

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de
árvores de maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier**

Lis Rodrigues Uliana

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2010**

Lis Rodrigues Uliana
Engenheiro Florestal

**Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de
maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier**

Orientador:
Prof. Dr. **IVALDO PONTES JANKOWSKY**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Uliana, Lis Rodrigues

Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de
maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier / Lis Rodrigues Uliana. - - Piracicaba,
2010.

156 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Amazônia 2. Árvores florestais 3. Densidade da madeira 4. Identificação da madeira
5. Madeira - Qualidade 6. Manejo florestal 7. Tomografia I. Título

CDD 634.973931
U39a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico ao Guilherme por contribuir com o trabalho, não apenas com palavras de incentivo, mas com atitudes.

**"Não é o mais forte que sobrevive,
nem o mais inteligente,
mas o que melhor se adapta às mudanças."**

Charles Darwin

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço imensamente pela oportunidade e pela generosidade.

À Escola Superior de “Agricultura Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Ciências Florestais pela acolhida.

À minha querida orientadora a prof^a Dr^a Adriana Maria Nolasco, gostaria de fazer um agradecimento especial, pois ao longo de todos esses anos de convivência diária pude ter contato com uma excelente orientadora e uma pessoa de caráter reto e de extrema generosidade. A ela agradeço pela orientação, pela dedicação e por todo seu ensinamento moral e científico.

Ao prof. Dr. Ivaldo Pontes Jankowsky pela orientação.

Aos professores: prof. Dr. Mário Tomazello Filho, prof. Dr. José Leonardo Gonçalves, prof. Dr. João Luiz Ferreira Batista, prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho e prof. Dr. Edson José Vidal da Silva, pela imensa colaboração e pelas valiosas orientações.

Aos funcionários do departamento: Antonio Marcelo da Silva, Catarina Germuts, Eliezer Obrownick Cotrim, Jefferson Lordello Polizel, Margarete Aparecida Zandoná Pinese, Maria Aparecida R. C. Bermudez e Udemilson Luiz Ceribelli pela imensa ajuda.

Aos funcionários da serraria Giuliano de Pádua e Silva, Anderson José de Almeida e Luiz Adão Renosto por todo o auxílio na obtenção das amostras de maçaranduba.

À bibliotecária Silvia Zinsly por sua ajuda na edição do trabalho.

À equipe do Instituto Floresta Tropical (IFT) (Rincon, Neuton, Afonso, Obama, Rone, Ceará, Brancão, Alexandre, Joel, Déco, eng. Paulo e eng. Iran) pela acolhida, imenso carinho de todos e contribuições valiosas para o trabalho.

À Cikel por disponibilizar as amostras de maçaranduba.

À colega de curso Luciana Cavalcante Pereira Rollo por me auxiliar com o uso do tomógrafo de impulso em campo.

Às colegas de curso Aninha, Maureen, Biba e Marta pelo companheirismo.

À aluna de Gestão Ambiental Mariana, por toda a sua ajuda nas medições de densidade.

Aos colegas do laboratório de anatomia da madeira: Matheus, Hugo, Victor, Carlos e Moisés pelos valiosos auxílios no final do trabalho.

A Bimbo e Elza pelo transporte dos discos de madeira do Pará para São Paulo, sem a contribuição deles, o trabalho seria inviável.

A toda a equipe em Tietê (Damião, Dalbó, Ceará, Sérgio, Mineiro, Cleyton, Maurinho e Pedro Milton) por carregar os discos inúmeras vezes e por tirar as amostras com a motosserra.

Aos meus pais Antonio Carlos e Vera Lis por toda dedicação e afeto; pelo incomensurável apoio e por participarem das alegrias e das tristezas, das reclamações e das comemorações, sempre com muito carinho e paciência.

À minha mãe Vera Lis, por todo o auxílio, incentivo, paciência e doação ao longo de todo o trabalho.

Ao meu pai Antonio Carlos, por lixar os discos de maçaranduba, e por preparar as amostras.

Às minhas queridas irmãs Ana e Maíra por sempre estarem presentes, mesmo longe fisicamente.

Ao Guilherme pelo apoio incondicional.

A toda a minha família enorme, avós, tios e primos que mesmo distantes torcem por mim.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq pela bolsa concedida.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito desse trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO..... | 9 |
| ABSTRACT..... | 11 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 13 |
| LISTA DE TABELAS..... | 25 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 27 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 31 |
| 2.1 A exploração madeireira na região Amazônica..... | 31 |
| 2.2 A seleção de espécies e os métodos de seleção..... | 35 |
| 2.3 As árvores de maçaranduba..... | 39 |
| 2.4 Lesões e ocos em espécies florestais..... | 41 |
| 2.5 Métodos não-destrutivos de identificação de lesões e ocos..... | 44 |
| 2.6 A tomografia de impulso..... | 46 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 49 |
| 3.1 Local de estudo..... | 49 |
| 3.2 Seleção da espécie para estudo: árvores de maçaranduba..... | 50 |
| 3.3 Delineamento experimental..... | 50 |
| 3.4 Identificação da espécie..... | 53 |
| 3.5 Análise do solo..... | 54 |
| 3.6 Determinação do volume de madeira por árvore..... | 57 |
| 3.7 Determinação de equações de volume para a espécie..... | 58 |
| 3.8 Identificação e análise de lesões e ocos através da tomografia de impulso..... | 59 |
| 3.9 Identificação e análise de lesões e ocos do lenho de maçaranduba através da análise visual..... | 62 |
| 3.10 Caracterização da densidade aparente do lenho de maçaranduba..... | 65 |
| 3.10.1 Determinação do perfil radial da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X..... | 70 |
| 3.10.2 Determinação do perfil radial da densidade aparente do lenho de árvores de maçaranduba..... | 72 |

| | |
|---|-----|
| 3.11 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente (densitometria de raios X e densidade aparente do lenho)..... | 74 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 77 |
| 4.1 Identificação da espécie..... | 77 |
| 4.2 Análise do solo..... | 77 |
| 4.3 Determinação do volume de madeira por árvore..... | 81 |
| 4.4 Determinação de equações de volume para a espécie..... | 83 |
| 4.5 Identificação e análise de lesões e ocós através da tomografia de impulso e da análise visual..... | 84 |
| 4.6 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente..... | 128 |
| 4.6.1 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente (densitometria de raios X)..... | 128 |
| 4.6.2 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente (densidade aparente do lenho – método hidrostático)..... | 133 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 141 |
| REFERÊNCIAS..... | 143 |
| ANEXOS..... | 149 |

RESUMO

Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier

Este trabalho trata da avaliação dos padrões de resposta e da eficácia do método da tomografia de impulso na identificação de lesões e ocos no lenho de árvores de espécies madeireiras da região Amazônica, através do estudo de indivíduos da espécie *Manilkara huberi* Ducke (Chevalier) (família Sapotaceae). Lesões e ocos resultam do ataque de insetos e fungos e sua ocorrência pode ser favorecida por injúrias como fogo, quebra de galhos e de características do sítio. A colheita de árvores com grandes lesões ou ocos resulta em grande geração de resíduos no campo e na indústria, com impactos ambientais e econômicos negativos. Os métodos tradicionais de verificação de lesões e ocos para seleção de espécies tropicais são muito subjetivos e pouco eficientes, baseados principalmente na experiência dos mateiros e operadores de motosserra. O estudo foi realizado numa área de 3 ha no município de Paragominas, PA. Foram avaliadas 29 árvores de maçaranduba com DAP entre 50 e 130 cm, separadas em 4 grupos, em função do DAP e da ocorrência de oco. A análise da árvore em pé se deu através do tomógrafo de impulso, o qual gerou um gráfico de velocidade e uma imagem da qualidade do lenho. Foram coletadas amostras de solo próximas a cada indivíduo e realizadas análises químicas e físicas para análise da influência do solo na ocorrência de oco. As árvores foram cubadas e feitas estimativas de volume de madeira total (volume da árvore), volume de madeira útil (volume de madeira sólida descontando volume de oco) e volume de madeira útil utilizando os dados da tomografia de impulso. Os modelos de estimativa de volume testados foram: Spurr e Schumacher-Hall. Amostras de discos das árvores foram retiradas na altura da leitura do tomógrafo e feitas análises da qualidade dos discos a olho nu. Esses dados foram comparados com a classificação supervisionada da imagem tomográfica de cada indivíduo. Além disso, foram avaliadas as correlações entre os resultados da tomografia de impulso com os resultados das análises de densidade aparente obtidas por dois métodos: (i) densitometria de raios X e (ii) método hidrostático. Das 29 árvores observadas, 18 apresentaram oco (grupos 2 e 4). O solo não apresentou correlação com a ocorrência de oco na espécie. O volume total médio de cada grupo foi, respectivamente: 3,39; 4,00; 5,83 e 10,19 m³. O volume útil médio de cada grupo foi, respectivamente: 3,39; 3,79; 5,83 e 8,68 m³. O melhor modelo foi o de Schumacher-Hall, para o volume total, com um R² de 0,97. Para o volume útil o melhor modelo foi o de Schumacher-Hall modificado (utilizando os dados da tomografia de impulso). Houve correlação da imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a qualidade do fuste após o corte, porém, em diâmetros acima de 90 cm e em árvores com forma muito irregular o tomógrafo de impulso não foi capaz de detectar madeira deteriorada. Não houve correlação da imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com o resultado da densitometria de raios X e da densidade aparente pelo método hidrostático.

Palavras-chave: Tomografia de impulso; Manejo florestal; Maçaranduba; Lesões e Ocos

ABSTRACT

Impulse tomography application in quality wood evaluation of trees of maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier

This study treats about the evaluation of answers patterns and efficacy of the impulse tomography method in heart rot and lesions in woody trees of some species in Amazon region, through the study of individual of the specie *Manilkara huberi* Ducke (Chevalier) (family Sapotaceae). Lesions and hollow results from the attack of onsets and fungi and your occurrence might be favored by injuries as fire, broken branches and site characteristics. The harvest of trees with big lesions or hollows results in great waste generation on the field and in the industry, with environmental and economics negative impacts. The traditions methods to verify lesions or hollows in tropical species selection are subjective and inefficient based in bush-rangers and chainsaw operators experience. The study was in a 3 ha area in Paragominas, State of Para. 29 trees of maçaranduba were evaluated with DBH between 50 and 130 cm, deboned in 4 groups, based in DBH and hollow occurrence. The standing trees analyses were through impulse tomography, which generated a velocity graphic and an image from woody quality. Soil samples were collected next each individual and analysis chemicals and physicals were made to study the influence of soil in hollow occurrence. The trees were scaled and generated estimative from total wood volume (tree volume), useful wood volume (solid wood discounting hollow wood) and useful wood volume utilizing data from the impulse tomography. The models of the volume estimative tested were: Spurr and Schumacher-Hall. Trees discs samples were removal in tomography height reading and made analyses of the discs' quality under naked eyes. These data were compared with superviosioned classification of the tomography image of each individual. In addition, correlations between the impulse tomography and the results of apparent density obtained by 2 methods (i) X ray densitometry and (ii) hydrostatic method were evaluated. From the 29 trees observed, 18 presented hollow (groups 2 and 4). The soil did not present correlation with the hollow occurrence for the specie. The medium total volume of each group was, respectively: 3.39; 4.00; 5.83 e 10.19 m³. The medium useful volume of each group was, respectively: 3.39; 3.79; 5.83 e 8.68 m³. The Best model was Schumacher-Hall, to the total volume total, with R² of 0.97. For the useful volume, the best model were modified Schumacher-Hall (using data from the impulse tomography). There was correlation o the impulse tomography image generated with the trunk quality after the harvest, but in diameters above 90 cm and trees with irregular form, the impulse tomography was not able to detect deteriorated wood. There was no correlation between the impulse tomography image generated and the X ray densitometry and the apparent densitometry (hydrostatic method).

Keywords: Impulse tomography; Forest management; Maçaranduba; Lesions and hollows

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Bioma Amazônia (Fonte: LENTINI et al., 2005)..... | 31 |
| Figura 2 – Área depois de realizada a exploração convencional (Fonte: HOLMES et al., 2006)..... | 32 |
| Figura 3 – Classificação da qualidade do tronco (Fonte: AMARAL et al., 1998)..... | 36 |
| Figura 4 – Toras com presença de oco no pátio da serraria Cikel Brasil Verde Madeira Ltda. (Paragominas – PA)..... | 37 |
| Figura 5 – A espécie <i>Manilkara huberi</i> , detalhe da copa da árvore (A), ritidoma característico da espécie (B), detalhe do látex que exuda da casca da espécie (C), folhas de maçaranduba (D)..... | 39 |
| Figura 6 – Madeira de maçaranduba, árvore recém abatida (A), detalhe do cerne/alburno (B)..... | 41 |
| Figura 7 – Sensores do tomógrafo instalados no disco de madeira (Fonte: RINNTECH, 2007)..... | 47 |
| Figura 8 – Análise da estrutura interna de um disco de madeira (Fonte: RINNTECH, 2007) | 47 |
| Figura 9 – Mapa da área de estudo (Fonte: IFT, 2009)..... | 50 |
| Figura 10 – Árvore de maçaranduba estudada, marcação com plaqueta (A), árvore observada em estudo marcada com fita (B)..... | 51 |
| Figura 11 – Delineamento experimental da fase de campo, árvores de maçaranduba (A), tomografia de impulso (B), coleta de solo (C), derrubada e arraste das toras (D), retirada dos discos de maçaranduba (E)..... | 52 |
| Figura 12 – Delineamento experimental da fase de laboratório, discos de madeira das cinco árvores selecionadas (A), exame com a vista desarmada da amostra (B), coleta de sub-amostras para caracterização da densidade aparente (C), determinação do perfil radial por densitometria de raios X (D-F), obtenção de sub-amostras para o ensaios de densidade aparente (G, H), (Fonte: BRAZOLIN, 2009)..... | 53 |
| Figura 13 – Coleta de amostras de solo próximas a cada indivíduo de maçaranduba, local de coleta das amostras de solo (A), material utilizado para coleta (B), profundidade de coleta (C), amostra composta de solo (D)..... | 54 |
| Figura 14 – Processamento das amostras de solo, secagem do solo (A), identificação das amostras (B), material utilizado (C), solo peneirado (D)..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 15 – Cubagem das árvores, determinação dos pontos de aferição do diâmetro a 2 m (A), medição do diâmetro (B)..... | 58 |
| Figura 16 – Tomógrafo de impulso..... | 60 |
| Figura 17 – Coleta de dados da árvore em pé, altura da leitura (A), encaixe dos sensores e conexão dos cabos (B), pancadas com martelo (C), recepção dos dados via computador (D)..... | 61 |
| Figura 18 – Obtenção dos discos das árvores na altura da leitura do tomógrafo de impulso, seccionamento da tora com auxílio de motosserra (A), detalhe do disco (B), disposição dos discos no pátio de estocagem (C)..... | 63 |
| Figura 19 – Seqüência de lixamento de uma face do disco, superfície sem lixar (A), lixadeira de cinta estacionária (B), superfície lixada (C), detalhe do acabamento da superfície lixada (D)..... | 64 |
| Figura 20 – Árvore 1734, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B).. | 66 |
| Figura 21 – Árvore 1707, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B).. | 66 |
| Figura 22 – Árvore 1704, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B).. | 67 |
| Figura 23 – Árvore 1709, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B).. | 67 |
| Figura 24 – Árvore 1027, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B).. | 68 |
| Figura 25 – Obtenção das amostras, seleção dos cortes (A), demarcação do local dos cortes (B), seccionamento das amostras (C-D)..... | 69 |
| Figura 26 – Seqüência de preparo das amostras para estudo de densidade aparente, processamento das amostras (A), detalhe das amostras e subamostras (seta) (B), obtenção de subamostras para densitometria de raios X anatomia (C), subamostras (D)..... | 70 |
| Figura 27 – Subamostras de densitometria de raios X, subamostras do lenho m suporte de madeira (A), obtenção do material irradiado (B)..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 28 – Metodologia de raios X e a obtenção das imagens radiográficas do lenho das árvores de <i>Manilkara huberi</i> , corte das amostras em equipamento de dupla serra (A), seções transversais das amostras (B), suporte com as amostras sobre o filme radiográfico (C), irradiação das amostras em equipamento de raios X (D), imagem radiográfica e sua análise nos programas CRAD e CERD (E), perfil da densidade aparente e respectiva amostra do lenho (F) (Fonte: Tomazello-Filho, 2006)..... | 71 |
| Figura 29 – Subamostras para análise de densidade aparente, marcação das subamostras (A), serra tico-tico utilizada (B), obtenção das subamostras (C), detalhe do material (D)..... | 73 |
| Figura 30 – Medição da densidade aparente através do método hidrostático, amostras submetidas à análise (A), equipamentos utilizados (B), etapa feita antes da medição, para descontar o volume de água deslocado pelo equipamento (C), medição do deslocamento de água da amostra de maçaranduba (D)..... | 74 |
| Figura 31 – Diagrama de dispersão da quantidade de argila (%) no solo vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)..... | 78 |
| Figura 32 – Diagrama de dispersão da quantidade de matéria orgânica no solo (g/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)..... | 79 |
| Figura 33 – Diagrama de dispersão da quantidade de fósforo no solo (mg/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)..... | 79 |
| Figura 34 – Diagrama de dispersão da quantidade de potássio no solo (mmol/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)..... | 80 |
| Figura 35 – Diagrama de dispersão da quantidade de boro no solo (mg/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)..... | 80 |
| Figura 36 – Diagrama de dispersão da quantidade de ferro no solo (mg/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)..... | 81 |
| Figura 37 – Incidência de rachaduras, durante o corte das árvores (A), no pátio de estocagem (B)..... | 82 |
| Figura 38 – Diagrama de dispersão da análise visual dos discos, considerando o oco, vs. classificação supervisionada da imagem tomográfica..... | 87 |
| Figura 39 – Diagrama de dispersão da análise visual dos discos, considerando o oco adicionado da madeira deteriorada, vs. classificação supervisionada da imagem tomográfica..... | 87 |

| | |
|--|----|
| Figura 40 – Árvore 1734 (Grupo 1), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)..... | 90 |
| Figura 41 – Árvore 1231, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)..... | 91 |
| Figura 42 – Árvore 1421, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4 e 5 (D)..... | 92 |
| Figura 43 – Árvore 1588, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4, 5, 6 e 7(D)..... | 93 |
| Figura 44 – Árvore 1019, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (seta) (D)..... | 94 |
| Figura 45 – Árvore 1040, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)..... | 95 |
| Figura 46 – Árvore 1707 (Grupo 2), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4 e 5 (D), vista da seção longitudinal do oco (E), detalhe da região do oco (F)..... | 97 |

- Figura 47 – Árvore 1327, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de ocorrência do oco (D)..... 98
- Figura 48 – Árvore 1220, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4, 5 e 6 (D)..... 99
- Figura 49 – Árvore 1417, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região dos sensores 5, 6 e 7 (D)..... 100
- Figura 50 – Árvore 1562, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 7 e 8 (D)..... 101
- Figura 51 – Árvore 1569, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de podridão próxima aos sensores 5, 6 e 7 (D)..... 102
- Figura 52 – Árvore 1705, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de ocorrência de oco (D)..... 103
- Figura 53 – Árvore 1704 (Grupo 3), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região com ataque incipiente (D), corte longitudinal da madeira (E), detalhe das galerias em corte longitudinal (F)..... 105

| | |
|---|-----|
| Figura 54 – Árvore 1566, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região com rachaduras (D)..... | 106 |
| Figura 55 – Árvore 1330, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)..... | 107 |
| Figura 56 – Árvore 1221, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)..... | 108 |
| Figura 57 – Árvore 1709 (Grupo 4), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1, 2 e 11 (D), detalhe da região próxima ao oco (E), detalhe da região de ocorrência de oco no sentido longitudinal (F)..... | 110 |
| Figura 58 – Árvore 1027 (Grupo 4), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região sadia/deteriorada (D), corte longitudinal da região sadia/deteriorada (E), detalhe da região deteriorada (F)..... | 112 |
| Figura 59 – Árvore 1534, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1, 2 e 3 (D), detalhe da região entre os sensores 9 e 10 (E), detalhe da região com material deteriorado (F)..... | 114 |
| Figura 60 – Árvore 1790, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4 e 5 e a madeira deteriorada (seta) (D), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (E), detalhe da região sadia entre os sensores 10 e 11 (F)..... | 116 |

- Figura 61 – Árvore 1580, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 10 e 11 (D), detalhe da região de ocorrência de oco e de material deteriorado (E), detalhe da região de madeira sadia/deteriorada (F)..... 118
- Figura 62 – Árvore 1579, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região no de ocorrência de oco (D)..... 119
- Figura 63 – Árvore 1232, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1, 2 e 11 (D), detalhe da região de material sadio/deteriorado entre os sensores 1 e 2 (E), detalhe da região de madeira deteriorada adjacente ao oco (F)..... 121
- Figura 64 – Árvore 1359, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de madeira deteriorada (D)..... 122
- Figura 65 – Árvore 1236, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 5 e 6 (D)..... 123
- Figura 66 – Árvore 1255, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 2 e 3 (D)..... 124
- Figura 67 – Árvore 1045, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1 e 2 (D)..... 125

- Figura 68 – Árvore 1032, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de ocorrência de oco (D), região com material deteriorado (E), detalhe da região deteriorada em seção longitudinal (F)..... 127
- Figura 69 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 7, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 128
- Figura 70 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 129
- Figura 71 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 129
- Figura 72 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 10, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 130
- Figura 73 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 130

- Figura 74 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 131
- Figura 75 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 131
- Figura 76 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 132
- Figura 77 – Diagrama de dispersão diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba, para todas as amostras de lenho das árvores..... 133
- Figura 78 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 7, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 134
- Figura 79 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 134

- Figura 80 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 135
- Figura 81 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 10, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 135
- Figura 82 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 136
- Figura 83 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 136
- Figura 84 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 137
- Figura 85 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 137

- Figura 86 – Gráficos de perfil da árvore 1027, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 138
- Figura 87 – Gráficos de perfil da árvore 1027, direção de obtenção da amostra entre os sensores 6 e 11, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)..... 138
- Figura 88 – Diagrama de dispersão diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba, para todas as amostras de lenho das árvores..... 139

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Qualidade do tronco e seu fator de aproveitamento Fonte: AMARAL et al., 1998..... | 36 |
| Tabela 2 – Correlação entre as classes de DAP e de altura das árvores estudadas..... | 51 |
| Tabela 3 – Classificação dos indivíduos de maçaranduba..... | 62 |
| Tabela 4 – Características físicas (granulometria) do solo em função do grupo..... | 77 |
| Tabela 5 – Características químicas do solo (matéria-orgânica, macro e micronutrientes) em função do grupo..... | 78 |
| Tabela 6 – Características e propriedades químicas do solo em função do grupo..... | 78 |
| Tabela 7 – Correlação entre as classes de DAP e de volume total das árvores estudadas..... | 81 |
| Tabela 8 – Correlação entre as classes de DAP e de volume útil das árvores estudadas..... | 81 |
| Tabela 9 – Correlação entre as classes de DAP e de volume útil das árvores estudadas..... | 82 |
| Tabela 10 – Coeficientes de regressão e principais estatísticas dos 2 modelos de volume total testados para árvores de maçaranduba..... | 83 |
| Tabela 11 – Coeficientes de regressão e principais estatísticas dos 4 modelos de volume útil testados para árvores de maçaranduba..... | 84 |
| Tabela 12 – Qualidade da madeira obtida pela análise visual, considerando o oco, e da imagem tomográfica das seções transversais de árvores de maçaranduba em relação ao grupo..... | 85 |
| Tabela 13 – Qualidade da madeira obtida pela análise visual, considerando madeira deteriorada mais oco, e da imagem tomográfica das seções transversais de árvores de maçaranduba em relação ao grupo..... | 86 |
| Tabela 14 – Velocidades máxima, média e mínima das seções transversais de árvores de maçaranduba em relação ao grupo..... | 86 |
| Tabela 15 – Análise da tomada de decisão do corte das árvores com o auxílio do tomógrafo de impulso em relação à situação real de corte..... | 89 |

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem ocorrido uma grande mudança no ambiente em que as empresas operam. Se até recentemente a preocupação no ambiente empresarial era referente a resolver os problemas econômicos fundamentais (o que, como e para quem produzir), gradativamente as organizações têm incorporado novas responsabilidades, especialmente em relação aos aspectos ambientais (DONAIRE, 1995). E, dentre os aspectos ambientais, um dos mais relevantes é a gestão de resíduos.

Para as empresas, resíduos são materiais que passaram pelos processos produtivos consumindo insumos e matérias primas, desgastando equipamentos, utilizando mão de obra, participando dos custos fixos da produção, mas que não resultaram em produtos.

Além disso, exigem gastos com transporte, disposição, monitoramento de riscos e remediação em casos de acidentes; reduzem a margem de lucro, comprometendo a competitividade; e promovem prejuízo à imagem corporativa, restringindo o acesso a financiamentos e alguns segmentos de mercado.

Na região Amazônica, a produção madeireira se caracteriza, pela máxima retirada de madeira por unidade de área, pela exploração 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 industriais 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.

A seleção das espécies e dos indivíduos arbóreos que serão abatidos é um fator crítico para o maior aproveitamento da madeira. Atualmente, as espécies são selecionadas em função da aceitação pelo mercado, que é bastante restritivo. Os indivíduos a serem colhidos são selecionados com base no DAP, na frequência com que ocorrem na área, na forma da árvore e na presença de oco.

A incidência de lesões e ocos é uma característica inerente a várias espécies madeireiras amazônicas e contribui para a geração de um volume expressivo de resíduos. Essas lesões são resultantes do ataque de fungos e insetos e, há uma correlação positiva entre a idade e o diâmetro da árvore e a presença de lesões e oco (FONTES, BERTI FILHO, 1998; WAGNER, DAVIDSON, 1954).

Árvores com grandes volumes lesionados ou ocos não apresentam qualidade para produção de madeira serrada. Entretanto, os métodos para avaliação desses defeitos são bastante subjetivos, dependendo fundamentalmente da perícia e experiência do operador de motosserra. Com isso, inúmeros indivíduos são colhidos, traçados e, algumas vezes, têm suas toras descartadas ainda na floresta. Em outros casos, as toras são transportadas para as serrarias onde acabam abandonadas nos pátios como resíduo.

Os métodos visuais e mecânicos de avaliação são os mais utilizados atualmente, mas têm apresentado baixa eficiência. Métodos científicos não destrutivos estão sendo desenvolvidos e testados em indivíduos da arborização urbana visando identificar árvores que apresentam risco de queda. Esses métodos demonstram potencial para aplicação no manejo florestal; não na avaliação de cada indivíduo, mas de populações de determinadas espécies que costumam apresentar maior incidência dessas lesões, apoiando a decisão sobre a exploração ou não da espécie naquele local. O operador de motosserra é pago por árvore abatida, logo, quanto mais árvores derrubadas no dia, maior o salário. Além disso, não recebe treinamento para detecção de lesões e ocos e quando analisada, o método consiste em introduzir o sabre da motosserra na árvore e, pela facilidade de corte e pela cor da serragem que sai, o operador estima se há ou não o oco ou alguma lesão e o tamanho do mesmo. Trata-se de um parâmetro subjetivo que pode levar a um grande desperdício e elevados índices de impacto na produção de madeira serrada.

Além dos custos econômicos e da geração de resíduos, a colheita de árvores lesionadas ou ocos resulta em danos à estrutura da floresta, perda de banco de sementes e outros impactos ambientais negativos.

Este estudo busca avaliar a viabilidade de aplicação da tomografia de impulso na detecção de lesões e ocos para aplicação no manejo florestal, visando reduzir a geração de resíduos e os impactos negativos da atividade. A proposta busca minimizar o fator humano na escolha das árvores a serem abatidas e apresentar um método objetivo e eficiente para detecção de lesões e ocos.

Se mostrar-se adequado, o método prevenirá o corte, o transporte e o desdobro de árvores que não resultarão em um bom rendimento em madeira serrada.

Com isso não há a necessidade de se realizar a colheita para depois perceber que não era viável e fazer um novo ajuste, ficando um planejamento baseado em tentativa-e-erro.

A baixa eficiência dos métodos tradicionais de identificação e quantificação de lesões e ocos aplicados na colheita florestal de árvores de espécies nativas na região Amazônica é responsável pela geração de um grande volume de resíduos, tanto na floresta como nas indústrias. A tomografia de impulso oferece a possibilidade de análise não destrutiva para identificação de lesões e ocos. Se eficaz em árvores de grandes diâmetros, poderá auxiliar na decisão sobre quais espécies serão colhidas em um determinado sítio, avaliando-se populações de espécies com tendência ao problema. Isso poderá evitar o corte desnecessário e todos os impactos ambientais e econômicos dessa ação ao longo das cadeias produtivas de produtos sólidos de madeira tropical.

Objetivos

Este trabalho teve como objetivo avaliar os padrões de resposta e a eficiência do método da tomografia de impulso na identificação de lesões e ocos no lenho de árvores de espécies madeireiras da região Amazônica, através do estudo de indivíduos da espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (família Sapotaceae). A melhoria no método de identificação de árvores com fuste sem qualidade para a produção madeireira contribuirá para a redução da geração de resíduos e dos impactos ambientais negativos ao longo das cadeias produtivas de produtos sólidos de madeira tropical, aumentando a sustentabilidade no setor.

Objetivos específicos

- a) Avaliar se há correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a qualidade do fuste após o corte;
- b) Avaliar se há correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com o resultado da densitometria de raios X e com o resultado da densidade aparente do lenho;
- c) Avaliar se há correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo com a estimativa de volume da árvore;
- d) Determinar o melhor modelo que estime o volume total e o volume útil para maçaranduba;
- e) Analisar se há correlação entre as características do solo do entorno de cada indivíduo com a ocorrência de oco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A exploração madeireira na região Amazônica

O Bioma Amazônia ocorre em nove países da América do Sul, compreendendo uma área de 6,4 milhões de quilômetros quadrados. O Brasil detém 63% dessa área e os 37% restantes estão distribuídos entre o Peru (10%), Colômbia (7%), Bolívia (6%), Venezuela (6%), Guiana (3%), Suriname (2%), Equador (1,5%) e Guiana Francesa (1,5%) (Figura 1) (LENTINI et al., 2005).



Figura 1 – Bioma Amazônia (Fonte: LENTINI et al., 2005)

A Amazônia Legal compreende os Estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso, parte do Maranhão e uma pequena porção de Goiás. A área da Amazônia Legal é de aproximadamente 5 milhões de quilômetros quadrados, ou seja, 59% do território brasileiro (LENTINI et al., 2005).

A extração de madeira na Amazônia brasileira danifica 10.000 a 15.000 Km² de floresta por ano (NEPSTAD et al., 1999), com a geração de uma enorme quantidade de resíduos, tanto na colheita como no desdobro (LENTINI et al., 2005). No Pará, uma operação típica de extração de toras retira de 25 a 30 m³ de madeira por hectare e de 30 a 60 espécies, sendo elas comerciais ou não. Nesse processo, a cobertura florestal é reduzida em 50%, causando uma abertura excessiva do dossel, que adicionada ao acúmulo de resíduos florestais, faz com que a floresta explorada fique vulnerável a incêndios (VIDAL et al., 1997).

Na região Amazônica brasileira o modelo de exploração predominante é o denominado sistema convencional de exploração florestal (SABOGAL et al., 2006). Esse possui um padrão de exploração desordenado, sem um planejamento prévio do que e como explorar. Árvores abatidas são esquecidas, árvores jovens e de valor comercial são destruídas e o solo é intensamente danificado (Figura 2) (VIDAL et al., 1997).



Figura 2 – Área depois de realizada a exploração convencional (Fonte: HOLMES et al., 2006)

A exploração convencional no Pará, em 1997, apresentava um rendimento médio de 35% (VIDAL et al., 1997). Nessa mesma região, estima-se que as operações de desdobro resultam numa geração de resíduo de 44%, quando para o mercado interno e 48%, quando para mercado externo (GERWING et al, 2001; VIDAL et al, 1997).

Novos modelos de exploração de florestas nativas têm sido desenvolvidos, especialmente nos últimos 20 anos, incorporando ações voltadas para o aumento da sustentabilidade ambiental, econômica e social nas cadeias produtivas florestais.

O manejo florestal é um desses modelos e compreende um conjunto de técnicas que favorecem a redução dos impactos da exploração florestal, a aplicação de tratamentos silviculturais para garantir cortes futuros e o monitoramento do crescimento da floresta (MONTEIRO, 2004).

A exploração convencional não considera os ciclos de corte. A empresa florestal explora uma área até a exaustão dos recursos madeireiros e depois migra para outro local não explorado (VIDAL et al., 1997). Esse modelo de exploração de recursos florestais se reproduz desde o período colonial, quando a Colônia fornecia os recursos naturais para a Metrópole, sem nenhuma

preocupação ambiental. E tem contribuído para a extinção de várias espécies nativas e para a redução drástica de alguns biomas.

O manejo florestal sustentável busca conduzir a exploração madeireira de forma planejada, visando assegurar a produção atual e futura das florestas, com redução dos impactos ambientais negativos da atividade e aumento da rentabilidade. Ele é baseado em práticas da exploração de impacto reduzido (SABOGAL et al., 2006).

Segundo a Lei nº 11.284, março de 2006, do Ministério do Meio Ambiente, manejo florestal sustentável é definido como a “administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal.”

O Quadro 1 mostra como os conceitos de manejo florestal diferem em relação às suas características (SABOGAL et al., 2006).

| Conceito | Características |
|---------------------------------------|--|
| Exploração | Utilização de produtos florestais |
| Exploração convencional | Exploração sem planejamento das atividades (sem inventário 100%, planejamento da infra-estrutura, trilhas de arraste, etc.). Com funcionários sem capacitação e maquinário muitas vezes inapropriado |
| Exploração planejada | Mais planejamento eficiente da exploração para maximizar a produtividade e reduzir desperdícios |
| Exploração de impacto reduzido | Mais atividades para diminuir danos à vegetação remanescente, considerando-se as opções da próxima colheita |
| Manejo florestal | Mais atividades pós-colheita como tratamentos silviculturais para estimular o desenvolvimento florestal e providências para proteção da área |
| Manejo florestal sustentável | Mais atividades que garantem a disponibilidade dos serviços florestais econômicos, sociais e ambientais para as próximas gerações |
| Plano de manejo florestal sustentável | Exploração florestal aprovada pelo IBAMA, conforme a legislação vigente |
| Manejo certificado | Certificação da produção (selo verde) pela tentativa da empresa de cumprir as normas legais, manejar a floresta de forma contínua e cumprir as normas trabalhistas |

Quadro 1 – Conceitos de manejo florestal (Fonte: SABOGAL et al., 2006)

A exploração de impacto reduzido é outro modelo fundamentado no planejamento das operações e em capacitação da mão-de-obra, cujos objetivos são: (i) minimização dos danos ambientais para permitir explorações futuras na área; (ii) redução dos custos operacionais e (iii) redução dos desperdícios (SABOGAL et al., 2000; ENTERS, DURST, 2001). Esse tipo de ação utiliza princípios científicos e de engenharia para melhorar a qualidade do trabalho e dos métodos operacionais na colheita da madeira (ENTERS, DURST, 2001).

Em um estudo feito em Paragominas (PA), comparou-se a extração de madeira utilizando métodos convencionais e utilizando os métodos de manejo de impacto reduzido. O volume extraído de madeira nesta área foi de 38,6 m³/ha, 30% maior do que o volume extraído em área sem de exploração convencional (BARRETO et al., 1998).

Em estudo realizado em área próxima à Paragominas (PA) foram feitos modelos que predizem, a longo prazo, o crescimento e o rendimento de florestas submetidas aos efeitos da extração de madeira através da exploração de impacto reduzido e do método convencional. A exploração de impacto reduzido leva 10 e 30 a 40 anos para recuperar o volume total e o volume comercial de madeira. A exploração convencional leva 35 a 45 e mais de 60 anos para recuperar os volumes total e comercial, respectivamente. Apesar da exploração de impacto reduzido ter um tempo menor de recuperação da floresta, isso não resulta, a longo prazo, em rendimentos sustentados (VALLE et al., 2007). Em floresta primária submetida ao manejo florestal sustentável na Floresta Nacional Tapajós foram feitos cenários que simularam o crescimento e o rendimento. Foi sugerida a retirada de 10m³ ha⁻¹ e um ciclo de corte de 30 anos ou 20 m³ ha⁻¹ e um ciclo de corte de 60 anos. Isso é muito abaixo do que a legislação brasileira permite, retirar 35 m³ ha⁻¹ e ter um ciclo de corte de 30 anos. Para justificar níveis mais elevados de extração de madeira a indústria pode: (i) buscar uma seleção mais diversificada de espécies que são colhidas ou (ii) investir em pesquisa em sítios específicos observando o crescimento da floresta e seu potencial rendimento (GARDINGEN, VALLE, THOMPSON, 2006). Aplicando métodos de manejo florestal, chegou-se a um aumento de 8,3 m³ de volume de madeira com qualidade comercial extraída em cada hectare. Na serraria poderia se evitar a geração de 5,7 m³/ha de resíduo madeireiro, melhorando as técnicas de desdobro (VIDAL et al, 1997).

Em outro estudo, a otimização da seleção de árvores na colheita de *Pinus sylvestris* (scots pine) de 32 anos, *Picea abies* (norway spruce) de 35 anos e a mistura das duas com 17 anos foi feita para quatro tipos de tratamento. Acredita-se que a maneira como a distribuição espacial é

otimizada, decresce com o aumento do número da classe de diâmetros. Porém, quando o modelo de rendimento é espacial, um algoritmo para a seleção de árvores é necessário, além das classes de diâmetro (PUKKALA; MIINA, 1998). Ou seja, a seleção de árvores é uma operação complexa e não pode ser baseada em classes de diâmetros, e sim na organização da floresta e no comportamento de cada espécie naquele local.

2.2 A seleção de espécies e os métodos de seleção

A seleção das espécies que serão colhidas em um determinado empreendimento faz parte do planejamento da colheita e é baseada em critérios como o potencial comercial da espécie, densidade na área a ser colhida e características volumétricas (diâmetro e altura do fuste comercial) (AMARAL et al., 1998; IMAFLORA, 2007; SABOGAL et al., 2000).

Na escolha da espécie de madeira adequada para um determinado uso, deve-se levar em conta quais as propriedades requeridas para cada utilização, a cor e o desenho da madeira que o mercado reconhece como satisfatório. Essas propriedades são: propriedades físicas – densidade aparente, propriedades de resistência – compressão paralela às fibras e cisalhamento, e propriedade de rigidez – módulo de elasticidade (IPT, 2003).

Na Floresta Amazônica há uma infinidade de espécies madeireiras, com uma grande amplitude de propriedades, cores e desenhos que permitem usos em diversos tipos de produtos, desde móveis até a construção civil. Porém, há uma demanda por poucas espécies em função de fatores culturais e de desconhecimento do potencial de espécies não tradicionais.

A dificuldade de reconhecimento e distinção de espécies com características semelhantes e a necessidade de abastecimento do mercado faz com que diferentes espécies sejam agrupadas em categorias com propriedades e aparência comuns. No mercado interno o grupamento de espécies é praticado, porém de maneira não técnica e sem o conhecimento do consumidor final. A vantagem dessa estratégia é a utilização de várias espécies para um determinado uso, mas a forma como essa seleção de espécies está ocorrendo é inapropriada (IPT, 2003) e pode causar danos à floresta, pela retirada de espécies com baixo rendimento ou população pequena na área.

O volume estimado da espécie na área de exploração é fornecido no inventário 100%. Nesse inventário são levantados o DAP da árvore, a localização, a qualidade do fuste e a qualidade da copa (para as árvores matrizes) e se há oco aparente. Na etapa de corte é feito o teste do oco para, posteriormente, cortar as árvores.

