visualizar e manusear os resultados obtidos com o tomógrafo de impulso, as imagens obtidas pela tomografia são convertidas em *pixels* de diferentes colorações mostrando um resultado visual semelhante a uma fotografia, juntamente com a matriz de velocidade que mostra o resultado da velocidade de propagação sonora no interior do lenho da árvore. A (Figura 8) mostra também o layout do programa de photoshop IMAGEM J respectivamente com os resultados obtidos com a formatação da imagem, os resultados de pixels são calculados das áreas de colorações e são convertidos em centímetros quadrados (cm²).

Após a coleta de dados por meio da tomografia de impulso, houve um retorno no campo para registros fotográficos da parte interna das árvores mensuradas para validação do equipamento, com a constatação de lesões no lenho da árvore.

3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES

A empresa disponibilizou seu banco de dados com as espécies identificadas por seus colaboradores para realização de um comparativo com a identificação feita pelos técnicos do INPA. Amostras das árvores coletadas, foram retirados discos do tronco e dos discos foram retiradas uma cunha e levadas para identificação no Laboratório de Identificação da Madeira – LIM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (Figura 9).

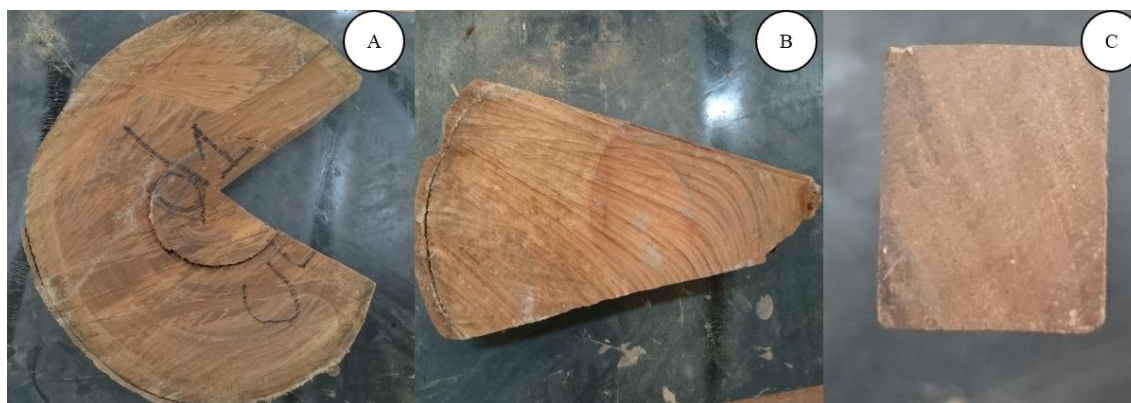


Figura 9. A identificação das amostras foi feita pelo pesquisador Jorge Alves de Freitas do INPA.

(A) Disco retirado da árvore abatida. (B) Cunha retirada do disco da árvore. (C) Corpo de prova retirado da cunha cerne e alburno.

3.6 DETERMINAÇÃO DO VOLUME

Para o cálculo do volume dos indivíduos, utilizou-se o mesmo método que a empresa utiliza em seus inventários o método geométrico. A partir do diâmetro a altura do peito e estimando-se a altura o mais próximo do real, multiplica-se esses valores para se obter o volume útil estimado do material lenhoso.

$$V = \frac{\pi \cdot h}{40000} \cdot d^2$$

Onde:

V= volume da árvore (m³);

π = perímetro da circunferência;

h= altura da árvore (m);

d²= diâmetro a altura do peito (cm²).

Após a exploração é feita a cubagem rigorosa chegando-se mais próximo do volume real de madeira. O método utilizado para cubagem foi o método de Smalian (Equação 1).

$$V_i = \frac{(A_i + a_i)}{2} * L_i \quad (1)$$

Onde:

V_i= volume individual de um seguimento da árvore i (m³);

A_i= área da face maior do torete da árvore i (m²);

a_i= área da face menor do torete da árvore i (m²);

L_i= comprimento de cada torete da árvore i (segmento) (m).

Para se obter o diâmetro do oco após o abatimento, foi utilizada uma fita métrica para se medir o diâmetro do oco nas extremidades, na base e no final da tora.

3.7 ANÁLISE DE DADOS

A análise visual para a validação do equipamento PICUS, deu-se pelos resultados obtidos no tomógrafo através da velocidade de propagação sonora que foram convertidos em imagens e comparados com os resultados fotográficos do lenho das árvores mensuradas e abatidas (Figuras 8A e 8B).

A comparação dos dados do tomógrafo com as fotografias, foi possível com auxílio do *software* de photoshop Imagem J, onde foi possível obter os valores de *pixel* das fotografias dos lenhos, para avaliar características, entre si.

Para análise dos dados foi utilizado o programa estatístico R, com utilização da estatística descritiva, onde foram calculados, média, desvio padrão, coeficiente de variação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE VISUAL DAS ÁRVORES

Na análise visual constatou-se que as árvores selecionadas para o corte possuíam fuste de qualidade ótima visual, sendo a maioria retilínea e propícia para o abatimento. No entanto, era visível na parte exterior o ataque de alguns patógenos, sendo os mais frequentes cupins, fungos e brocas que não se pode identificar na coleta.

Com a análise visual, foi feita também a identificação de possíveis defeitos na casca da árvore, como rachaduras e sua profundidade no lenho, mas observou-se poucas espécies com tal característica.

As espécies na área da unidade de campo F16 apresentam praticamente as mesmas características em relação a qualidade do fuste, no caso sendo retilíneo, pois se tratando de uma área de exploração as amostras coletadas vieram da seleção de árvores para exploração da empresa.

Em algumas espécies foram detectados a presença de cipós, finos ou grossos, e nas amostras de *M. huberi* possuem resinas com a maior predominância na cor branca e poucos indivíduos no levantamento total possuíam algum tipo de dano externo.

Os poucos que possuíam algum dano externo eram, rachaduras de poucas proporções, em relação ao tamanho da árvore, mas que não influenciavam negativamente a ponto de ser retirado da exploração. Sendo que a maioria das amostras apresentaram algum tipo de ataque, como fungos, cupins, brocas ou qualquer tipo de praga.

Os mais encontrados na análise externa do fuste são cupins e fungos, não sendo possível uma averiguação de danos internos, como perfuração do cerne e alburno ou auxiliando a formação de ocos.

Quadro 1. Características das árvores selecionadas para exploração, área da unidade de produção: FLA01 Bloco:328/9680/ Unidade de Campo: F16 e F03

Árvore	Numeração Inventário	DAP	Espécie	Análise visual do fuste				OCO
				Fuste	Cipós	Cupins	Resina	
1	398	79,6	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke)	Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Presente
2	300	65,9		Retilíneo	Presente	Fungos	Branca	Ausente
3	288	61,8		Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Ausente
4	114	58,9		Retilíneo	Presente	Ausente	Branca	Ausente
5	112	52,5		Retilíneo	Presente	Ausente	Branca	Ausente
6	37	57		Retilíneo	Presente	Ausente	Branca	Ausente
7	33	73,8		Inclinado	Ausente	Presente	Branca	Presente
8	28	60,5		Retilíneo	Ausente	Ausente	Branca	Ausente
9	19	64		Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Presente
10	160	115,2		Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Presente
11	39	60,5		Retilíneo	Ausente	Presente	Branca	Presente
12	305	60,5		Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Ausente
13	306	104,4		Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Presente
14	116	75,4		Retilíneo	Ausente	Presente	Branca	Ausente
15	215	70		Retilíneo	Presente	Presente	Branca	Ausente
16	308	82,8		Retilíneo	Presente	Ausente	Branca	Ausente
17	113	98,4		Inclinado	Presente	Presente	Branca	Ausente
18	108	61,1		Retilíneo	Presente	Ausente	Branca	Ausente
19	330	72,6		Retilíneo	Ausente	Parasitas	Branca	Presente
20	294	119,4		Retilíneo	Presente	Fungos	Branca	Presente
21	34	99,9		Retilíneo	Presente	Ausente	Branca	Ausente
22	190	103,5		Tortuoso	Presente	Ausente	Branca	Ausente
23	395	60,5	<i>Ocotea sp</i> Louro Preto	Retilíneo	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
24	333	61,8		Retilíneo	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
25	304	57,6		Inclinado	Presente	Presente	Ausente	Ausente
26	296	56		Retilíneo	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
27	192	55,7		Retilíneo	Presente	Presente	Ausente	Ausente
28	159	51,6		Tortuoso	Ausente	Presente	Ausente	Presente
29	38	64,3		Tortuoso	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
30	115	97,1		Retilíneo	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
31	29	55,4		Tortuoso	Presente	Presente	Ausente	Ausente
32	102	65,9		Inclinado	Presente	Presente	Ausente	Presente
33	285	64		Retilíneo	Ausente	Ausente	Ausente	Presente
34	283	70		Inclinado	Presente	Ausente	Ausente	Ausente

As árvores de *M. huberi* apresentaram uma maior incidência na repetição de indivíduos na área de coleta F16, 15 exemplares. Dentre elas 8 estavam com presença e ataque de cupins em seu fuste; 12 tinham cipós finos ou grossos, o que pode acarretar num enfraquecimento de sua resistência ocasionando uma maior suscetibilidade ao ataque de patógenos.

As árvores de *M. huberi* possuíam exsudato que é uma característica dendrológica da família ao qual pertence, que foi descrita no trabalho publicado pela Embrapa (2004). Que também descreveu o seu tronco sendo retilíneo e tem forma cilíndrica, com sapopemas que podem chegar até 1,5 m. Seu ritidoma é de cor marrom-acinzentado a escuro avermelhado com fissuras profundas, apresentando placas alongadas que não desatrelam, todas essas características foram também encontradas no presente trabalho.

Louro preto, teve quatro indivíduos na área F16 sendo que, 2 árvores apresentam cipós grossos e finos, um indivíduo com presença e ataque de cupins em sua base e um indivíduo com presença de fungos em seu fuste. Dentre elas, 2 árvores são retilíneas, uma inclinada e um tortuoso.

Na área da unidade de campo F03 obteve-se repetições do louro preto e da massaranduba, com igual quantidade de indivíduos. As árvores tinham presença de fungos e cupins ou alguma anomalia que apareça na área externa do fuste se repetiu nessas áreas.

Nesta área foram mensuradas 9 árvores de massaranduba, onde 7 delas estavam com presença e ataque de cupins, 3 continham cipós finos ou grossos, 2 com fendas em seu fuste, uma com fungos e uma com parasitas não identificado, e a presença de exsudato viscoso na coloração branca.

Na área F03, da espécie louro preto, foram mensuradas 9 indivíduos, 4 tinham presença e ataque de cupins, 4 tinham presença de cipós finos ou grossos e uma com fenda na base de seu fuste, mas nenhuma árvore com presença de fungos em seu entorno.

Dentro da família Sapotaceae está a *Manilkara huberi* (Ducke), conhecida como massaranduba que é classificada por Ferraz *et al.*, (2004) como uma espécie oportunista-clímax. No campo de coleta foi possível observar que os espécimes de massaranduba eram de grande porte medindo de 40-50 metros de altura que é corroborado por Embrapa (2004) e segundo os autores do artigo publicado pela instituição a massaranduba tem a maior distribuição dentre as espécies do gênero, no bioma Amazônico.

A *M. huberi*, é a espécie mais valiosa do gênero, com sua densidade variando de 0,9 e 1,04 g/cm³ resultando em uma madeira muito resistente e dura, Ferraz *et al.* (2004), têm importante uso comercial sendo utilizada na construção civil e naval, por ter uma madeira resistente e durável, tanto na utilização externa com em partes internas.

Segundo Rodrigues *et al.* (2016) “as características de sua macroscópica são: poros vistos a olho nu, com porosidade difusa, arranjo radial, solitários e múltiplos predominantes com parênquimas axial visíveis sem auxílio de lentes e em faixas do tipo linha, as camadas de crescimento são distintas e individualizadas por zonas fibrosas tangências mais escuras, com raios invisíveis mesmo sob lente, e em seção tangencial, sem estratificação”.



Figura 10. As imagens são da espécie *Manilkara huberi* (Ducke)
(A) Fuste. (B) Presença de exsudado.