Quanto a seleção de indivíduos para abate, há uma classificação quanto à qualidade comercial dos troncos. Troncos retos, cilíndricos e sem presença de oco são considerados bons para a exploração madeireira. Aqueles que são retos, com presença de ocos pequenos, ou os que são tortos, porém não possuem oco são considerados regulares. Mas troncos que são tortuosos e com ocos relativamente grandes são considerados de qualidade inferior (Figura 3) (AMARAL et al., 1998).

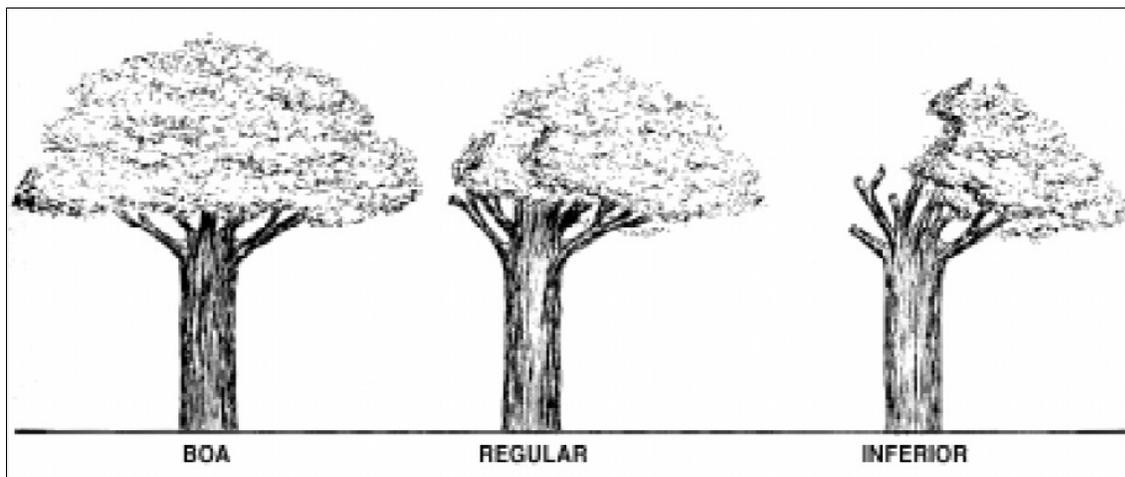


Figura 3 – Classificação da qualidade do tronco (Fonte: AMARAL et al., 1998)

A partir dessa classificação do tronco da árvore é adotado um coeficiente, chamado de fator de aproveitamento. Esse permite ter uma estimativa do volume de madeira que efetivamente será convertido em madeira serrada, multiplicando-se o volume de madeira total (da altura do corte até a altura comercial – altura da primeira bifurcação da árvore) pelo fator de aproveitamento (Tabela 1) (AMARAL et al., 1998).

Tabela 1 – Qualidade do tronco e seu fator de aproveitamento

| Qualidade do tronco | Aproveitamento (%) | Fator de aproveitamento |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| BOM | 80-100 | 0,9 |
| REGULAR | 50-79 | 0,7 |
| INFERIOR | < 50 | 0,3 |

Fonte: AMARAL et al., 1998

A ocorrência de oco em uma árvore pode ser identificada inserindo-se o sabre da motosserra no interior do fuste e avaliando-se a resistência à inserção. Se a operação não apresentar dificuldade significa que a árvore possui oco. Outra forma é perfurar o tronco da árvore com um trado de diâmetro pequeno e, posteriormente, com uma régua, inseri-la e medir o tamanho desse oco. Entretanto, há alguns tipos de lesão que apesar de comprometer a qualidade do fuste para uso comercial, não resultam em oco. Essas árvores com o cerne completamente deteriorado estão totalmente comprometidas e, muitas vezes, percebe-se isso pela cor da serragem que sai no teste do oco. Porém esse não é 100% seguro. Isso leva a uma avaliação incorreta e ao corte de árvores sem qualidade para aproveitamento comercial (Figura 4).



Figura 4 – Toras com presença de oco no pátio da serraria Cikel Brasil Verde Madeira Ltda. (Paragominas – PA)

Árvores com lesões como cupinzeiros, presença de secreções escuras ao longo do tronco e galhos quebrados indicam a presença de oco (AMARAL, et al., 1998). Entretanto, alguns outros tipos de lesões não apresentam sinais externos ou formação de oco, o que dificulta sua identificação, levando ao corte desnecessário de árvores sem qualidade para a produção madeireira.

A detecção da presença de oco e lesões é extremamente importante não só do ponto de vista ambiental como também social. A maior parte dos acidentes graves que ocorrem na colheita florestal são provocados pela derrubada de árvores com ocos, pois elas caem rapidamente e sem direção previsível (AMARAL et al., 1998).

Uma mesma espécie pode ter qualidade de madeira muito diferente de um sítio para outro em função do solo, distribuição pluviométrica, ventos, pragas, entre outros, o que resulta em maior ou menor aproveitamento, com maior ou menor geração de resíduos. Um exemplo é a maçaranduba (no Estado do Pará), que em algumas áreas chega a ter um rendimento de até 50% em madeira serrada e em outras não mais que 9%, (ORSA FLORESTAL¹, 2006). O mesmo fato foi relatado para outras espécies em outras empresas florestais, entre elas, a ECOLOG no estado de Rondônia (ALBUQUERQUE², 2007).

O problema é decorrente da falta de critérios e métodos mais adequados para avaliação da qualidade da madeira ainda com a árvore em pé. Somente após a colheita e, muitas vezes, até mesmo somente após o desdobro é que se tem real noção da qualidade da madeira de determinada espécie em uma dada área.

Dessa forma, a seleção das espécies a serem colhidas e a determinação do seu rendimento acabam sendo feitas muito mais por tentativa-e-erro, que por métodos científicos. Se determinada espécie não tem um rendimento esperado naquele local, após a primeira ou segunda colheita, terá o volume colhido reduzido ou totalmente eliminado nas safras seguintes.

A retirada de espécies com potencial comercial, porém com madeira de baixa qualidade naquele sítio, além de resultar na geração de grande quantidade de resíduo, baixo rendimento e baixa rentabilidade, compromete também a sustentabilidade do ecossistema e da própria produção em longo prazo.

Métodos mais objetivos e não destrutivos de análise da qualidade da madeira no pré-colheita, podem contribuir para se evitar o corte de árvores sem qualidade para a produção madeireira e para uma maior sustentabilidade na cadeia produtiva de produtos de madeira tropical.

A retirada de uma árvore comprometida pela alta incidência de defeitos possui um alto custo econômico e ambiental. O custo da derrubada de árvores, aplicando técnicas de manejo florestal é de U\$ 0,25/ m³ (com 3 pessoas), U\$ 0,31/m³ (com 2 pessoas) e U\$ 0,30/m³ (aplicando a exploração convencional) (BARRETO et al., 1998). Logo, a exploração de árvores muito

¹ ORSA FLORESTAL. Seminário no Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, 2006.

² ALBUQUERQUE, F. Comunicação pessoal no Laboratório de Moveleira e Resíduos Florestais da ESALQ/USP, 2007

defeituosas compromete a exploração do ponto de vista econômico, pois se transporta e se serra resíduo. Além disso, a floresta perde um indivíduo que estava desempenhando o seu papel ecológico. Ambientalmente, a árvore sempre está cumprindo seu papel como banco de sementes, abrigo para animais, suporte para epífitas, produção de frutos e sementes que são alimento para seres vivos, etc.

2.3 As árvores de maçaranduba

A espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, da família Sapotaceae, é conhecida popularmente como maçaranduba (Figura 5). A sua classificação ecológica é oportunista-clímax (FERRAZ et al, 2004).



Figura 5 – A espécie *Manilkara huberi*, detalhe da copa da árvore (A), ritidoma característico da espécie (B), detalhe do látex que exuda da casca da espécie (C), folhas de maçaranduba (D)

É uma árvore de grande porte, com cerca de 40-50 m de altura, nativa das regiões de terra firme da Amazônia, de até 700 m de altitude. A espécie possui a maior distribuição na Amazônia, dentre as espécies do gênero (EMBRAPA, 2004).

O tronco é cilíndrico, podendo ter sapopemas de até 1,5 m. Apresenta ritidoma de marrom-acinzentado a escuro ou avermelhado com fissuras profundas, formando placas alongadas que não se desprendem. Apresenta látex abundante, branco brilhante, saindo em gotas irregulares e pegajosas (EMBRAPA, 2004).

As folhas são oblongas e discolores: verdes na face adaxial e amarelas na face abaxial. Apresenta estípulas muito pequenas (1-2 mm) na base do pecíolo (EMBRAPA, 2004).

As flores são hermafroditas, dispostas em fascículos com pedicelos compridos, 6 sépalas em duas camadas, lanceoladas, ápice agudo, geralmente cobertos com cera, corola glabra, com 6 lóbulos divididos na base em três segmentos; 6 estames e 6 estaminóides glabros. As flores passam primeiramente pela fase feminina e, posteriormente, pela fase masculina (EMBRAPA, 2004).

O fruto é ovóide a globoso, com ápice e base obtusos ou arredondados (EMBRAPA, 2004), e frutificação anual (FERRAZ et al, 2004).

A semente é comprida lateralmente, com uma proeminência dorsal bem desenvolvida (EMBRAPA, 2004), cuja dispersão é zoocórica por morcegos e macacos, sem dormência e sem dessecação (FERRAZ et al, 2004). O tamanho é de 0,3 cm³ e sua longevidade no habitat natural é curta (FERRAZ et al, 2004).

Estudo genético da espécie mostrou altos índices de diversidade genética molecular em comparação com espécies arbóreas tropicais. Apesar disso, foi observada alta taxa de endogamia, causada tanto por autofecundação como por cruzamento entre parentes. É uma espécie preferencialmente alógama, mas com taxa significativa de autofecundação (AZEVEDO, 2007).

Essa espécie é muito usada na construção civil, principalmente na construção externa, e em dormentes e pisos (EMBRAPA, 2004).

As características macroscópicas da madeira são: madeira muito pesada, cerne vermelho-escuro, grã direita, textura fina, cheiro indistinto e brilho moderado (Figura 6). As características microscópicas são: poros difusos, visíveis sob lente, pequenos a muito pequenos, pouco numerosos, solitários e múltiplos predominantes, ocorrendo em cadeias radiais, placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas, areoladas, poligonais inclusas; fibras

libriformes, não septadas e com parede espessa; parênquima axial pouco contrastado, com 1-2 fileiras de células de largura; raios visíveis sob lente, heterogêneos, não estratificados. Possui camadas de crescimento marcadas por zonas fibrosas (EMBRAPA, 2004).

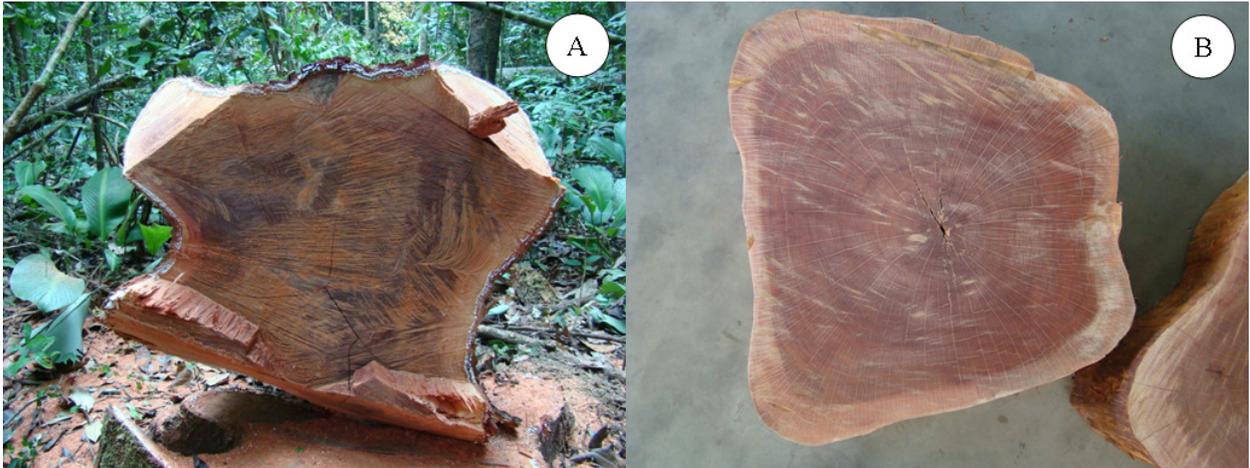


Figura 6 – Madeira de maçaranduba, árvore recém abatida (A), detalhe do cerne/alburno (B)

2.4 Lesões e ocos em espécies tropicais

A biodeterioração da madeira significa o ataque e a decomposição do material por insetos, fungos e bactérias. Esse processo é caracterizado pela colonização de células e tecidos, ocasionando mudanças na estrutura anatômica e nas propriedades químico-físico-mecânicas do tecido afetado (BRAZOLIN, 2009).

A deterioração da madeira não pode ser considerada como doença, uma vez que, mesmo em árvores vivas, ocorre na madeira do cerne, que é considerada morta. Porém, o alburno sadio pode ser invadido por fungos deterioradores, se a colonização no cerne estiver muito avançada (BOYCE, 1961). A degradação da madeira ocorre de forma ordenada e sequencial. Os grupos de microrganismos obedecem a estágios sucessionais, isto é, modificam-se à medida que se altera a composição do substrato (madeira) que está sendo atacado, decompondo gradativamente a madeira (FOELKEL, BUSNARDO, 1986).

Os fungos necessitam de um balanço entre o ar e a umidade para causar a deterioração. A madeira que não foi atacada e passa pelo processo de secagem, não sofrerá o ataque de fungos deterioradores, pois apresenta umidade inferior a 15%. A umidade de 25 a 32% (ponto de saturação das fibras) ou mais é requerida para que ocorra a infestação. Por outro lado, madeiras

totalmente saturadas também não sofrem o ataque de fungos, pois não há oxigênio disponível para os processos biológicos dos microrganismos (BOYCE, 1961).

Há duas classes de fungos deterioradores de madeira. A primeira causa a podridão branca, decompondo todos os componentes da madeira, incluindo a lignina. A madeira afetada é reduzida a uma massa esponjosa, concomitantemente com madeira rígida. A segunda causa a podridão parda, decompondo a celulose e as pentosanas associadas à celulose, deixando a lignina inalterada. A madeira é reduzida a uma massa com coloração variável de marrom, que pode ser pulverizada com as mãos. As duas classes podem ocorrer em uma mesma árvore, a podridão branca ocorre primeiramente atacando o cerne e é seguida pelo ataque de fungos de podridão parda (BOYCE, 1961).

A podridão branca, encontrada em árvores de *Eucalyptus* sp., foi caracterizada pela degradação de lignina, celulose, hemiceluloses e extrativos. Os fungos causadores dessa podridão degradam as paredes e reservas celulares, deixando a madeira esbranquiçada, afetando a resistência mecânica e diminuindo a densidade da madeira (FOELKEL, BUSNARDO, 1986). Esses fungos podem ser himenomicetos, basidiomicetos, ascomicetos e deuteromicetos. Também pode ocorrer ataque por bactérias (FOELKEL, BUSNARDO, 1986).

A deterioração pode ser tão severa que a madeira do cerne se parte completamente, deixando um oco na árvore com a madeira do alburno suportando estruturalmente a árvore (BOYCE, 1961). O oco é um mecanismo adaptativo, sendo fonte mineral e de nitrogênio. O oco é um ambiente para ninho ou abrigo de animais e para ação metabólica microbiana, a qual pode resultar na fertilização do solo na base da árvore. A ocorrência do oco é esperada em ambientes pobres nutricionalmente (JANZEN, 1976). Ocasionalmente, um estágio intermediário pode ser reconhecido entre o início e os estágios avançados de colonização (BOYCE, 1961).

A deterioração da madeira por fungos é uma ação química nas substâncias que compõem a madeira por enzimas secretadas nas hifas dos fungos (BOYCE, 1961).

A inoculação do tecido ocorre através de esporos, liberados pelo corpo de frutificação do fungo, levados por correntes de ar e que quando encontram ambientes e tecidos propícios, germinam. A hifa não penetra na casca ou em madeira de alburno viva, conseqüentemente, o esporo deve germinar em madeira de cerne ou tecido morto exposto e diretamente conectado com o cerne, para que a deterioração comece em uma árvore viva. Galhos quebrados fornecem o acesso direto ao cerne, assim como cicatrizes de fogo. As injúrias causadas pelo fogo são os

pontos mais freqüentes de entrada para fungos que causam podridão (BOYCE, 1961). O processo de desenvolvimento da podridão é lento, levando anos para causar um dano na árvore, como um oco.

Pouco se sabe a respeito da resistência de árvores vivas à deterioração do cerne, mas provavelmente depende da variabilidade genética entre a espécie e variabilidade das condições físicas da madeira (BOYCE, 1961).

As causas da ocorrência de oco são idade da árvore, sítio, histórico da área e variabilidade genética e (WAGENER, DAVIDSON, 1954).

Em árvores de Aspen encontrou-se uma relação entre a idade e a ocorrência de podridão causando oco e entre a qualidade do sítio e a podridão. A relação entre a idade e o estágio de degradação da árvore é diretamente proporcional, ou seja, quanto mais velha a árvore maior, a porcentagem de madeira apodrecida. Além disso, apesar de haver uma pequena relação entre a podridão e o sítio para árvores jovens, em árvores acima de 100 anos, as diferenças são maiores. A média de podridão, nesse caso, foi 4, 8 e 13% para os sítios 1, 2 e 3, respectivamente (DAVIDSON, HINDS, HAWKSWORTH, 1959). Em árvores de *Eucalyptus marginata* e *Corymbia calophylla* houve correlação entre o diâmetro e a idade da árvore com a incidência de oco. Quanto maior e mais velha a árvore, maior a ocorrência de oco. A forma de ocorrência do oco, para essas espécies, foi cilíndrica e orientada verticalmente (WHITFORD, 2002).

Há estudos sobre a relação do sítio com a ocorrência da deterioração do cerne e a relação da idade da árvore com a ocorrência de podridão do cerne. Em estudo de deterioração causado por *Fomes igiarius*, no Colorado - EUA, em um dos sítios houve menor deterioração do lenho das árvores e no outro, maior (DAVIDSON, HINDS, HAWKSWORTH, 1959). O tipo de solo influencia na incidência de oco (WAGENER, DAVIDSON, 1954).

Árvores de *Acacia mangium* foram estudadas com relação a ocorrência de fungos causadores de oco. O fungo *Phellinus noxius* foi identificado e associado ao oco em diferentes sítios, porém sua ocorrência foi observada em árvores com idade maior ou igual a 7 anos (LEE, ZAKARIA, 1993).

Indivíduos de *Acácia mangium* foram estudados em 5 locais da Indonésia. A incidência de oco foi significativamente diferente entre algumas regiões. O que foi decisivo para incidências diferentes de oco foi a combinação do tipo de manejo, idade e clima em 5 regiões distintas explicam as diferenças na incidência e severidade do oco (BARRY et al., 2004).

O histórico da área refere-se a eventos abióticos ocorridos na floresta que causam injúrias na árvore e são portas de entrada para agentes bióticos causadores do oco. Esses agentes bióticos são basicamente o fogo e tempestades (WAGENER, DAVIDSON, 1954).

Algumas espécies não apresentam indicadores de que estão sofrendo deterioração do cerne, outras apresentam o corpo de frutificação do fungo na parte externa da árvore (BOYCE, 1961).

A deterioração da árvore não começa enquanto a madeira de cerne ainda está sendo formada, que poder ser de 15 a 40 anos, dependendo da espécie (BOYCE, 1961). Após a formação da madeira de cerne, ela pode sofrer ataque de fungos deterioradores de madeira.

Além de fungos, pode ocorrer o ataque de cupins. Em árvores vivas as relações entre cupins e fungos são muito complexas. Em algumas espécies a ocorrência de cupim na árvore só se dá após a degradação de algumas substâncias da madeira, degradadas por fungos. Em outras espécies há a ocorrência de cupim sem a presença inicial do fungo (BERTI FILHO, FONTES, 1995).

A ocorrência de oco em árvores nativas da região amazônica é grande. Na maioria desses ocos são encontrados cupins, porém nem todo cupim encontrado é o causador do oco. Há uma relação diretamente proporcional entre o tamanho (idade) da árvore e a presença de oco (FONTES, BERTI FILHO, 1998).

2.5 Métodos não-destrutivos de identificação de lesões e ocos

Métodos de Avaliação Não Destrutivos (MND) são aqueles em que não se altera o uso final do material que é testado. Qualquer MND utiliza alguma fonte de energia que se propaga ao longo do material, e infere características importantes sobre a amostra examinada. Essa fonte de energia pode ser estática ou dinâmica ou pode ser gerada por ondas eletromagnéticas ou elásticas (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996). Ele se baseia na identificação física e mecânica das propriedades de dado material sem alterá-lo (ROSS, BRASHAW, PELLERIN, 1998).

Transmissão de onda sonora

O tempo de transmissão da onda sonora é medido conforme a onda se propaga na amostra.

As ondas sonoras podem ser geradas pelo próprio material como resultado de movimentos nos pontos de tensão.

A emissão e a propagação do som estão relacionadas com efeitos dinâmicos ocorridos dentro da amostra.

Na técnica de emissão acústica, um sensor piezoelétrico é utilizado para detectar o som. O som pode ser gerado externamente, através do contato do piezoelétrico transdutor. As ondas sonoras geradas dessa maneira são recebidas por um segundo transdutor (lançar-pegar) ou são refletidas para o transdutor gerador (pulso-eco). Essas ondas estão, na maioria das vezes, na frequência auditiva. Esse método é chamado de teste acústico ultrasônico ou teste ultrasônico. Ondas sonoras podem ser produzidas por impacto, ou seja, dando pancadas no material com um instrumento, como um martelo, o qual gera uma onda elástica no espécime. A frequência da onda pode ou não ser ultrasônica (ROSS, PELLERIN, 1994; ROSS et al., 1999). Um aparelho capaz de medir o tempo é conectado no ponto de impacto e em outro local na superfície da amostra, esse é usado para medir o tempo de transmissão da onda sonora e da velocidade. Esse método é conhecido como transmissão de onda sonora. O aparelho que utiliza esse princípio é o medidor linear de estresse cronometrado (stresswave timer) (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996).

A técnica de ultrassom se baseia na transmissão de onda ultrasônica. Sensores emitem e recebem ondas que atravessam o material (ROSS, BRASHAW, PELLERIN, 1998).

O tomógrafo acústico se baseia na propagação da velocidade do som na madeira. O princípio do aparelho é fundamentado no módulo de elasticidade e na densidade de cada madeira estudada. A deterioração da madeira que ocorre em árvores reduz a elasticidade e a densidade da madeira, porém, as características da madeira podem variar dentro da árvore e entre a espécie. Em função disso, danos maiores podem ser detectados pelo aparelho (PICUS, 2003). Um estudo realizado com o tomógrafo acústico foi realizado a fim de medir a extensão de deterioração de árvores. A utilização do tomógrafo acústico para detecção de zonas deterioradas em árvores nas árvores de Douglas fir se mostrou eficiente (DEFLORIO, FINK, SCHWARZE, 2008).

Tomografia computadorizada

A tomografia computadorizada gera um mapa de seção transversal de densidade do material, através da passagem de raios X através do plano do espécime (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996).

Alta energia de radiação eletromagnética, na forma de raios X ou raios gama, pode ser usada para gerar imagens altamente detalhadas de amostras. A varredura através de raios X ou raios gama mede, indiretamente, a densidade do material através da atenuação de raios conforme

eles passam através da amostra. Como os fótons são absorvidos e dispersados pela fonte incidente no material, a intensidade de medida dos raios X é reduzida. Isto é, maior a massa do material no volume (maior a densidade), maior a atenuação de raios X ou menor a energia de raios X (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996).

A tomografia de varredura de raios X ocorre enviando raios X através das duas menores dimensões do material (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996).

Radar de impulso

Radar de impulso ou radar de penetração envia pulsos de ondas através do material e captura o sinal conforme esse ecoa de volta ao transmissor. As ondas geradas são porções de microondas eletromagnéticas (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996).

Ondas de radar estão na porção de microondas do espectro eletromagnético. São ondas longas que podem penetrar profundamente dentro da amostra. A madeira sadia fornece limites insignificantes, mudanças abruptas causadas na interface defeito/madeira sadia gera reflexos notáveis. O tempo relativo entre os reflexos nas interfaces cria um mapa do local onde há descontinuidade de material. Uma aplicação de radar foi na localização de corpos e objetos enterrados (SCHAD, SCHMOLDT, ROSS, 1996).

2.6 A tomografia de impulso

A tomografia pode ser considerada um método não-destrutivo, pois se refere a qualquer técnica que possibilita a visualização da seção transversal de um objeto. A palavra tomografia vem do grego tomos (seção) mais grafia (escrita). A tomografia tem como objetivo apresentar uma imagem da estrutura interna de um corpo ou objeto (QUORIN, 2004).

O tomógrafo de impulso avalia o estado interior das árvores. O princípio de funcionamento é baseado em cronometragem de ondas de estresse. O tomógrafo é composto de sensores que são fixados em seções transversais da árvore. Esses sensores possuem vibrômetros e reguladores eletrônicos para análise do tempo de entrada dos impulsos (Figura 7). Esses impulsos são iniciados com golpes feitos por um martelo, gerando ondas de estresse entre os sensores. O tempo de percurso dessas ondas mecânicas entre os sensores são transformados em velocidades através do software do equipamento. Assim, gera-se um gráfico de velocidade das ondas mecânicas chamado de imagem tomográfica (Figura 8).

A velocidade do impulso dentro da árvore está correlacionada com a densidade do material, portanto, consegue-se obter informações sobre o material (RINNTECH, 2005, PEREIRA et al., 2007). Logo, esse equipamento permite observar a presença de ocos ou de podridões em árvores, na altura em que forem instalados os sensores do aparelho.



Figura 7 – Sensores do tomógrafo instalados no disco de madeira (Fonte: RINNTECH, 2007)

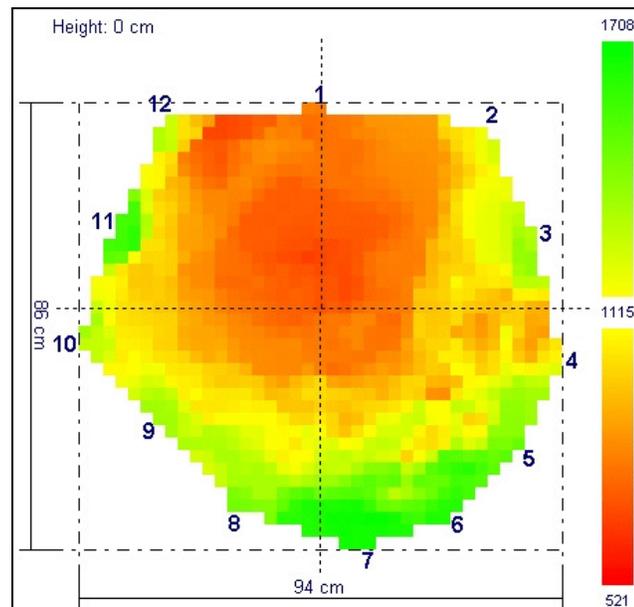


Figura 8 – Análise da estrutura interna de um disco de madeira (Fonte: RINNTECH, 2007)

Esse método vem sendo empregado em arborização urbana para observar o estado da árvore, incentivando o corte daquelas comprometidas ou prevenindo a remoção das sadias (PEREIRA et al., 2007).

Em trabalho realizado para avaliação do interior do lenho de árvores de eucalipto, guapuruvu e pau-brasil no município de Piracicaba com o tomógrafo de impulso pode-se observar que: (i) a tomografia de impulso gerou informações similares às produzidas pela densitometria de raios X; (ii) a tomografia de impulso pode ser utilizada para avaliar o interior do lenho de árvores maduras (PEREIRA et al., 2007). Portanto, o equipamento pode se mostrar eficiente na avaliação do interior do lenho de espécies nativas, apoiando a decisão sobre a seleção daquelas que serão efetivamente colhidas para produção de madeira serrada, em função da qualidade do fuste.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudo

O estudo foi desenvolvido na área do IFT – Instituto Floresta Tropical. A área está localizada dentro da propriedade da Cikel Brasil Verde S/A, na fazenda Rio Capim, entre as latitudes 03°45' e 03°50'S e entre as longitudes 46°25' e 48°30' W, no município de Paragominas, Estado do Pará, na micro região homogênea Guajarina (Figura 9) (WATRIN; ROCHA, 1991).

O clima da região segundo, a classificação Köpen, é do tipo Ami, com temperatura média anual de 27,2° e umidade relativa do ar média de 81% (WATRIN; ROCHA, 1991). O período chuvoso é de novembro a abril. A média pluviométrica é de 1765,9 mm (WATRIN; ROCHA, 1991). A topografia é variável, de plana a suavemente ondulada, com locais acidentados. A vegetação na área é classificada como Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Densa Aluvial (VELOSO, RANGEL FILHO, LIMA, 1991; WATRIN; ROCHA, 1991).

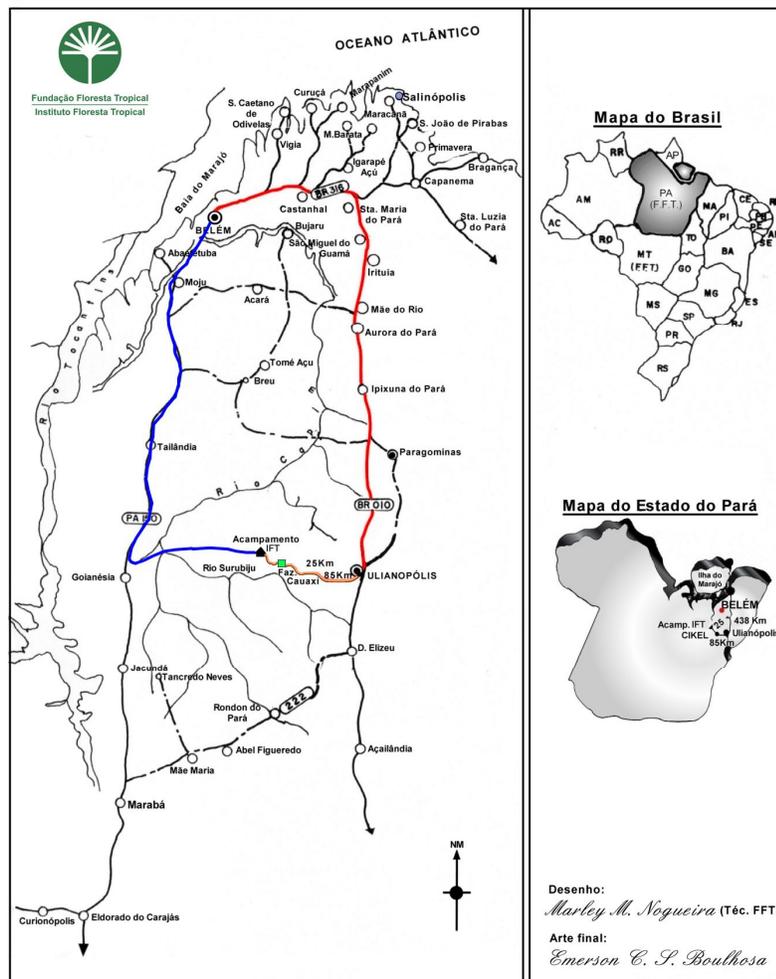


Figura 9 – Mapa da área de estudo (Fonte: IFT, 2009)

3.2 Seleção da espécie para estudo: árvores de maçaranduba

Das inúmeras espécies arbóreas ocorrentes na região de estudo, foram selecionadas árvores de maçaranduba, considerando: (i) utilização comercial; (ii) frequência na área; e (iii) ocorrência freqüente, já constatada nos ciclos de colheita, de lesões e ocós.

3.3 Delineamento experimental

Foi avaliada a espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (família Sapotaceae) – maçaranduba. A unidade amostral foi a árvore. Foram observados e analisados 29 indivíduos com DAP maior ou igual a 49,66 cm, numa área de 3 ha. Esses indivíduos foram distribuídos em 4 classes diamétricas e 5 classes de altura, de acordo com a sua ocorrência na área (Tabela 2). As

árvores estavam previamente marcadas com plaquetas da empresa e foram marcadas com fita vermelha (Figura 10) após leitura com o tomógrafo de impulso.

Tabela 2 – Correlação entre as classes de DAP e de altura das árvores estudadas

| Classes de DAP (cm) | Classes de altura (m) | | | | |
|---------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| | (12-16] | (16-20] | (20-24] | (24-28] | (28-32] |
| (50-70] | 1 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| (70-90] | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| (90-110] | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 |
| (110-130] | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |



Figura 10 – Árvore de maçaranduba estudada, marcação com plaqueta (A), árvore observada em estudo marcada com fita (B)

O trabalho teve duas fases distintas: campo e laboratorial (Figuras 11 e 12). Os 29 espécimes de maçaranduba foram analisados pela tomografia de impulso, antes da colheita.

Foram coletadas amostras de solo próximas à cada árvore que, posteriormente, foram derrubadas, traçadas e transportadas ao pátio de estocagem em campo. No pátio, as toras foram cubadas, assim como os ocos. Posteriormente, foram retirados de cada árvore, discos de madeira de aproximadamente 20 cm de espessura na altura da leitura do tomógrafo, os quais foram transportados para a empresa Madeireira Uliana, localizada em Tietê – SP, onde foram lixados, analisados os lenhos e retiradas amostras para realização de ensaios de: (i) microanálise de raios X; e (ii) determinação da densidade aparente.



Figura 11 – Delineamento experimental da fase de campo, árvores de maçaranduba (A), tomografia de impulso (B), coleta de solo (C), derrubada e arraste das toras (D), retirada dos discos de maçaranduba (E)

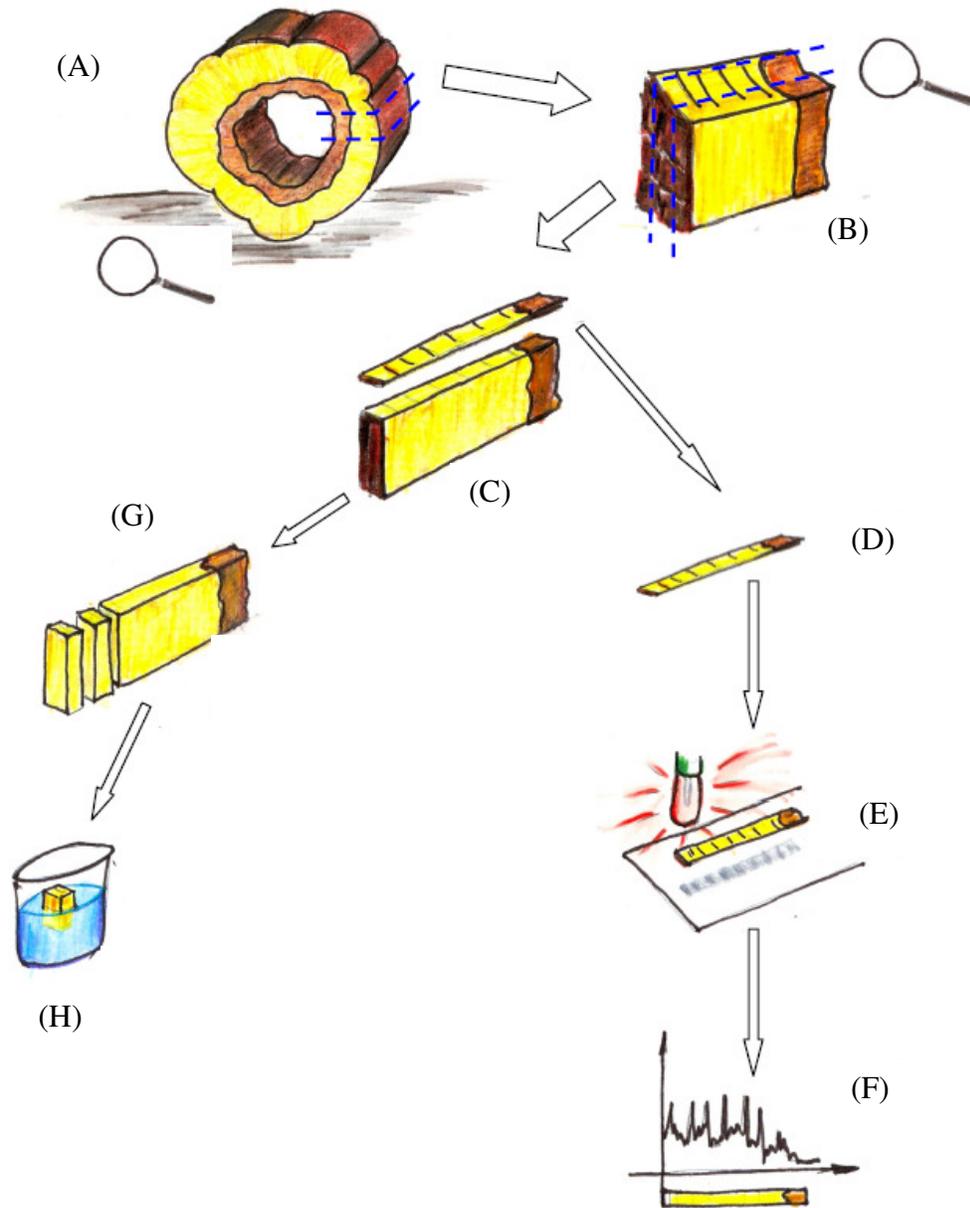


Figura 12 – Delineamento experimental da fase de laboratório, discos de madeira das cinco árvores selecionadas (A), exame com a vista desarmada da amostra (B), coleta de sub-amostras para caracterização da densidade aparente (C), determinação do perfil radial por densitometria de raios X (D-F), obtenção de sub-amostras para o ensaios de densidade aparente (G, H), (Fonte: BRAZOLIN, 2009)

3.4 Identificação da espécie

A identificação da espécie foi feita considerando, principalmente, seus órgãos reprodutores (flores e frutos), e as características morfológicas do vegetal e, no caso das árvores, as características dendrológicas. Algumas espécies podem ser identificadas até o nível de espécie

apenas com o material vegetativo. Nesse contexto, o material botânico coletado para a identificação da espécie foi composto por material vegetativo, folhas.

O material botânico coletado foi prensado até que ficasse seco e posteriormente identificado. Esse material foi enviado à EMBRAPA Amazônia Oriental (Belém – PA), que realizou a identificação.

3.5 Análise do solo

As amostras de solo foram coletadas próximas às árvores, cerca de 1,5 a 2,0 m de distância. Amostras compostas foram retiradas do solo de 0 a 20 cm de profundidade e de 40 a 60 cm de profundidade (Figura 13), retirando-se a matéria-orgânica da superfície.



Figura 13 – Coleta de amostras de solo próximas a cada indivíduo de maçaranduba, local de coleta das amostras de solo (A), material utilizado para coleta (B), profundidade de coleta (C), amostra composta de solo (D)

Em laboratório, o material foi seco em estufa a $42^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 96 horas. As amostras foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura para homogeneizar o solo (Figura 14).



Figura 14 – Processamento das amostras de solo, secagem do solo (A), identificação das amostras (B), material utilizado (C), solo peneirado (D)

As análises feitas foram: (i) análise granulométrica, (ii) pH; (iii) matéria orgânica; (iv) acidez potencial; (v) P, K Ca, Mg; (vi) soma de bases (SB); (vii) capacidade de troca catiônica (CTC). Essas seguiram as recomendações do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (RAIJ et al, 2001) e da EMBRAPA (EMBRAPA, 1997). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP.

Análise granulométrica

As amostras de solos foram dispersas e agitadas mecanicamente por 16 horas, utilizando uma solução de NaOH com hexametáfosfato como dispersante. Posteriormente a granulometria foi determinada em cilindro Koettgen.

As faixas granulométricas foram:

- areia: frações de areia grossa, areia média e areia fina, separadas por peneiras de malha 0,50; 0,25 e 0,10 mm, respectivamente;
- silte: determinado pela diferença entre o peso de terra fina seca, menos o peso total, mais argila;
- argila: determinada pelo hidrômetro de Bouyoucos.

pH

O pH em CaCl_2 0,01M (H + solução do solo em equilíbrio com CaCl_2 0,01M) foi determinado potenciométricamente em suspensão solo-líquido, na proporção de 1:2,5, após agitação por 20 minutos e tempo de descanso da solução de 30 minutos, através do Peagâmetro digital de bancada, Modelo 3020, marca Jenway.

Matéria orgânica

A matéria orgânica foi determinada através do método da oxidação úmida e da colorimetria ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$). Nesse método há a oxidação da matéria orgânica pelo dicromato e a quantificação foi feita pela colorimetria (Espectrofotômetro UV/VIS – Hitachi – U2001 – parte colorimétrica), com o auxílio de uma curva-padrão de calibração.

Acidez potencial

A acidez potencial (hidrogênio + alumínio) foi determinada potenciométricamente em solução CaCl_2 0,01m adicionada de tampão SMP (método indireto). O tempo de contato solo-solução foi de 1 hora. Foi utilizado o Peagâmetro digital de bancada (Modelo 3020, marca Jenway). O SMP é uma mistura de sais neutros com vários tampões, cujo objetivo é obter um decréscimo linear do pH, quando titulada potenciométricamente com ácido forte.

P, K, Ca e Mg

Primeiramente foi feita a extração da resina com o objetivo de transferir os elementos P, K, Ca e Mg presentes na amostra de solo para a resina trocada de íons, em meio aquoso. Essa resina foi previamente saturada com Na^+ ou HCO_3^- . O solo libera íons para a solução aquosa e as resinas trocam seus íons por Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ ou H_2PO_4^- .

O cálcio, o magnésio e o potássio liberados foram os que se encontram na forma trocável no solo, e o fósforo foi o “P” lábil.

As resinas foram, então, separadas do solo e colocadas em solução extratora de NH_4Cl 0,8N + HCl 0,2N, para entrar em equilíbrio com essa solução. Cada elemento foi determinado diferentemente:

- fósforo – determinado através do método do azul de molibdênio, através do Espectrofotômetro UV/VIS - Hitachi - U2001 (parte colorimétrica);
- potássio – determinado através do Fotômetro de chama (Modelo B462, marca Micronal);
- cálcio e magnésio – determinados por espectrofotometria de absorção atômica em solução de lantânio 0,1%, cujo equipamento foi Espectrofotômetro de absorção atômica (Analyst 100, Perkin Elmer).

3.6 Determinação do volume de madeira por árvore

O volume de madeira, em tora, por árvore foi medido após o abatimento da árvore (cubagem). A cubagem foi feita até a altura comercial da árvore.

A cubagem foi realizada através do Método de Smalian (eq. 1).

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

Onde:

V_i = volume individual de 1 segmento da árvore i (m^3);

A_i = área da face maior do torete da árvore i (m^2);

a_i = área da face menor do torete da árvore i (m^2);

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

Para se obter o volume comercial, foi medido o diâmetro de 2 em 2 metros com auxílio de suta, até atingir a primeira bifurcação da árvore (Figura 15).

O diâmetro do oco foi medido com auxílio de fita métrica na base da tora, a 1,7 metros (local de retiradas dos discos – 1,5m + 0,2m da amostra diametral) e na altura da última medição do diâmetro com ocorrência de oco.



Figura 15 – Cubagem das árvores, determinação dos pontos de aferição do diâmetro a 2 m (A), medição do diâmetro (B)

3.7 Determinação de equações de volume para a espécie

Com base nos dados obtidos na cubagem, foram realizadas as seguintes estimativas: (i) volume de madeira total (volume da árvore), (ii) volume de madeira útil (volume de madeira sólida descontando o volume de oco) e (iii) volume de madeira útil (volume de madeira sólida descontando volume de oco) considerando dados da imagem tomográfica.

Foram testados os seguintes modelos com dados da cubagem: Spurr (eq. 1) e Schumacher-Hall (eq. 2).

Spurr

$$v_i = \beta_0 + \beta_1 (d_i^2 h_i) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, 29 \quad (1)$$

Schumacher-Hall

$$\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d_i) + \beta_2 \ln(h_i) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, 29 \quad (2)$$

Dados obtidos na tomografia de impulso adicionados aos dados de volume útil foram testados para os seguintes modelos: Spurr modificado (eq. 3) e Schumacher-Hall modificado (eq. 4).

Spurr modificado

$$v_i = \beta_0 + \beta_1 (d_i^2 h_i t_i) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, 29 \quad (3)$$

Schumacher-Hall modificado

$$\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d_i) + \beta_2 \ln(h_i) + \beta_3 \ln(t_i) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, 29 \quad (4)$$

Onde:

v_i = volume de madeira da árvore i , em m³;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros do modelo;

d_i = diâmetro à altura do peito (DAP) da árvore i , em m;

h_i = altura comercial da árvore i , em m;

t_i = madeira sadia obtida com base na classificação supervisionada da imagem tomográfica (software Microimages TNT mips 2010), da árvore i , em %;

\ln = logaritmo neperiano;

ε_i = erro aleatório da árvore i .

Os coeficientes do modelo foram estimados pelo método dos mínimos quadrados e para testar sua significância foi utilizado o teste t (sendo rejeitados os coeficientes quando $p > 0,05$). Para a seleção do melhor modelo foram analisadas as medidas de precisão: (i) coeficiente de determinação (R^2) e (ii), erro padrão da estimativa (S_{yx}). Para o processamento dos dados e análises estatísticas utilizaram-se os procedimentos do pacote estatístico SAS.

3.8 Identificação e análise de lesões e ocos através da tomografia de impulso

Foi utilizado o tomógrafo de impulso ARBOTOM tree tomograph, marca Rinntech. Esse equipamento consiste de 12 sensores, bateria, carregador, cabos de conexão e software do tomógrafo (Figura 16).



Figura 16 – Tomógrafo de impulso

Para a análise através da tomografia de impulso foram introduzidos 11 pregos ao longo da circunferência da árvore, a distâncias iguais, na altura de 1,5 m, acima dos sapopemas. Os pregos atravessaram a região da casca e poucos centímetros do alburno. Para a geração das ondas de estresse os sensores receberam pancadas de um martelo (Figura 17).

As velocidades das ondas entre os sensores foram transformadas e calculadas pelo software do equipamento. Há a conexão dos sensores com um computador, modelo Tablet Samsung Q 1U-V ultra mobile, que possui o software instalado do Arbotom. Assim, a imagem foi gerada pelo computador produzindo o gráfico de velocidade (imagem tomográfica), que posteriormente foi analisado através do *software* Microimages TNT mips 2010.

Para a interpretação das imagens utilizou-se o filtro “rainbow” do *software* Arbotom e resolução de superfície de 1 mm. As imagens foram interpretadas da seguinte maneira: separadas em duas classes: cor azul – tecido sadio, cor verde – tecido deteriorado/oco. Com essa classificação o *software* Microimages TNT mips 2010 foi capaz de quantificar a porcentagem de tecido sadio e tecido deteriorado/oco naquela seção.

O tratamento de imagens digitais se fez necessário, pois identifica (rotula) automaticamente os “pixels” que compõem a imagem em classes temáticas. O objetivo de fazer o tratamento da imagem é de transformar a imagem digital de maneira que a sua interpretação e

visualização sejam mais facilmente discrimináveis pelo analista (ROLLO, F., 2009). Isso ocorre classificando-se os pixels que formam a imagem em classes ou classes temáticas.

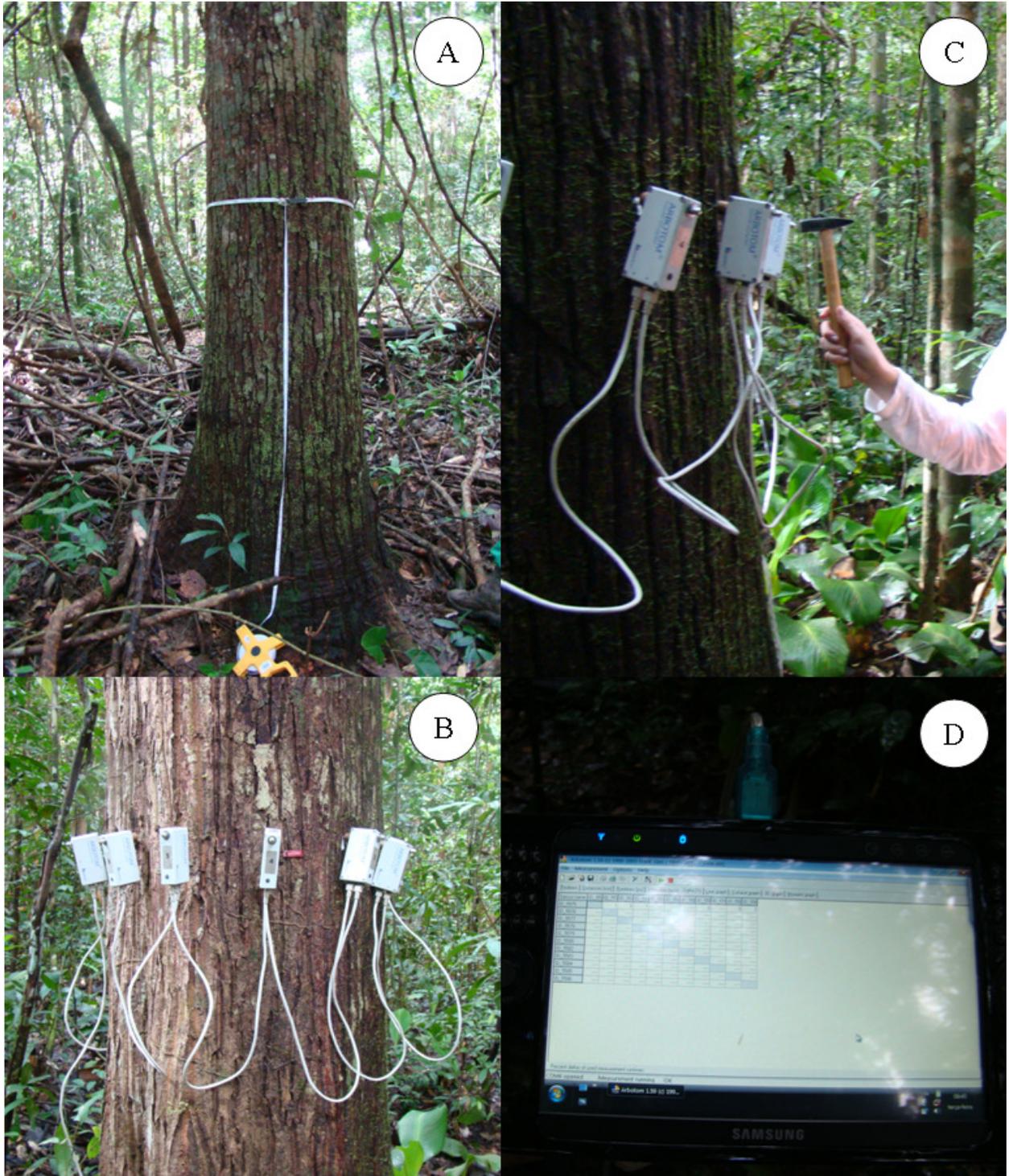


Figura 17 – Coleta de dados da árvore em pé, altura da leitura (A), encaixe dos sensores e conexão dos cabos (B), pancadas com martelo (C), recepção dos dados via computador (D)

A categorização (rotulação) dos níveis de cinza (NC) é realizada com o uso de algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. A classificação envolve o treinamento e a classificação propriamente dita. A fase de treinamento consiste em reconhecer a assinatura espectral de cada uma das classes temáticas (MOREIRA, 2001). No caso do da imagem tomográfica é o reconhecimento das diferentes cores que compõe as duas classes temáticas: tecido ou lenho sadio e tecido ou lenho deteriorado/oco. Na classificação determinado “pixel” é associado a determinada classe ou região de similaridade de níveis de cinza.

A classificação supervisionada é feita com o reconhecimento de padrões espectrais na imagem baseados em uma amostra de área de treinamento utilizando algoritmos (MOREIRA, 2001).

A análise estatística da classificação supervisionada no *software* Microimages TNT mips 2010 é feita utilizando-se a estatística Kappa. O parâmetro k é uma medida de concordância geral e que considera toda a matriz de erro. Ele permite comparar a classificação efetuada com a classificação referência (PONZONI, ALMEIDA, 1996). Para todas as imagens geradas no Microimages TNT mips 2010, foi obtida a estatística kappa. O valor do número Kappa que é recomendado para a classificação supervisionada é de 1,00 a 0,81, que é considerado “quase perfeito” (LANDIS, KOCH, 1977).

As 29 árvores estudadas foram separadas em 4 grupos, em função do DAP e da ocorrência ou não de oco (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação dos indivíduos de maçaranduba

| Grupo | Número de indivíduos | Faixa diamétrica | Ocorrência de oco |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 6 | 50 - 70 | não |
| 2 | 7 | 55 - 70 | sim |
| 3 | 4 | 70 - 80 | não |
| 4 | 12 | 85 - 130 | sim |

3.9 Identificação e análise de lesões e ocos do lenho de maçaranduba através da análise visual

Para a avaliação do lenho das árvores de maçaranduba foram obtidos discos de madeira na altura da leitura do tomógrafo de impulso (Figura 18). Os discos foram transportados do local explorado para o laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira (ESALQ/USP). Esses

tiveram suas superfícies lixadas (lixadeira de cinta estacionária), através de uma seqüência de lixamentos (lixas 36, 50, 80 e 120 grã) para que fosse possível a visualização da qualidade da madeira no disco, regiões do cerne e do albarno (Figura 19). O local de cada sensor foi marcado e imagens de cada disco foram obtidas para a comparação com a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso.



Figura 18 – Obtenção dos discos das árvores na altura da leitura do tomógrafo de impulso, seccionamento da tora com auxílio de motosserra (A), detalhe do disco (B), disposição dos discos no pátio de estocagem (C)



Figura 19 – Seqüência de lixamento de uma face do disco, superfície sem lixar (A), lixadeira de cinta estacionária (B), superfície lixada (C), detalhe do acabamento da superfície lixada (D)

Dados de áreas de tecidos saudios, deteriorados e ocos foram obtidos através de medições no disco, transformados em porcentagem e comparados com os dados obtidos no *software* Microimages TNT mips 2010. Os dados de porcentagem foram transformados em arscen $[RQ(x/10)]$, onde RQ equivale a raiz quadrada. Essa transformação foi necessária pois alguns dados estavam fora do intervalo de 15% a 85% (PIMENTEL-GOMES, 2000).

A classificação da qualidade dos discos foi feita de 2 maneiras: (i) considerando apenas a área oca do disco; (ii) considerando a área oca do disco mais a área de madeira deteriorada. Essas duas classificações foram comparadas com os dados da análise supervisionada da imagem tomográfica. Os valores transformados foram analisados através de análise de variância da regressão linear empregando-se o pacote estatístico SAS. Foram construídos 2 diagramas de dispersão da classificação do lenho de maçaranduba, considerando a porcentagem de tecido sadio obtida no *software* Microimages TNT mips 2010 e a porcentagem de tecido sadio observada na

análise visual do disco de madeira (dois tipos de classificação), acompanhados da respectiva equação linear e do coeficiente de determinação (R^2).

Dos 29 discos estudados, cinco (1 do Grupo 1, 1 do Grupo 2, 1 do Grupo 3 e 2 do Grupo 4) foram selecionados pra se obter a densidade aparente do lenho, de acordo com a metodologia da Figura 12. Os discos foram selecionados em função da observação do lenho das árvores e da tomografia de impulso, aqueles que tinham a imagem tomográfica acusando áreas lesionadas e na análise visual era madeira sadia foram selecionados para obtenção da densidade aparente nessas áreas.

3.10 Caracterização da densidade aparente do lenho de maçaranduba

Os padrões do lenho sadio e deteriorado foram amostrados e caracterizados por: (i) variação da cor no sentido transversal da madeira (tomografia de impulso e observação dos discos a olho nu); (ii) variação radial da densidade de massa aparente (densitometria de raios X); (iii) densidade de massa aparente.

Para a caracterização da densidade aparente do lenho foram analisados os 5 discos (1 do Grupo 1, 1 do Grupo 2, 1 do Grupo 3 e 2 do Grupo 4). Após essa etapa, foram mantidos em condição ambiente até atingir a umidade de equilíbrio (aproximadamente 12%). Com base nesses dados amostras de 5 árvores foram retiradas dos discos, para avaliar a densidade aparente do lenho (densitometria de raios X e densidade aparente – método hidrostático). Para cada disco selecionado foram delimitadas 2 faixas de estudo coincidentes com a localização dos sensores da tomografia de impulso (Figuras 20 a 24).

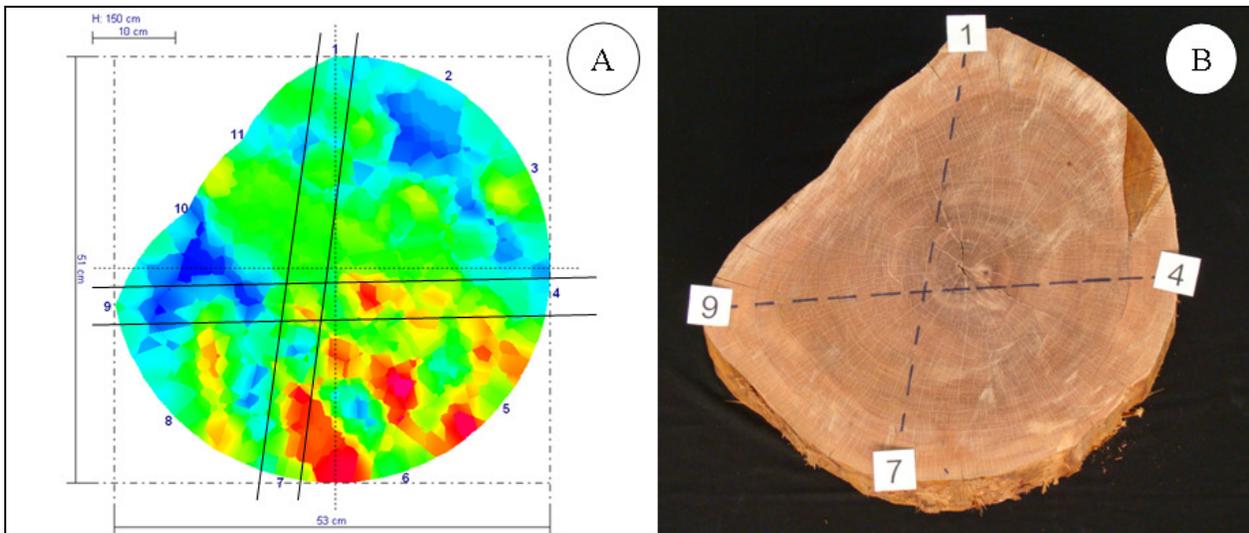


Figura 20 – Árvore 1734, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B)

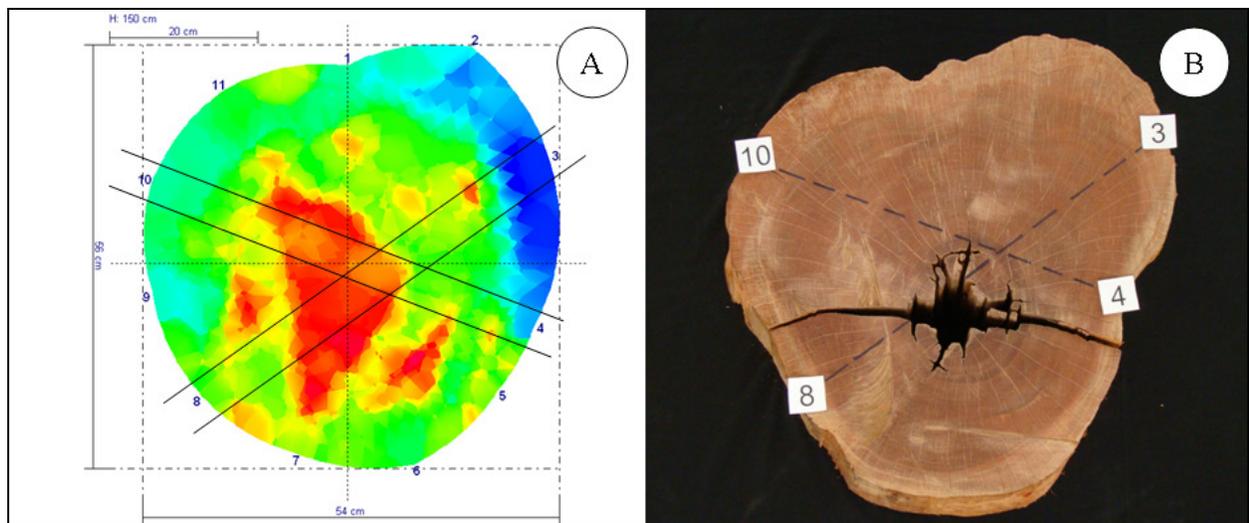


Figura 21 – Árvore 1707, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B)

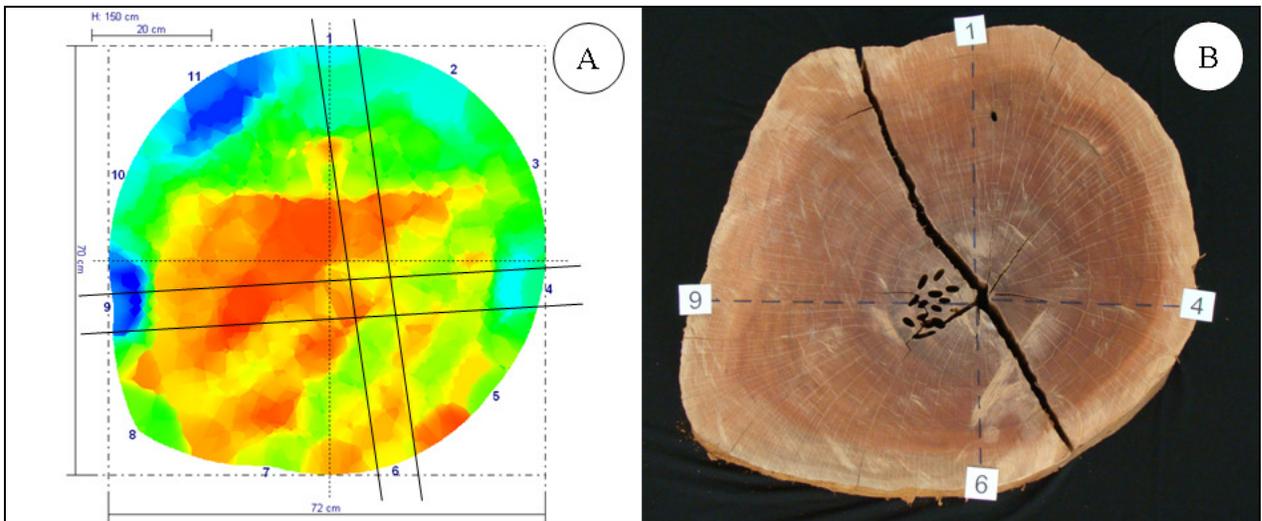


Figura 22 – Árvore 1704, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B)

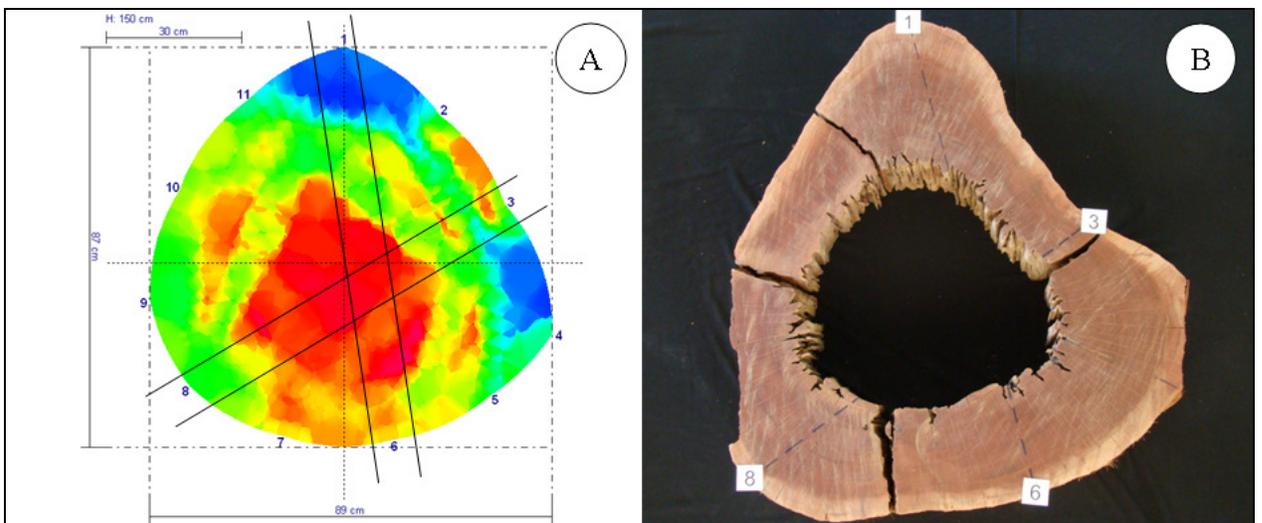


Figura 23 – Árvore 1709, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B)

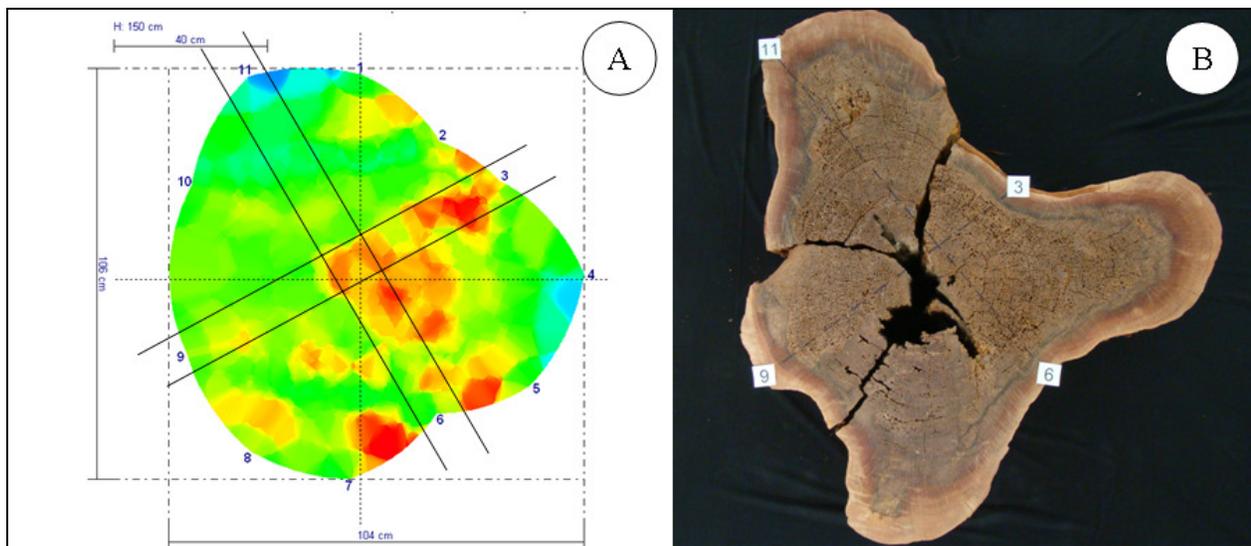


Figura 24 – Árvore 1027, imagem tomográfica com o detalhe das faixas selecionadas para estudo (A), seção transversal do lenho com a delimitação da área estudada (B)

As amostras foram obtidas seccionando-se os discos com o auxílio de uma motosserra (Still MS 250) (Figura 25) com dimensões de 5 cm de largura e 20 cm de altura. Essas foram desempenadas, desgrossadas e alinhadas para que fosse possível retirar o material para a densitometria de raios X, para a densidade aparente. Porém não foi possível obter amostra para a densitometria de raios X para 1 disco (árvore 1027 – Grupo 4), pois estava em estágio avançado de deterioração (Figura 26).

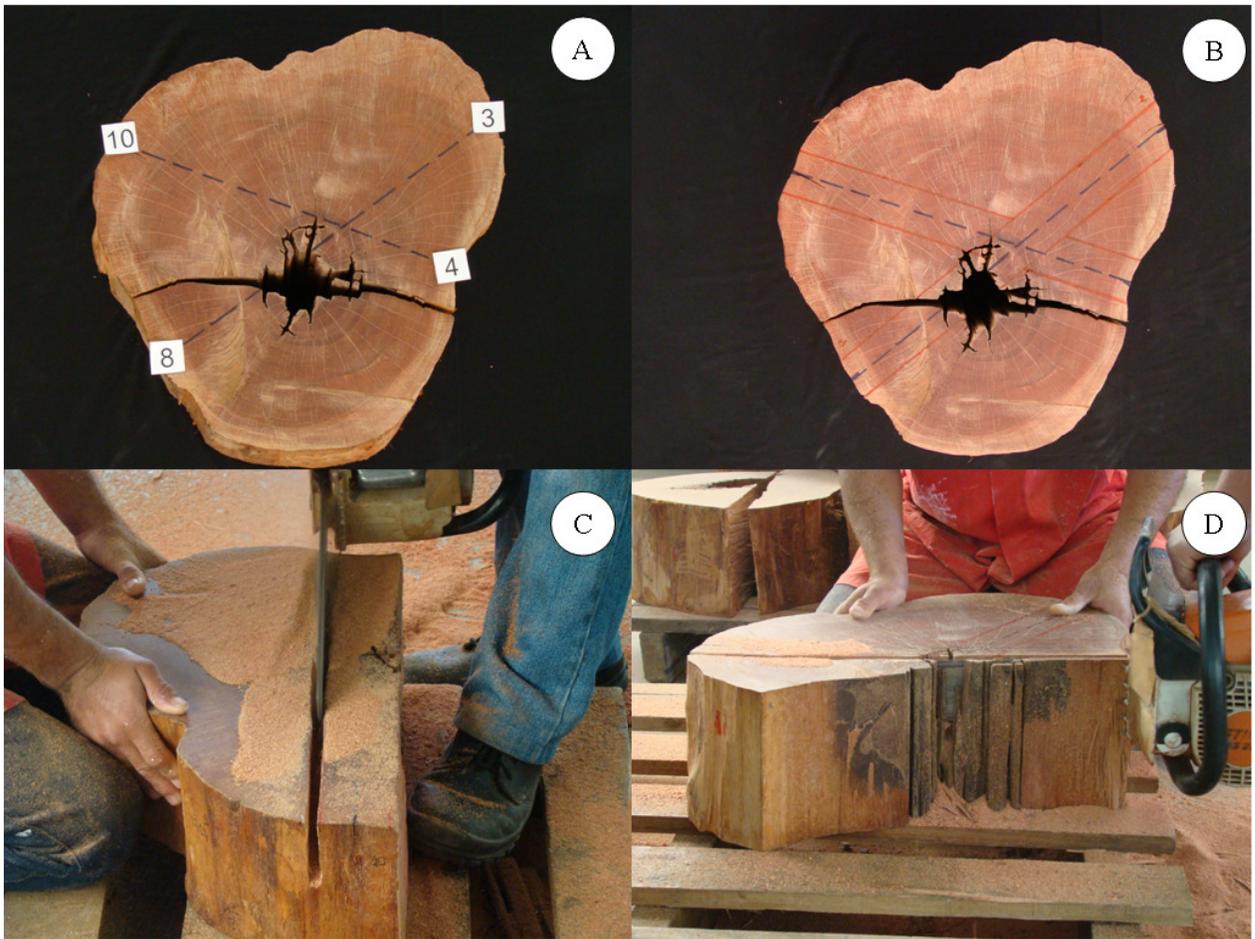


Figura 25 – Obtenção das amostras, seleção dos cortes (A), demarcação do local dos cortes (B), seccionamento das amostras (C-D)



Figura 26 – Sequência de preparo das amostras para estudo de densidade aparente, processamento das amostras (A), detalhe das amostras e subamostras (seta) (B), obtenção de subamostras para densitometria de raios X anatomia (C), subamostras (D)

3.10.1 Determinação do perfil radial da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X

Para avaliar se houve uma correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a qualidade da madeira em pé foi feita a análise de densitometria de raios X e comparada com a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso.

As subamostras obtidas para a densitometria de raios X foram retiradas da parte superior da amostra inicial, com dimensões de 1 cm de largura e 1 cm de espessura (Figura 27). Posteriormente foram dispostas sobre filmes de raios X (Kodak, Diagnostic Film X-Omat XK1) e irradiadas em máquina de raios X marca Hewlett Packard, modelo Faxitron 43805 N (Figura 28) (WHER; TOMAZELLO FILHO, 2000). Os filmes foram digitalizados em scanner. Para a determinação da densidade foram utilizados os *softwares* CRAD e CERD.

A tomografia de impulso baseia-se na cronometragem de ondas mecânicas. A velocidade do impulso gerado está correlacionada com a densidade da madeira na altura da leitura

(RINTECH, 2005). Assim, a densitometria de raios X foi utilizada, pois mede a densidade aparente da madeira utilizando filmes de raios X da madeira, sendo o indicador da qualidade da madeira em relação à leitura do tomógrafo.

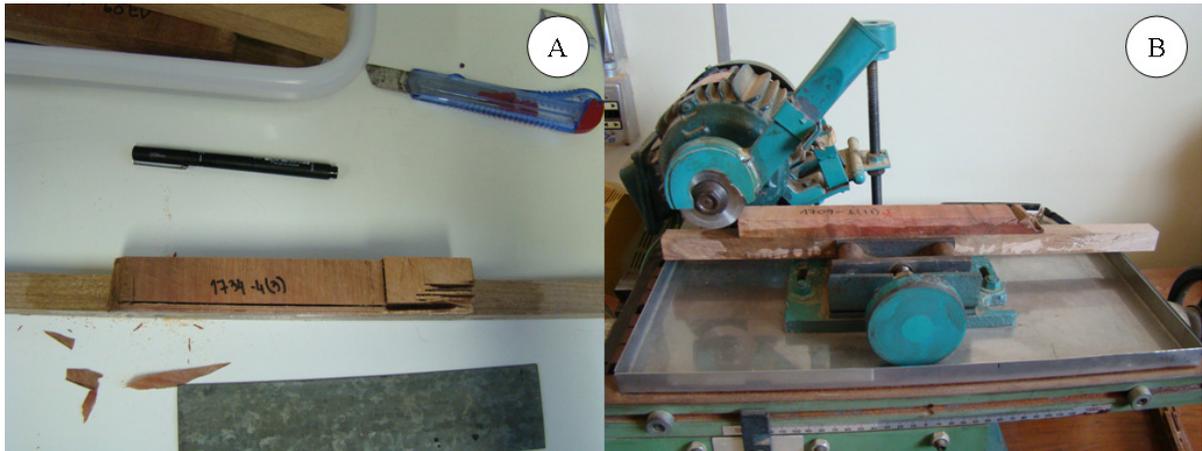


Figura 27 – Subamostras de densitometria de raios X, subamostras do lenho m suporte de madeira (A), obtenção do material irradiado (B)

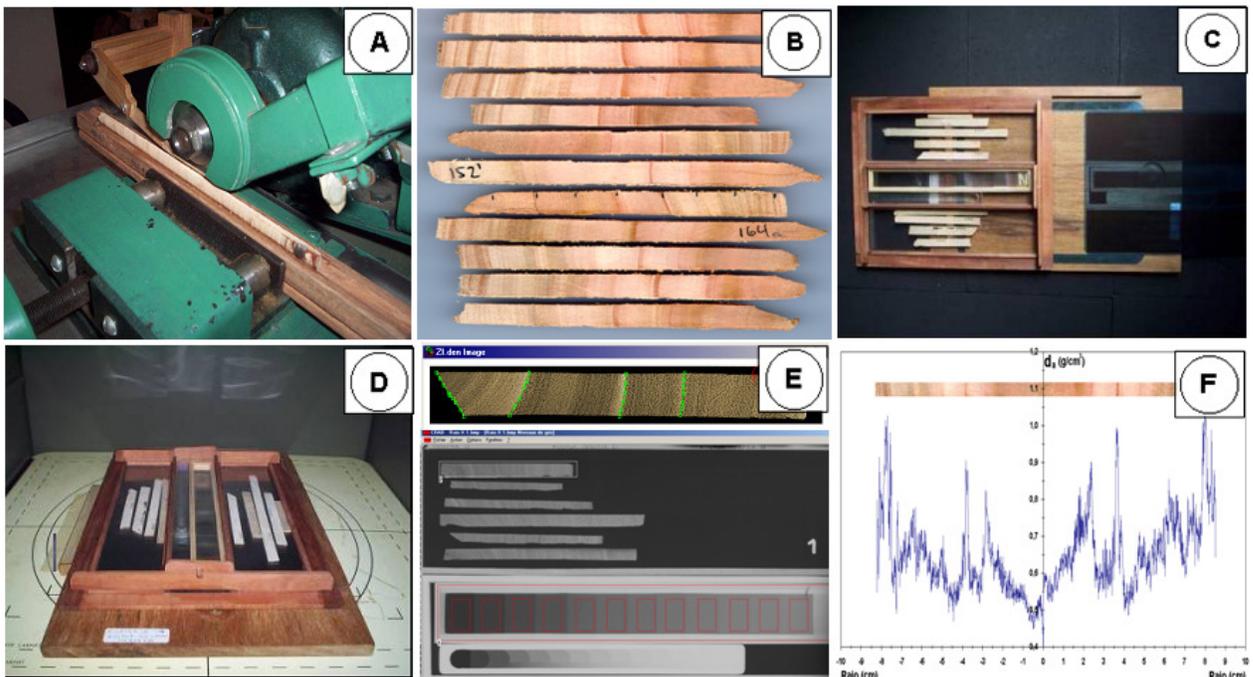


Figura 28 – Metodologia de raios X e a obtenção das imagens radiográficas do lenho das árvores de *Manilkara huberi*, corte das amostras em equipamento de dupla serra (A), seções transversais das amostras (B), suporte com as amostras sobre o filme radiográfico (C), irradiação das amostras em equipamento de raios X (D), imagem radiográfica e sua análise nos programas CRAD e CERD (E), perfil da densidade aparente e respectiva amostra do lenho (F) (Fonte: Tomazello-Filho, 2006)

3.10.2 Determinação do perfil radial da densidade aparente do lenho de árvores de maçaranduba

A determinação da densidade aparente foi feita obedecendo-se as especificações da norma ABNT NBR 7190: 1997. Houve a necessidade de se realizar alguns ajustes nas dimensões dos corpos-de-prova em função das características do material.

Subamostras de 6x6x100 mm foram serradas sequencialmente no sentido medula/casca e secas a 12% de umidade (Figura 29). Essas foram pesadas e o volume das amostras foi obtido através da norma ASTM-D-2395-02 (ASTM, 2002), para determinar o volume através do método hidrostático com água (Figura 30). Assim, determinou-se a densidade aparente do lenho sadio e deteriorado (eq. 5).

$$D_a = \frac{M_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (5)$$

Onde:

D_a = densidade aparente do lenho à 12% de umidade, em g/cm³;

$M_{12\%}$ = massa da amostra à 12% de umidade, em g;

$V_{12\%}$ = volume da amostra à 12% de umidade, em cm³.