Dentro da família das Lauraceae está a *Ocotea neesiana* (louro preto), que possuem características gerais como, cerne marrom-amarelado ou marrom muito pálido, distinto do alburno marrom mais claro, amarelo-oliva ou amarelo-pálido. Anéis de crescimento pouco distintos, grã direta ou revessa, textura média, brilho acentuado ou ausente, conforme a espécie, e cheiro agradável (SOUSA *et al.*, 2002).

Densidade: madeira de densidade média, com densidade a 12% de umidade em torno de 700 kg/m^3 e densidade verde em torno de 1000 kg/m^3 .

A espécie encontrada na área, *Ocotea* sp., pode ser encontrada em todo o território brasileiro, com maior variedade de espécies na região amazônica, onde as espécies desse gênero são conhecidas por “louros” e na região centro sul por “canelas”.

A madeira de louro preto, por apresentar propriedades mecânicas médias, ser de cor agradável e de boa trabalhabilidade, é indicada para a fabricação de móveis de alta classe e folhas faqueadas decorativas. Em construção civil pode ser usada em rodapés, treliças, tábuas, venezianas, tábuas para assoalhos etc., podendo ser usada, também, em construção naval e cutelaria (IPT, 1989).



Figura 11. Imagens da espécie *Ocotea* sp. (louro preto).
(A) Fuste. (B) Ausência de exsudado.

4.2 ANÁLISE POR TOMOGRAFIA DE IMPULSO

Para a análise por tomografia foi levado em consideração a geometria da árvore. Foram retirados ou contornados os defeitos na superfície da madeira e sapopemas, para que no resultado não houvesse interferência, destes, na propagação do som no lenho da árvore. Com o resultado da imagem gerada pela tomografia, foi possível analisar a diferenciação da coloração de pixels, em cada árvore, que foram, posteriormente, comparados com uma fotografia real retirado posteriormente ao corte.

Na Figura 12 temos que em, A1 observa-se que o contorno geométrico representou bem a forma da árvore. Na A2 mostra grande variação na coloração dos pixels acusando que a propagação sonora teve bastante decaimento na velocidade em partes variadas no lenho, tanto nas extremidades quanto na parte mais central. Na A3 vemos que na imagem do toco não apresentou nenhuma deformidade quanto a presença de ocos, fungos ou trincamentos. Na A4 podemos ver que o centro da imagem apresenta um pequeno ponto escuro e mais uma parte de trincada, indicando uma lesão no centro do lenho, podendo aumentar na parte mais interna não mostrado na Figura A4 e sendo a possível responsável pela diferença de coloração de pixels na Figura A2.

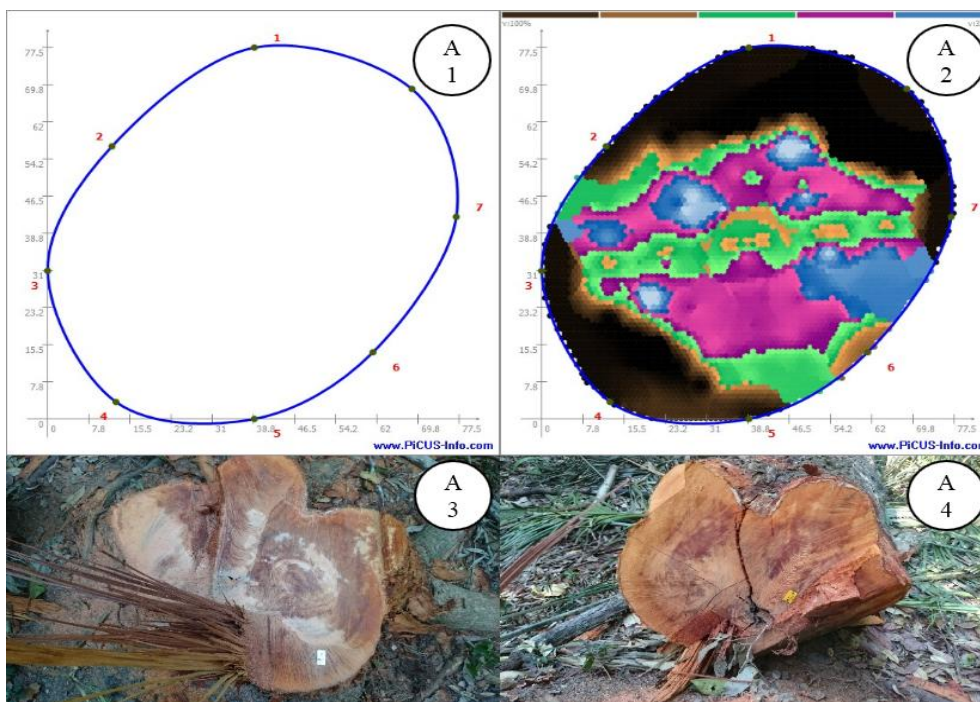


Figura 12. Árvore n° 01 da espécie massaranduba.

(A1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (A2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (A3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (A4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 13, vê-se que em B1 o contorno representou de forma precisa a geometria da árvore. Na B2 vemos uma coloração azul acentuada por grande parte do interior do lenho significando de acordo com Picus (2010), uma grande redução da velocidade na propagação do som. Já na B3 o toco não mostra nenhuma deformidade aparente no lenho, mas passando para B4 se observa partes trincadas, mostrando possivelmente falhas no interior do lenho que de acordo com Gilbert (2016), pode ser o responsável pela redução acentuada na velocidade de propagação do som.

Já na Figura 14, em C1 vê-se que o contorno geométrico teve que ser ajustado retirando umas deformidades aparentes na base da árvore, mas podemos dizer que a geometria corresponde ao real da árvore, pois não acarretou mudança nenhuma na análise por tomografia. Em C2 a imagem possui predominância de coloração marrom e uma parte central com diferenciação, mas ainda mostrando uma homogeneidade acentuada da imagem. Na C3 pode-se observar que o centro do tronco na base mostra uma parte deteriorada, com o seu cerne aparentemente comprometido e passando para a C4 vemos uma acentuação maior de deterioração. Ao se comparar com a C2 a coloração diferenciada é menor que a imagem C4, isso pode ser relacionado ao fato de que o oco na parte mensurada pelo tomógrafo seja menor que na sua base onde ocorreu o corte.

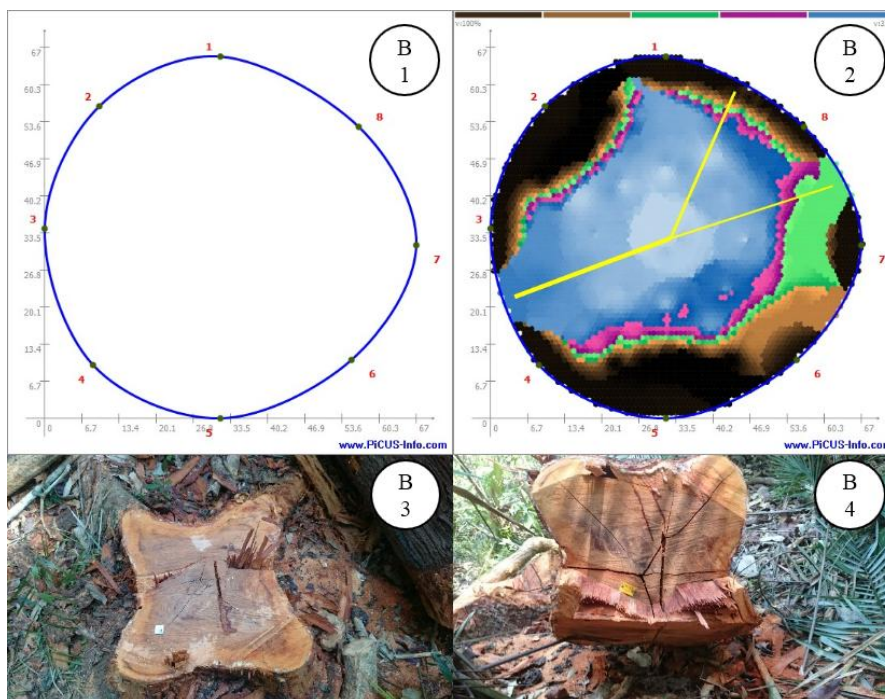


Figura 13. Árvore n° 02 da espécie massaranduba.

(B1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (B2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (B3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (B4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

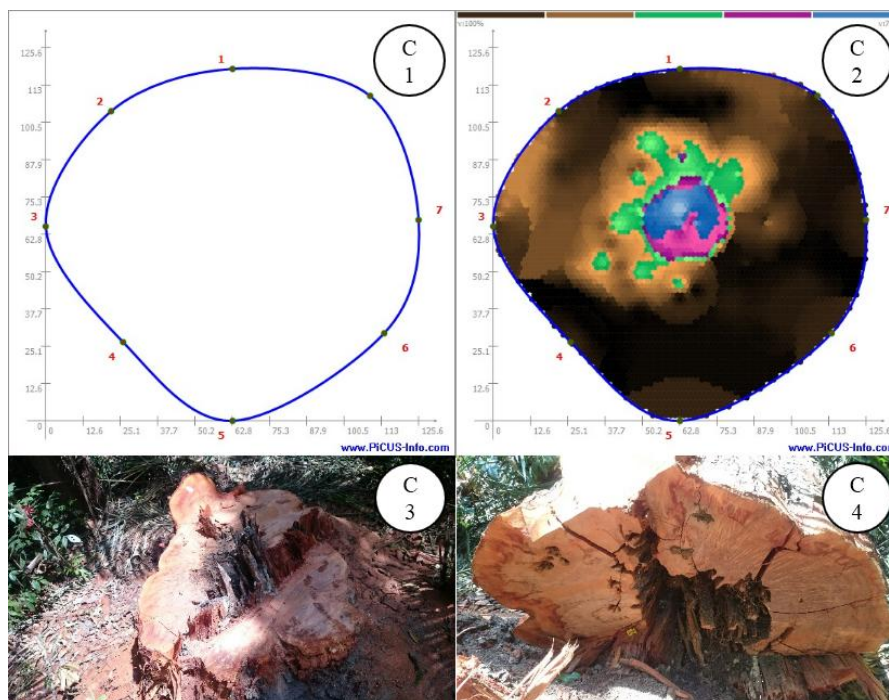


Figura 14. Árvore n° 03 da espécie massaranduba.

(C1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (C2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (C3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (C4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 15 em D1, têm-se que a geometria corresponde ao formato da árvore. Na D2 a coloração da seção transversal puxa para tonalidade de marrom, uma parte escura e outra mais clara, mostrando uma homogeneidade acentuada na coloração. Em D3 e D4 não é possível observar qualquer degradação ou alteração no lenho mostrado, podendo ser dito que a velocidade de propagação nessa amostra não teve muita variação.

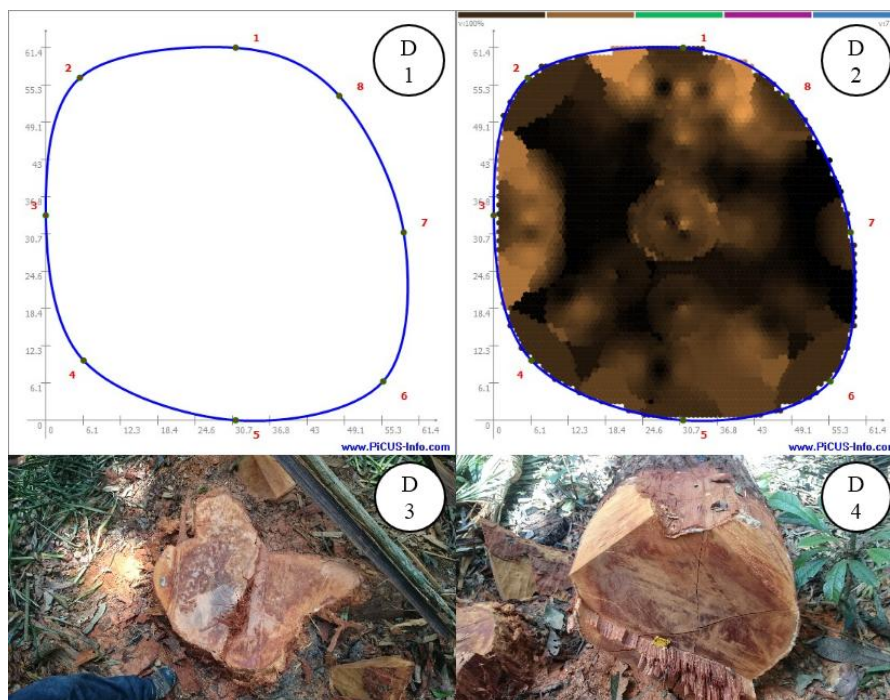


Figura 15. Árvore nº 03 da espécie massaranduba.