Figura 29 – Subamostras para análise de densidade aparente, marcação das subamostras (A), serra tico-tico utilizada (B), obtenção das subamostras (C), detalhe do material (D)

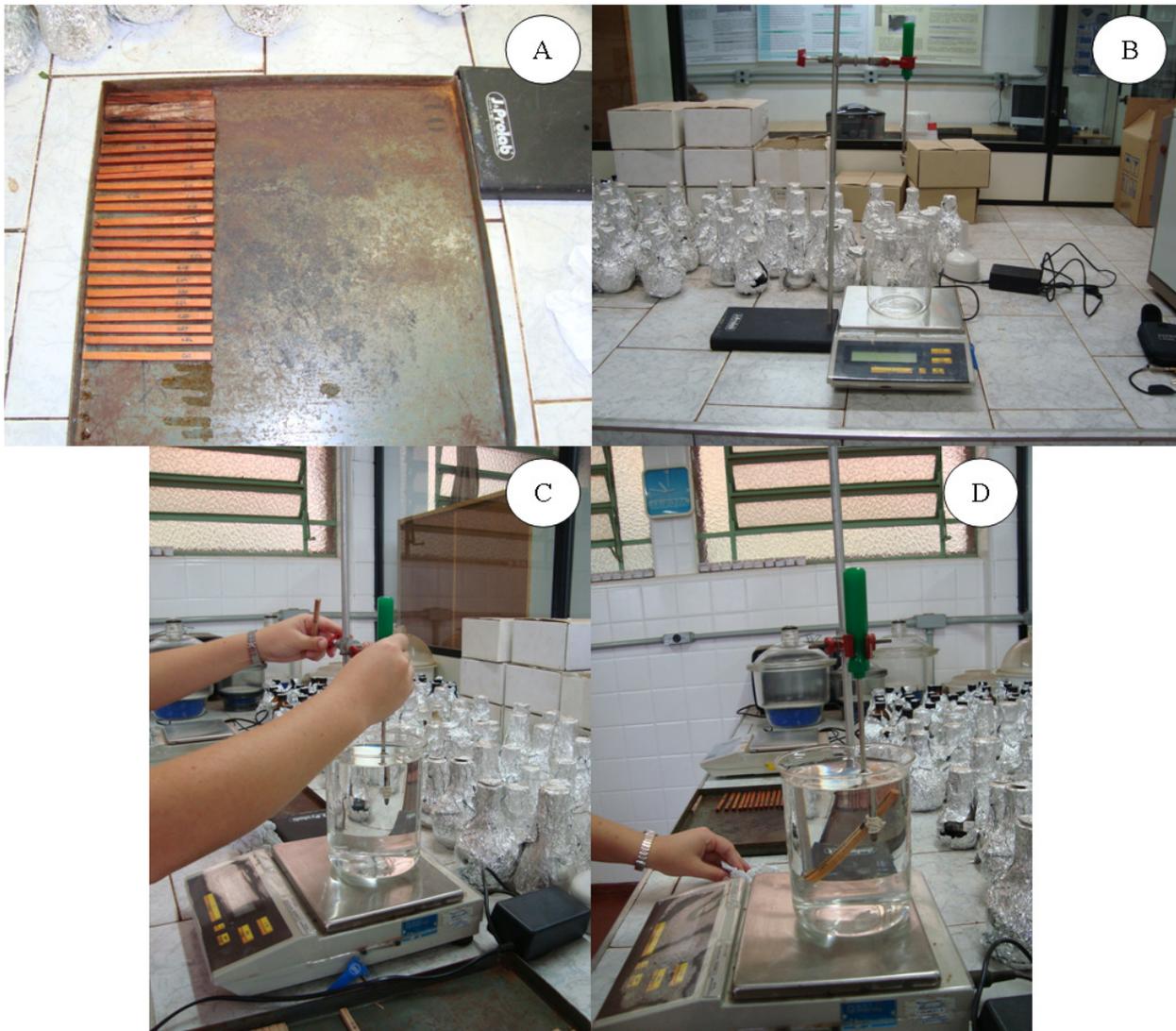


Figura 30 – Medição da densidade aparente através do método hidrostático, amostras submetidas à análise (A), equipamentos utilizados (B), etapa feita antes da medição, para descontar o volume de água deslocado pelo equipamento (C), medição do deslocamento de água da amostra de maçaranduba (D)

3.11 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente (densitometria de raios X e densidade aparente do lenho)

Para se avaliar a correlação entre os resultados da tomografia de impulso com os resultados das análises físicas foi feita a análise da cor gerada pelo tomógrafo em relação aos valores de densidade aparente observados. Foram utilizadas as faixas selecionadas entre sensores de cada disco para estudo de densidade e separadas essas áreas na imagem tomográfica para comparação dos dados. Os equipamentos utilizados apresentavam as suas leituras em escalas diferentes, logo, fez-se a padronização das escalas para que os dados pudessem ser comparados.

O filtro da imagem tomográfica utilizada para a comparação da velocidade X densidade aparente foi o “rainbow” e resolução de superfície de 1 mm.

Na comparação da tomografia de impulso com a densidade aparente obtida pela densitometria de raios X, para o tomógrafo de impulso calculou-se a velocidade de propagação de onda mecânica em intervalos de 3 cm, onde cada valor representava a média de 30 leituras (tomógrafo de impulso faz leituras a cada 1 mm). Para a densitometria de raios X calculou-se a média da densidade aparente a cada 3 cm, sendo feita a leitura de densidade a cada 0,01 mm (ROLLO, L., 2009; ROLLO, F., 2009).

Na comparação da tomografia de impulso com a densidade aparente obtida pelo método hidrostático, para o tomógrafo de impulso calculou-se a velocidade de propagação de onda mecânica em intervalos de 3 cm, onde cada valor representava a média de 30 leituras (tomógrafo de impulso faz leituras a cada 1 mm). Para a densidade aparente obtida pelo método de hidrostático calculou-se a média da densidade a cada 3 cm, sendo obtida a densidade a cada 6 mm (ROLLO, L., 2009; ROLLO, F., 2009).

Para os dois casos, utilizando-se cada faixa selecionada, percorreu-se uma linha de pixels. As cores dos pixels da linha percorrida foram reconhecidas no *software* Adobe Photoshop e associado, cada valor dos pixels, a uma velocidade de propagação de onda do tomógrafo de impulso. A imagem tomográfica é composta por bandas ou canais (vermelho, verde e azul) e níveis de cinza em cada uma das bandas, formando as cores na imagem. Essas cores correspondem à velocidade de propagação da onda mecânica. Adotou-se 155 classes de velocidade de propagação de onda mecânica para definir o intervalo de velocidade de cada classe, em cada imagem tomográfica, e os valores de níveis de cinza de cada uma das bandas (form. 1) (ROLLO, L., 2009; ROLLO, F., 2009).

$$\frac{V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}}{155} \quad (1)$$

Foram construídos os gráficos de perfil de densidade aparente e de velocidade de onda mecânica e o diagrama de dispersão de velocidade de onda mecânica e densidade aparente dos valores médios a cada 3 cm, para cada disco analisado, para ambos os métodos de obtenção de densidade aparente. Para cada diagrama de dispersão, os dados foram comparados

estatisticamente através de análise de variância da regressão polinomial de 1º grau, obtendo-se o coeficiente de determinação (R^2) de cada equação. Para o processamento dos dados e análises estatísticas utilizaram-se os procedimentos do pacote estatístico SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Identificação da espécie

Todos os indivíduos estudados foram da espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, de acordo com a identificação realizada pela Embrapa Amazônia Oriental (Belém – PA) (Anexo A).

4.2 Análise do solo

O solo é argiloso (Tabela 4), apresentando aproximadamente 5 % a mais de argila na camada de 40 a 60 cm.

Apesar de alguns autores (LEE, ZAKARIA, 1993; BARRY et al., 2004) encontrarem correlação entre as características do solo e a incidência de oco em algumas espécies, para a espécie estudada não foi observada correlação (Tabelas 5 e 6) (Figuras 31 a 36). A composição granulométrica e química não variou entre as árvores, não sendo determinante do oco nas árvores de maçaranduba. As árvores ocorriam muito próximas umas das outras (latitudes entre 3°45'11,7" e 3° 49' 17,6" e longitude entre 48°28'43,7" e 48°29'50,4") e não houve diferença na composição do solo. A ocorrência de oco em árvores de *Manilkara huberi* na área estudada pode ser em função da idade da árvore, associada à susceptibilidade do indivíduo ao ataque de pragas e à agentes abióticos. Esses agentes abióticos podem ser o clima, o vento, o fogo, que causam injúrias as quais são as portas de entrada de agentes bióticos.

Tabela 4 – Características físicas (granulometria) do solo em função do grupo

| Grupo | Profundidade (cm) | Argila | Silte | Areia total |
|-------|-------------------|--------|-------|-------------|
| | | % | | |
| 1 | 0-20 | 85,8 | 8,5 | 5,7 |
| | 40-60 | 90,3 | 4,7 | 5,0 |
| 2 | 0-20 | 87,0 | 9,1 | 3,9 |
| | 40-60 | 91,3 | 5,1 | 3,6 |
| 3 | 0-20 | 85,8 | 11,0 | 3,3 |
| | 40-60 | 92,3 | 5,5 | 2,3 |
| 4 | 0-20 | 85,2 | 9,7 | 5,2 |
| | 40-60 | 90,0 | 5,4 | 4,6 |

Tabela 5 – Características químicas do solo (matéria-orgânica, macro e micronutrientes) em função do grupo

| Grupo | Profundidade (cm) | P mg/dm ³ | M.O. g/dm ³ | pH CaCl ₂ | Sat Al ₃₊ | B | Cu | Fe mg/dm ³ | Mn | Zn |
|-------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|------|------|--------------------------|-------|------|
| | | | | | | | | | | |
| | 40-60 | 2,50 | 16,17 | 3,80 | 56,33 | 0,61 | 0,12 | 27,33 | 3,70 | 0,23 |
| 2 | 0-20 | 4,57 | 29,43 | 3,54 | 59,43 | 0,68 | 0,23 | 183,71 | 11,41 | 0,44 |
| | 40-60 | 1,43 | 15,14 | 3,74 | 62,14 | 0,48 | 0,11 | 24,14 | 2,54 | 0,16 |
| 3 | 0-20 | 5,75 | 34,50 | 3,65 | 55,75 | 0,59 | 0,18 | 371,25 | 5,70 | 0,50 |
| | 40-60 | 1,25 | 14,50 | 3,78 | 65,75 | 0,43 | 0,10 | 25,00 | 0,88 | 0,10 |
| 4 | 0-20 | 5,50 | 32,83 | 3,63 | 55,25 | 0,66 | 0,29 | 296,25 | 9,96 | 0,42 |
| | 40-60 | 1,83 | 16,83 | 3,74 | 65,33 | 0,48 | 0,12 | 33,42 | 3,69 | 0,13 |

Tabela 6 – Características e propriedades químicas do solo em função do grupo

| Grupo | Profundidade (cm) | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | T | V % |
|-------|-------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | | |
| 1 | 0-20 | 0,68 | 6,83 | 4,83 | 60,17 | 10,00 | 11,83 | 72,00 | 15,67 |
| | 40-60 | 0,35 | 2,00 | 3,17 | 39,50 | 6,50 | 5,50 | 44,67 | 11,83 |
| 2 | 0-20 | 0,80 | 3,86 | 3,57 | 66,00 | 11,29 | 8,29 | 74,29 | 11,71 |
| | 40-60 | 0,33 | 1,57 | 2,57 | 42,14 | 7,43 | 4,71 | 46,71 | 10,00 |
| 3 | 0-20 | 0,70 | 6,00 | 4,75 | 75,25 | 11,50 | 11,25 | 86,25 | 14,00 |
| | 40-60 | 0,33 | 1,75 | 2,50 | 42,00 | 7,75 | 4,25 | 46,25 | 9,75 |
| 4 | 0-20 | 0,74 | 5,17 | 4,17 | 67,33 | 10,83 | 10,25 | 77,42 | 12,83 |
| | 40-60 | 0,38 | 1,42 | 2,33 | 45,58 | 7,67 | 4,42 | 49,75 | 8,50 |

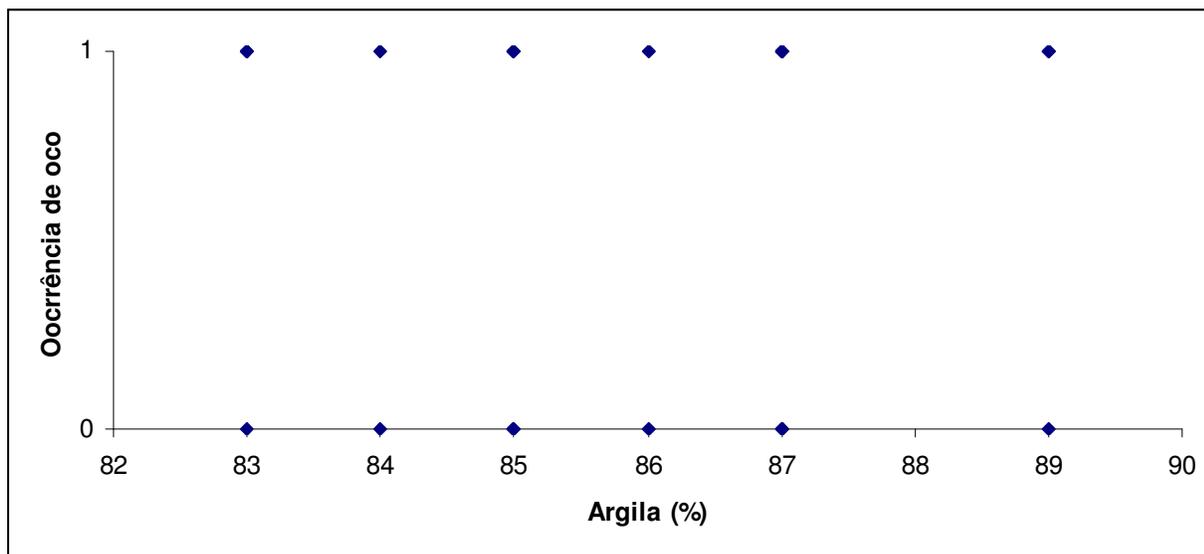


Figura 31 – Diagrama de dispersão da quantidade de argila (%) no solo vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)

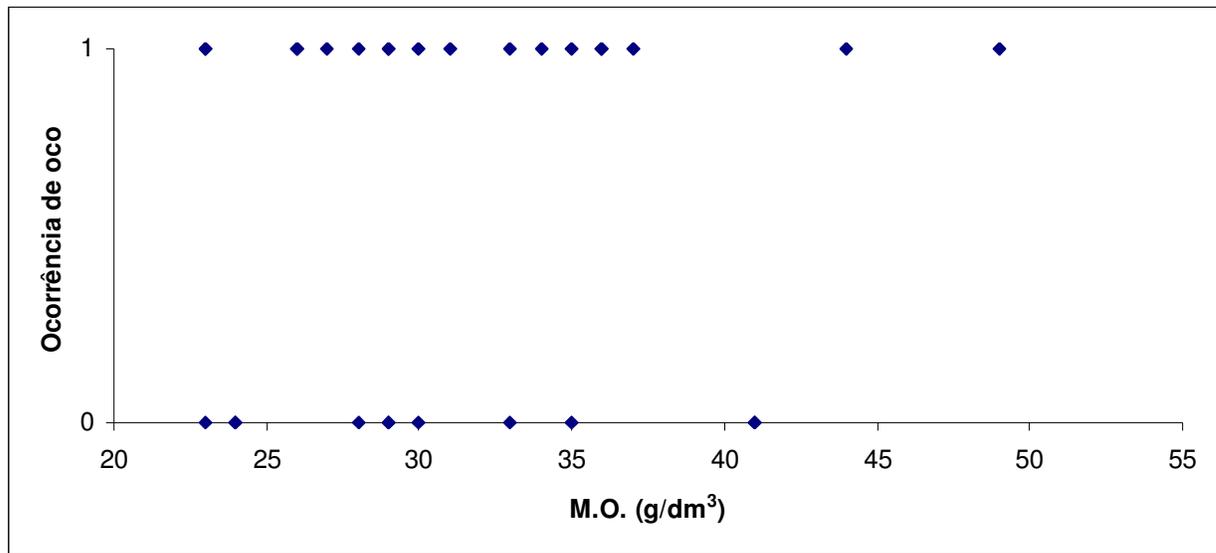


Figura 32 – Diagrama de dispersão da quantidade de matéria orgânica no solo (g/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)

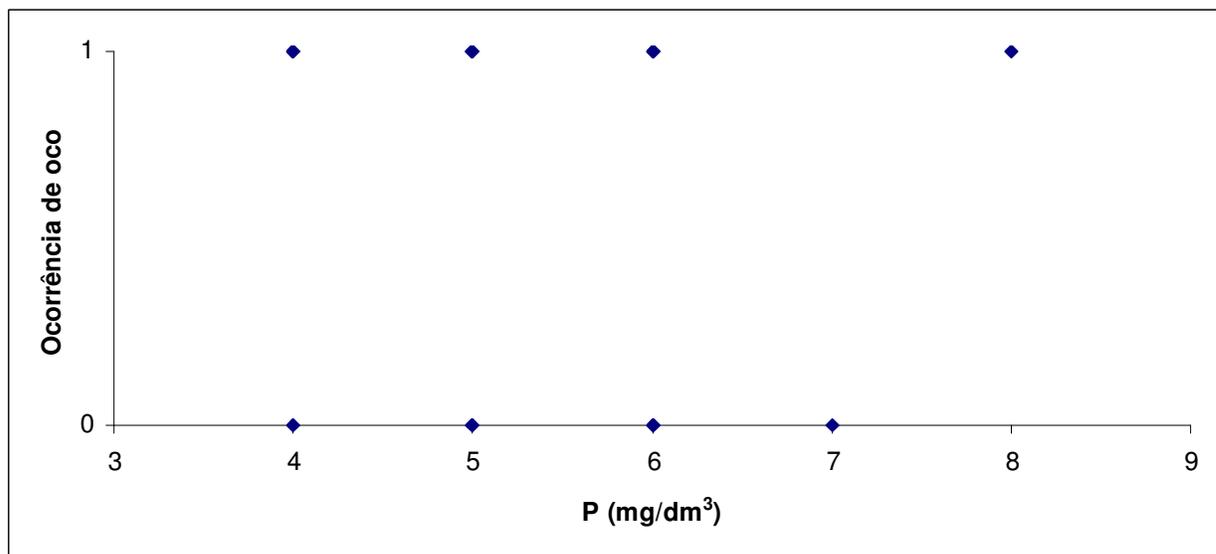


Figura 33 – Diagrama de dispersão da quantidade de fósforo no solo (mg/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)

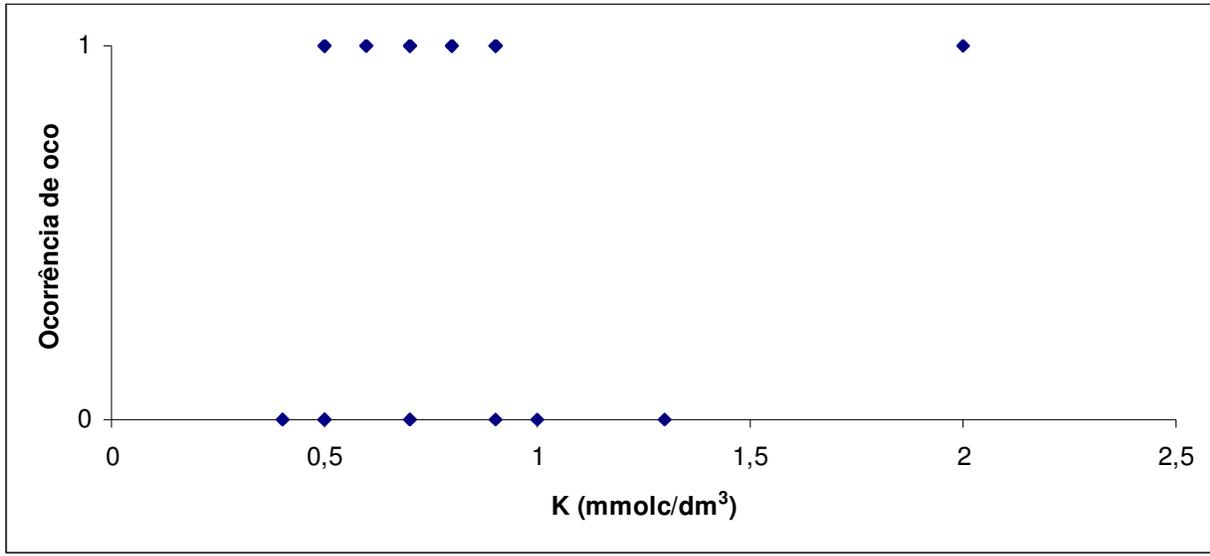


Figura 34 – Diagrama de dispersão da quantidade de potássio no solo (mmol/dm³) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)

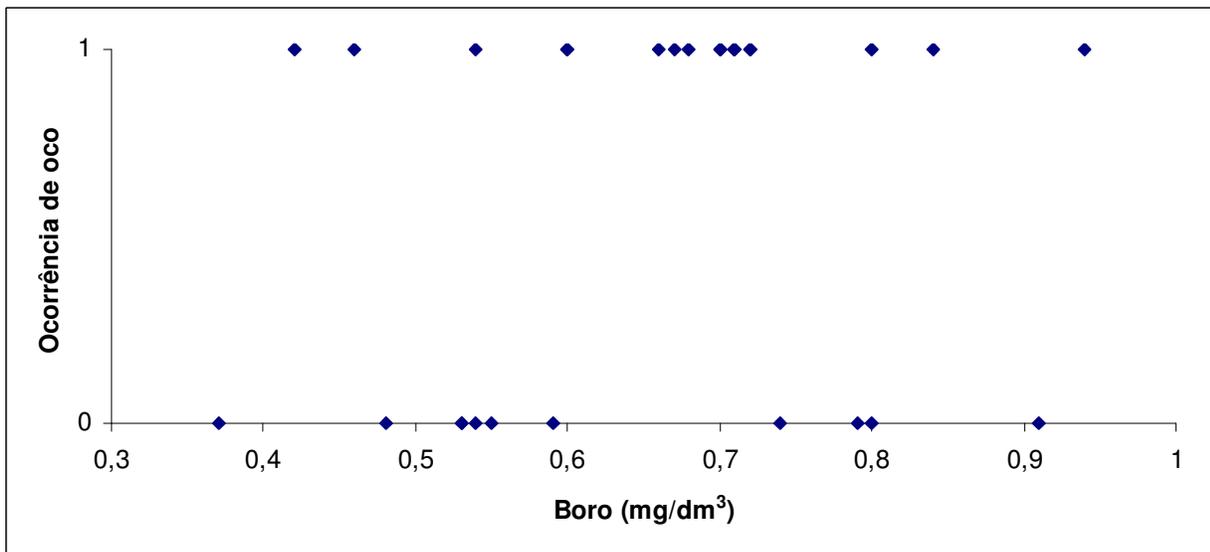


Figura 35 – Diagrama de dispersão da quantidade de boro no solo (mg/dm³) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)

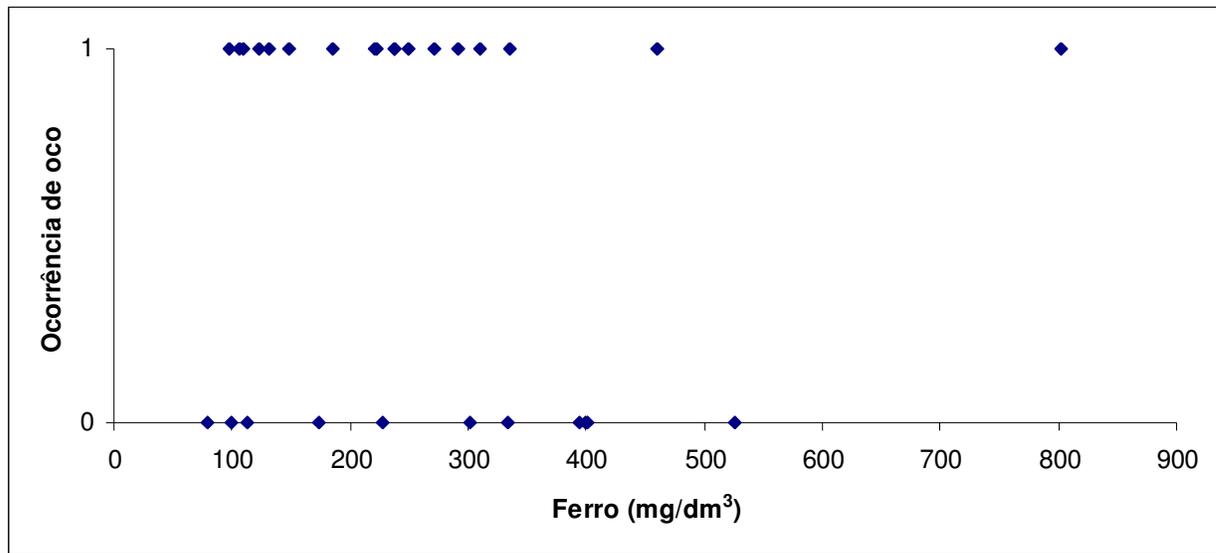


Figura 36 – Diagrama de dispersão da quantidade de ferro no solo (mg/dm^3) vs. a ocorrência de oco (0 = árvore sem oco, 1 = árvore com oco)

4.3 Determinação do volume de madeira por árvore

Os dados obtidos na cubagem foram divididos em 4 classes de diâmetro e 4 classes de volume total (Tabela 7), bem como, em 5 classes de volume útil (Tabela 8).

Tabela 7 – Correlação entre as classes de DAP e de volume total das árvores estudadas

| Classes de DAP (cm) | Classes de volume total (m^3) | | | |
|---------------------|--|-------|--------|---------|
| | (2-5] | (5-8] | (8-11] | (11-14] |
| (50-70] | 12 | 1 | 0 | 0 |
| (70-90] | 1 | 4 | 0 | 0 |
| (90-110] | 0 | 0 | 6 | 4 |
| (110-130] | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabela 8 – Correlação entre as classes de DAP e de volume útil das árvores estudadas

| Classes de DAP (cm) | Classes de volume útil (m^3) | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|--------|---------|
| | (2-4] | (4-6] | (6-8] | (8-10] | (10-12] |
| (50-70] | 11 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| (70-90] | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| (90-110] | 0 | 1 | 1 | 5 | 3 |
| (110-130] | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

O volume total foi maior no grupo 4, em função do tamanho das árvores. Nos grupos 2 e 4, que apresentaram oco, o volume desse oco variou, em função do tamanho da árvore. Porém, no

grupo 2 não há uma grande interferência desse oco no volume útil da árvore, o que não ocorre no grupo 4 (volume do oco de $1,5\text{m}^3$) (Tabela 9). Foi observado em campo que a ocorrência de oco, tanto os menores ($< 1\text{m}^3$), quanto os maiores ($> 1\text{m}^3$) interfere na qualidade da árvore por aumentar a incidência de rachaduras durante e após o abate da árvore (Figura 37).

Tabela 9 – Correlação entre as classes de DAP e de volume útil das árvores estudadas

| Grupo | Número de indivíduos | Faixa diamétrica (cm) | Total | Volume (m^3) | |
|--------------|----------------------|-----------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | | Oco | Útil |
| 1 | 6 | 50 - 70 | 3,396 | - | 3,396 |
| 2 | 7 | 55 - 70 | 4,005 | 0,160 | 3,822 |
| 3 | 4 | 70 - 80 | 5,833 | - | 5,833 |
| 4 | 12 | 85 - 130 | 10,190 | 1,564 | 8,626 |
| Total | 29 | 50 - 130 | 23,424 | 1,723 | 21,676 |



Figura 37 – Incidência de rachaduras, durante o corte das árvores (A), no pátio de estocagem (B)

O volume útil observado aumenta em função do aumento do diâmetro da árvore. Porém, a qualidade da madeira fica comprometida e o rendimento na serraria é baixo. Em 5 árvores observadas, as quais tinham oco (Grupo 4) e com DAP > 85 cm, houve a ocorrência de um alto volume de madeira deteriorada. Essa madeira não pode ser utilizada pelas empresas madeireiras, pois está estruturalmente comprometida, não possuindo as propriedades físico-mecânicas e anatômicas da espécie. Além disso, o rendimento do desdobro de árvores com oco grande (15 a 20% do volume da árvore é o oco) fica comprometido. O rendimento em madeira serrada é baixo, em função:

- volume do oco: 15 a 20% do volume da árvore é oco;

- forma de ocorrência do oco: normalmente o oco ocorre na parte central da árvore, ou seja, no cerne, que é a parte desejada pela empresa madeireira. Logo, o oco ocorre justamente no local onde deveria haver madeira. Além disso, o rendimento do desdobro cai pois, para se desdobrar uma tora, primeiro converte-se a forma cilíndrica da mesma em forma prismática, para que se possa retirar tábuas, vigas, caibros, etc. Se esse paralelepípedo está oco por dentro, e em forma cilíndrica, o rendimento será baixo;
- susceptibilidade à rachaduras: toras ocas tendem a rachar mais que toras sem oco. No caso da madeira estudada, que já apresenta uma forte tendência à ocorrência de rachaduras, isso se converte em rendimento mais baixo, pois a rachadura é um defeito que ocorre e que deve ser corrigido, implicando em descarte de material rachado e maior quantidade de operações para a eliminação desse defeito.

4.4 Determinação de equações de volume para a espécie

A obtenção do volume útil que será colhido é um dado de extrema importância no planejamento da exploração de madeira, pois se pode planejar a venda de um volume de madeira da espécie com maior exatidão. Os dados do tomógrafo podem ser usados na etapa de planejamento da exploração madeireira para maçaranduba no sítio estudado. Além disso, promove-se um maior controle das operações florestais em relação ao volume de madeira a ser colhido, ou seja, maior precisão dos dados remete à legalidade e sustentabilidade da extração de madeira.

As análises de regressão foram empregadas no ajuste de 2 modelos de volume total e 4 modelos de volume útil, a partir dos dados de cubagem das 29 árvores de maçaranduba. As estimativas dos parâmetros e as principais estatísticas para esses modelos de volume são apresentadas nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Coeficientes de regressão e principais estatísticas dos 2 modelos de volume total testados para árvores de maçaranduba

| Modelo | Coeficientes | | | R ² | S _{yx} (%) |
|--------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------------|---------------------|
| | β_0 | β_1 | β_2 | | |
| Spurr (volume total) | 0,81458 | 0,40349 | - | 0,9378 | 0,8754 |
| Schumacher-Hall (volume total) | -8,65412 | 1,91267 | 0,69566 | 0,9728 | 1,0943 |

Os dois modelos testados para ajustar as equações de volume apresentaram valores de F altamente significativos ($P < 0,01$), indicando que eles podem explicar uma alta proporção da variabilidade observada no volume. Pode-se verificar que o modelo de Spurr apresenta valor mais baixo do R^2 e valor mais alto do erro padrão das estimativas (S_{yx}). O modelo de Schumacher-Hall foi superior, pois apresentou valor de R^2 mais próximo de 1.

Tabela 11 – Coeficientes de regressão e principais estatísticas dos 4 modelos de volume útil testados para árvores de maçaranduba

| Modelo | Coeficientes | | | | R^2 | S_{yx} (%) |
|--|--------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------------|
| | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | | |
| Spurr (volume útil) | 1,24187 | 0,32706 | - | - | 0,8116 | 1,3275 |
| Spurr modificado (volume útil) | 0,72035 | 0,47156 | - | - | 0,7981 | 1,3743 |
| Schumacher-Hall (volume útil) | -8,13048 | 1,59480 | 0,94180 | - | 0,8164 | 1,2639 |
| Schumacher-Hall modificado (volume útil) | -9,27928 | 1,92162 | 0,90376 | 0,66529 | 0,8833 | 1,2097 |

Todos os modelos testados para ajustar as equações de volume apresentaram valores de F altamente significativos ($P < 0,01$), indicando que eles podem explicar uma alta proporção da variabilidade observada no volume útil. Pode-se verificar que o modelo de Spurr apresentou valores mais baixos do coeficiente de determinação (R^2) e valores mais altos do erro padrão das estimativas (S_{yx}).

O modelo de Schumacher-Hall modificado foi superior, considerando tanto do coeficiente de determinação (R^2) quanto o erro padrão das estimativas (S_{yx}). Portanto, os dados das imagens tomográficas obtidas e processadas no *software* Microimages TNT mips 2010 acrescentaram maior precisão às equações de volume útil da espécie na área de estudo.

4.5 Identificação e análise de lesões e ocos através da tomografia de impulso e da análise visual

Uma comparação entre os dados obtidos pela análise visual dos discos no processamento das imagens tomográficas (Tabelas 12 e 13) mostra que a leitura do tomógrafo superestima a área afetada de 15 a 7% a mais e subestima áreas deterioradas. Isso pode ocorrer por diversos fatores:

- (i) diâmetros do fuste: a leitura foi dificultada em árvores com fustes de maior diâmetro. Com o aumento do diâmetro os sensores opostos vão deixando de captar as ondas, sendo estas captadas somente pelos sensores mais próximos (árvores 1019, 1040,

1221, 1359, 1579) (Figuras 44, 45, 56, 64, 62, respectivamente) e Figuras 72, 74, 81 e 83. A onda mecânica possui mais opções de rotas, à medida em que se aumenta o diâmetro, pois há maior possibilidade da onda percorrer atalhos, chegando mais rápido aos outros sensores (ROLLO, L., 2009);

- (ii) forma do fuste: quanto mais cilíndrico o fuste, melhor a leitura. Reentrâncias e saliências resultam em forma muito irregular e atrapalham a leitura e análise pelo *software* Arbotom. Em alguns casos, a leitura do tomógrafo apresenta área inexistente (reentrância) ou uma área menor (saliência) (árvores 1734, 1707, 1709, 1027, 1534, 1579, 1359, 1236, 1255, 1045) (Figuras 40, 46, 57, 58, 59, 62, 64, 65, 68, 67, respectivamente);
- (iii) pequena diferença de densidade entre a madeira sadia, a lesionada e/ou o material de preenchimento do oco. A madeira sadia possui em média densidade aparente de $1,13 \text{ g/cm}^3$. Madeira lesionada apresentou densidade aparente de até $0,82 \text{ g/cm}^3$. Essa pequena diferença interfere na leitura do tomógrafo, que não consegue distinguir claramente a área sadia da lesionada. Além disso, ocos preenchidos com cupinzeiros e outros tipos de ninhos de insetos com material de alta densidade, também não foram claramente identificados pelo tomógrafo (árvores 1569, 1027, 1790, 1580, 1232, 1236, 1032) (Figuras 51, 58, 60, 61, 63, 65, 68, respectivamente). A madeira deteriorada ocorreu no grupo 4, que era o grupo com maior diâmetro. Diâmetros maiores associados à madeira deteriorada de maçanduba dificultaram a leitura do tomógrafo de impulso.

Tabela 12 – Qualidade da madeira obtida pela análise visual, considerando o oco, e da imagem tomográfica das seções transversais de árvores de maçanduba em relação ao grupo

| Grupo | Número de indivíduos | Faixa diamétrica (cm) | Qualidade da madeira (%) | | | |
|-------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| | | | Análise visual | | Análise da imagem tomográfica | |
| | | | Sadia | Deteriorada | Sadia | Deteriorada |
| 1 | 6 | 50 - 70 | 100,00 | 0,00 | 93,93 | 6,07 |
| 2 | 7 | 55 - 70 | 93,39 | 6,61 | 86,35 | 13,65 |
| 3 | 4 | 70 - 80 | 100,00 | 0,00 | 86,67 | 13,33 |
| 4 | 12 | 85 - 130 | 86,60 | 13,40 | 70,49 | 29,51 |

Tabela 13 – Qualidade da madeira obtida pela análise visual, considerando madeira deteriorada mais oco, e da imagem tomográfica das seções transversais de árvores de maçaranduba em relação ao grupo

| Grupo | Número de indivíduos | Faixa diamétrica (cm) | Qualidade da madeira (%) | | | |
|-------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| | | | Análise visual | | Análise da imagem tomográfica | |
| | | | Sadia | Deteriorada | Sadia | Deteriorada |
| 1 | 6 | 50 - 70 | 100,00 | 0,00 | 93,93 | 6,07 |
| 2 | 7 | 55 - 70 | 93,39 | 6,61 | 86,35 | 13,65 |
| 3 | 4 | 70 - 80 | 100,00 | 0,00 | 86,67 | 13,33 |
| 4 | 12 | 85 - 130 | 62,47 | 37,53 | 70,49 | 29,51 |

Levando em consideração o resultado obtido com o tomógrafo de impulso, foram observadas as velocidades máxima, média e mínima de cada árvore (Tabela 14). Os grupos 2 e 4 apresentaram velocidades mínimas inferiores aos grupos 1 e 3, isso pode ser explicado pela presença de oco nos grupos 2 e 4. A velocidade de propagação de ondas em determinado meio é constante. O que interfere na velocidade são as propriedades do meio. Logo, a presença de um oco interfere diretamente na velocidade de propagação dessa onda e na sua trajetória. Em algumas árvores, foi observado oco sem nenhum material (árvore 1709) (Figura 57) no seu interior. Porém, em outros casos, foi observada presença de ninhos de insetos, compostos por solo compactado. Isso interfere na leitura do tomógrafo (árvore 1032) (Figura 68).

O grupo 1 apresentou as velocidades máxima, média e mínima maiores, pois possuía madeira sadia e sem presença de ocos.

Tabela 14 – Velocidades máxima, média e mínima das seções transversais de árvores de maçaranduba em relação ao grupo

| Grupo | Número de indivíduos | Faixa diamétrica (cm) | Velocidades (m/s) | | |
|-------|----------------------|-----------------------|-------------------|--------|--------|
| | | | Máxima | Média | Mínima |
| 1 | 6 | 50 - 70 | 1441,50 | 728,06 | 156,83 |
| 2 | 7 | 55 - 70 | 1266,86 | 641,29 | 121,71 |
| 3 | 4 | 70 - 80 | 1344,25 | 675,19 | 170,00 |
| 4 | 12 | 85 - 130 | 1334,75 | 607,81 | 130,08 |

O diagrama de dispersão dos dados da análise visual transformados, considerando apenas o oco, vs. os dados transformados da análise supervisionada da imagem tomográfica apresentou valor de F altamente significativo ($P < 0,01$), indicando que eles podem explicar uma alta proporção da variabilidade observada da qualidade da madeira. Porém o coeficiente de determinação (R^2) foi baixo, 0,50 (Figura 38).

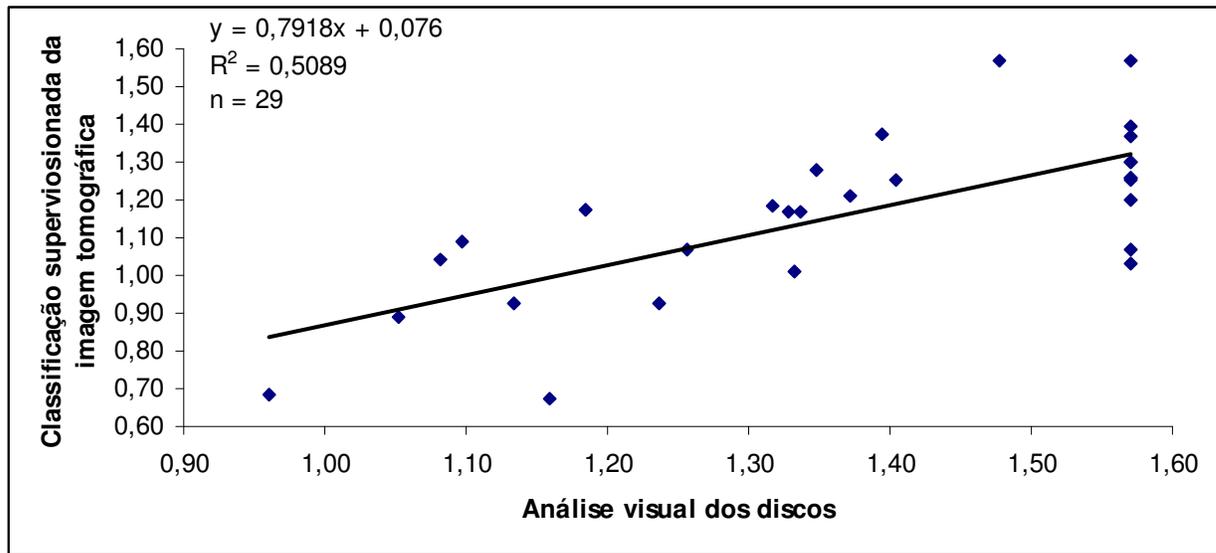


Figura 38 – Diagrama de dispersão da análise visual dos discos, considerando o oco, vs. classificação supervisionada da imagem tomográfica

O diagrama de dispersão dos dados da análise visual transformados, considerando a madeira deteriorada mais o oco, vs. os dados na transformados da análise supervisionada da imagem tomográfica apresentou valor de F altamente significativo ($P < 0,01$), indicando que eles podem explicar uma alta proporção da variabilidade observada da qualidade da madeira. Porém o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,33, sendo baixo (Figura 39).

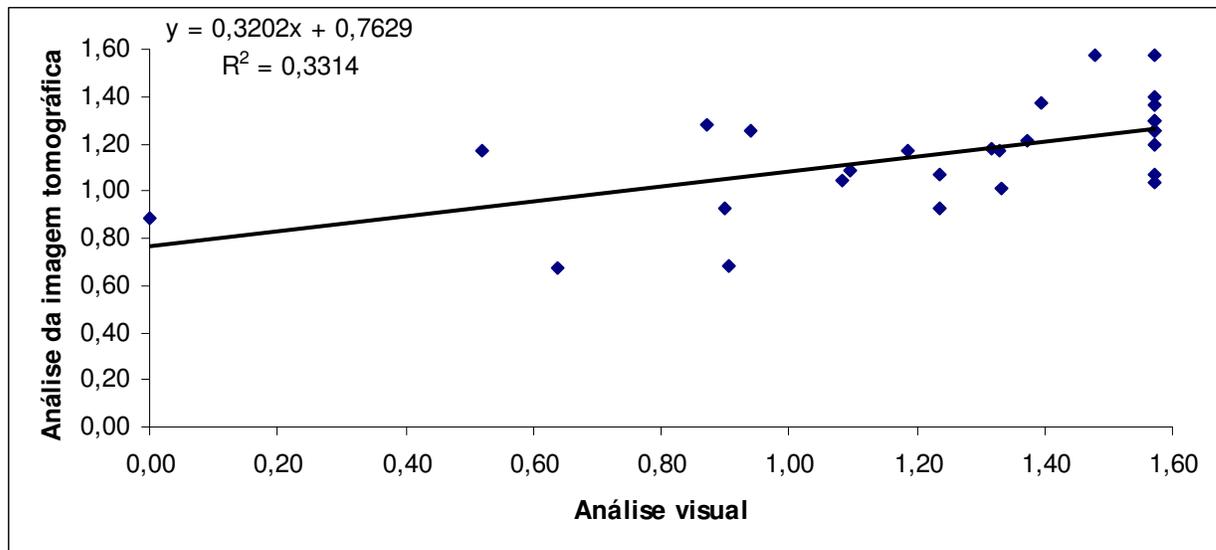


Figura 39 – Diagrama de dispersão da análise visual dos discos, considerando o oco adicionado da madeira deteriorada, vs. classificação supervisionada da imagem tomográfica

A avaliação estatística da classificação supervisionada das imagens tomográficas se deu através da estimativa kappa. Essa estimativa avalia a exatidão do mapeamento temático, ou seja, a exatidão da classificação das zonas de cores. Essa variou de 84 a 100% na análise das 29 imagens tomográficas, sendo considerada como excelente (LANDIS, KOCH, 1977).

Considerando a tomada de decisão de corte de árvore de maçaranduba na área, a utilização da tomografia de impulso apresenta limitações para o auxílio nessa tomada de decisão (Tabela 15), apresentando um erro de 17%. Com base no tomógrafo seriam selecionadas árvores com madeira deteriorada o que implicaria em corte, transporte e desdobro de resíduo. O aparelho não foi capaz de identificar a diferença entre madeira sadia e madeira deteriorada de *Manilkara huberi* (Figura 39 e Tabela 15).

Tabela 15 – Análise da tomada de decisão do corte das árvores com o auxílio do tomógrafo de impulso em relação à situação real de corte

| Grupo | Árvore | Tomada de decisão | |
|-------|--------|--------------------|---------------|
| | | Imagem tomográfica | Situação real |
| 1 | 1231 | sim | sim |
| 1 | 1421 | sim | sim |
| 1 | 1734 | sim | sim |
| 1 | 1588 | sim | sim |
| 1 | 1019 | sim | sim |
| 1 | 1040 | sim | sim |
| 2 | 1327 | sim | sim |
| 2 | 1220 | sim | sim |
| 2 | 1417 | sim | sim |
| 2 | 1562 | sim | sim |
| 2 | 1569 | sim | sim |
| 2 | 1707 | sim | sim |
| 2 | 1705 | sim | sim |
| 3 | 1566 | sim | sim |
| 3 | 1330 | sim | sim |
| 3 | 1221 | sim | sim |
| 3 | 1704 | sim | sim |
| 4 | 1534 | não | não |
| 4 | 1790 | sim | não |
| 4 | 1709 | não | não |
| 4 | 1580 | não | não |
| 4 | 1579 | não | sim |
| 4 | 1232 | não | não |
| 4 | 1359 | sim | não |
| 4 | 1236 | sim | não |
| 4 | 1027 | sim | não |
| 4 | 1255 | sim | sim |
| 4 | 1045 | não | não |
| 4 | 1032 | não | não |

Para cada árvore foi feita uma ficha comparando-se os resultados do tomógrafo de impulso, o resultado da análise supervisionada da imagem e o resultado da análise visual (Figuras 40 a 68). A seqüência de apresentação dos dados foi feita em função do grupo que cada árvore formou (grupos 1 a 4) e do DAP menor para o maior, em cada grupo.

Árvore 1734 – Grupo 1 (Árvore selecionada para análise de densidade)

DAP: 57,8 cm

Altura comercial: 22,1 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 40 A a área em vermelho (seta), podendo ser interpretada como área de madeira deteriorada, porém observando-se a Figura 40 C e D (setas) o tecido está sadio.

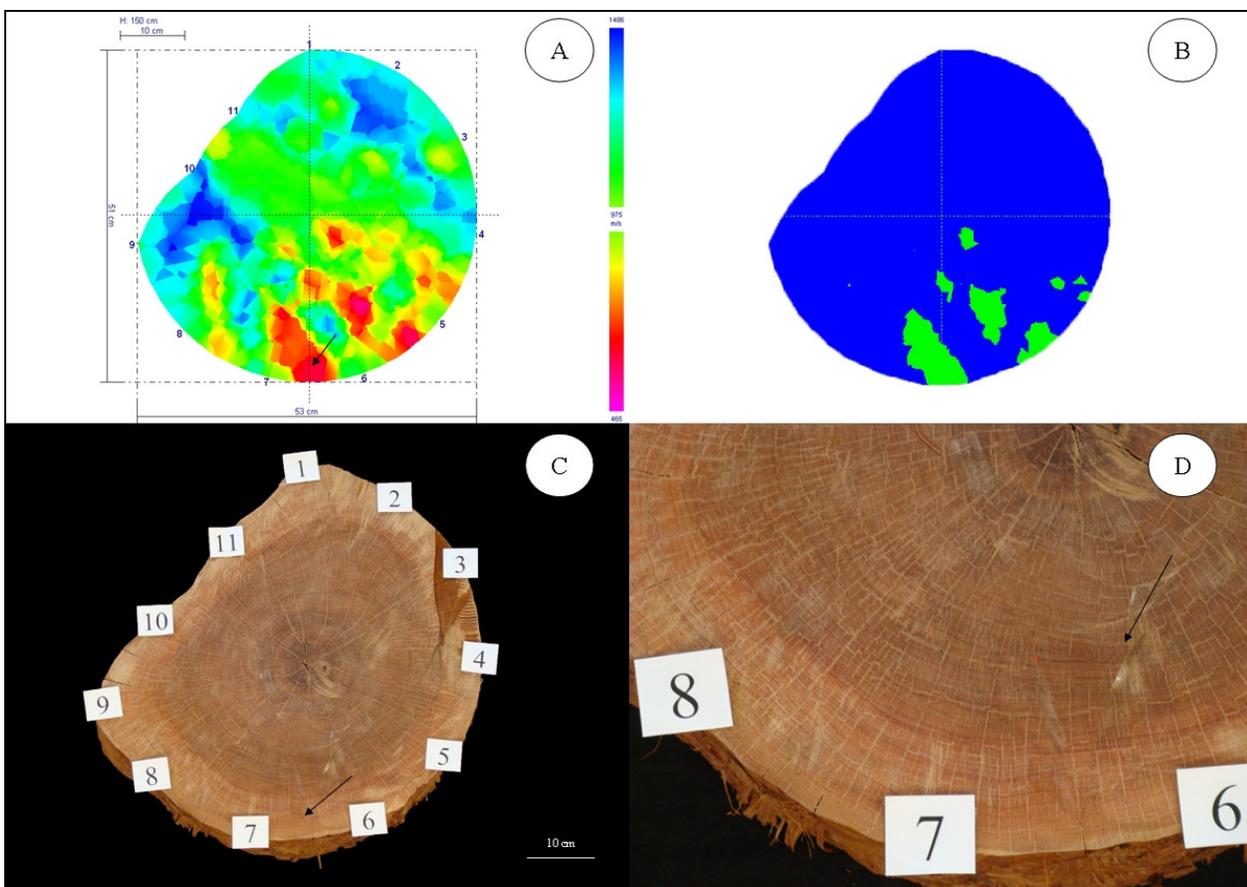


Figura 40 – Árvore 1734 (Grupo 1), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)

Árvore 1231 – Grupo 1

DAP: 53,2 cm

Altura comercial: 19,1 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 41 A a área em laranja avermelhado (seta) que poderia ser interpretada como área de madeira deteriorada, porém, a interpretação da imagem foi baseada na observação da cor da imagem tomográfica e nos valores de velocidade correspondentes, o que considerou essa área como madeira sadia Figura 41 C (seta) e D.

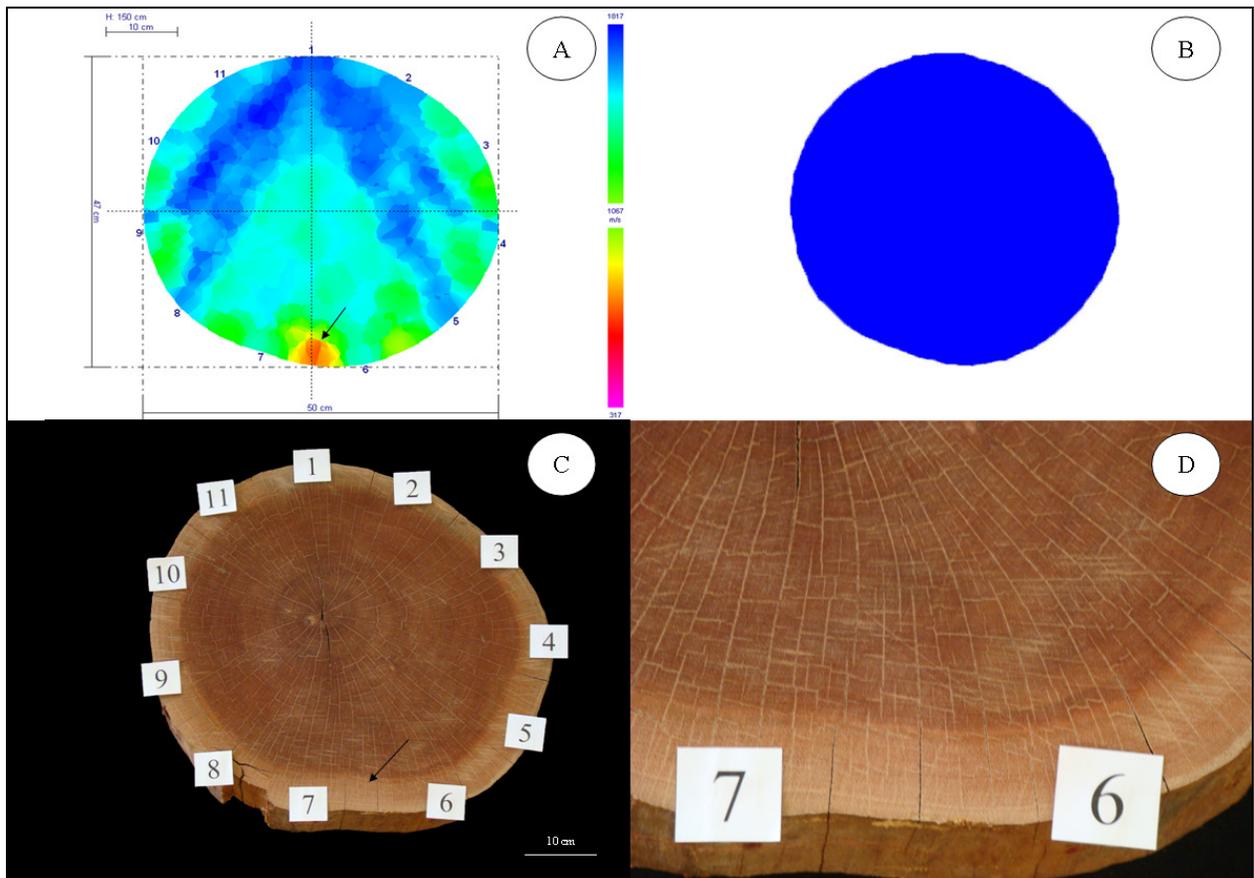


Figura 41 – Árvore 1231, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)

Árvore 1421 – Grupo 1

DAP: 57,6 cm

Altura comercial: 20,8 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 42 A áreas de amarelo a vermelho, indicando menor velocidade nessas regiões, porém a análise visual (Figura 42 C) mostra que o material está sadio.

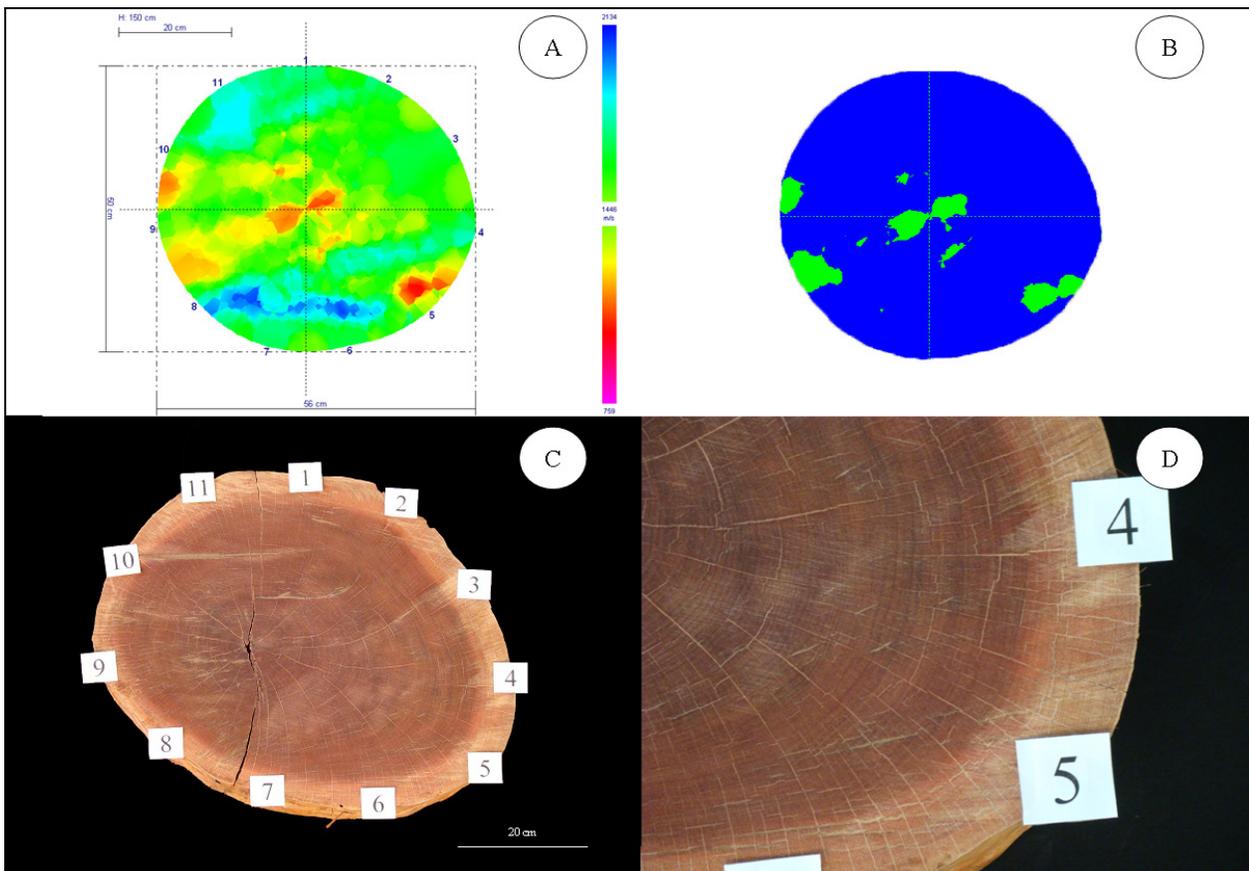


Figura 42 – Árvore 1421, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4 e 5 (D)

Árvore 1588 – Grupo 1

DAP: 60,7 cm

Altura comercial: 16,5 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 43 A áreas amarelas à vermelhas, indicando menor velocidade nessas regiões, porém a análise visual (Figura 43 C) mostra que o material está sadio.

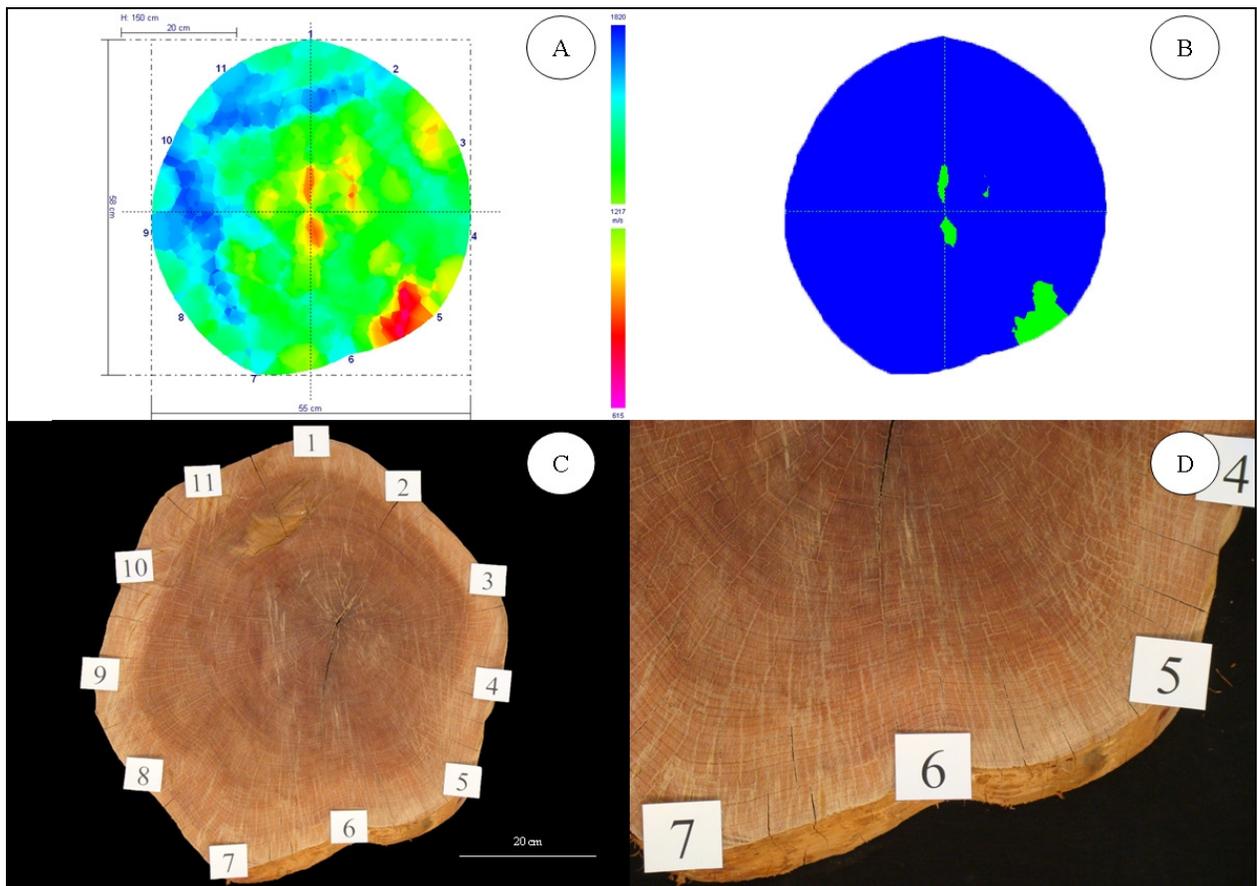


Figura 43 – Árvore 1588, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4, 5, 6 e 7(D)

Árvore 1019 – Grupo 1

DAP: 60,8 cm

Altura comercial: 19,0 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 44 A áreas amarelas à vermelhas, indicando menor velocidade nessas regiões, porém a análise visual (Figura 44 C) mostra que o material está sadio.

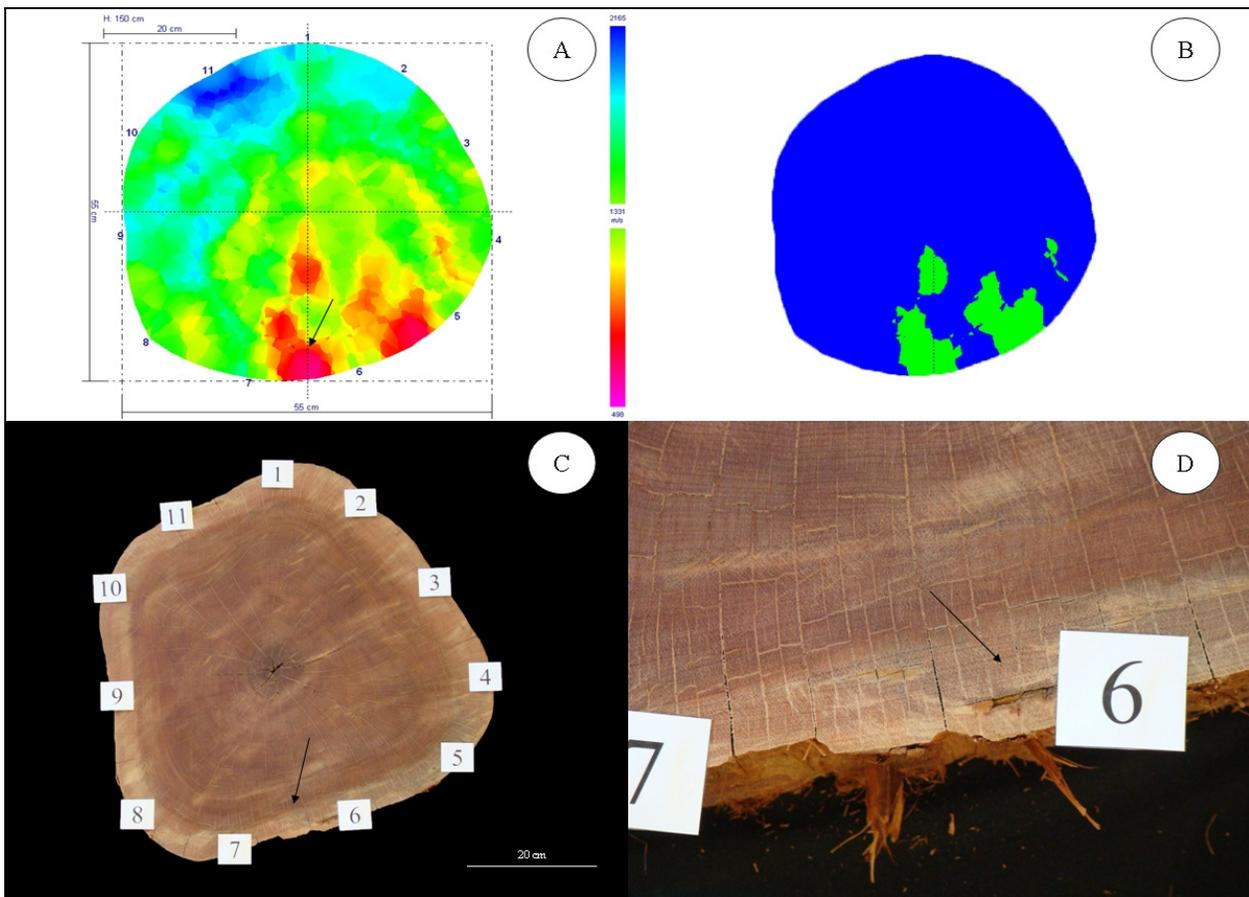


Figura 44 – Árvore 1019, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (seta) (D)

Árvore 1040 – Grupo 1

DAP: 68,9 cm

Altura comercial: 18,5 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 45 A áreas amarelas à vermelhas (seta), indicando menor velocidade nessas regiões, porém a análise visual (Figura 45 C) mostra que o material está sadio.

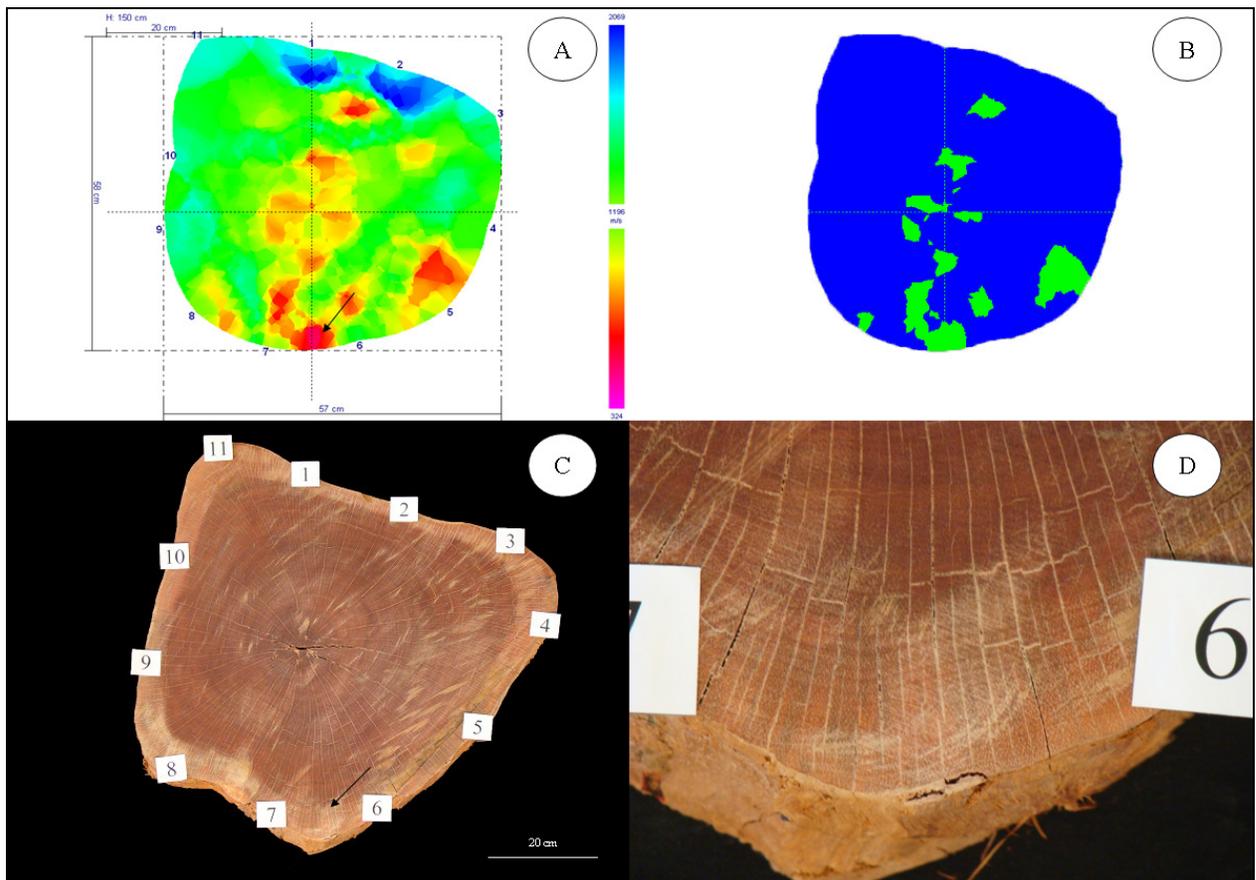


Figura 45 – Árvore 1040, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)

Árvore 1707 – Grupo 2 (Árvore selecionada para análise de densidade)

DAP: 62,9 cm

Altura comercial: 15,3 m

Oco: oco pequeno

Pode-se observar na Figura 46 A a área vermelha na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 46 C) constatou-se a presença de oco. Porém a localização não é a mesma da tomografia de impulso. A área de oco afetando a qualidade da madeira é maior quando se observa a variação no sentido longitudinal (Figura 46 D e E).

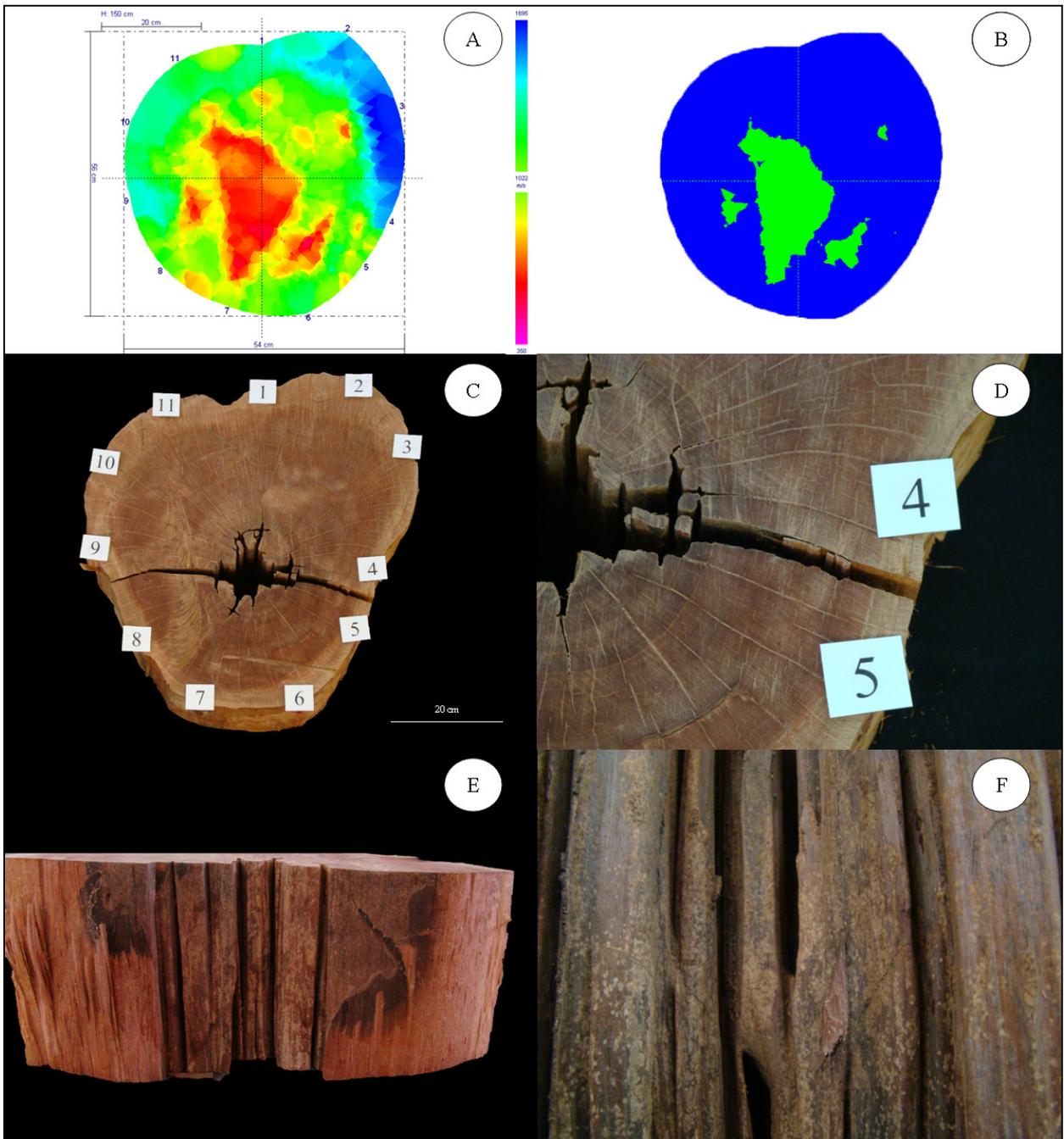


Figura 46 – Árvore 1707 (Grupo 2), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4 e 5 (D), vista da seção longitudinal do oco (E), detalhe da região do oco (F)

Árvore 1327 – Grupo 2

DAP: 55,4 cm

Altura comercial: 25,1 m

Oco: oco pequeno

Observações: presença de galha

Pode-se observar na Figura 47 A áreas amarelas a vermelhas. Na análise visual (Figura 47 C) constata-se a presença de oco na mesma área apontada pela tomografia de impulso.

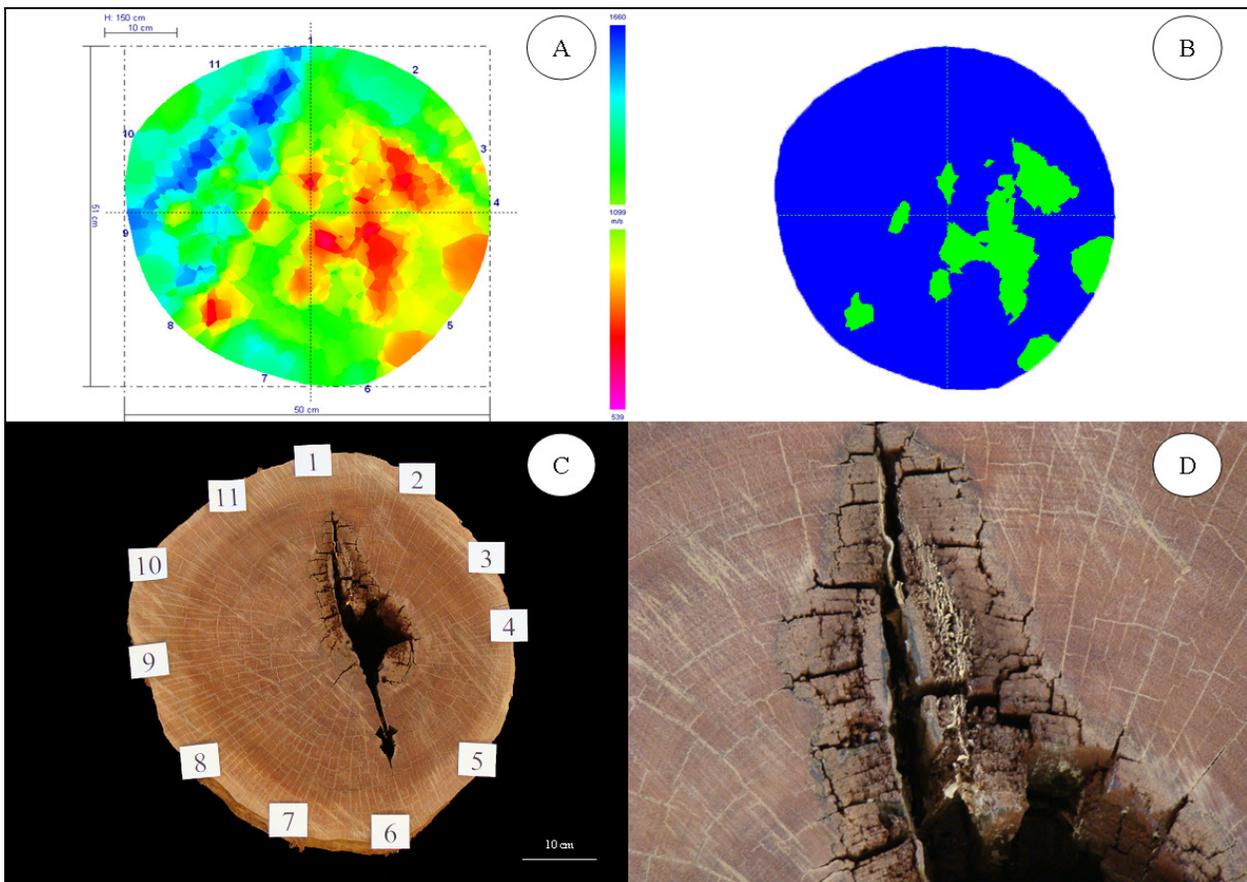


Figura 47 – Árvore 1327, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de ocorrência do oco (D)

Árvore 1220– Grupo 2

DAP: 59,0 cm

Altura comercial: 21,6 m

Oco: oco pequeno

Pode-se observar na Figura 48 A a área em laranja avermelhado (seta) entre os sensores 5 e 6 que poderia ser interpretada como área de madeira deteriorada. Porém, a interpretação da imagem foi baseada na observação da cor correspondente à velocidade, o que considerou essa área como madeira sadia (Figura 48 B). Porém, a tomografia de impulso não detectou a presença de oco na seção transversal (Figura 48 C).