(D1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (D2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (D3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (D4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 16, em E1 pode-se ver que a geometria está correspondendo a árvore. Na E2 pode-se verificar uma heterogeneidade na coloração, correspondendo a uma variação na propagação de velocidade sonora no lenho da amostra. Na E3 não há nada visível que possa correlacionar a variação de coloração na imagem do tomógrafo e na E4 também não se nota uma possível razão para diferenciação de coloração.

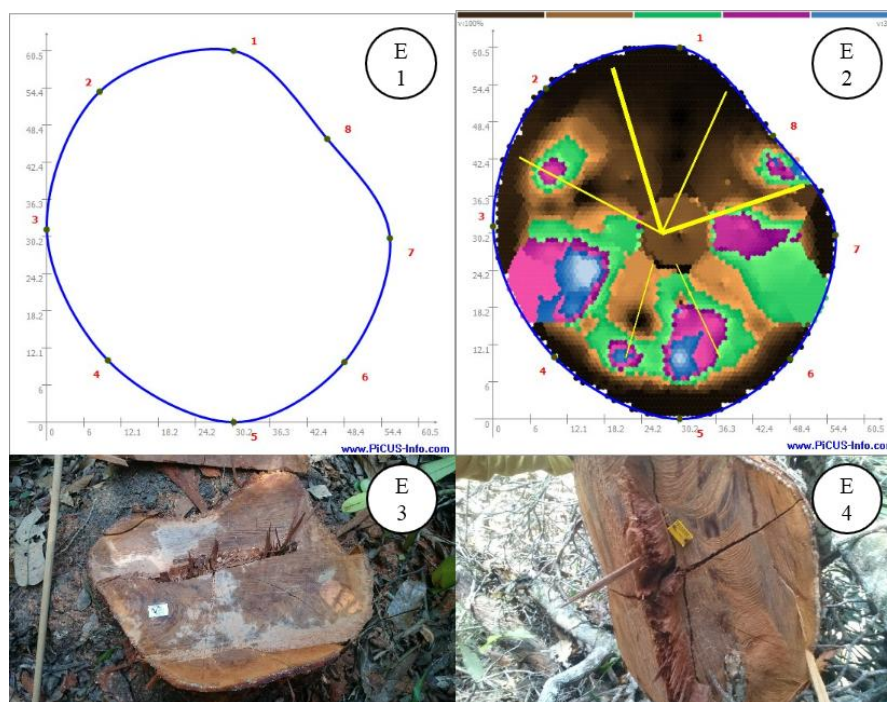


Figura 16. Árvore n° 04 da espécie massaranduba.

(E1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (E2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (E3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (E4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 17, observa-se que em F1, a geometria corresponde a imagem, quanto a coloração da F2 se observa homogeneidade acentuada na tonalidade marrom mudando um pouco na extremidade com a tonalidade verde, que segundo Gilbert (2016), uma baixa redução de velocidade na propagação sonora. Na F3 e F4 não se nota nenhuma deterioração no lenho na sua base e nem no tronco caído.

Na Figura 18, tem-se em G1 que a geometria corresponde ao da árvore. Em G2 há um pouco de variação na coloração, correspondendo a redução na velocidade de propagação, em quatro pontos do lenho. Na C3 e C4 não apresenta nenhuma característica que mostre uma possível de deterioração.

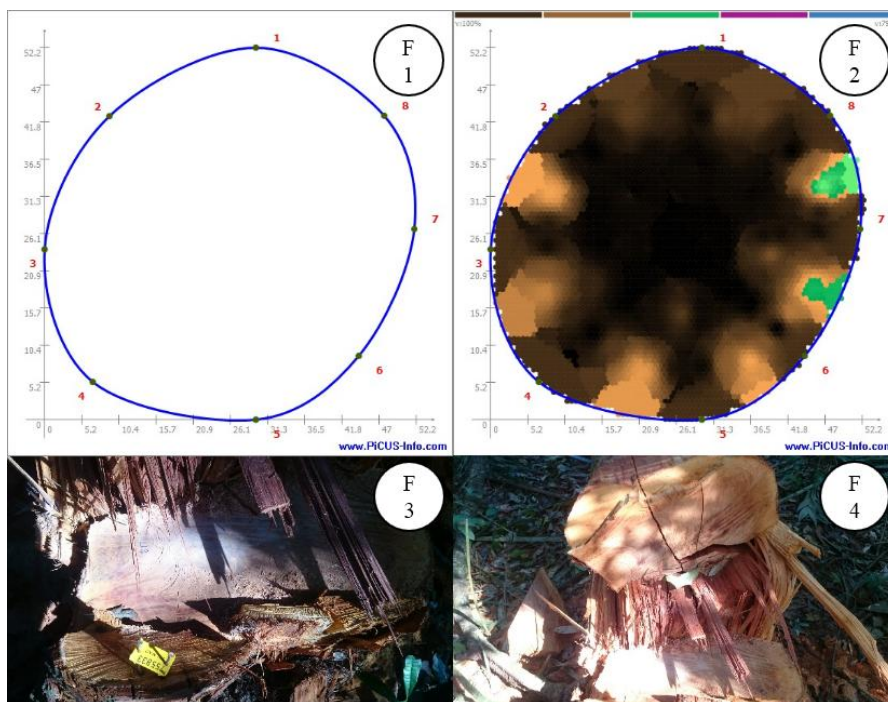


Figura 17. Árvore n° 05 da espécie massaranduba.

(F1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (F2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (F3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (F4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

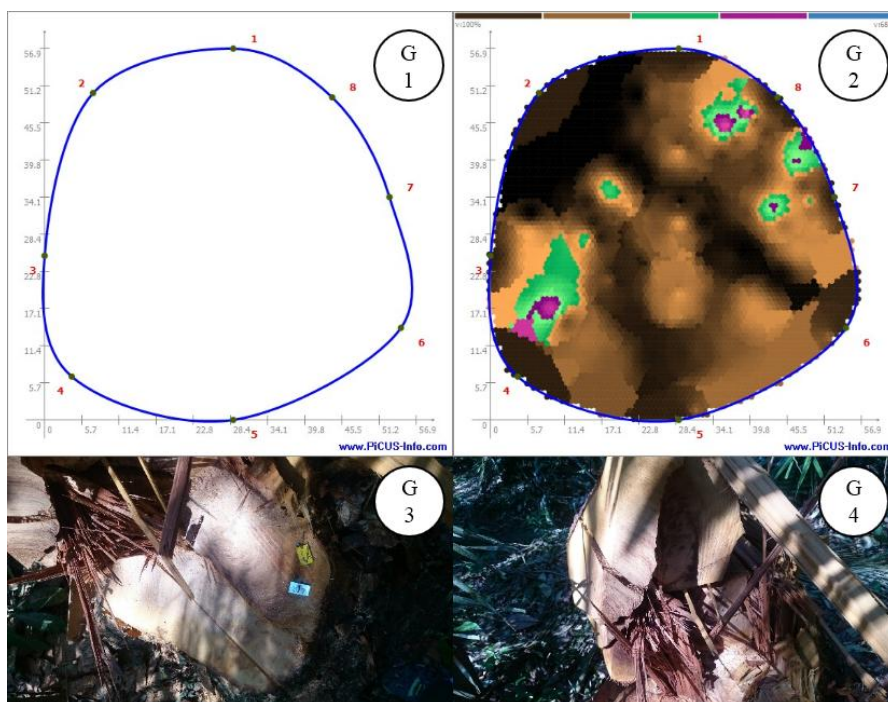


Figura 18. Árvore n° 06 da espécie massaranduba.

(G1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (G2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (G3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (G4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 19, a Figura H1, corresponde ao lenho da árvore. Em H2 uma grande parte da imagem mostra uma coloração na tonalidade azul que corresponde a área com

redução na propagação do som. H3 e H4 apresentam uma deterioração no centro do lenho que é responsável pela redução na velocidade de propagação sonora no interior do lenho da árvore.

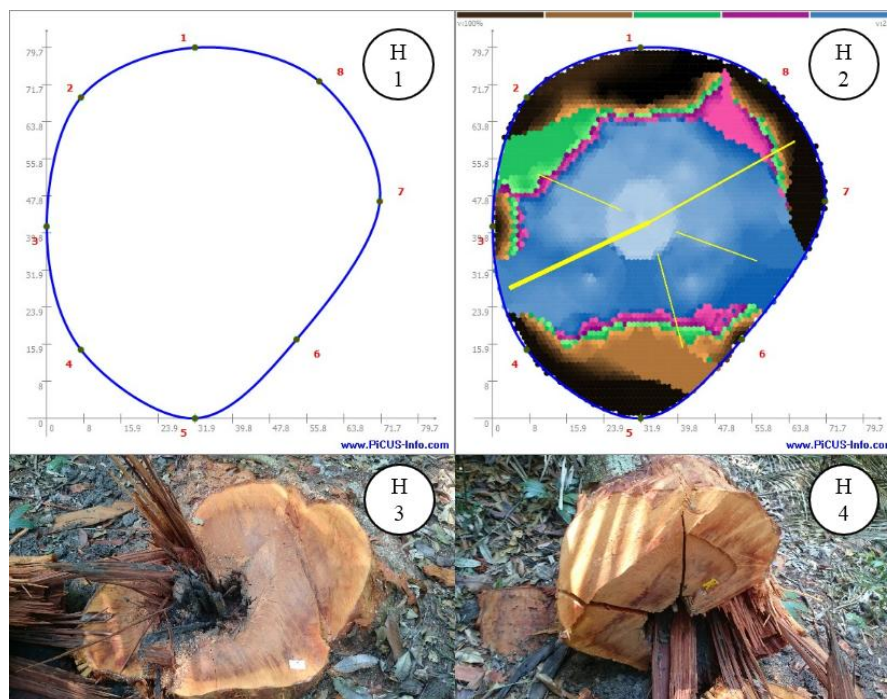


Figura 19. Árvore nº 07 da espécie massaranduba.

(H1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (H2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (H3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (H4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 20, pode-se ver que em I1 a geometria corresponde ao da árvore. Na I2 apresenta uma pequena parte de coloração na tonalidade de verde e roxo e sua maioria na cor marrom, mostrando que um pequeno ponto no centro teve uma redução na propagação sonora. Em I3 e I4 pode se observar uma pequena deterioração no centro do lenho, mostrando o ponto que resultou na redução da velocidade da propagação do som.

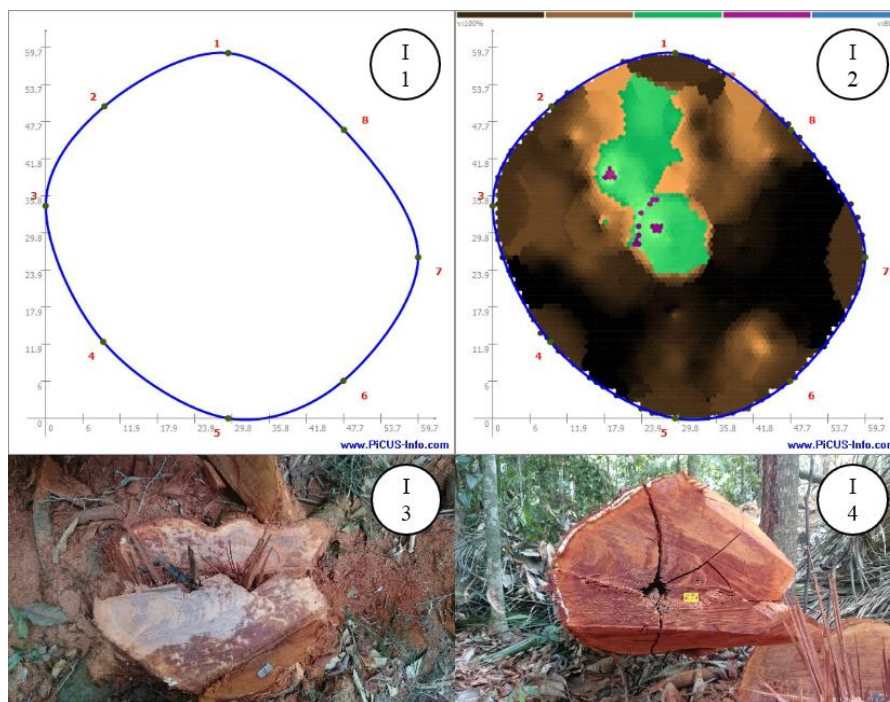


Figura 20. Árvore n° 08 da espécie massaranduba.