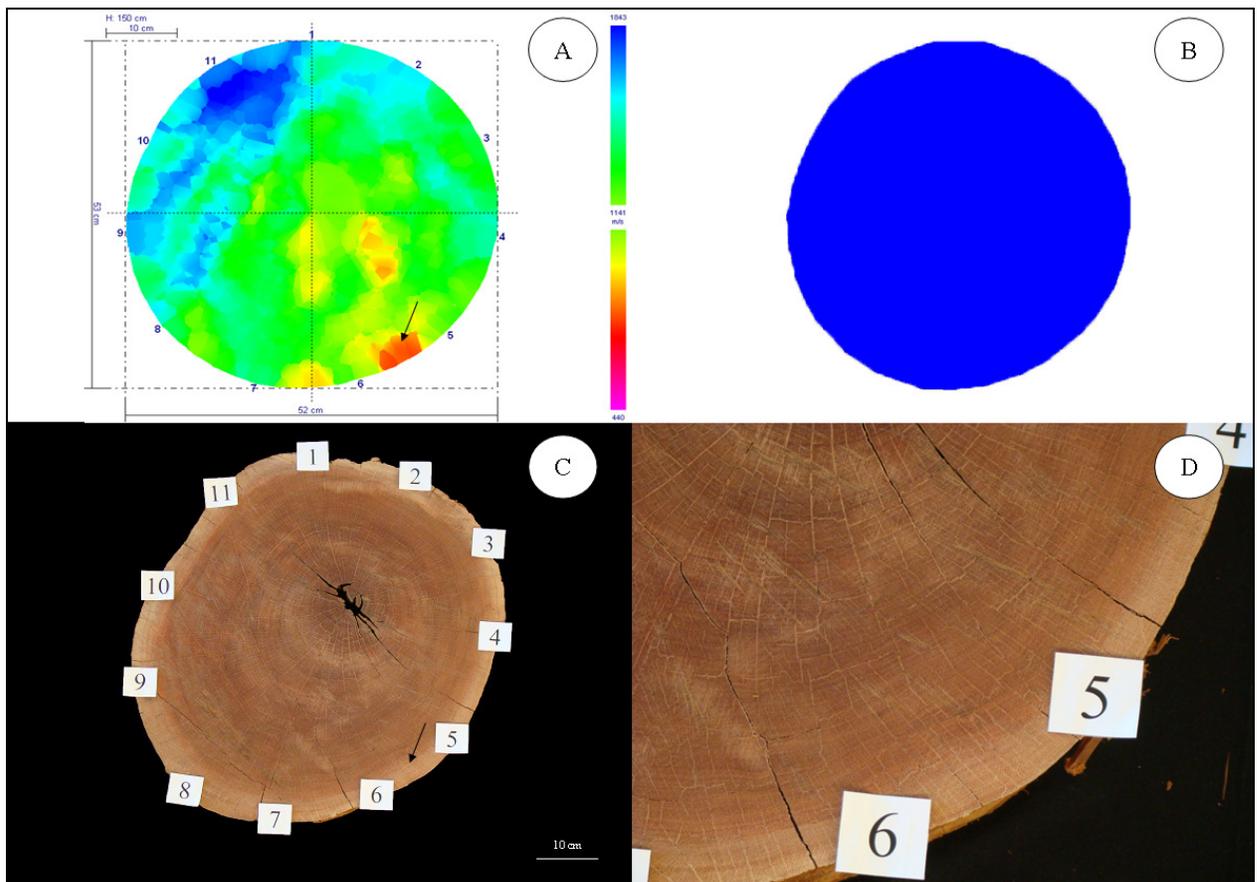


Figura 48 – Árvore 1220, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadia em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4, 5 e 6 (D)

Árvore 1417– Grupo 2

DAP: 59,2 cm

Altura comercial: 17,3m

Oco: oco pequeno

Pode-se observar na Figura 49 A a área vermelha na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 49 C) constatou-se a presença de oco. Porém, a área de ocorrência de oco é menor que a detectada pelo tomógrafo.

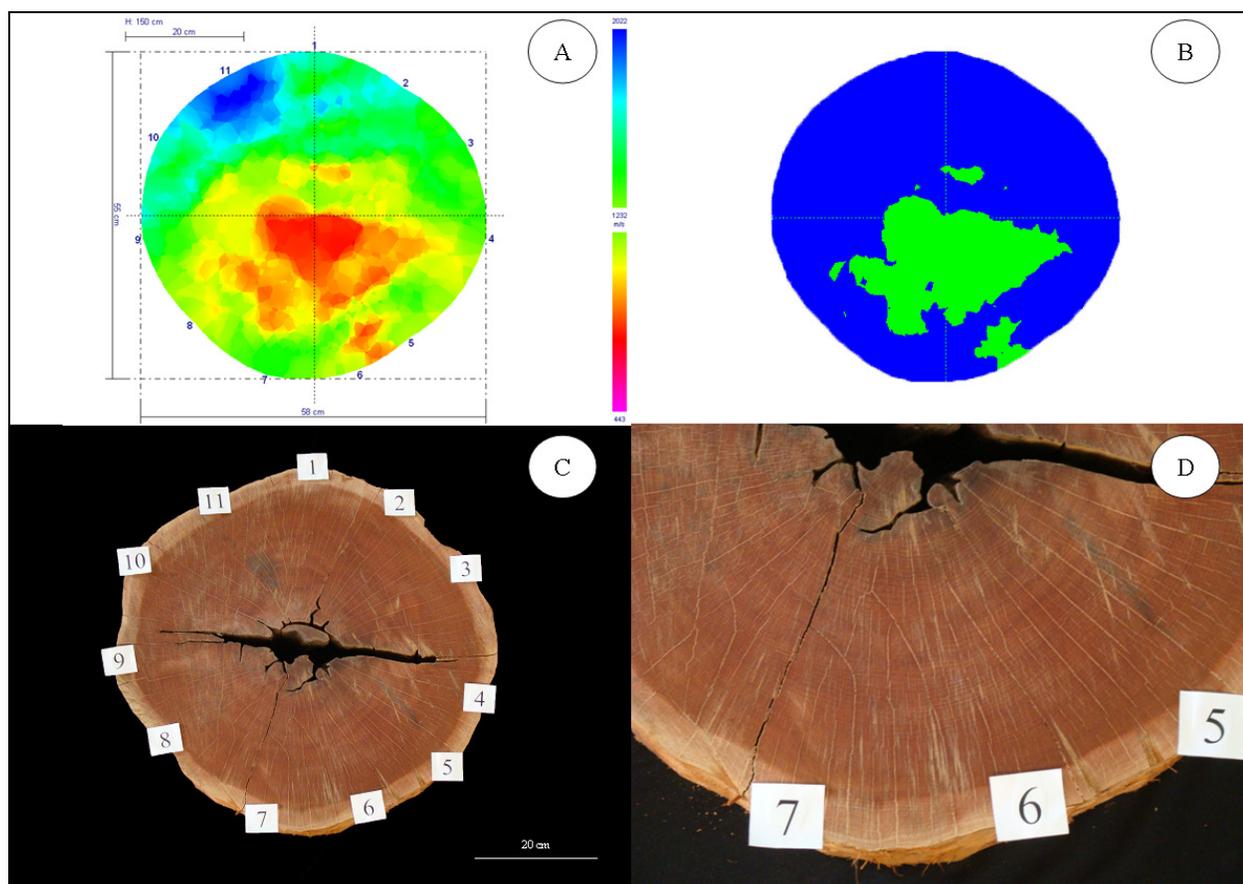


Figura 49 – Árvore 1417, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região dos sensores 5, 6 e 7 (D)

Árvore 1562 – Grupo 2

DAP: 62,4 cm

Altura comercial: 22,2m

Oco: oco pequeno

Pode-se observar na Figura 50 A a área vermelha na parte central e adjacente aos sensores 3, 4 e 5, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 50 C) constatou-se a presença de oco. Porém, a localização e a dimensão da ocorrência não são as mesmas da tomografia de impulso. Além disso, há uma superestimação da área de tecido deteriorado.

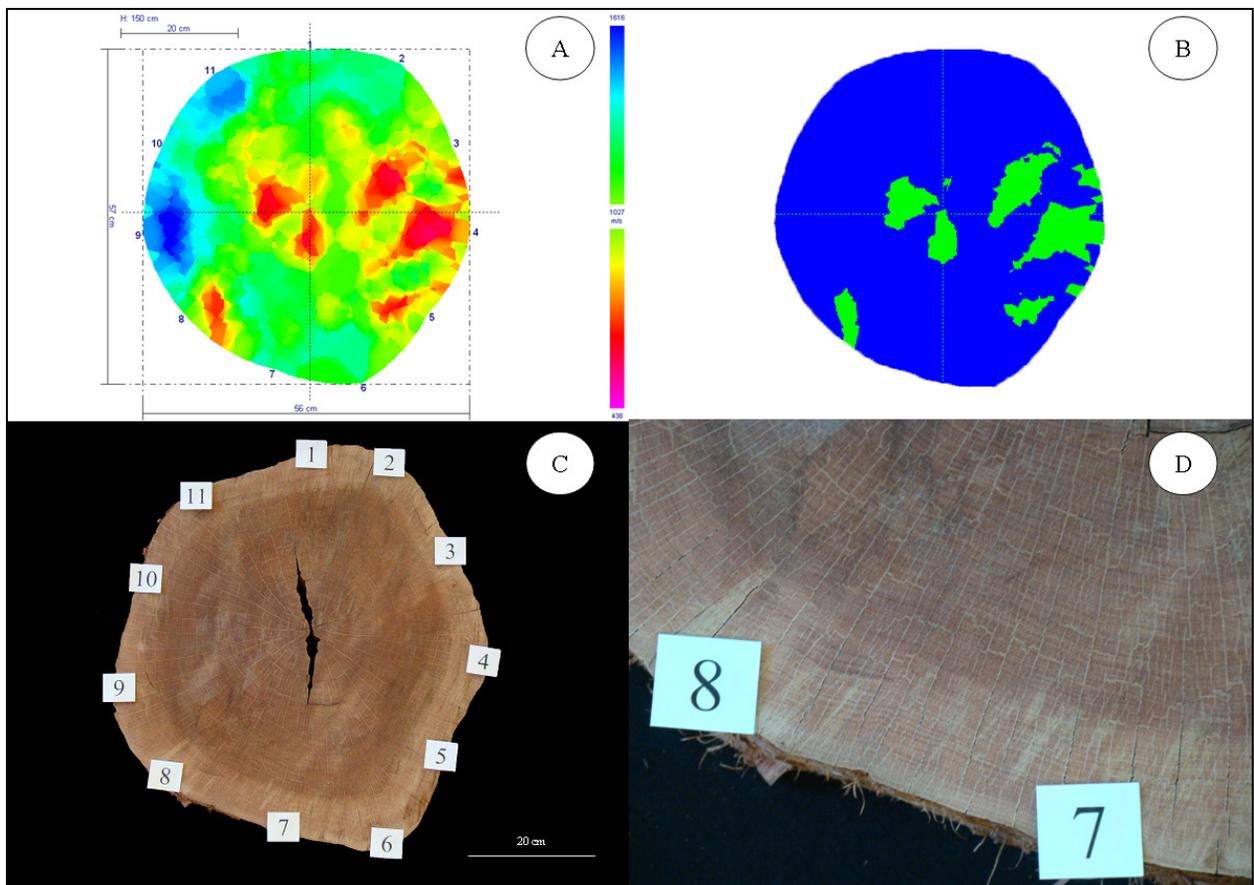


Figura 50 – Árvore 1562, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 7 e 8 (D)

Árvore 1569– Grupo 2

DAP: 62,8 cm

Altura comercial: 19,3 m

Oco: oco pequeno

Pode-se observar na Figura 51 A a área vermelha alaranjada entre os sensores 5 e 6, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 51 C) constatou-se a presença de material deteriorado. Porém, a localização não é a mesma da tomografia de impulso. Nesse caso houve uma subestimação da extensão da área afetada.

N área azul da Figura 51 A, entre os sensores 11, 1 e 2, o tomógrafo pode ter detectado madeira de reação. Para que se corrobore essa hipótese, lâminas do material devem ser feitas.

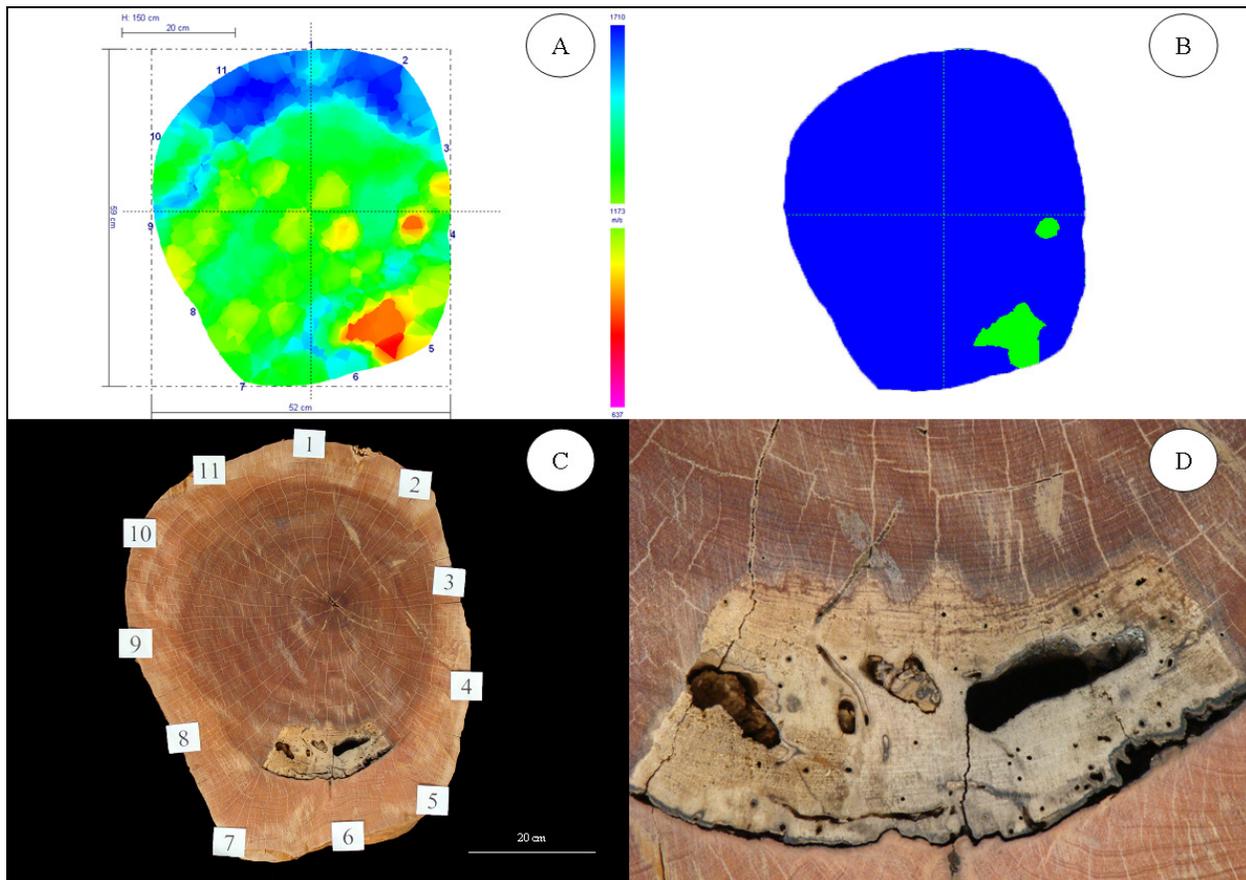


Figura 51 – Árvore 1569, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de podridão próxima aos sensores 5, 6 e 7 (D)

Árvore 1705 – Grupo 2

DAP: 69,1 cm

Altura comercial: 27,5 m

Oco: oco pequeno

Observações: presença de galha

Pode-se observar na Figura 52 A a área vermelha alaranjada na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 52 C) constatou-se a presença de oco. Porém, a extensão não é a mesma da tomografia de impulso.

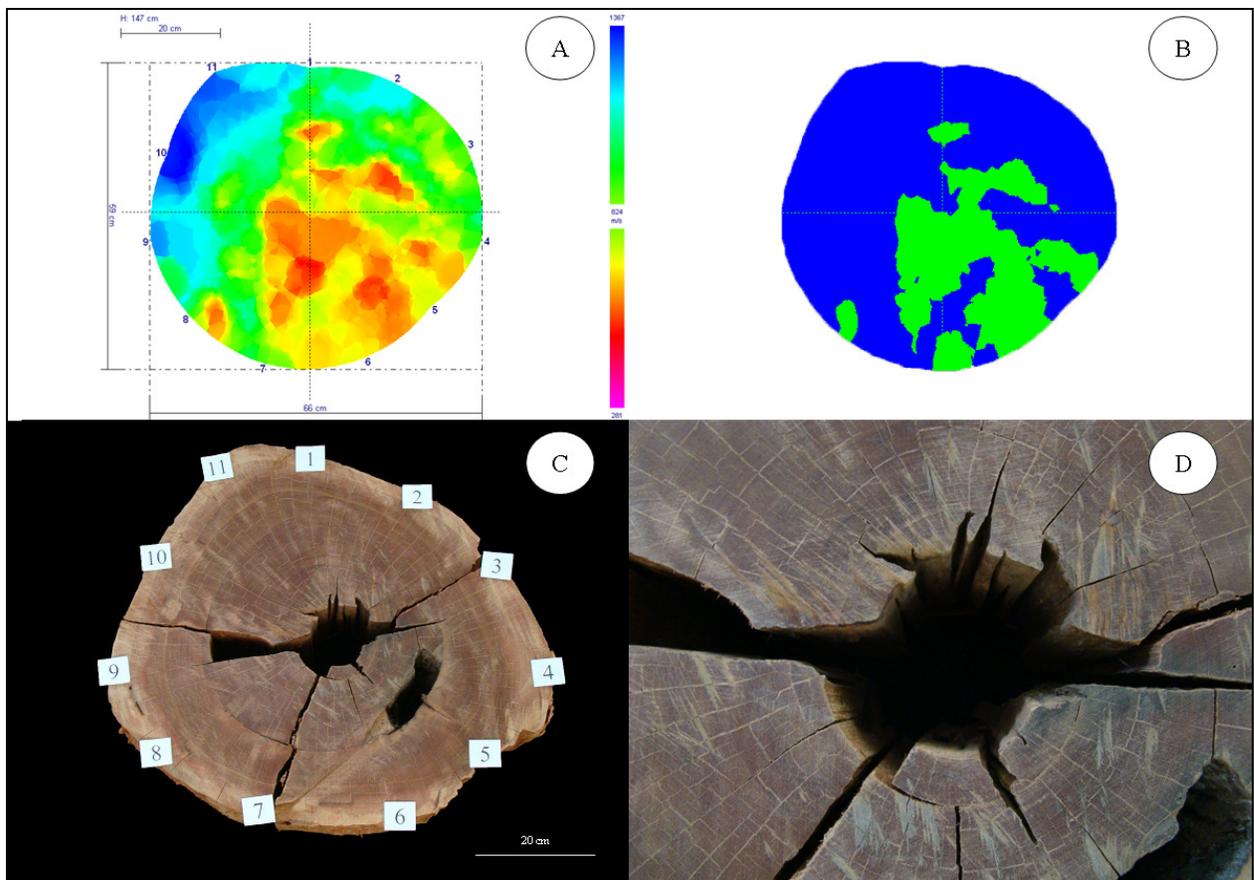


Figura 52 – Árvore 1705, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de ocorrência de oco (D)

Árvore 1704 – Grupo 3 (Árvore selecionada para análise de densidade)

DAP: 80,1 cm

Altura comercial: 24,9 m

Oco: sem oco

Pode-se observar na Figura 53 A a área vermelha na região central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 53 C) constatou-se a presença de ataque incipiente. Porém, a localização e a extensão não são as mesmas da tomografia de impulso. Houve uma superestimação de área afetada. Pode-se observar que a área afetada restringe-se às galerias, não afetando a qualidade da madeira que será serrada (Figura 53 E e F).

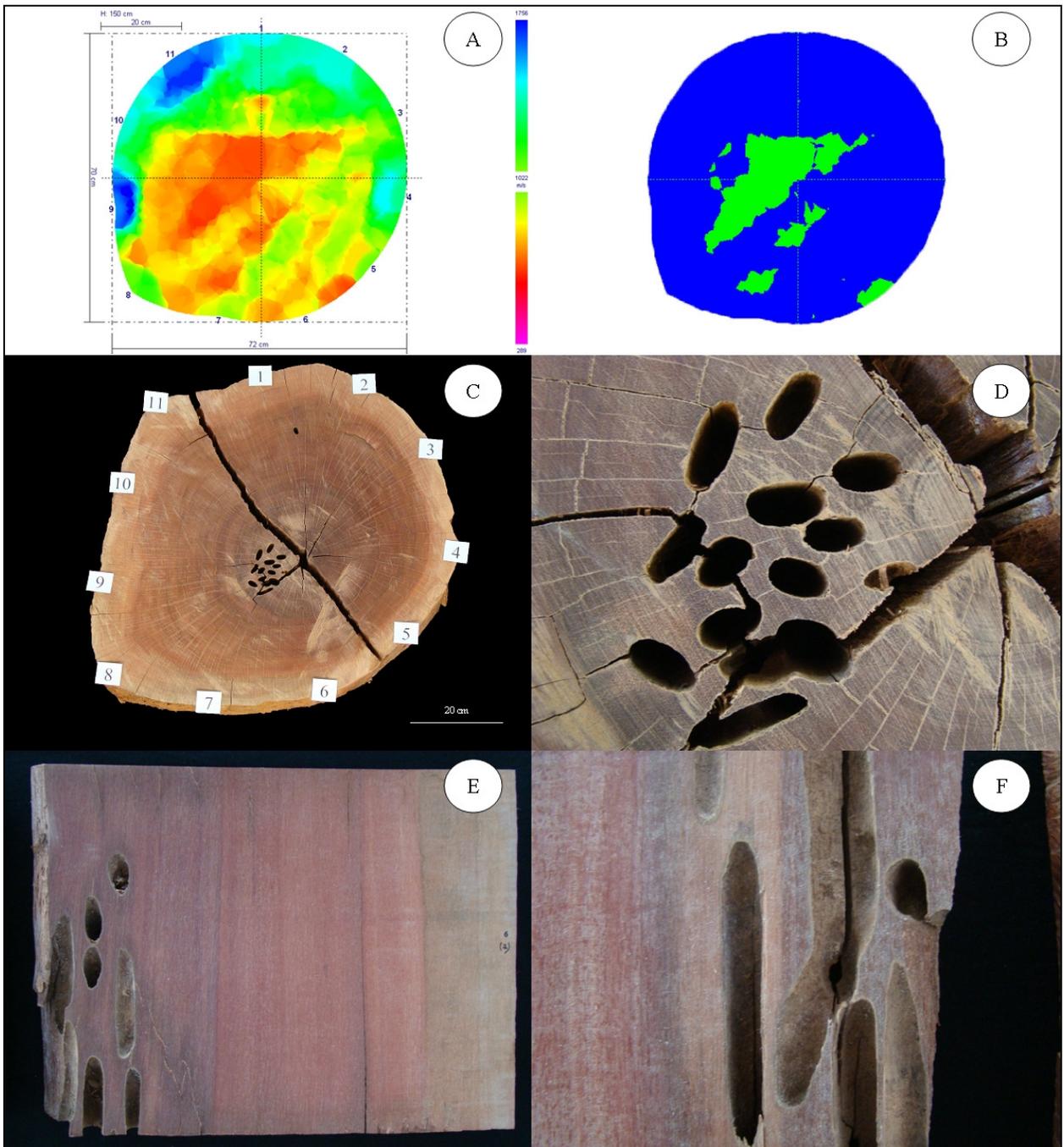


Figura 53 – Árvore 1704 (Grupo 3), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região com ataque incipiente (D), corte longitudinal da madeira (E), detalhe das galerias em corte longitudinal (F)

Árvore 1566– Grupo 3

DAP: 71,0 cm

Altura comercial: 19,4 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 54 A a área vermelha amarelada, indicando menor velocidade de propagação da onda mecânica. Na análise visual (Figura 54 C e D) observou-se que a madeira está sadia. Porém, ocorreram rachaduras próximas ao limite de coloração alaranjada detectada pelo tomógrafo após a colheita. Nos locais onde ocorreram as rachaduras eram áreas mais frágeis, que poderiam diminuir o rendimento em serraria, uma vez que a madeira rachou.

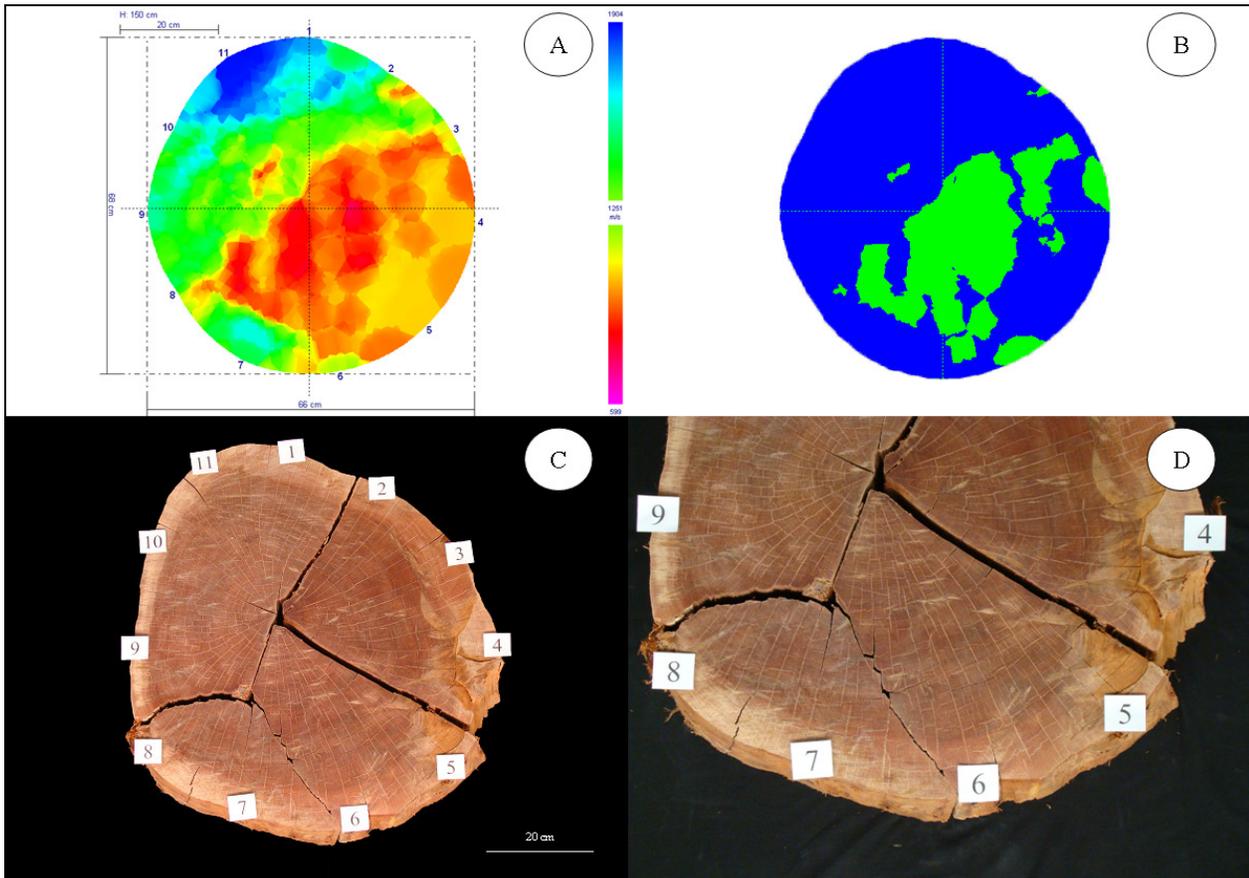


Figura 54 – Árvore 1566, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região com rachaduras (D)

Árvore 1330 – Grupo 3

DAP: 74,0 cm

Altura comercial: 20,2 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 55 A a área vermelha na parte central (seta). Na análise visual (Figura 55 C) pode-se observar a medula (seta) detectada pelo tomógrafo.

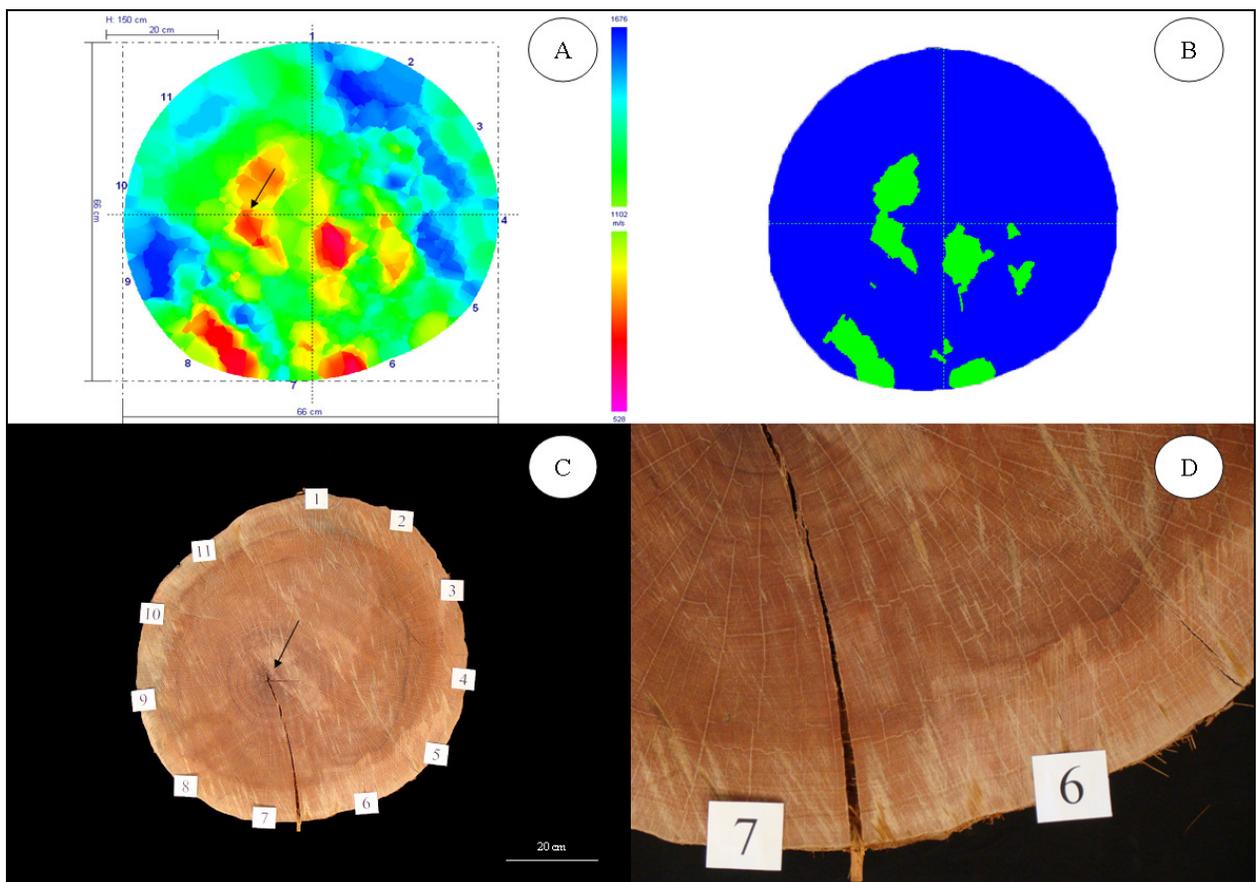


Figura 55 – Árvore 1330, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)

Árvore 1221– Grupo 3

DAP: 76,7 cm

Altura comercial: 20,5m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia

Pode-se observar na Figura 56 A a área vermelha entre os sensores 6 e 7, indicando material deteriorado. Na análise visual (Figura 56 C e D) observou-se material sadio em toda a extensão da seção transversal do disco.

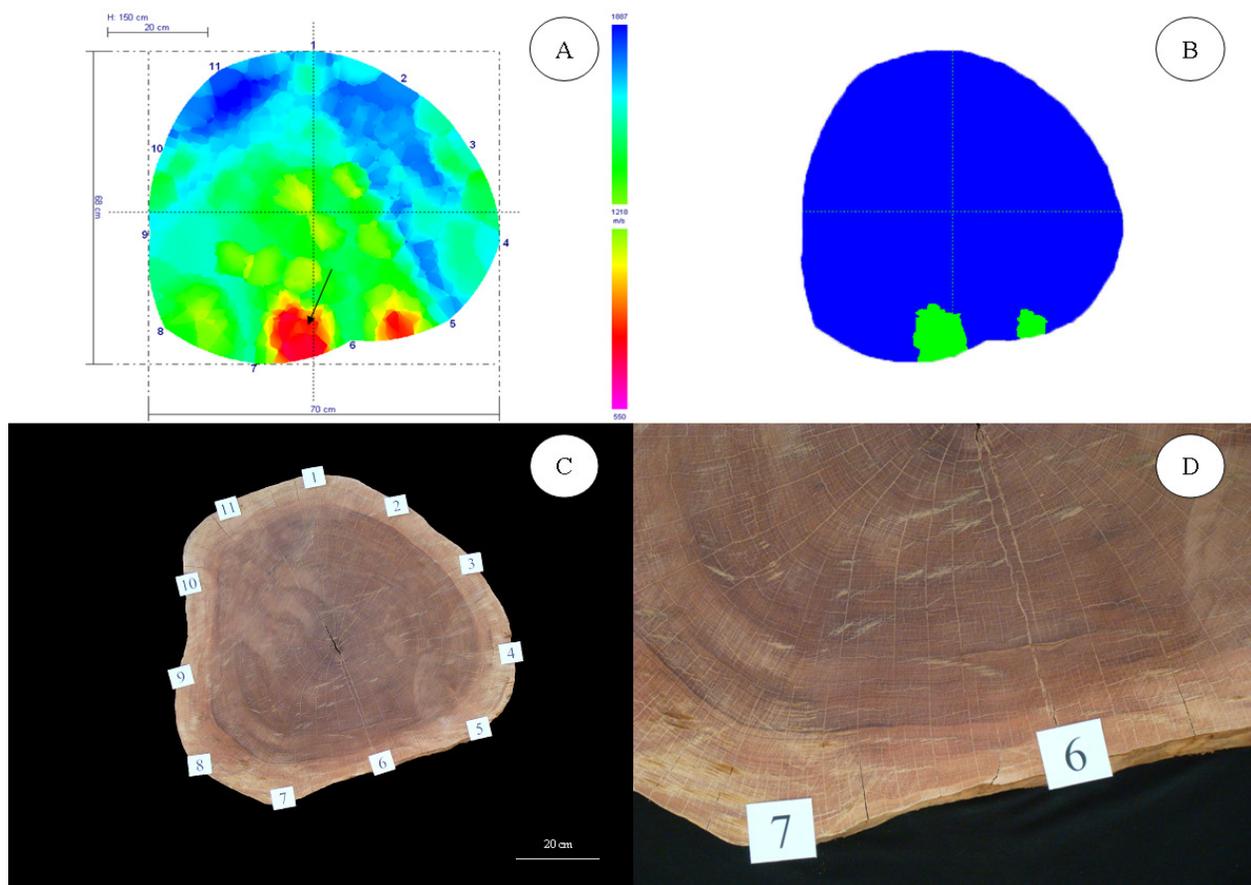


Figura 56 – Árvore 1221, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (D)

Árvore 1709 – Grupo 4 (Árvore selecionada para análise de densidade)

DAP: 93,5 cm

Altura comercial: 20,7 m

Oco: oco médio

Pode-se observar na Figura 57 A a área vermelha na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 57 C) constatou-se a presença de oco na mesma localização apontada pelo tomógrafo de impulso e na mesma extensão. Pode-se observar que a madeira próxima ao oco é sadia (Figura 57 E).

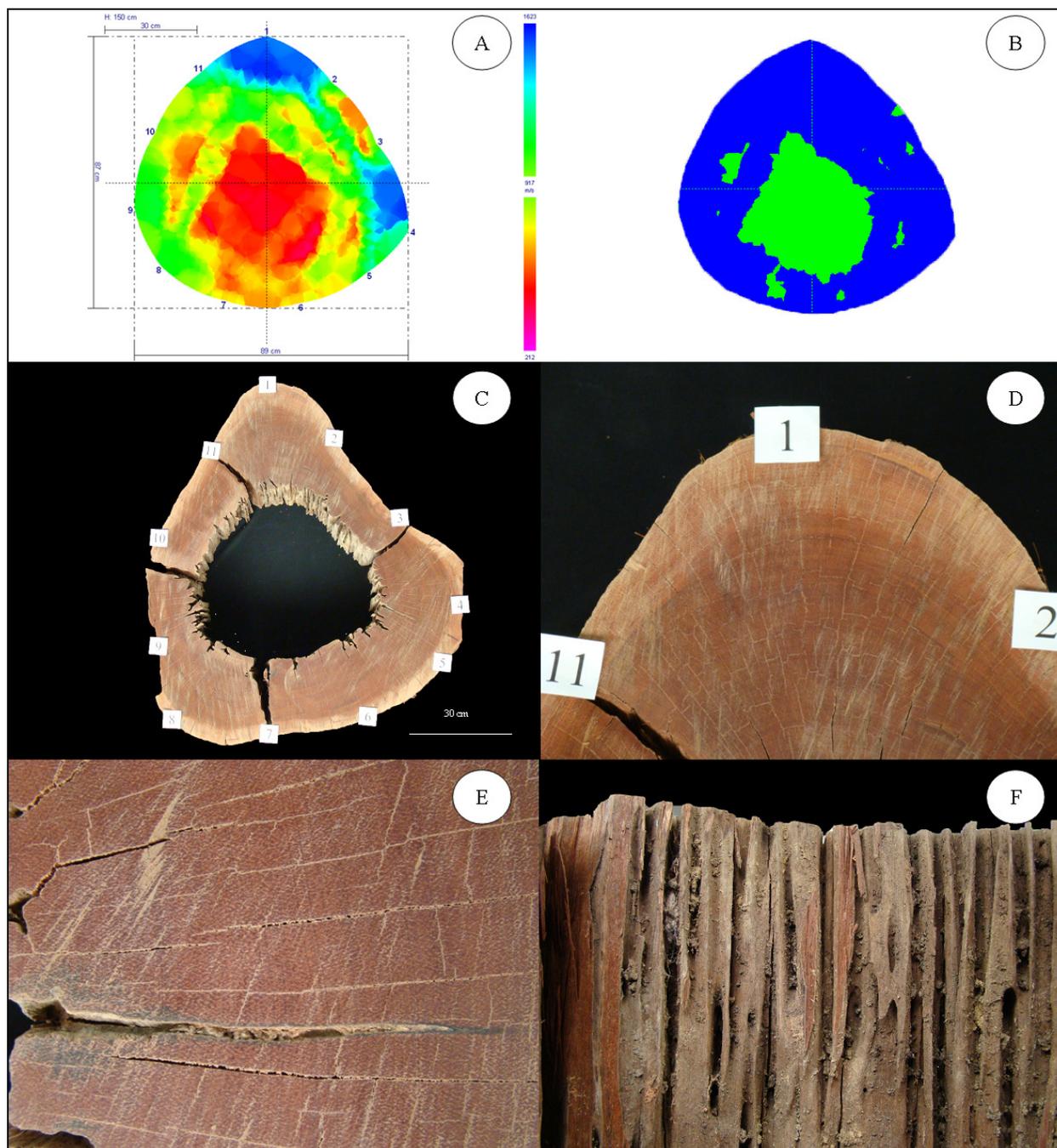


Figura 57 – Árvore 1709 (Grupo 4), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1, 2 e 11 (D), detalhe da região próxima ao oco (E), detalhe da região de ocorrência de oco no sentido longitudinal (F)

Árvore 1027 – Grupo 4 (Árvore selecionada para análise de densidade)

DAP: 103,8 cm

Altura comercial: 23,1 m

Oco: oco pequeno

Observações: presença de galha, corpo de frutificação, madeira deteriorada

Pode-se observar na Figura 58 A a área vermelha amarelada que indica material deteriorado. Na análise visual (Figura 58 C) constatou-se a presença de oco e de material deteriorado. Porém, a extensão de ocorrência do material deteriorado é muito maior do que o detectado pelo tomógrafo de impulso. Isso se dá em função da densidade de aproximadamente $0,82 \text{ g/cm}^3$ do material deteriorado, o que pode ser considerada uma densidade relativamente alta, em relação a densidade da madeira que é de aproximadamente $1,13 \text{ g/cm}^3$. A detecção desse tipo de material pela tomografia de impulso não foi eficiente.

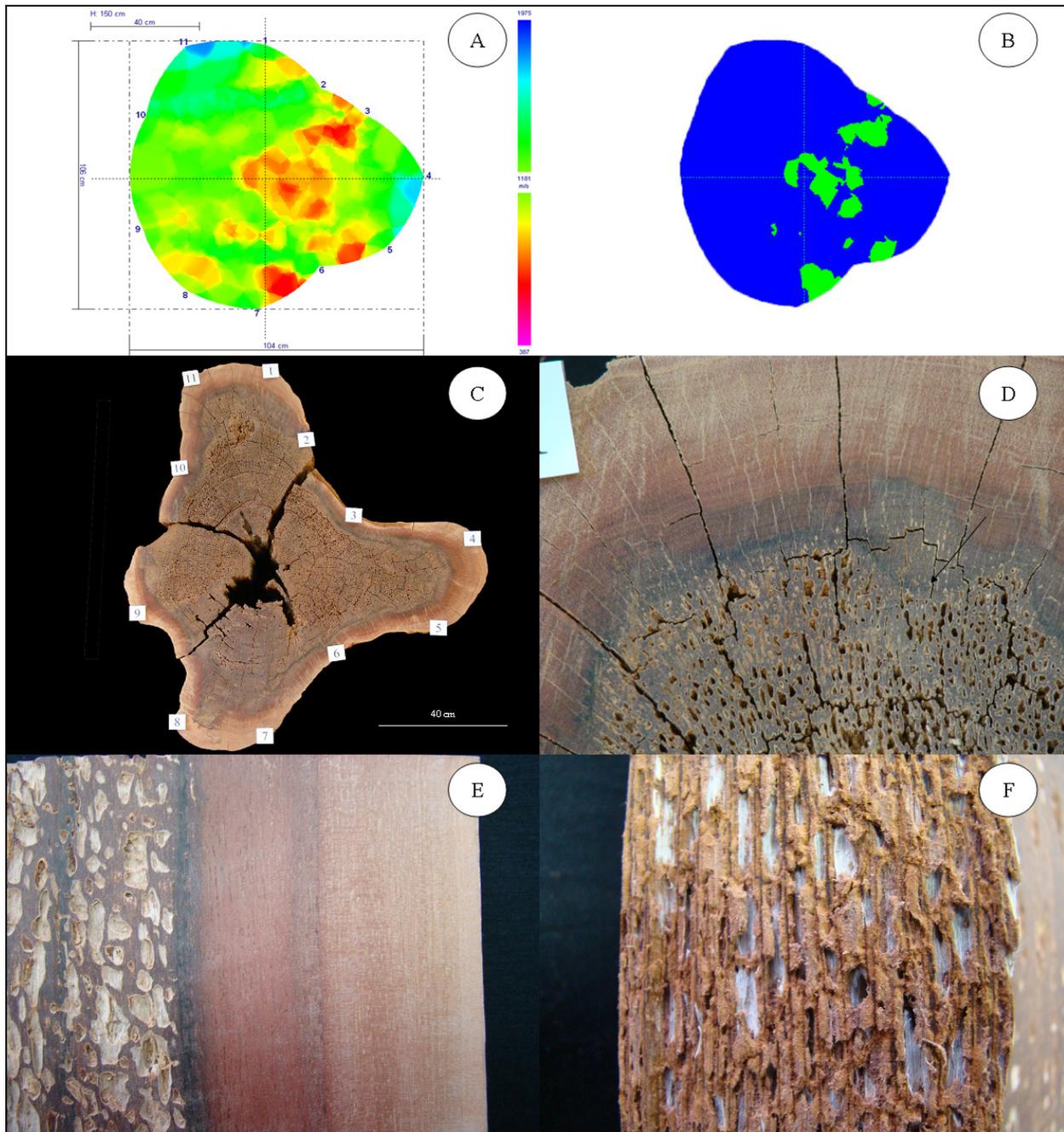


Figura 58 – Árvore 1027 (Grupo 4), imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadia em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região sadia/deteriorada (D), corte longitudinal da região sadia/deteriorada (E), detalhe da região deteriorada (F)

Árvore 1534 – Grupo 4

DAP: 84,7 cm

Altura comercial: 14,0 m

Oco: oco médio

Observações: presença de galha e madeira deteriorada

Pode-se observar na Figura 59 A a área vermelha, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 59 C) constatou-se a presença de oco e de material deteriorado na mesma extensão e localização que o obtido pelo tomógrafo de impulso.

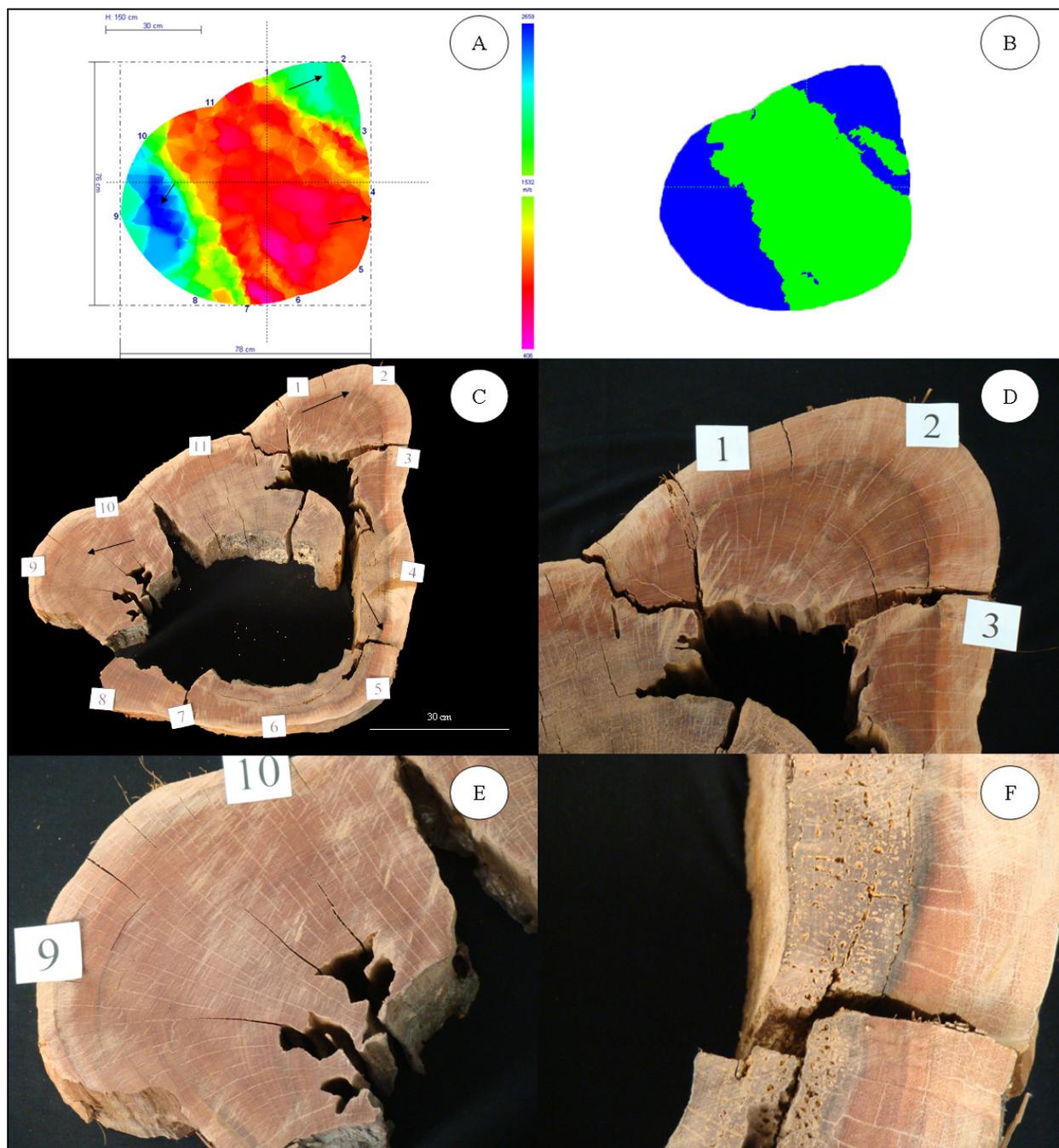


Figura 59 – Árvore 1534, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1, 2 e 3 (D), detalhe da região entre os sensores 9 e 10 (E), detalhe da região com material deteriorado (F)

Árvore 1790 – Grupo 4

DAP: 90,7 cm

Altura comercial: 25,9 m

Oco: oco pequeno

Observações: presença de galha, corpo de frutificação de fungo

Pode-se observar na Figura 60 A áreas vermelhas e amareladas ao longo da seção transversal, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 60 C) constatou-se o material deteriorado na área próxima aos sensores 3, 4 e 5. O tomógrafo não foi capaz de detectar a madeira deteriorada (Figura 55 C e D).

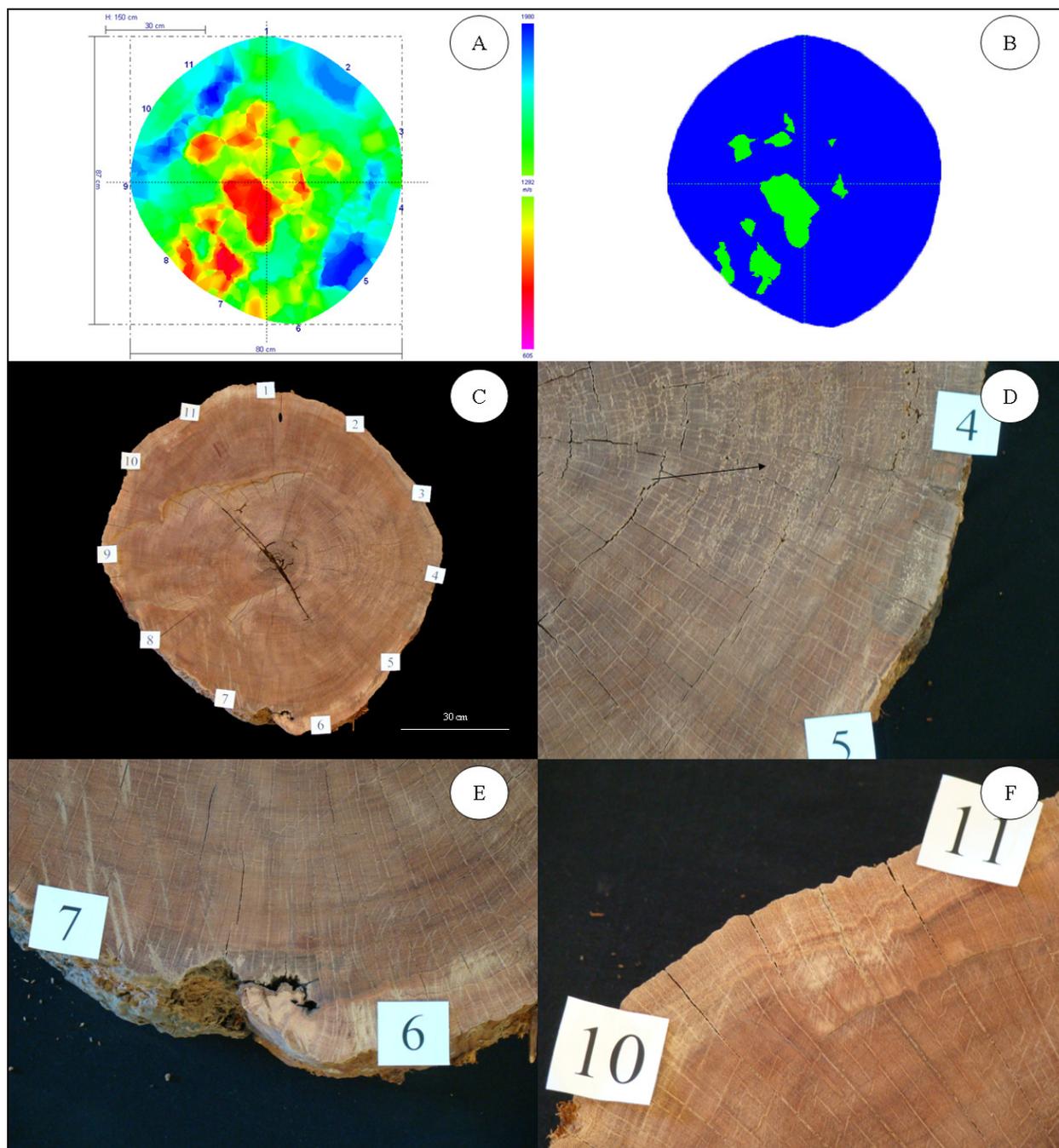


Figura 60 – Árvore 1790, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 4 e 5 e a madeira deteriorada (seta) (D), detalhe da região entre os sensores 6 e 7 (E), detalhe da região sadia entre os sensores 10 e 11 (F)

Árvore 1580 – Grupo 4

DAP: 93,6 cm

Altura comercial: 31,0 m

Oco: oco médio

Observações: presença de corpo de frutificação de fungo

Pode-se observar na Figura 61 A a área vermelha ao longo da imagem tomográfica, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 61 C) constatou-se a presença de oco e de material deteriorado. Porém a extensão do material deteriorado é maior (setas) que a detectada pela tomografia de impulso.

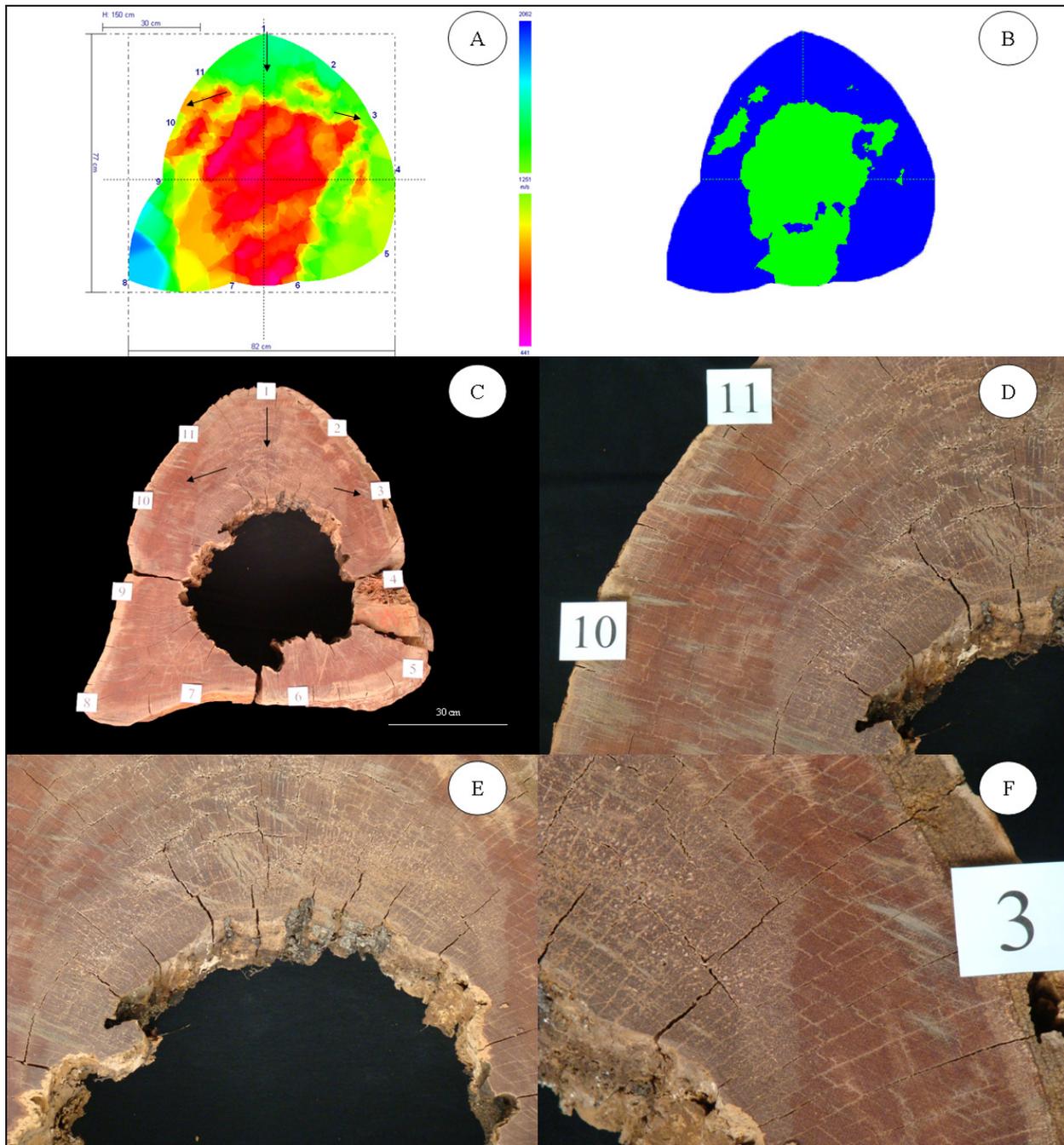


Figura 61 – Árvore 1580, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 10 e 11 (D), detalhe da região de ocorrência de oco e de material deteriorado (E), detalhe da região de madeira sadia/deteriorada (F)

Árvore 1579– Grupo 4

DAP: 93,7 cm

Altura comercial: 29,1 m

Oco: oco pequeno

Observações: presença de madeira deteriorada

Pode-se observar na Figura 62 A a área vermelha na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 62 C) constatou-se a presença de oco e a localização e a extensão são similares à tomografia de impulso.

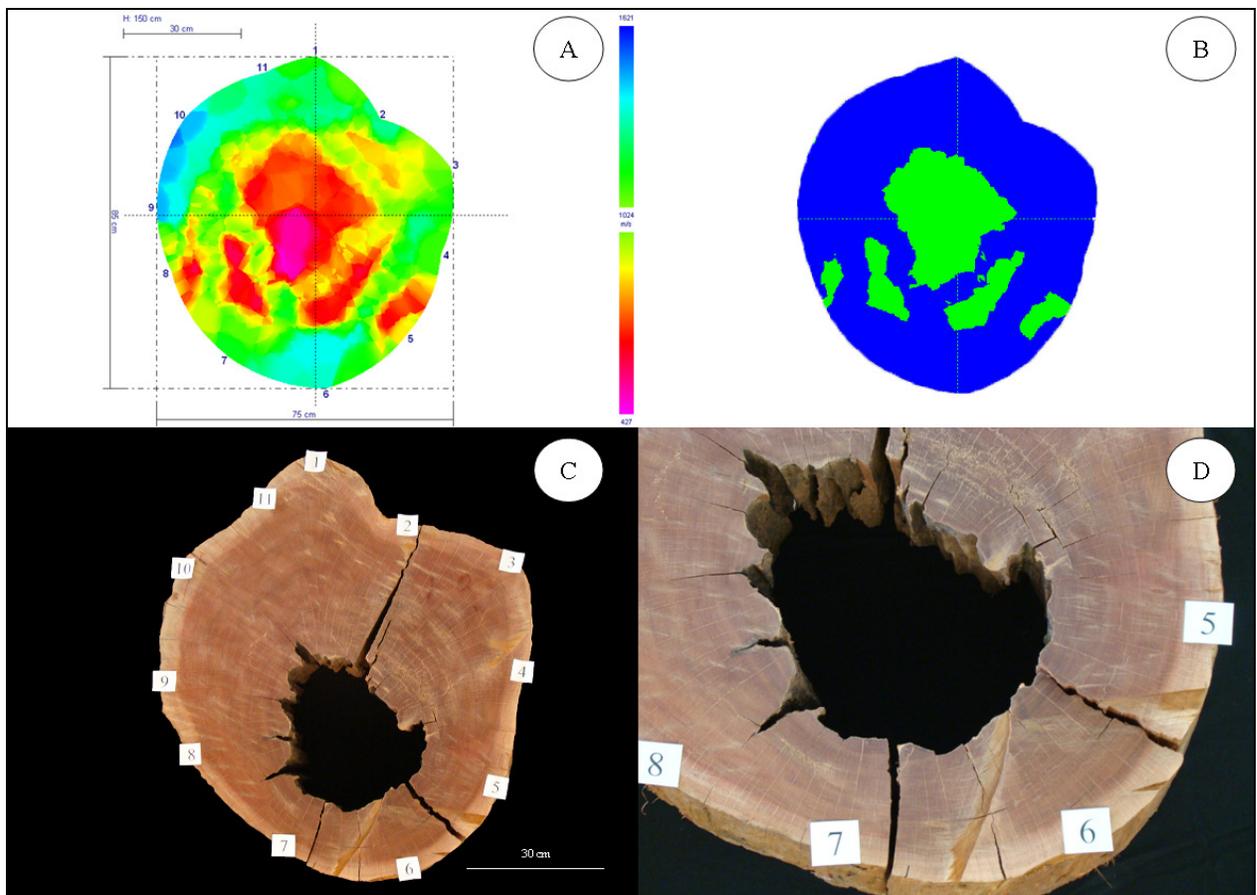


Figura 62 – Árvore 1579, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região no de ocorrência de oco (D)

Árvore 1232 – Grupo 1

DAP: 95,5 cm

Altura comercial: 28,9 m

Oco: oco médio

Observações: presença de corpo de frutificação de fungo, madeira deteriorada

Pode-se observar na Figura 63 A a área vermelha na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 63 C) constatou-se a presença de oco e de material deteriorado, porém a área de material deteriorado é um pouco maior que a detectada pelo tomógrafo de impulso.

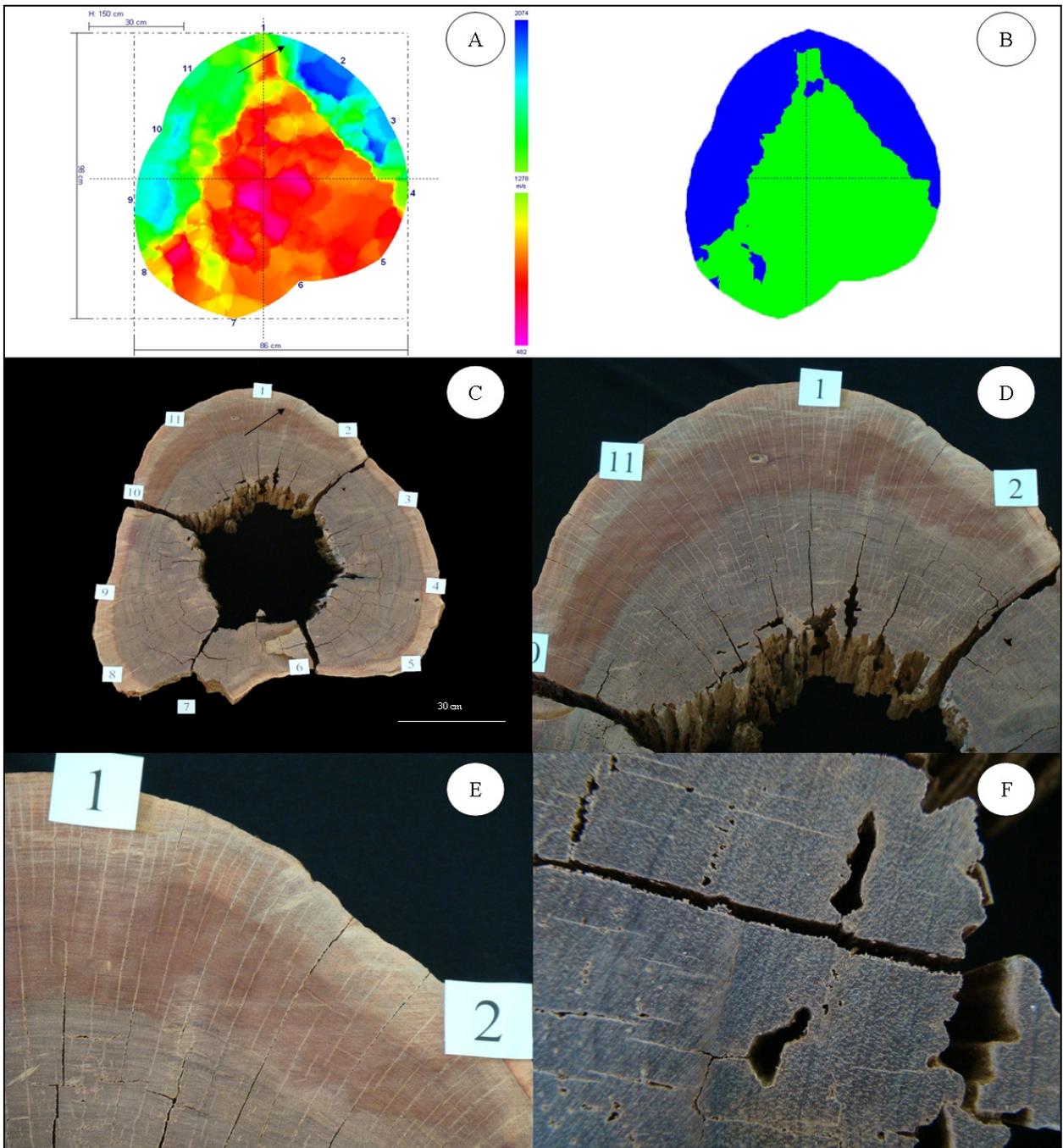


Figura 63 – Árvore 1232, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1, 2 e 11 (D), detalhe da região de material sadio/deteriorado entre os sensores 1 e 2 (E), detalhe da região de madeira deteriorada adjacente ao oco (F)

Árvore 1359 – Grupo 4

DAP: 98,7 cm

Altura comercial: 23,0 m

Oco: oco pequeno

Observações: presença de galha, corpo de frutificação de fungo, madeira deteriorada

Pode-se observar na Figura 64 A a área vermelha ao longo da imagem tomográfica, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 64 C) constatou-se a presença de oco e de material deteriorado, porém a seção transversal apresentou material deteriorado por praticamente toda a sua extensão, o que não foi observado na imagem tomográfica.

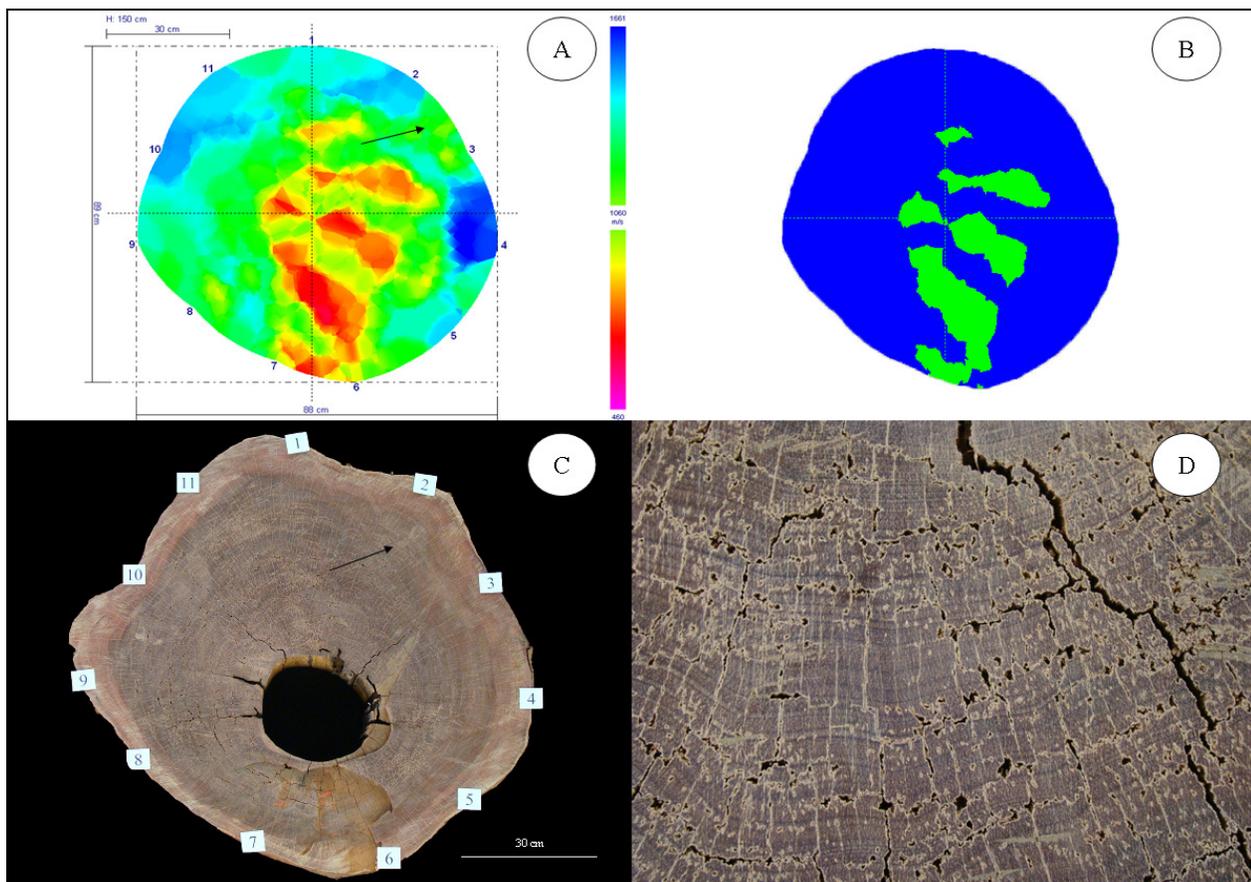


Figura 64 – Árvore 1359, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de madeira deteriorada (D)

Árvore 1236 – Grupo 4

DAP: 99,0 cm

Altura comercial: 20,4 m

Oco: oco médio

Observações: presença de galha

Pode-se observar na Figura 65 A a área vermelha na parte central e entre os sensores 5 e 6 (seta), indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 65 C) constatou-se a presença de oco e de uma região mais frágil rachada (seta) entre os sensores 5 e 6.

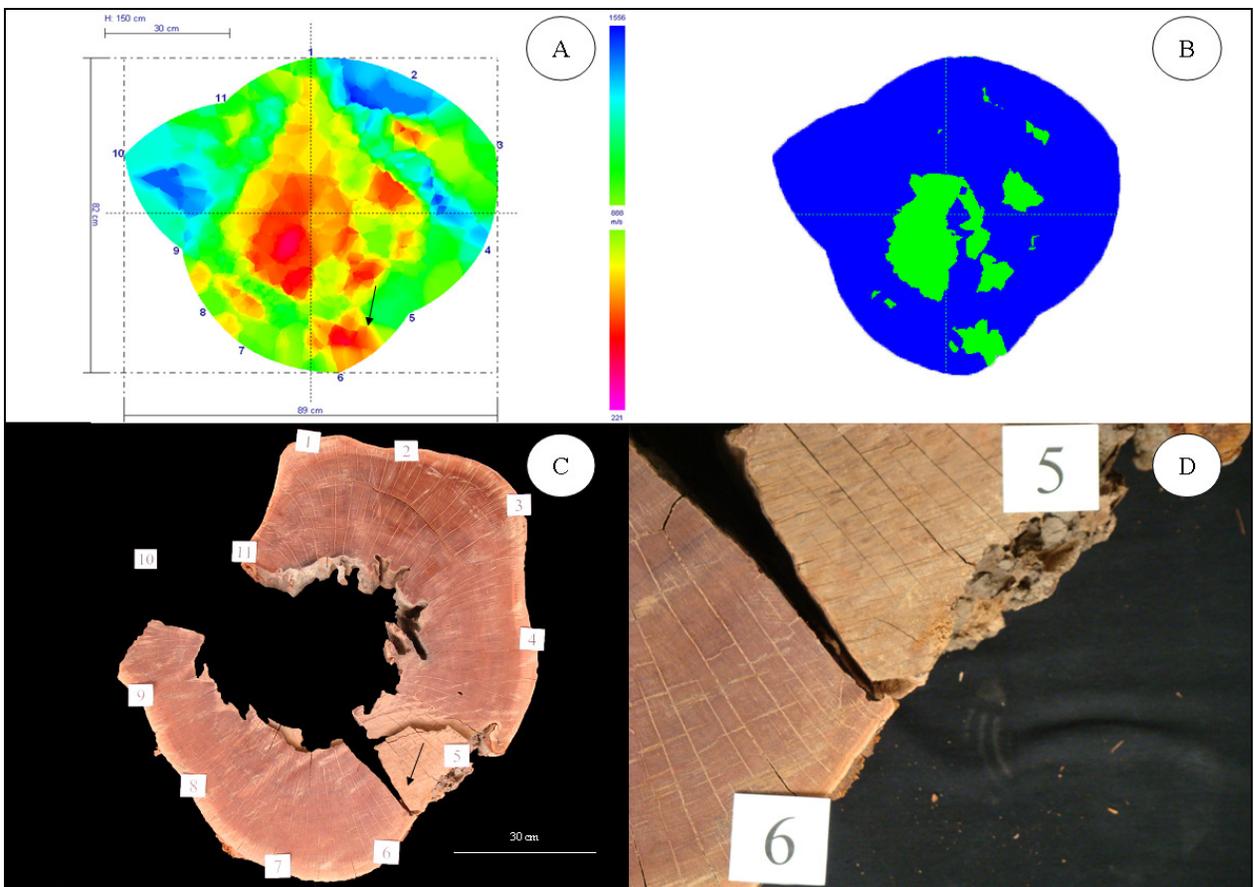


Figura 65 – Árvore 1236, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 5 e 6 (D)

Árvore 1255 – Grupo 4

DAP: 105,7 cm

Altura comercial: 19,7 m

Oco: sem oco

Observações: árvore sadia, presença de galha

Pode-se observar na Figura 66 A a área vermelha na parte central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 66 C) percebe-se uma área mais frágil (área rachada).

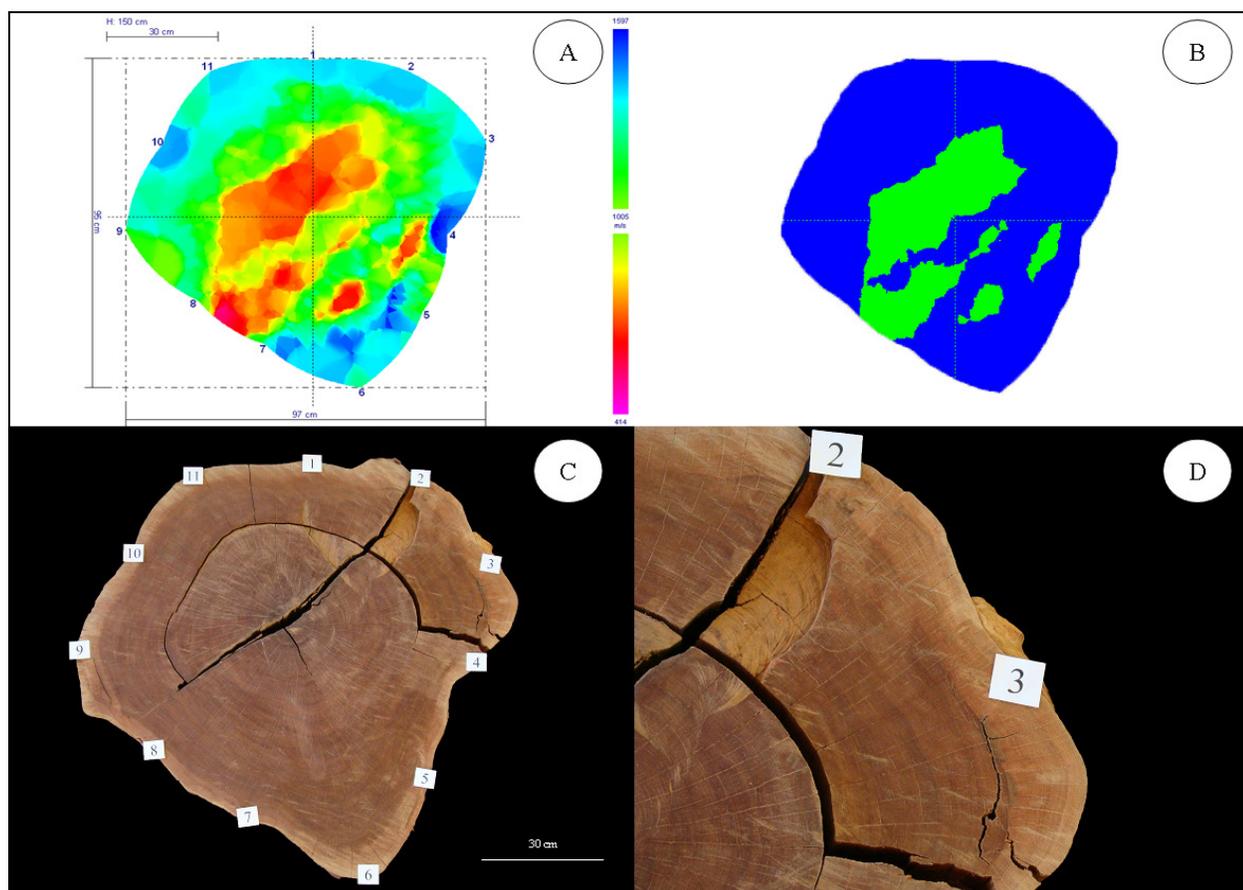


Figura 66 – Árvore 1255, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 2 e 3 (D)

Árvore 1045 – Grupo 4

DAP: 107,6 cm

Altura comercial: 28,6 m

Oco: oco médio

Observações: presença de galha e corpo de frutificação de fungo

Pode-se observar na Figura 67 A a área vermelha ao longo da imagem tomográfica, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 67 C) constatou-se a presença de oco e de áreas mais frágeis (rachadas). O tomógrafo de impulso superestimou a área de material deteriorado/oco e não foi capaz de detectar o defeito ocorrido entre os sensores 1 e 2 (Figura 67 C e D).

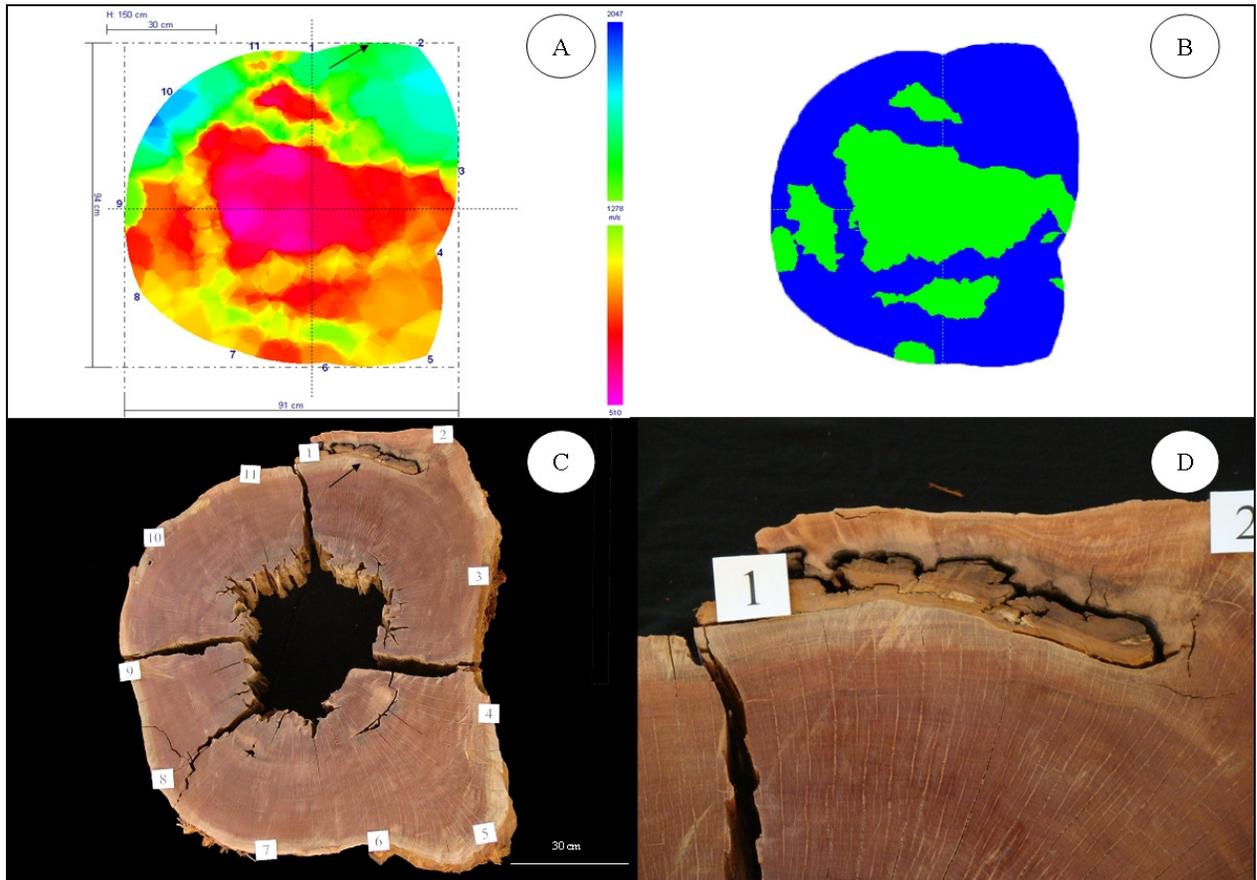


Figura 67 – Árvore 1045, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região entre os sensores 1 e 2 (D)

Árvore 1032 – Grupo 4

DAP: 128,9 cm

Altura comercial: 14,6 m

Oco: oco médio

Observações: presença de corpo de frutificação de fungo, madeira deteriorada

Pode-se observar na Figura 68 A a área vermelha ao longo da imagem tomográfica, especialmente na região central, indicando material deteriorado/oco. Na análise visual (Figura 68 C) constatou-se a presença de oco e de tecido deteriorado, porém a ocorrência foi maior que a detectada pelo tomógrafo de impulso.