(I1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (I2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (I3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (I4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 21, em J1 a geometria corresponde ao da árvore. J2 se observa uma grande coloração na tonalidade azul no interior do lenho, apontando que a maior parte do som teve uma redução drástica na sua propagação. Na J3 e J4, mostra uma parte no centro do lenho deteriorada, uma parte que corresponde ao cerne da árvore, sendo a principal responsável na redução da velocidade de propagação do som e dando interferência direta no resultado obtido pela tomografia.

Na Figura 22 - I1, a geometria corresponde ao da árvore, I2 mostra uma diferenciação na coloração no centro e um ponto na extremidade, mas pela tonalidade Azul e pode-se dizer que a árvore está com um fuste com degradação avançada. Na I3 e I4 há características que apresentando degradação, mostrando uma árvore com baixa fitossanidade corroborado pela imagem do tomógrafo.

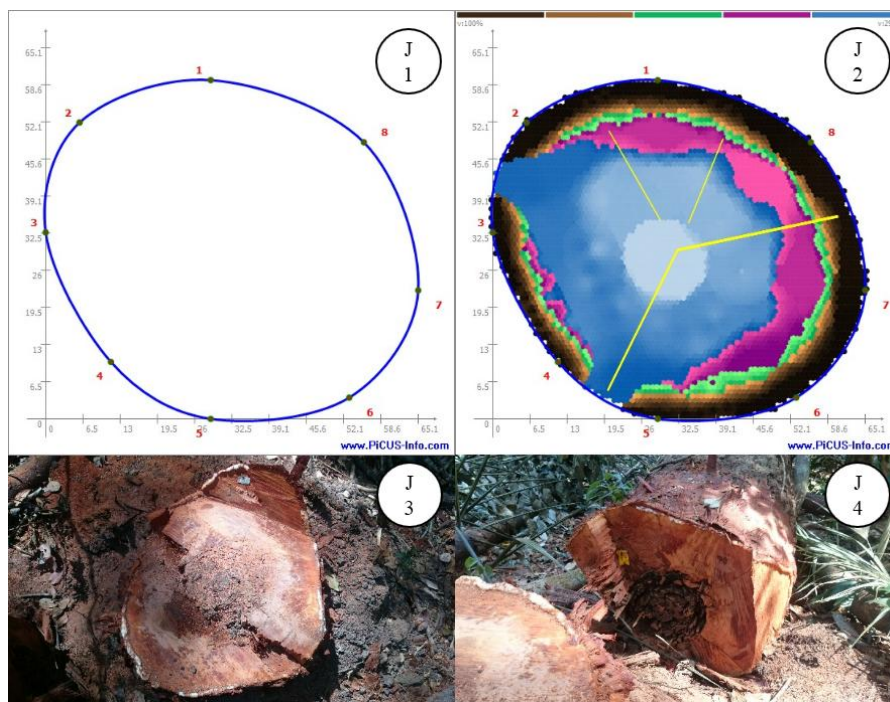


Figura 21. Árvore n° 09 da espécie massaranduba.

(J1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (J2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (J3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (J4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Segundo Uliana (2010), ao se considerar utilização de tomografia de impulso para tomada de decisão, do corte de árvore de massaranduba, este apresentou um erro de 17% e com base nesse levantamento, seriam selecionadas árvores com madeiras deterioradas o que implicaria em corte, transporte e desdobro de resíduos. A autora afirma ainda que o aparelho não foi capaz de identificar a diferença entre madeira sadia e madeira deteriorada.

Na área da Mil Madeiras Preciosas, o tomógrafo mostra resultados acusando a deterioração no lenho, mas não foi utilizado para a tomada de decisão do corte, pois a empresa seguiu sua política interna de abate. As árvores são utilizadas para diferentes finalidades, dependendo do tamanho da deterioração, a madeira vai para a serraria para desdobrou ou vai para usina geradora de energia.

Com relação ao louro preto, tem-se na Figura 22 - A1 que a geometria corresponde ao da árvore. Em A2 observa-se uma diferença na coloração apresentando tonalidade na cor verde, roxo e marrom resultando numa diferença na propagação do som. Na A3 e A4 não se nota nenhuma característica que correspondam a uma deterioração visível, e o resultado do tomógrafo corresponde a uma árvore com boa sanidade pelo nível de coloração apresentado, sendo que a cor azul correlaciona uma árvore com um grau de degradação.

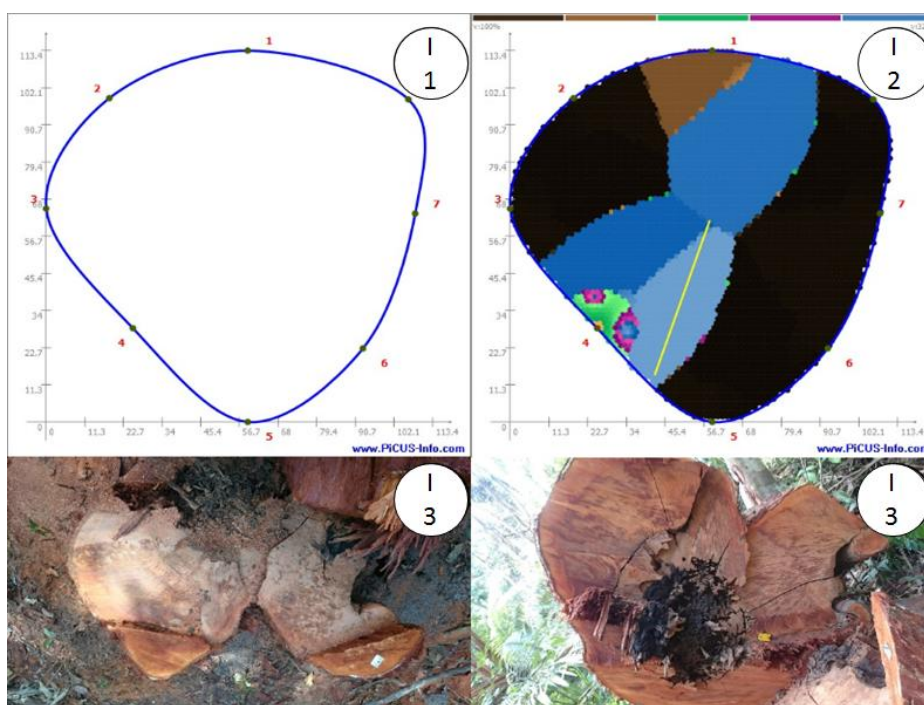


Figura 22. Árvore n° 10 da espécie massaranduba.

(A1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (A2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (A3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (A4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 23 - A1, a geometria corresponde ao da árvore, A2 mostra uma diferenciação na coloração no centro e um ponto na extremidade, mas pela tonalidade verde e marrom pode-se dizer que a árvore está com um fuste sem degradação. Na A3 e A4 não há características que apresente algum nível de degradação, mostrando uma árvore com boa fitossanidade corroborado pela imagem do tomógrafo.

Pela Figura 24 tem-se em B1 que a geometria corresponde ao formato transversal da árvore. Em B2 pode-se observar uma diferença de coloração no centro da árvore na coloração verde, pode-se alegar há não existência de uma deterioração no cerne e é corroborado em B3 e B4 onde se observa a não deterioração do indivíduo.

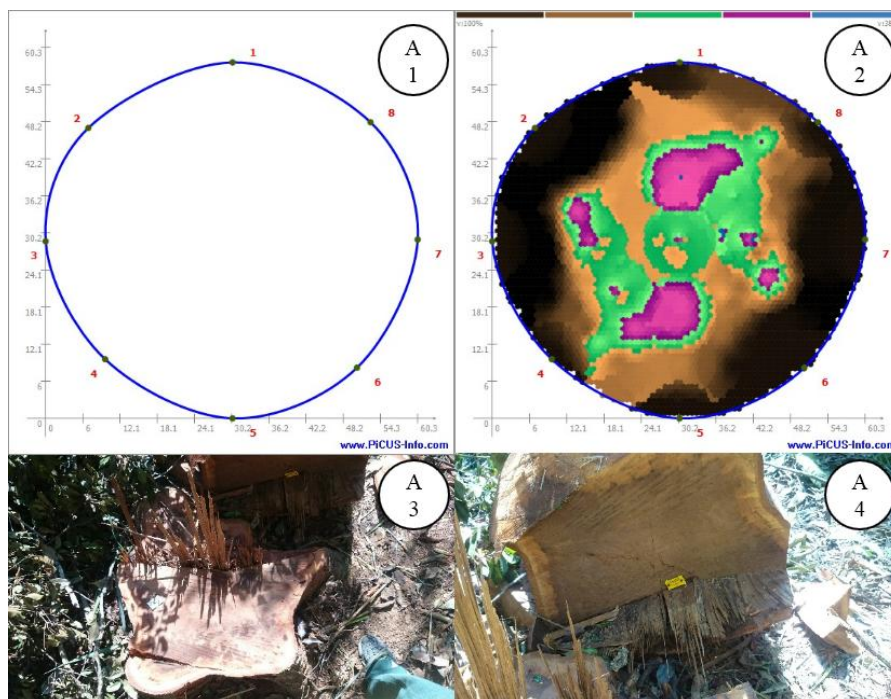


Figura 23. Árvore n° 23 da espécie louro preto.

(A1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (A2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (A3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (A4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

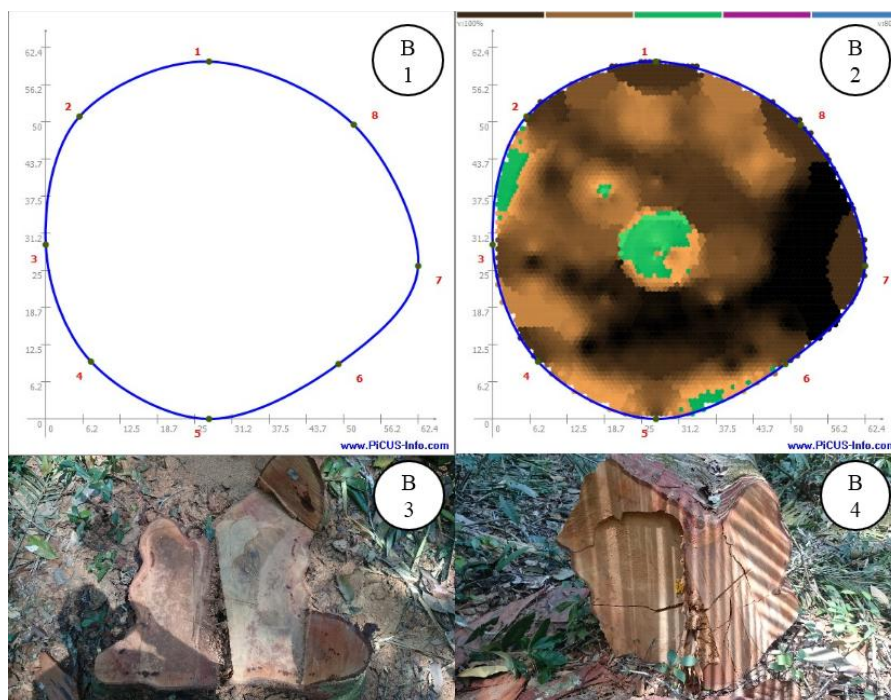


Figura 24. Árvore n° 24 da espécie louro preto.

(B1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (B2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (B3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (B4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 25 - C1, a geometria também corresponde ao formato da árvore. C2 pode se observar uma pequena variação na deterioração do centro e um ponto na extremidade. Na C3 e C4 vemos uma pequena deterioração no cerne da árvore e a imagem mostra que na parte onde o tomógrafo fez a leitura esse ponto aparece menor, mas acusando uma possível deterioração no lenho, sendo observado na coloração roxo mais escuro.

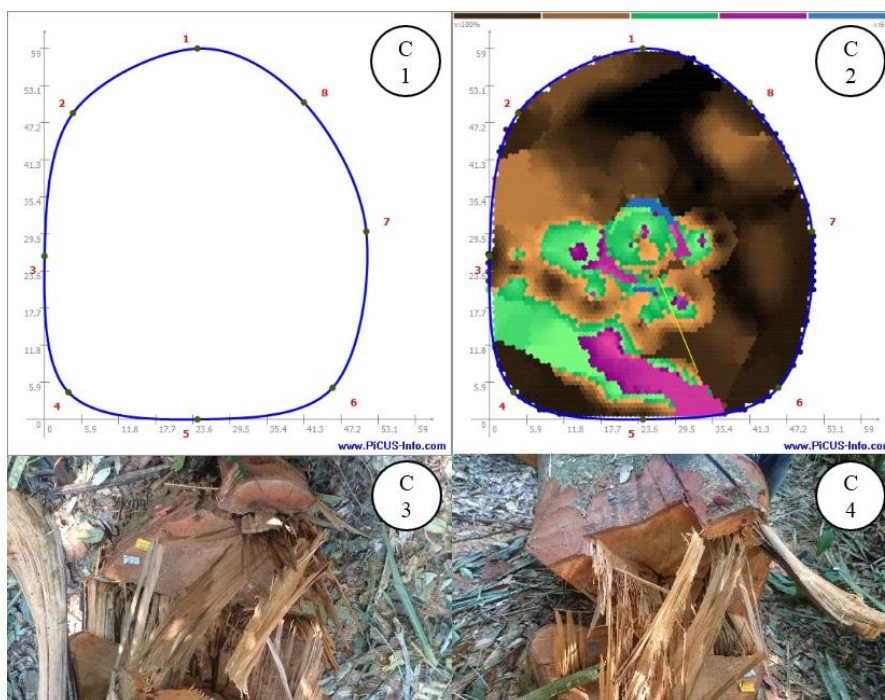


Figura 25. Árvore nº 25 da espécie louro preto.

(C1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (C2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (C3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (C4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Já na Figura 26, em D1, a geometria teve que ser ajustada, para isto foi retirado a sapopema (D3) para não haver influencia na leitura do tomógrafo. Em D2 se observa uma pequena diferença na coloração do lenho na extremidade mostrado na cor verde, podendo ser resultado da diferenciação do resultado influenciado pela sapopema mostrado na D3. A D4 não apresenta nenhuma característica visível de deterioração na árvore.

Na Figura 27 - E1, a geometria corresponde ao formato da árvore. E2 pode se observar que não diferença da coloração na árvore, observando na E3 e E4, confirma que não apresenta característica de degradação na árvore.

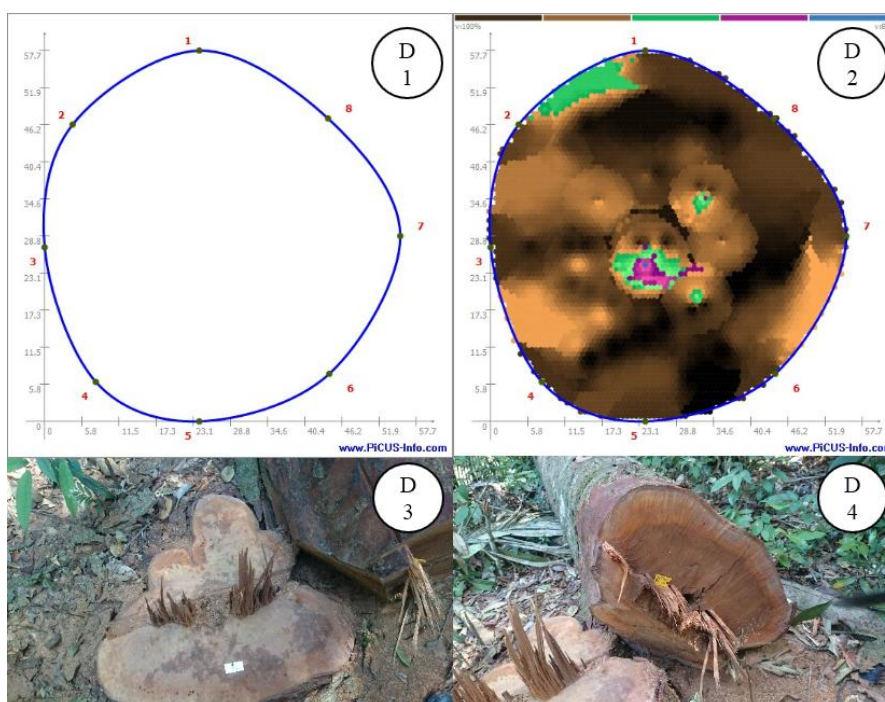


Figura 26. Árvore n° 26 da espécie louro preto.

(D1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (D2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (D3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (D4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

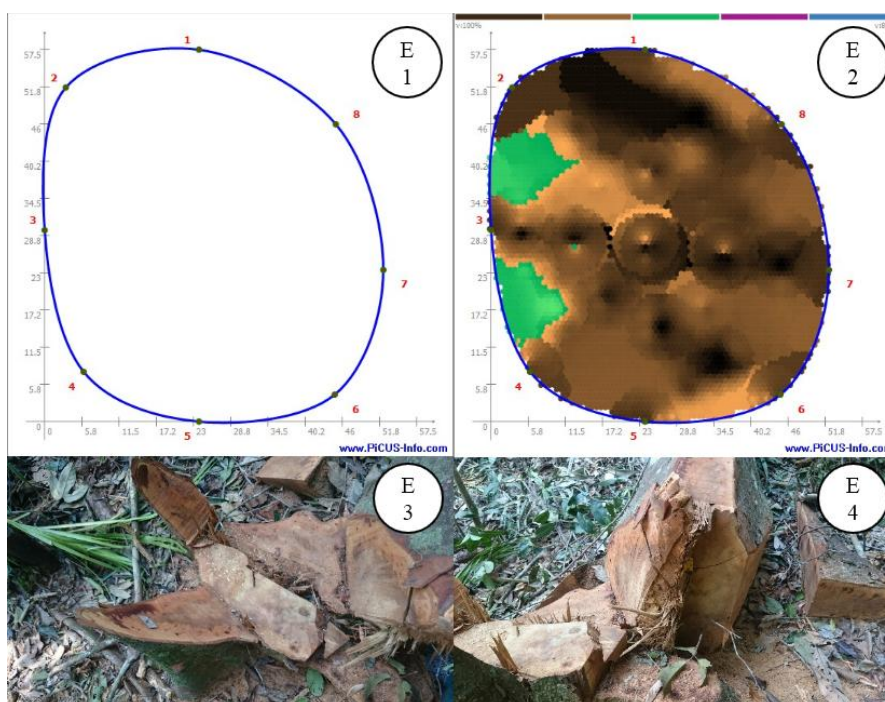


Figura 27. Árvore n° 27 da espécie louro preto.

(E1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (E2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (E3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (E4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 28, em F1 tem-se a geometria da árvore corresponde ao real. Na F2, apresenta uma diferença na coloração espalhada pelo lenho, a cor azul é o resultado de uma deterioração no centro da amostra, corroborado com as F3 e F4 que mostram uma característica visível de deterioração próximo ao cerne da árvore.

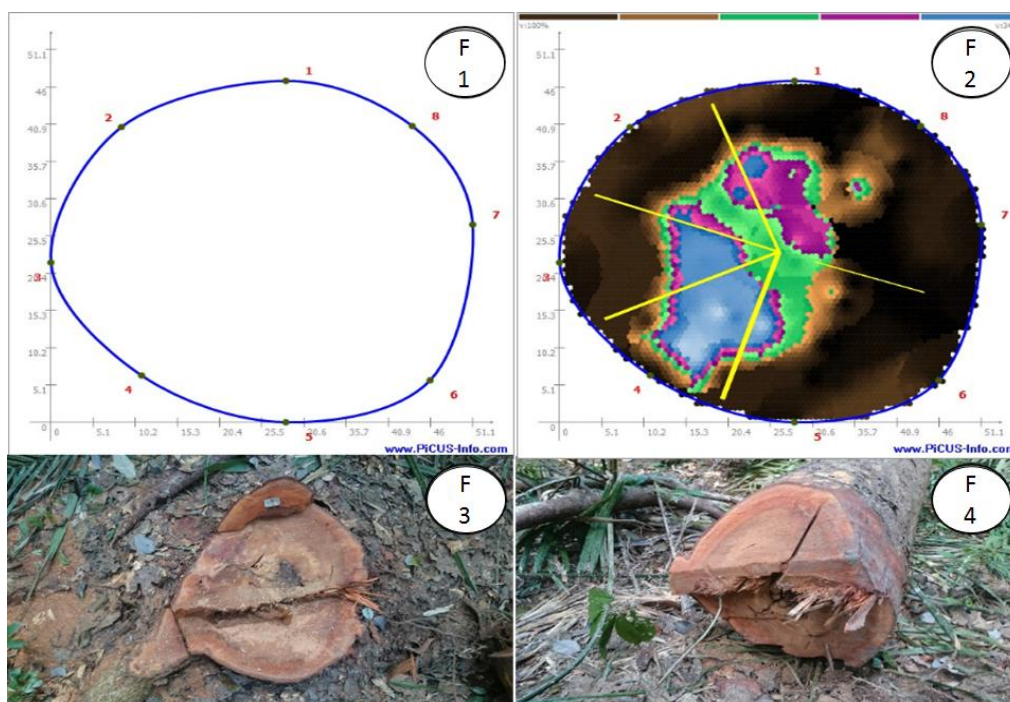


Figura 28. Árvore nº 28 da espécie louro preto.

(F1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (F2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (F3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (F4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

Na Figura 29, tem-se em G1 que a geometria corresponde ao da árvore. Na G2 não se observa uma diferença da coloração na tonalidade verde e roxo. Em G3 e G4 pode-se observar que não há diferença no centro do tronco, resultando uma árvore não deteriorada no ponto de medida do tomógrafo.

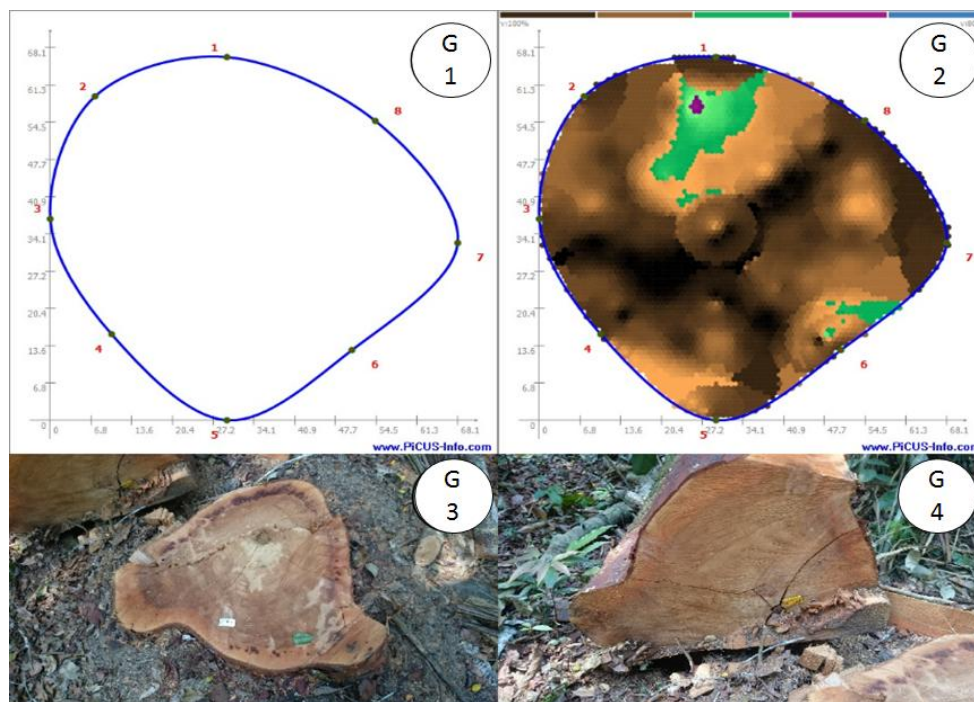


Figura 29. Árvore n° 29 da espécie louro preto.

(G1) Imagem da geometria obtido pelo caliper; (G2) Imagem gerada pelo tomógrafo com coloração atribuída ao decaimento de velocidade de propagação sonora; (G3) Imagem da base da árvore posterior ao corte; (G4) Imagem do fuste da árvore posterior ao corte.

A coloração da imagem gerada pelo tomógrafo altera de acordo com a velocidade de propagação sonora, variando do preto e marrom que determinam uma alta velocidade de ondas mecânicas, compreendendo-se a região de um lenho sadio; cor verde que não é classificada como rápida ou lenta, mas é interpretada no conjunto de alteração/deterioração encontradas no lenho; lilás e azul uma baixa velocidade, corroborando os resultados obtidos (PICUS, 2010; LIMA *et al*, 2014), é possível verificar a mudança de coloração nas figuras acima, dando ênfase nas Figuras 12.A2, 13.B2, 19.H2, 22.I2, 24.B2, 27.E2 e 28.F2.

Rollo (2009) afirma que na propagação de ondas mecânicas o deslocamento do impulso viaja em todos os sentidos, de forma que quanto maior o diâmetro da árvore por onde a onda está passando mais opções de rotas ela apresenta aumentando a possibilidade de percorrer por atalhos, chegando mais rápido em todos os sensores acoplados no seu fuste.

Uliana (2010), levou em consideração que os resultados obtidos com o tomógrafo de impulso, onde foram observadas as velocidades máxima, média e mínima em determinadas árvores que foram separadas por grupos, levando a entender e comprovados por análise visual que os grupos que apresentaram maior velocidade na

propagação, eram árvores sem incidências de lesões e o grupo que apresentou baixa velocidade de propagação sonora apresentaram algum tipo de lesão no lenho, como ocos e trincamentos.

Pereira (2007), realizou um trabalho com a tomografia de impulso para avaliar a sanidade de árvores em áreas urbanas onde constatou que a tomografia pode ser utilizada para avaliação do interior do lenho de árvores maduras e consequentemente auxiliar na avaliação do risco de queda.

4.3 VARIABILIDADE DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS

Na análise da estatística descritiva pode se obter a média de velocidade, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras mensuradas (Quadro 2). Os cálculos foram feitos através da matriz de velocidade de cada espécie individualmente.

Quadro 2. Árvores de *M. huberi*, numeração no inventário, Diâmetro a altura do peito, média d velocidade de propagação sonora, desvio padrão da velocidade e coeficiente de variação da velocidade em porcentagem.

Árvore	DAP	Velocidade de Propagação do impulso (m/s)			Desvio Padrão (m/s)	Coeficiente de Variação (%)
		Máximo	Mínimo	Média		
398	79,6	1974	0	982,4	578,36	58,86
300	65,9	1970	486	1076,50	464,13	43,12
294	119,4	2210	323	1901,07	301,90	15,88
288	61,8	2396	1258	2052,66	248,31	12,10
114	58,9	2017	0	1090,11	539,65	49,50
112	52,5	2293	1515	2039,59	204,71	10,04
37	57,0	2077	686	1636,48	309,68	18,92
33	73,8	2004	314	1011,70	513,59	50,77
28	60,5	2202	1511	1933,63	162,28	8,39
19	64,0	1774	348	932,38	422,74	45,34
113	98,4	2043	460	1198,70	394,97	32,95
39	60,5	1966	0	792,52	568,12	71,68
305	60,5	2067	561	1525,98	365,75	23,97
306	104,4	1575	0	431,30	471,39	109,29
116	75,4	2065	0	1379,96	373,05	27,03
215	70,0	2402	1689	2140,30	182,71	8,54
308	82,8	2455	1725	2156,18	170,97	7,93
330	72,6	1797	415	924,59	438,13	47,39
108	61,1	2287	1664	2064,68	178,59	8,65
34	99,9	2415	1832	2136,14	147,09	6,89
190	103,5	2192	1473	1917,00	172,09	8,98
160	115,2	1630	0	359,79	438,09	121,76

Quando a média de velocidade é alta, acima de 1500 m/s com uma amplitude baixa do desvio padrão o seu resultado no coeficiente de variação é proporcional ao seu resultado, mostrando uma redução de velocidade.

Na árvore de número 34, se observa que ela possui um DAP de 99,9 cm, uma média de 2136, 14 m/s, desvio padrão de 147,09 m/s e um coeficiente de variação de 6,98% de redução na velocidade de propagação sonora, podendo ser atribuída a uma árvore sem lesão de ocos ou falhas no tronco no local da medição.

A árvore 364, possui um DAP de 104,4 cm, uma árvore de grande porte para ser explorada, com uma média de velocidade de propagação sonora de 431,30 m/s, consideravelmente baixa em relação as outras árvores, com um desvio padrão 471,39 m/s, sendo alto em relação as outras amostras com uma amplitude elevada de diferença na propagação sonora e um coeficiente de variação de 109,29% muito alto em relação as outras amostras, sendo o resultado de uma árvore com alguma lesão em seu lenho no local de medida do tomógrafo.

A árvore 294, também é de grande diâmetro (119,4 cm), demonstra uma resposta ótima na propagação do impulso com uma velocidade alta, fazendo com o que acreditemos que quando uma árvore está com seu fuste sem nenhum tipo de deterioração os sensores acusam de forma positiva o recebimento de impulso, mas quando estão com lesões se faz necessário aplicar mais sensores para uma resposta mais aproximada da realidade. O que não é igual ao obtido pela Uliana (2010), os seus resultados com o tomógrafo de impulso em árvores acima de 90 cm de diâmetro mostraram-se ineficiente para avaliar o fuste de árvores de *M. huberi*, pois não foram capazes de detectar a madeira deteriorada que estas árvores possuíam sendo que ela utilizou onze sensores.

Brazolin (2009), encontrou uma correlação com o DAP e a deterioração interna do lenho para espécie *Tipuana tipu*, na qual os indivíduos com diâmetro maior que 60 cm podem apresentar deterioração em seu lenho. Já Potenza *et al.* (2014), não encontrou correlação entre DAP e o diâmetro referente a deterioração do lenho com a espécie *Syzygium cumini*, assim como no presente trabalho, com *M. huberi* e *Ocotea* sp., que também não encontrou relação de deterioração com o DAP.

Quadro 3. Árvores de *Ocotea* sp., numeração no inventário, Diâmetro a altura do peito, média d velocidade de propagação sonora, desvio padrão da velocidade e coeficiente de variação da velocidade em porcentagem.

Árvore	DAP	Velocidade de Propagação do impulso (m/s)			Desvio Padrão (m/s)	Coeficiente de Variação (%)
		Máximo	Mínimo	Média		
395	60,5	1854	470	955,71	446,77	46,75
333	61,8	1568	1168	1419,57	92,02	6,48
304	57,6	1679	863	1354,80	205,77	15,19
296	56,0	1813	1255	1565,00	118,79	7,59
192	55,7	1642	1227	1439,23	103,17	7,17
159	51,6	1310	328	755,71	326,86	43,25
38	64,3	1608	1168	1409,38	105,61	7,49
115	97,1	1769	1326	1589,82	104,43	6,57
29	55,4	1676	78	1426,00	319,02	22,37
102	65,9	1384	255	707,11	331,91	46,94
285	64,0	1600	992	1364,05	148,21	10,87
283	70,0	1802	1389	1618,45	101,24	6,26

Na árvore 283, se observa que ela possui um DAP de 70 cm, com uma média de velocidade de 1618,45 m/s mostrando uma velocidade de propagação alta com um desvio padrão de 101,24 m/s e um coeficiente de variação de 6,26%, sendo um resultado baixo na diminuição da velocidade de propagação sonora, resultando em uma árvore sem incidência de lesão no ponto de medida do tomógrafo.

Na árvore 160, se observa que ela possui um DAP de 115,2 cm, com uma média de velocidade de 359, 79 m/s, tendo uma média de velocidade muito baixa, o desvio padrão é de 438,09 m/s e um coeficiente de variação de 121,76%, muito alta resultando em uma árvore com uma lesão no ponto da medida com o tomógrafo.

A grande variação das velocidades encontradas para as árvores em estudo de mesma espécie que pode ser atribuído as variações anatômicas, físicas e químicas entre as árvores e até mesmo dentro da mesma árvore. Existem diferentes tipos de madeiras no tronco das árvores, relacionados com os estágios de formação do lenho e denominados lenho juvenil (menos denso), de transição e adultos (mais denso) (AMODEI *et al.*, 2010).

As diferenças entre espécies precisam ser levadas em conta (RINNTECH, 2005). Podem também ser considerados as influências externas (vento, chuva, ruídos elevados) e influências inerentes ao equipamento, como calibração, qualidade de acoplagem dos pregos, sensores metálicos e qualidade na batida com o martelo sonoro.

Nos resultados obtidos da seção transversal do lenho da espécie *Tectona grandis* L. foi possível dizer que o tomógrafo de impulso permitiu analisar o estado de sanidade

e das propriedades do lenho, pelo exame das imagens da seção transversal do tronco e eficaz na avaliação da integridade do lenho (CASTRO *et al.*, 2011).

Os resultados obtidos podem ser associados ao teor de umidade na madeira, pois a água pode atuar como barreira reduzindo a velocidade de propagação sonora, podendo ser corroborado com o trabalho de Latorraca *et al.* (2011), onde foi possível associar a umidade com a velocidade de propagação de onda mecânica gerada pelo tomógrafo de impulso.

4.4 NÍVEL DE DEGRADAÇÃO DAS ÁRVORES E QUALIDADE DA MADEIRA OBTIDAS PELO SOFTWARE DE FOTO SHOP IMAGEM J

Os resultados obtidos pelo tomógrafo foram trabalhados com auxílio do software de Fotoshop Imagem J mostrando a área total, área calculada da seção transversal do fuste, de onde foi extraído o resultado por tomografia, e mais, área de decaimento e decaimento severo, que é o resulta do manuseio da saturação da imagem para calcular as áreas que apresentavam coloração de *pixels* diferenciadas contabilizando o tamanho de cada área.

Em relação a porcentagem de lenho sadio, levou em consideração somente o cálculo com o decaimento severo, pois ele é resultado dos dados com todos os filtros tabulados e constando se há deterioração ou não do lenho.

A degradação da madeira pode estar relacionando a suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, quanto mais densa mais resistente a ação da degradação trazendo uma melhor qualidade. Que é descrito como atributo ou condição que distingue um determinado produto por melhor adequação de sua finalidade, neste caso, a madeira (BARRICHELO, 1992). Resumindo que a qualidade da madeira é caracterizada por suas propriedades, seguindo as normas que atribuem a definição de qualidade da peça analisada, e confere aptidão para o uso final (BARROS, 2016).

Segundo Amodei *et al.* (2010), a tomografia de impulso é uma técnica não destrutiva de grande importância para estabelecer parâmetros da qualidade da madeira, com ressalvas apontando para estudos complementares como avaliação das propriedades físicas, mecânicas, químicas que deverão ser realizados para estabelecer critérios e parâmetros de avaliação das árvores e predizer as possibilidades de uso da madeira.

Quadro 4. Árvores de *M. huberi*, com área total, área calculada, porcentagem de decaimento e de decaimento severo.

Árvore	Área total (cm ²)	Área calculada (cm ²)	Porcentagem de decaimento %		Porcentagem de lenho sadio %
			Decaimento	Decaimento severo	
306	7.678.595	7.351.545	72,58	64,54	35,46
19	3.099.504	2.972.164	75,44	59,81	40,19
33	4.311.616	4.127.343	71,39	54,63	45,37
300	3.249.995	3.115.432	69,79	53,04	46,96
39	5.708.034	5.461.260	73,82	50,38	49,62
160	9.239.167	8.855.296	43,55	39,4	60,60
330	3.975.142	3.810.155	53,25	39,28	60,72
398	4.249.769	4.066.403	64,88	30,15	69,85
305	3.950.707	3.793.423	35,79	16,82	83,18
114	2.547.304	2.440.438	39,7	10,98	89,02
37	2.461.072	2.359.874	26,12	9,58	90,42
294	11.270.403	10.801.326	15,32	5,74	94,26
190	8.058.045	7.708.271	23,01	5,53	94,47
116	4.346.371	4.165.923	19,66	5,21	94,79
113	3.641.657	3.484.595	20,31	3,35	96,65
28	2.370.889	2.264.641	18,42	2,38	97,62
34	7.719.932	7.393.629	6,77	1,54	98,46
108	2.848.606	2.721.355	3,22	1,23	98,77
288	3.034.697	2.915.185	2,64	1	99,00
112	2.098.179	2.014.635	3,67	0,31	99,69
308	5.299.967	5.099.882	3,84	0,31	99,69
215	3.652.908	3.507.573	2,47	0,28	99,72

Na árvore 215, mostra uma área calculada 3.507.573 cm², com um decaimento na quantidade de *pixels* de 2,474% e um decaimento severo de 0,283% resultando numa baixa redução de velocidade de propagação sonora mostrado em *pixels* com coloração mais homogênea, possibilitando afirmar que a árvore não possuía lesão no seu lenho no local de medida com o tomógrafo.

Na árvore 19, mostra uma área calculada de 2.972.164 cm², com um decaimento na quantidade de *pixels* de 75,440% e um decaimento severo de 50,377% resultando numa alta redução de velocidade de propagação sonora mostrado em *pixels* com uma coloração mais heterogênea, possibilitando afirmar que a árvore possuía lesão no seu lenho no local de medida com o tomógrafo.

Quadro 5. Árvores de *Ocotea* sp., com área total em cm², área calculada em cm², porcentagem de decaimento e decaimento severo.

Nº da Árvore	Área total (cm ²)	Área calculada (cm ²)	Porcentagem de degradação %		Porcentagem de lenho sadio %
			Decaimento	Decaimento severo	
102	3.539.423	3.397.140	74,25	53,98	46,02
395	2.690.641	2.570.292	72,48	52,31	47,69
159	1.881.386	1.795.852	59,92	46,56	53,44
285	2.679.104	2.567.271	27,14	20,25	79,75
304	2.503.686	2.398.137	25,99	5,75	94,25
296	2.539.504	2.433.309	24,03	4,56	95,44
283	3.351.377	3.246.766	26,13	3,44	96,56
29	2.431.218	2.330.883	13,38	2,69	97,31
115	5.949.436	5.659.926	14,24	1,73	98,27
333	2.707.663	2.589.971	7,72	0,86	99,14
38	3.214.393	3.077.391	8,26	0,52	99,48
192	2.526.304	2.425.104	8,53	0,16	99,84

Na árvore 192, mostra uma área calculada 2.425.104 cm², com um decaimento na quantidade de pixels 8,529% e um decaimento severo de 0,165% resultando numa baixa redução de velocidade de propagação sonora mostrado em *pixels* com coloração mais homogênea, possibilitando afirmar que a árvore não possuía lesão no seu lenho no local de medida com o tomógrafo.

Na árvore 395, mostra uma área calculada de 2.570.292 cm², com um decaimento na quantidade de pixels de 72,484% e um decaimento severo de 52, 306% resultando numa alta redução de velocidade de propagação sonora mostrado em *pixels* com uma coloração mais heterogênea, corroborando para mostrar que a árvore possuía lesão no seu lenho no local de medida com o tomógrafo.

O tomógrafo de impulso demonstrou-se uma ferramenta importante no auxílio do planejamento do manejo florestal. Com algumas desvantagens como, o tamanho do e a demora de montagem do equipamento, sendo necessário uma reformulação no seu designer para melhorar a praticidade de locomoção, a desvantagem de exportar a imagem tomográfica para outro software para que se obtenha os resultados quanto ao tamanho e a porcentagem de tecido sadio e deteriorado (MEDEIROS, 2013).

Em relação a metodologia não destrutiva para análise do lenho da árvore, seus resultados mostraram-se satisfatório, o que pode ser corroborado com os trabalhos intitulados ‘Avaliação do Rendimento da Madeira de Árvores de Floresta em Pé por Meio de Metodologia Não Destrutiva’ (MEDEIROS, 2013) e ‘Avaliação da Qualidade

da Madeira de Árvores da Amazônia por Método Não Destrutivo de Propagação de Onda: Tomografia de Impulso e *Stress Wave Time*' (BARROS, 2016).

Segundo Medeiros (2017), a avaliação da sanidade interna do fuste de uma árvore em pé, é uma informação de extrema importância para o manejo florestal sustentável. Com os dados obtidos pelo tomógrafo pode-se planejar de forma mais eficiente as atividades de exploração, maximizando o capital investido, deixando de abater indivíduos com defeitos internos que elevam os custos com mão de obra, maquinário e transporte, o que encarece, significativamente, a cadeia produtiva deste setor.

4. 5 COMPARAÇÃO DO RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DA MADEIRA

Os resultados do volume útil mensurado pela empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda. e o volume estimado pelos resultados do diâmetro a altura do peito (DAP), coletados pelo tomógrafo de impulso, foram comparados entre si, possibilitando perceber se houve grande variação nos resultados de volumetria disponibilizado pela empresa e no resultado obtido pelo tomógrafo ou se não houve diferença no volume útil (Quadro 6).

A determinação rigorosa do volume da árvore deve englobar todos os aspectos do fuste incluindo suas irregularidades e considerar que o tronco de qualquer árvore como sendo constituído por vários sólidos geométricos (LEITE, 2008).

Quadro 6. Volume disponibilizado pela empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, e volume obtido pelo tomógrafo de impulso em metros cúbicos.

Espécie	Nº da Árvore	Volume da Madeira (m³)		
		DAP	Volume empresa	Volume tomógrafo
<i>Manilkara huberi</i>	398	77	6,151696	7,397924
	33	72	5,414948	8,492458
	108	59	3,709209	5,283025
	215	67	4,722855	7,277699
	300	65	4,458594	4,554509
	112	51	2,812198	4,033574
	37	55	3,246023	2,013041
	113	68	4,857686	5,298619
	114	55	3,246023	3,337950
	39	84	7,257602	10,205617
	305	76	6,000789	10,315351
	306	95	9,169325	15,673426
	116	76	6,000789	11,487104
	308	89	8,100345	9,513658
	160	102	10,495493	13,484985
	19	57	3,473959	5,253585
	190	101	10,300851	0,000000
	288	59	3,709209	6,122163
	34	100	10,107937	18,164559
	330	70	5,132734	6,388493
	294	101	10,300851	20,919475
	28	56	3,359075	5,536694
<i>Ocotea sp.</i>	395	58	3,590672	3,542119
	304	57	3,473959	2,063478
	38	62	4,075742	3,700603
	115	95	9,169325	7,662624
	159	52	2,917890	2,603130
	192	54	3,134806	2,678557
	102	64	4,329168	3,614602
	296	55	3,246023	3,816136
	333	57	3,473959	3,277672
	283	92	8,626992	8,148257
	29	55	3,246023	0,000000
	285	79	6,458832	8,035947

O volume estimado da madeira é muito importante para o manejo florestal, pois é a forma de quantificar o potencial do volume de madeira existente no local. Assim é

possível prever a metragem cúbica estimada na área a ser manejada. Podendo servir para o acompanhamento e aprovação dos órgãos fiscalizadores e regulamentadores à aprovação da exploração de determinada área. Depois da derrubada das árvores, existe uma outra medição chamada de cubagem rigorosa, que quantifica o volume útil de madeira, diminuindo o erro da volumetria por estimativa, aproximando ainda mais o resultado real de madeira explorada.

Os resultados obtidos da volumetria da madeira de *M. huberi* pela empresa se deram a princípio pelo cálculo do método geométrico e foi o mesmo utilizado para obter a volumetria dos resultados do tomógrafo, mas depois de explorada a área a empresa utilizou o método de geométrico com inclusão do fator de forma de cada espécie disponibilizado pela empresa para cubagem rigorosa da madeira de todas as espécies exploradas.

Nenhum dos resultados apresentou volumes iguais em relação aos dados disponibilizado pela empresa e o calculado com auxílio do tomógrafo. Para a espécie *M. huberi*, as árvores de números 300 e 114 foram as que mais se aproximaram. Para a árvore 300 volume disponibilizado pela empresa foi de 4,45 m³ e de 4,55m³ obtido pelo tomógrafo, e a árvore 114 teve 3,24 m³ de volume disponibilizado pela empresa, e 3,34 m³ obtido pelo tomógrafo. Alguns resultados foram menores que os obtidos pela empresa, como no caso da árvore 37 que mostrou volume da empresa de 3,24m³ e do tomógrafo de 2,01m³ de madeira.

Houve também as amostras com variação muito grande dos resultados, como na amostra 34 com o volume obtido pela empresa de 10,11 m³ e pelo tomógrafo de 18,16 m³ e da amostra 294, com o volume da empresa de 10, 30 m³ e pelo tomógrafo de 20, 91 m³ podendo ser explicado pela forma da tomada do DAP, que pela empresa foi um e pelo tomógrafo foi outro.

Em relação a *Ocotea* sp. houve diferenças, mas não tão grande como da *M. huberi*, como o da árvore 395 como volume obtido pela empresa de 3, 59 m³ e de 3,54 m³ pelo tomógrafo. Outro exemplo de resultados próximos é o da árvore 283 com o volume obtido pela empresa de 8,62 m³ e pelo tomógrafo de 8,15 m³.

A maior variação da *Ocotea* sp., foi para a árvore 285, a empresa chegou numa volumetria de 6,46 m³ e pelo tomógrafo foi de 8,03 m³ mostrando uma menor variação dos resultados de volume se comparado com a *M. huberi* que teve maior variação dos volumes obtidos.

Leite (2008), encontrou em seu trabalho valores de cálculos de volumes usando equações de uma (DAP) e duas variáveis (DAP e altura), sendo que os resultados utilizando duas variáveis aproximou-se mais do volume real da madeira, apresentando um coeficiente de determinação acima de 90%.

Comparando modelos de simples entrada de diâmetro a altura do peito (DAP) com modelos de dupla entrada (DAP e altura da árvore), foi encontrado por Rolim *et al.* (2006) coeficientes de determinação menores e erros maiores para o modelo de simples entrada, concluindo que essa precisão menor é esperada, pois esses modelos assumem que árvores de mesmo diâmetro possuem mesma altura (FONSECA, 2010; GIMENEZ, 2013). Corroborando com o presente trabalho e de Leite (2008), que foram utilizados modelos com entradas de DAP e altura da árvore.

Em relação a cálculos de volumetria por tomografia de impulso, não foi encontrado nenhum trabalho com essa metodologia de quantificação de volume para uma possível corroboração dos resultados obtidos no presente trabalho. Fazendo-se necessário estudos aprofundados nessa área.

5 CONCLUSÃO

A tomografia de impulso como metodologia não destrutiva, pode ser utilizada como mecanismo para avaliar a qualidade do fuste, auxiliando o manejo florestal e contribuindo com a sustentabilidade da floresta.

É possível a classificação das árvores com garantia e segurança nos resultados obtidos, seguindo a metodologia não destrutiva de tomografia de impulso.

Existe uma equiparação dos dados obtidos pela metodologia não destrutiva com o volume de madeira útil, com a qualidade dos resultados acusando que as amostras mensuradas realmente representavam madeira sem lesão e com lesão.

A densidade da madeira influencia nos resultados obtidos, mas a umidade tem efeito determinante na propagação sonora no lenho interno da madeira.

REFERÊNCIAS

- AMODEI, J. B. et al. **Avaliação preliminar da qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. Através da tomografia de impulso.** 2010. Floresta e Ambiente. 2010.
- ANDRADE JUNIOR, J. R. **Classificação estrutural de peças de madeira de *Pinus elliottii* utilizando o módulo de elasticidade obtido pelo método de ondas longitudinais de tensão.** 2016. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- ANTHONY, R. **Investigation of historic timber structures using portable X-ray technology.** Proceedings of the international Conference on Conservation of Historic Wooden Structures, Florence, 2005, p. 289-293.
- ANTHONY, R.; RENFORTH, L.; NELSON, R. **Non destructive strength evaluation of *Pinus sylvestris* poles in the UK.** Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreaux, Switzerland, 1998. Vol. 1. P. 642-648.
- ARRIAGA et al. **Intervencion en estructuras de madeira.** AITIM, Madrid, 2002, ISBN 84-87381-24-3.
- AZEVEDO JÚNIOR, A.P. 2002. **Avaliação não Destrutiva e Propriedades Mecânicas de Madeiras Através da Técnica de Ultra-Som: Fundamentos Físicos e Resultados Experimentais.** 2002. 196 p. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia da universidade Federal de Minas Gerais, Lavras, 2002.
- BALLARIN, A. W.; TARGA, L. A.; PALMA, H. A. **Ensaio Não-Destrutivos de Vibração Transversal na Avaliação do Módulo de Elasticidade de Madeira de Reflorestamento.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2002.
- BARRICHELO, L. E. G. 1992. **Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBF. p. 726-731.
- BARTHOLOMEU, A. **Classificação de Peças Estruturais de Madeira através do ultra-som.** 2001. 73 p. (Tese de Doutorado em Ciências e engenharias de Materiais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BERTOLINI, C.; et al. **A non destructive diagnostic method on ancient timber structure: some practical application examples.** Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreaux, Switzerland, 1998. Vol 1. P. 456-463.
- BIASI, C.; ROCHA, M. **Rendimento em madeira serrada e quantificações de resíduos para três espécies.** Floresta, Curitiba, v. 37, n. 1 p. 95-108, 2007.
- BIRKLAND, R. efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, (S.I.). **Proceedings...**, [S.I.:s.n.], 1990. P 139 – 147.

BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatômica do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP.** 2009. P 265. (Tese de Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BOLT B. **Nuclear Explosions and Earthquakes: The Parted Veil.** A series of books in geology. GB Warburton, W. H. Freeman and Company, 1976.

BOTELHO JUNIOR, J. A. **Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas da madeira de edifícios antigos.** 2006. Dissertação para satisfação parcial do grau de mestre em reabilitação do patrimônio edificado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2006.

CADIAN, M.; SALES, A. **Aplicação das Técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira.** 2009. Ambiente Construído, Porto Alegre, v 9, n. 4, p. 83-98. 2009.

CARREIRA, M. R. *et al.* Classificação Estrutural de *Pinus sp* por Vibração Transversal. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004.

CASTRO *et al.* **Avaliação do Perfil Radial do Lenho de Árvores de Teca (*Tectona grandis* L.f.) Através da tomografia de impulso.** 2011. Floresta e Ambiente 2011 abr./jun.; 18(2):144-152.

CAVA, F. 2016. Ondas eletromagnéticas. Disponível em: <https://alemdainercia.wordpress.com>. Acesso em: 28 mai. 2018.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Curitiba:2005. 123 p. Dissertação de mestrado – setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CRUZ, P. B. **Morfo – fisiologia da biodegradação de madeiras por *Ceriporiopsis subvermispora* (Pil.) Gilbn. & Ryv. *Phelbia tremellosa* (Schrad.: Fr) Nakas & Burds. (Fungi, Basidiomycetes).** 2005. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial). – Faculdade de Engenharia Química de Lorena, São Paulo, 2005.

DANIEL, G. **Microwiew of under degradation by bacteria and fungi.** Wood Deterioration and Preservation: Advances in Our Changing World, Washington: ACS Symposium Series, v 845, 2003, p. 34 – 72.

DEACON, J. W. **Modern mycology.** London: Blackwell Science, 1997, 303p.

DUFFIELD, J. W. Genetic improvement of wood quality. **Forest Products Journal**, 1993.

FERREIRA, J. N. V. S. **Modelação Da Excitação Dinâmica Superficial Do Subsolo Aplicação À Análise Espectral De Ondas De Superfície.** Lisboa: 2005. 130 p.

Dissertação de mestrado – Laboratório nacional de engenharia Civil, Universidade técnica de Lisboa.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Berlim: Walter de Gruyter, 1989, 613p.

FONSECA, M. X. **Comparação de Modelos Matemáticos de Volume de Madeira com Casca na Região de Manaus, Am.** 2010 44p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

GIMENEZ, B. O. **Equações Volumétricas e o Modelo que Utiliza o Fator de Forma Médio: Um Estudo de Caso na Amazônia Central**. 2013 32p. Dissertação de mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais. 2013.

GORNIK, E.; MATOS, J. L. M. **Métodos Não Destrutivos para Determinação e Avaliação de Propriedades da Madeira**. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 7., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2000.

HAUKSSON *et al.* Prediction of basic wood properties for Norway spruce. Interpretation of Near infrared spectroscopy data using partial least squares regression. **Wood Science and Technology**, v. 35, n. 6 p. 475- 481, 2001.

HEIN, P.R.G.; LIMA, J.T.; CHAIX, G. Otimização de calibrações baseadas em espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa de propriedades da madeira de *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 615-624, 2010.

HIGUCHI, Niro. Utilização e Manejo dos Recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazônica** 24 (3-4); 257 – 288. 1994

HIGUCHI, T. **Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components**. Orlando: Academic Press, 1985, 697 p.

HUMMEL, A. C. *et al.* **Atividade madeireira na Amazônia brasileira**: produção, receita e mercados. Belém, PA: Serviço florestal Brasileiro (SBF); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), 2010. 28p.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Aproveitamento para Transformação de Tora em Madeira Serrada**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/422-2017/1092>. Acesso em: 10 abr. 2018.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo: 1985. 189p. (Boletim ABPM, 36). 1985.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras**. 1989. 2ª edição. Publicação IPT 1791. São Paulo. 1989.

ITTO – Organização Internacional de Madeiras Tropicais (OIMT). **Critério e identificadores para o manejo sustentado das florestas tropicais naturais**. Série política de desenvolvimento n7°. Yokohama, Japão, 1998. 22p.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de La Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Florestal de Intervenciones y Experiencias y Servicio de la Madeira. 647 p. 1959.

KRETSCHMANN, David E. Mechanical Properties of Wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (Org.). **Wood handbook: Wood as an engineering material**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 2010. Cap. 5. p. 100-145.

LATORRACA *et al.* **Efeito da Umidade da Madeira na Propagação de Ondas Mecânicas**. 2011. Floresta e Ambiente 2011 out/dez.; 18(4): 451- 459.

LEITE, F. S. **Estimativa do Volume de Madeira a partir do Diâmetro da Cepa em uma Área Explorada de Floresta Amazônica de Terra Firme**. 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília. DF. 2008.

LIMA, J. T. et al. Desempenho do Resistógrafo na estimativa da densidade básica da madeira de eucalipto. In: Encontro brasileiro em Madeiras e Estruturas de madeira, 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: UNESP / CEVEMAD / IBRAMEM, 2006.

LIMA, R. A.; BRAZOLIN, S.; PACHECO, V. F. **Tomografia de impulso na avaliação da deterioração de árvores**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 18., 2014, Rio de Janeiro. **Anais..** 16 p.

MACHADO, J. S. **Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (*Pinus pinaster* ait.) por meio de ultra-sons**. Tese de doutorado. LNEC, 2003, ISBN 972-49-1941-2.

MANHIÇA, R. A.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. **Custo no desdobro de *pinus* spp. Com utilização de modelos de corte numa serraria**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 327-335, 2013.

MATOS, J. L. M. **Estudos Sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 117 f. Tese de Doutorado – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MEDEIROS et al. **Tomografia de impulso na avaliação da sanidade e rendimento *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr.** 2017. Nativa, Sinop, v.5, esp., p. 649-655, dez. 2017.

MEDEIROS, R. G. S. **Avaliação do rendimento da madeira de árvores de floresta em pé por meio de metodologia não destrutiva**. 2013 20p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

MEIRELHES FILHO, J. **Livro de ouro da Amazônia**. Ediouro. 2006.

MENDES, L. M. *et al.* **Variação da densidade básica da madeira**. 2004. REVISTA DA MADEIRA, Edição nº 83. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. 2004.

MENDES, M. 2015. **Ondas**. Disponível em: <http://www.brasile scola.com/física/ondas.htm>. Acesso em: 28 mai. 2018.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Apostila. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2014.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. **Estimativa do rendimento em Madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 20, n. 4, p. 556-563, 2013.

NASCIMENTO, C. C.; BRASIL, M. M.; NASCIMENTO, C. S.; BARROS, V. S. **Estimativa da densidade básica da madeira de *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2017. Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science). 8(1): 42-53, 2017. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v8n1p42-53. 2017.

NASCIMENTO. C.C; BRASIL, M.M. **Modelo NIR para predição da densidade básica de madeiras da Amazônia (software)**. Manaus - AM, Brasil. LEAM/INPA, 2016b.

OLIVEIRA, A. C. **Amostragem não destrutiva e qualidade da madeira em clones *Eucalyptus* spp.** Dissertação apresentada a universidade federal de lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia da Madeira. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2011.

OLIVEIRA, A. M. F. *et al.* Agentes destruidores da madeira. In LEPAGE, E. S. (Coord). **Manual de Preservação da Madeira**. São Paulo: IPT; SICCT, 1986. V. 1. CAP. 5, P. 99 – 278. (Publicação IPT, 1637).

OLIVEIRA, J. T. S.; FILHO, M. T.; FIEDLER, N. C. **Avaliação da retratibilidade da Madeira de sete espécies de *Eucalyptus***. 2010. Revista Árvore, Viçosa, Minas Gerais, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

PELLERIN, R. F.; ROSS, R. J. Nondestructive evaluation of wood. Forest Service, Madson: USDA, 2002. 210p.

PEREIRA, L. C. *et al.* **Tomografia de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores**. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. v 2. n 2, 2007.

PRECIOWS WOODS AMAZON. Resumo público. **Manejo florestal sustentável**. Disponível em: <http://www.preciouswoods.com>. Acesso em: 15 jan. 2019.

PICUS. **PICUS Sonic Tomograph**, manual program version Q72. Rostock, 2010. 85p

POTENZA, R. F. *et al.* **Curva de vulnerabilidade à queda de *Syzygium cumini* por meio da tomografia de impulso.** 2014. Researchgate. 2014.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de Técnicas não Destrutivas para Caracterização de madeiras de *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis* e de *Eucalyptus grandis*.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

RINNTECH. **User manual – Abortom 3-D Tree Impulse Tomograph, version 1.59 for Microsoft Windows 98, 2000, XP,** 7. 42p., 2005

ROLIM, S. G. *et al.* **Modelos volumétricos para a floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA).** 2006. Acta Amazônica, Manaus, v. 36, n. 1, 2006.

ROLLO, L. C. P. **Tomografia de impulso para a estimativa da densidade da madeira.** 2009. 48p. Dissertação. (Mestrado em ciências) – Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

RYVARDEN, L. **Genera of polypores nomenclature and taxonomy.** Oslo: Gronlands Grafisk, 1991. 373 p.

RYVARDEN, L. Where are all the polypores gone? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICOLOGIA, 5., 2007, Recife. **Anais...** Recife: SBM, 2007. 236 – 241.

SANTOS, R.B.; GOMIDES, J.L.; SOUSA, L.C. Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). *Árvore*, v. 33, n. 4, p. 759-767, 2009.

SCHAD, K. C.; SCHMOLDT, D. L.; ROSS, R. J. **Nondestructive methods for detecting defects in softwoods logs.** US Forest Laboratory. Research Paper FPLn. 546, Madison, fev. 1996.

SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. **Dossiê Técnico.** 2007. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília CDT – UNB. Brasília. 2007.

SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R.; ILIC, J. Estimation of *Eucalyptus delegatensis* wood properties by Near Infrared Spectroscopy. **Canadian Journal of forest Research**, v. 31, p. 1671 – 1675, 2001.

SILVA, F. **Métodos não destrutivos como ferramenta de apoio aos planos de manejo florestal sustentado na Amazônia.** 2012. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação Integrado em Ciências de Florestas Tropicais. INPA, Manaus, 2012.

SILVEIRA, R. R. **Avaliação não destrutiva na estimativa de propriedades de flexão de algumas madeiras tropicais comercializadas no Distrito federal.** Monografia. Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2007.

SOUZA, H. M.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras Tropicais Brasileiras**. 2002. 2.ed. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Laboratório de produtos florestais. Brasília, 2002.

SOUZA, L.C.; GOMIDE, J.L.; MILAGRES, F.R.; ALMEIDA, D.P. Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeira de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**. v. 21, n. 3, p. 591-599, 2011.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties and utilization. New York: van Nostrand Reinold.1991. 494p.

ULIANA, L. R. **Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier**. 2010. Tese (Doutorado em Tecnologia de produtos florestais). – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin, Springer – Verlag, 1989. 418p.