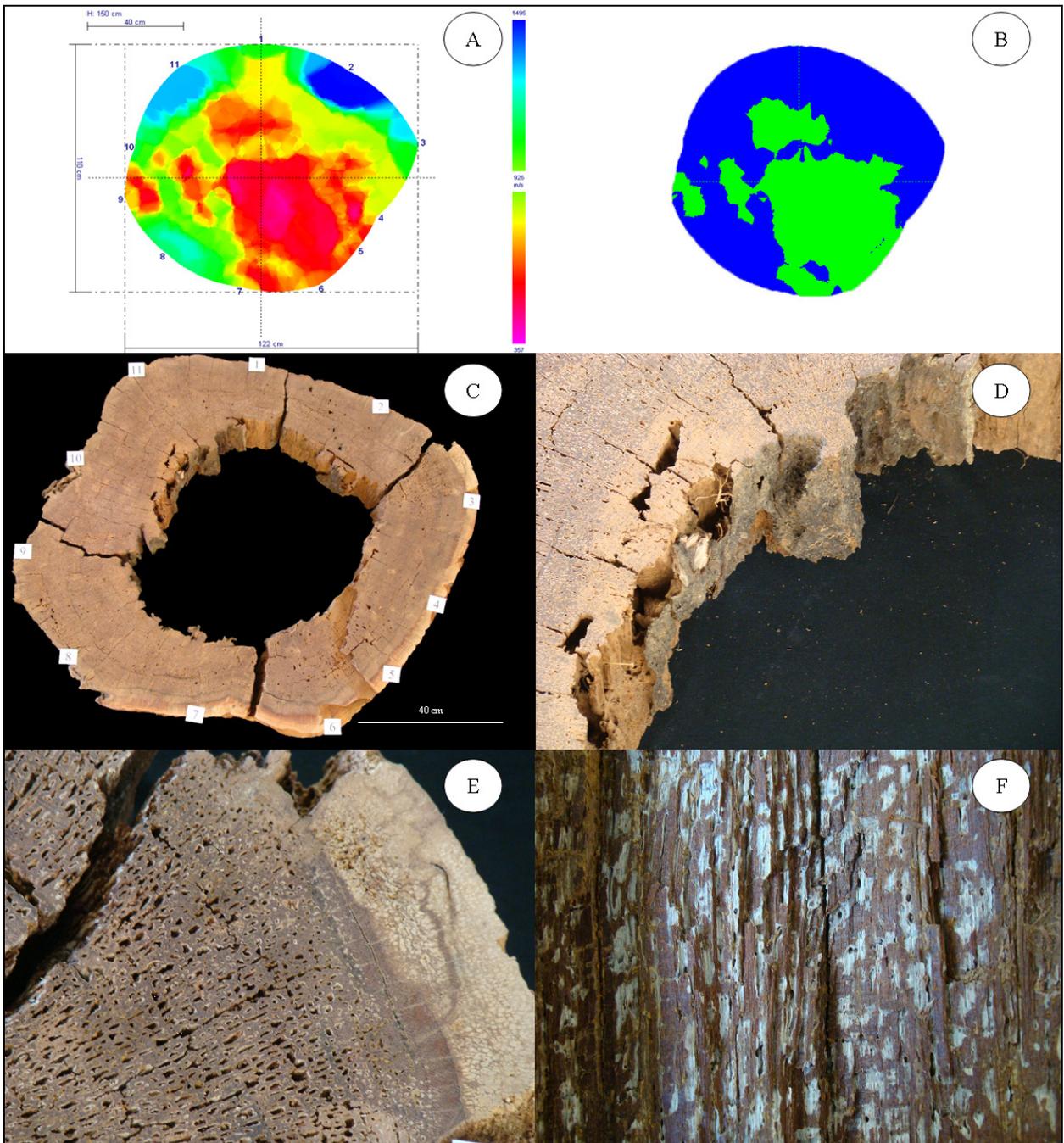


Figura 68 – Árvore 1032, imagem tomográfica da árvore (A), imagem de classificação supervisionada (tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em verde) (B), imagem da seção transversal do lenho (C), detalhe da região de ocorrência de oco (D), região com material deteriorado (E), detalhe da região deteriorada em seção longitudinal (F)

4.6 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente

4.6.1 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente (densitometria de raios X)

Os gráficos de perfil de densidade aparente (g/cm^3) e de velocidade de propagação de onda mecânica (m/s) das amostras das árvores selecionadas não apresentaram tendência de distribuição dos pontos (Figuras 69 a 77). O coeficiente de determinação (R^2) variou de 0,0242 a 0,4264 e as equações não foram significativas. A densitometria de raios X forneceu informações mais detalhadas do material (Anexo B). Nas Figuras 69 A e B a 76 A e B foram obtidas as médias da densidade aparente e das velocidades a cada 3cm.

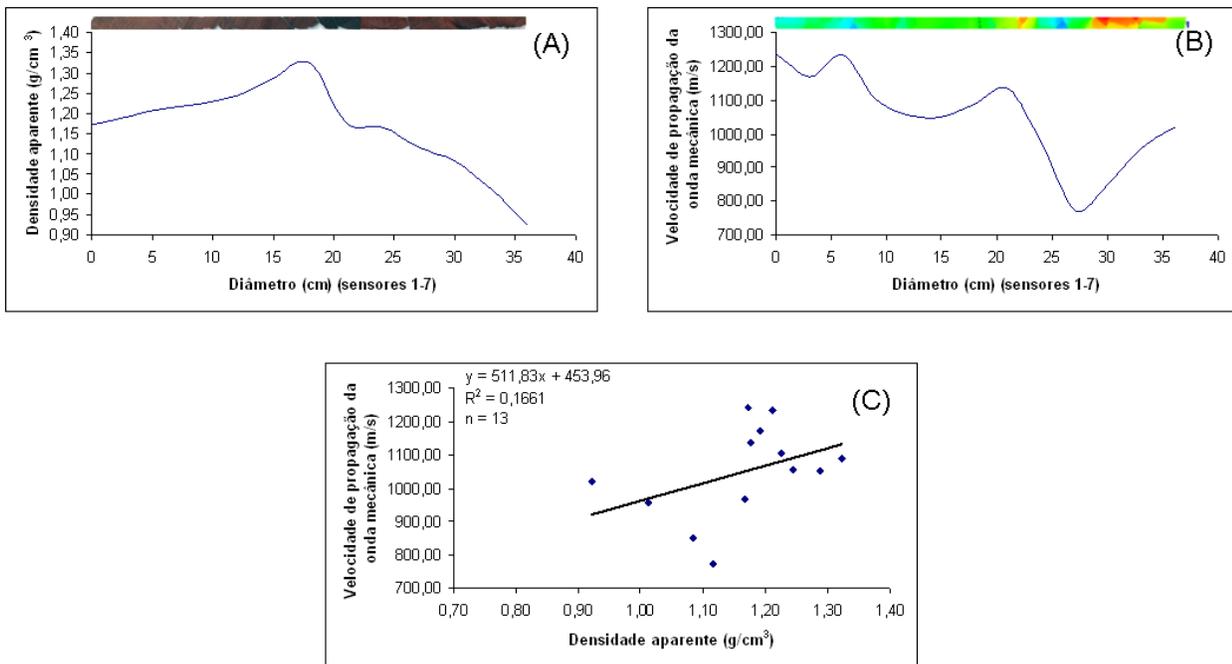


Figura 69 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 7, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

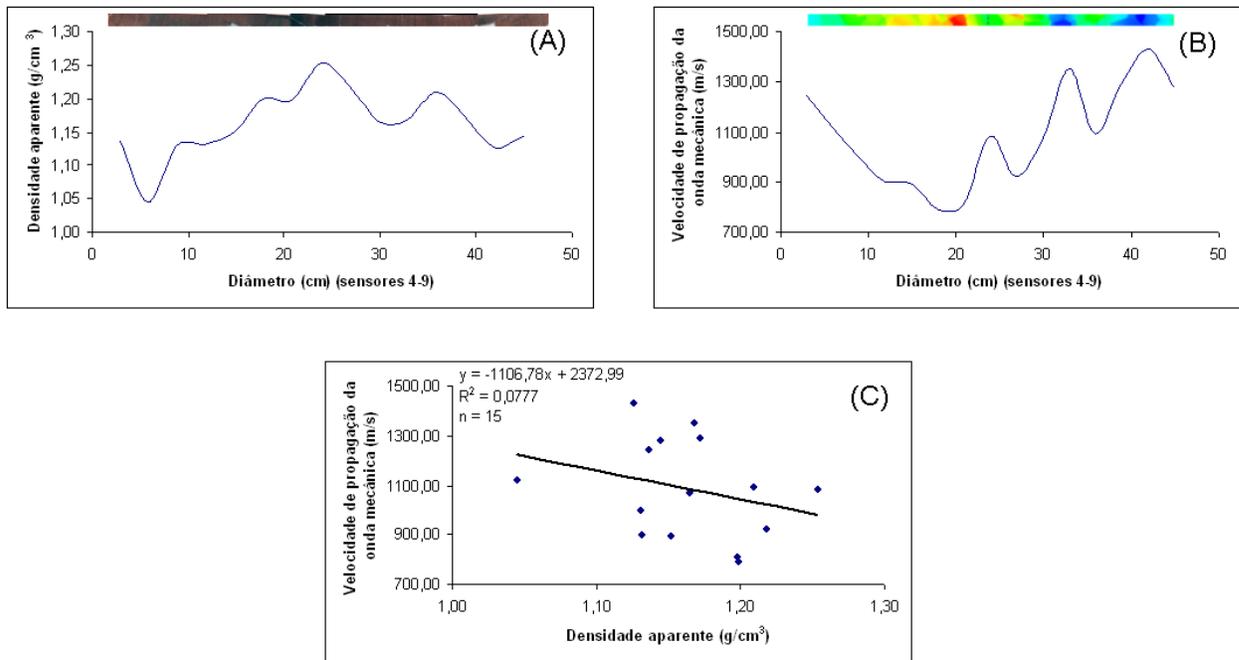


Figura 70 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

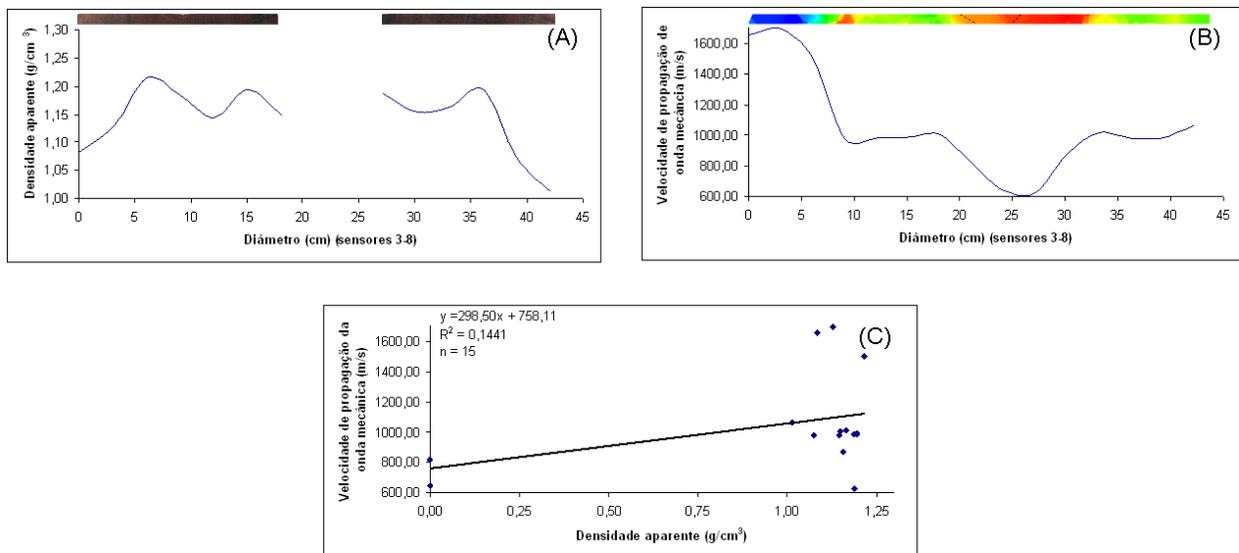


Figura 71 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

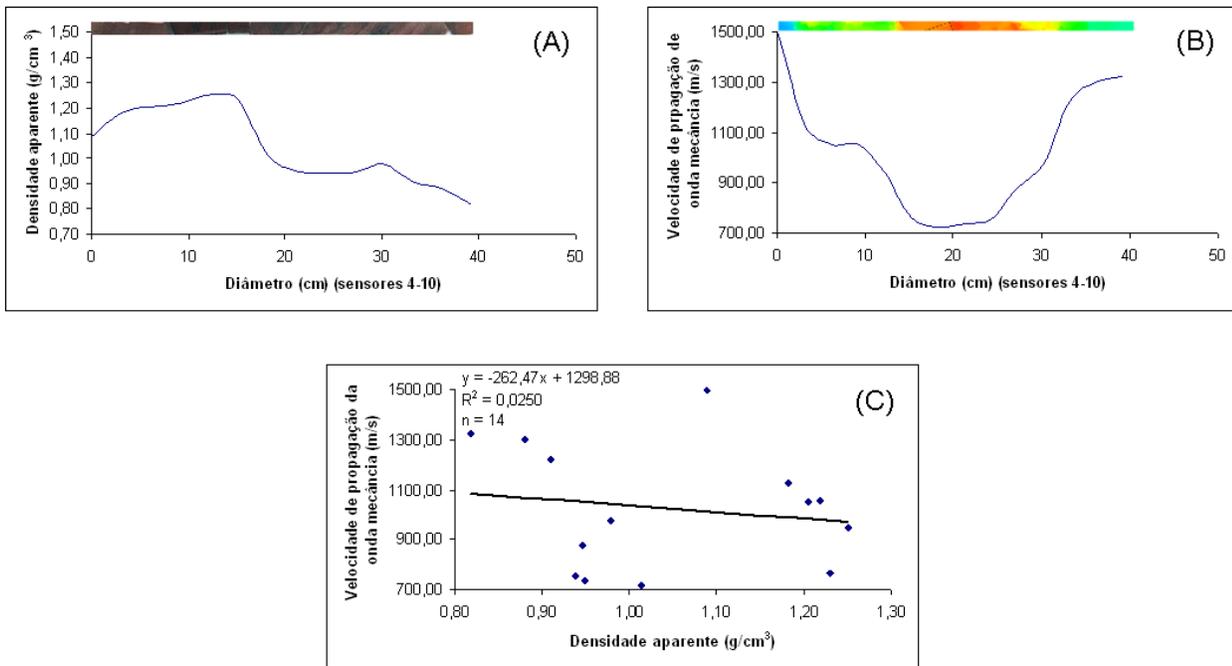


Figura 72 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 10, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

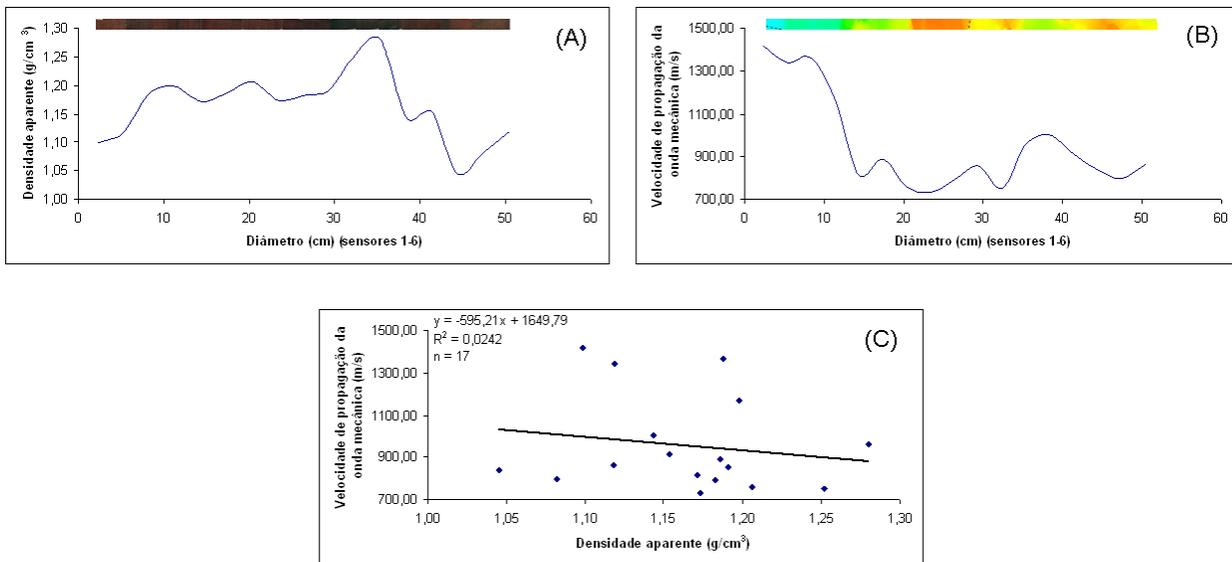


Figura 73 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

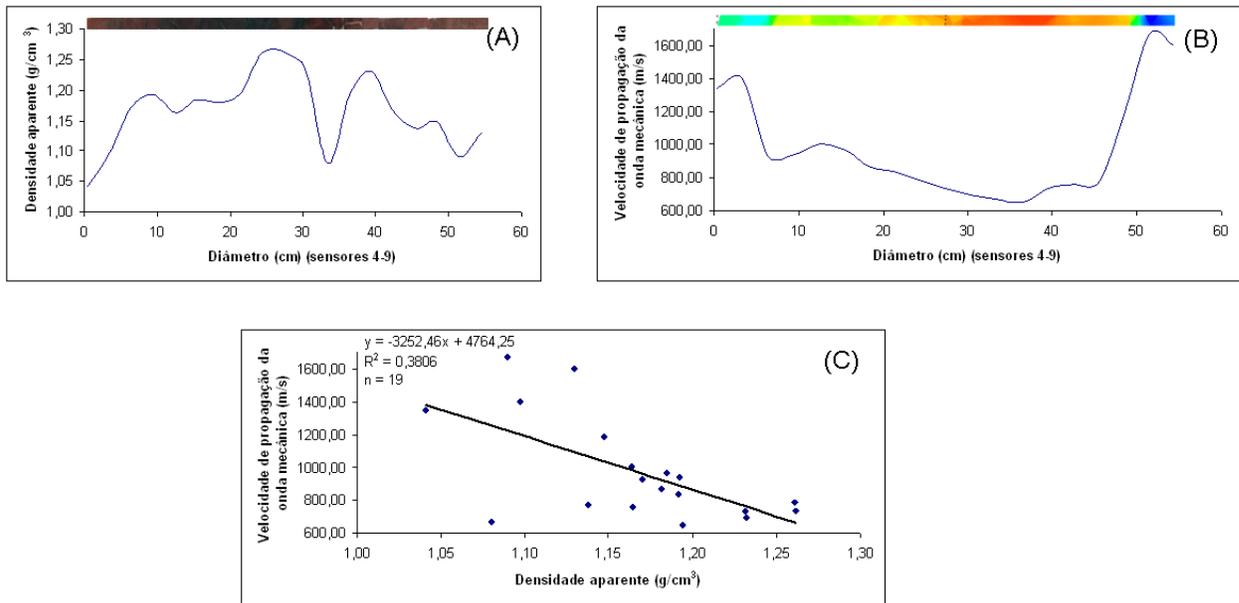


Figura 74 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

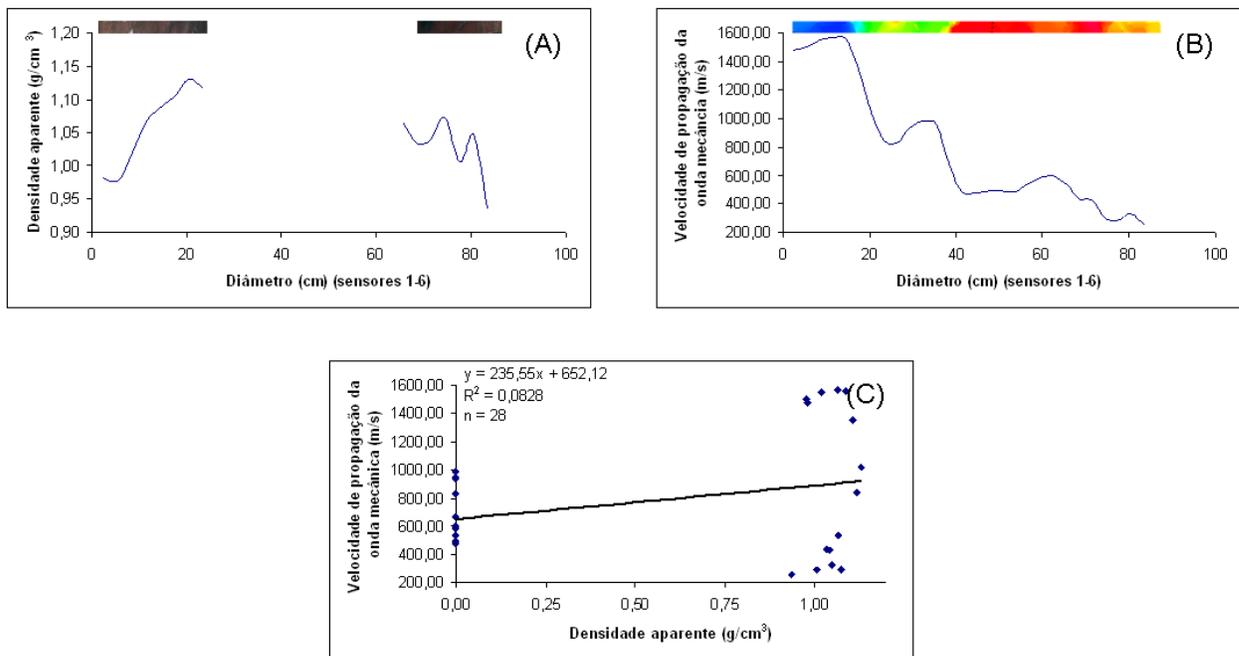


Figura 75 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

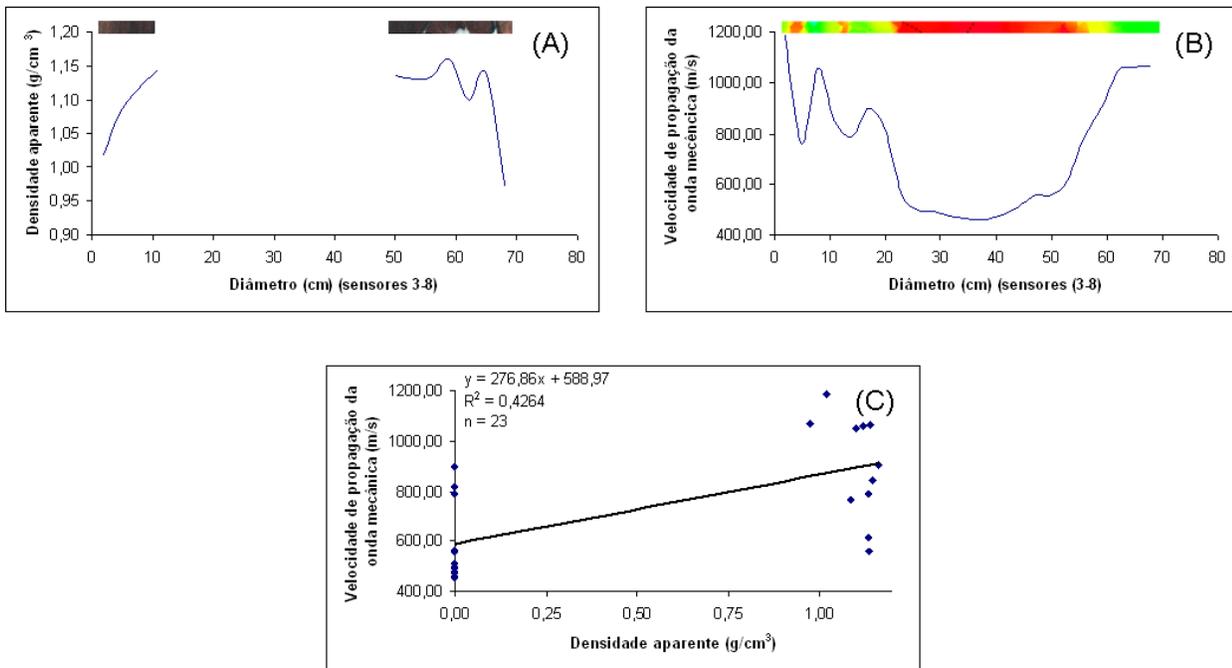


Figura 76 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

O diagrama de dispersão obtido para todos os dados coletados apresentou um R^2 de 0,1934 (Figura 77). Portanto, não há correlação entre a densidade aparente, obtida por densitometria de Raio X, e a velocidade de propagação da onda mecânica para a espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier.

Nas espécies *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Eucalyptus saligna* Sm. e *Caesalpinia echinata* Lam. houve uma alta correlação entre a densidade aparente e a velocidade de propagação da onda mecânica. As espécies estudadas estavam todas sadias e apresentaram densidade baixa, média e alta, respectivamente e o diâmetro variou de 40 a 50 cm (ROLLO, L., 2009).

No caso da maçaranduba, a variação diametral das amostras foi de 50 a 130 cm e a maioria das amostras estava com presença de oco ou com material deteriorado. O diâmetro maior, associado às amostras deterioradas influenciou negativamente a obtenção de imagens tomográficas condizentes com a realidade do material.

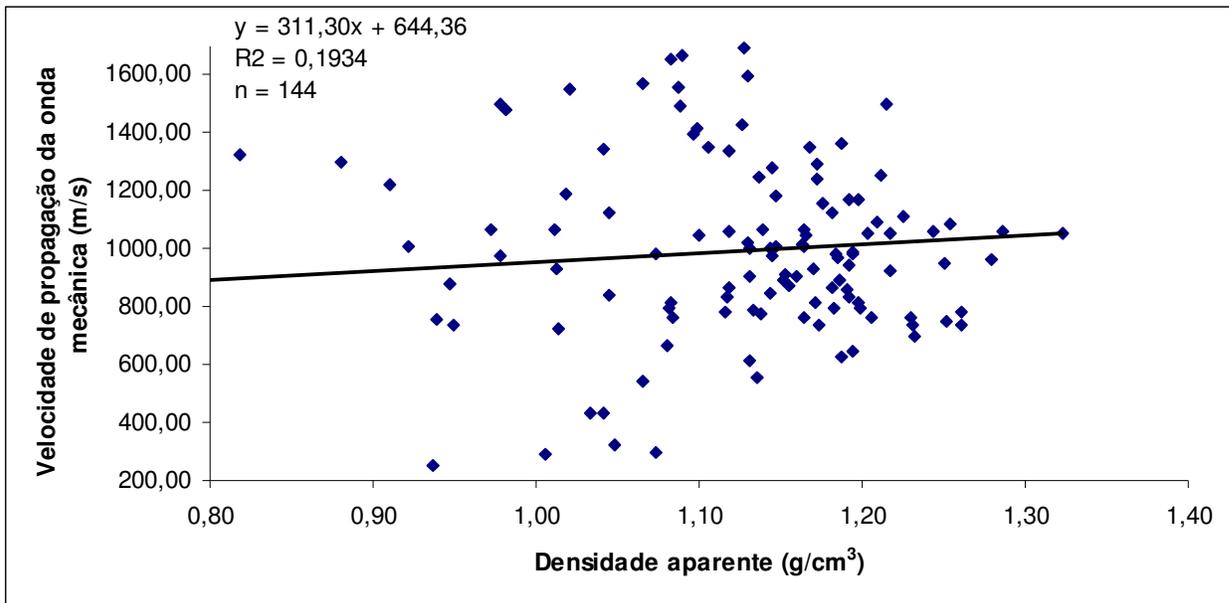


Figura 77 – Diagrama de dispersão diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba, para todas as amostras de lenho das árvores

4.6.2 Avaliação da correlação entre a imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a densidade aparente (densidade aparente do lenho – método hidrostático)

Os gráficos de perfil de densidade aparente (g/cm^3) e de velocidade de propagação de onda mecânica (m/s) das amostras das árvores selecionadas não apresentaram tendência de distribuição dos pontos (Figuras 78 a 88). O coeficiente de determinação (R^2) variou de 0,0389 a 0,6281 e as regressões não foram significativas. A correlação da tomografia de impulso com a densidade aparente obtida pela densitometria de raios X se apresentou melhor do que com a densidade aparente obtida pelo método hidrostático. O coeficiente de determinação da análise de todos os dados da densitometria de raios X (R^2) foi maior que o coeficiente de determinação da densidade aparente obtida pelo método hidrostático (Figuras 77 e 88, respectivamente).

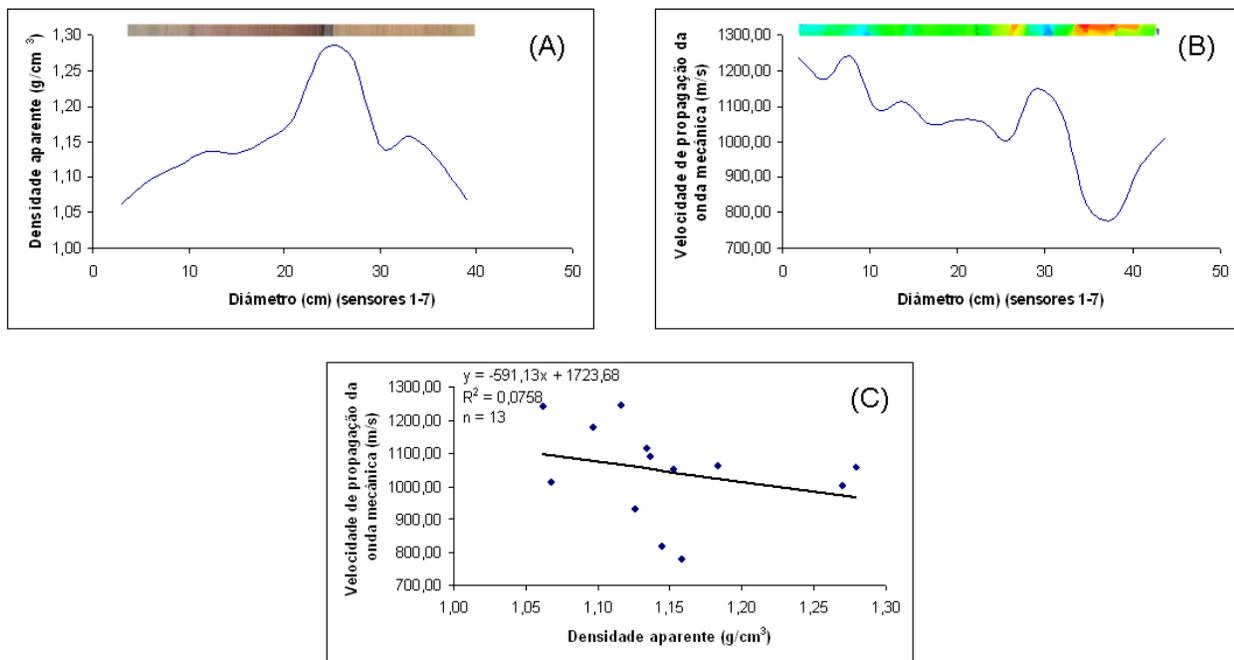


Figura 78 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 7, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

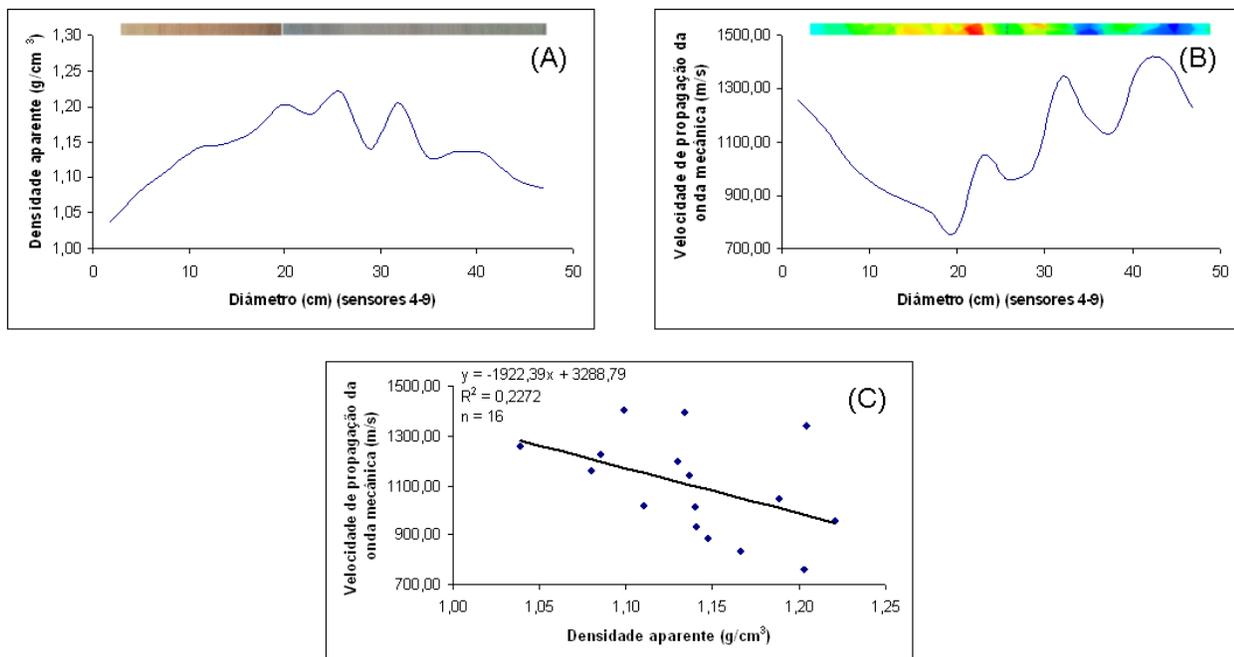


Figura 79 – Gráficos de perfil da árvore 1734, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

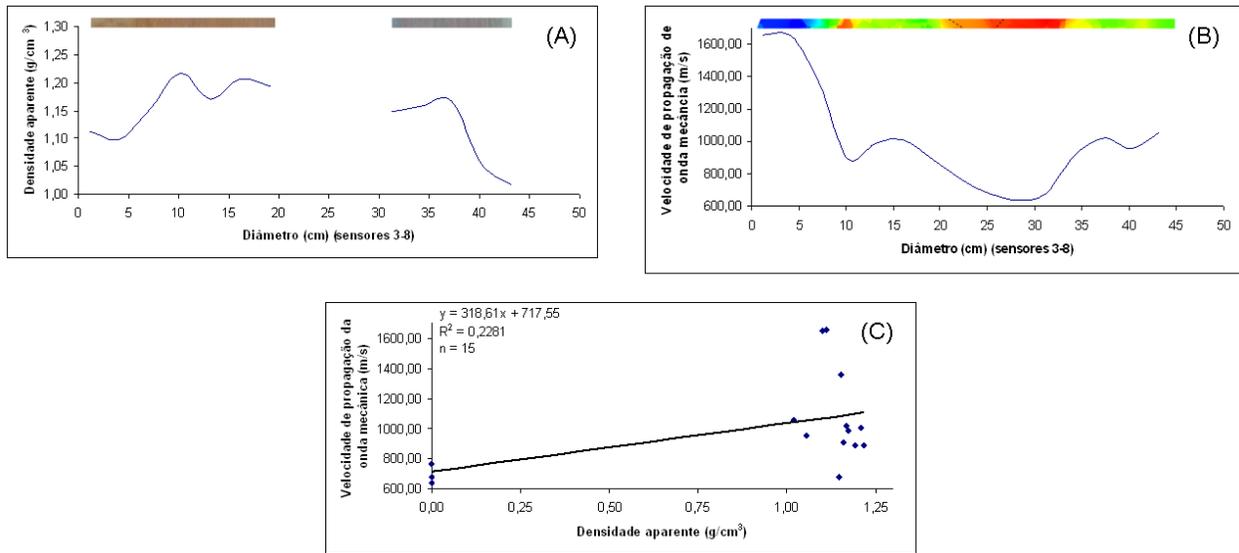


Figura 80 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

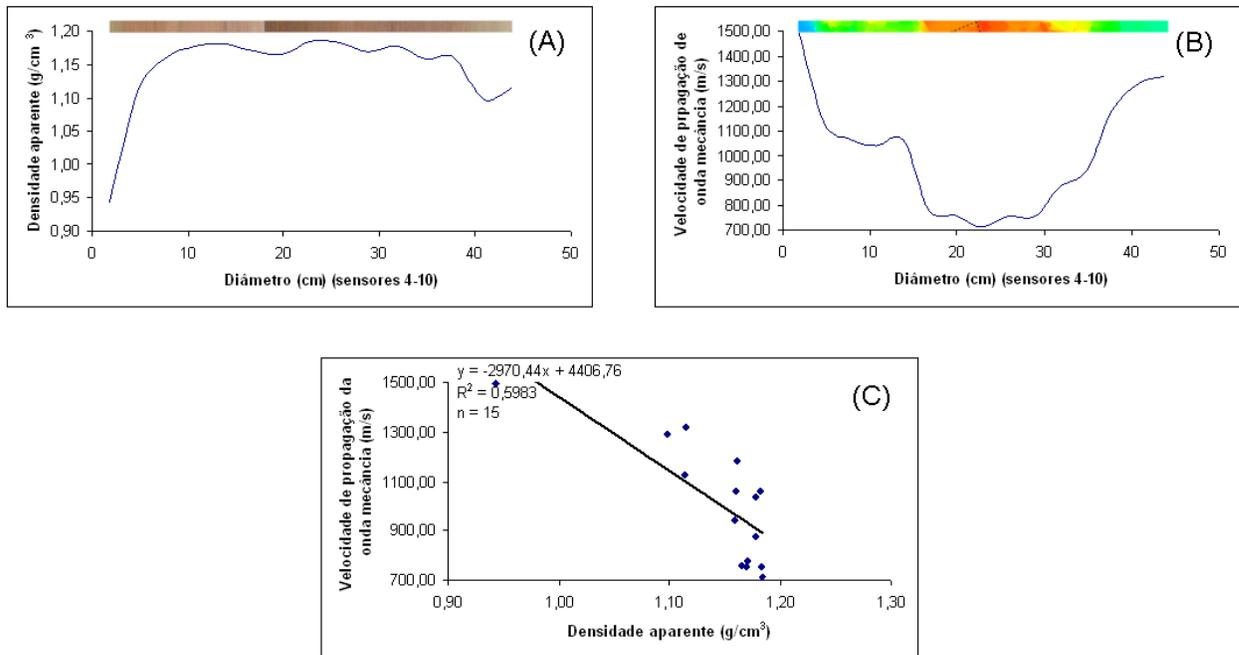


Figura 81 – Gráficos de perfil da árvore 1707, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 10, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

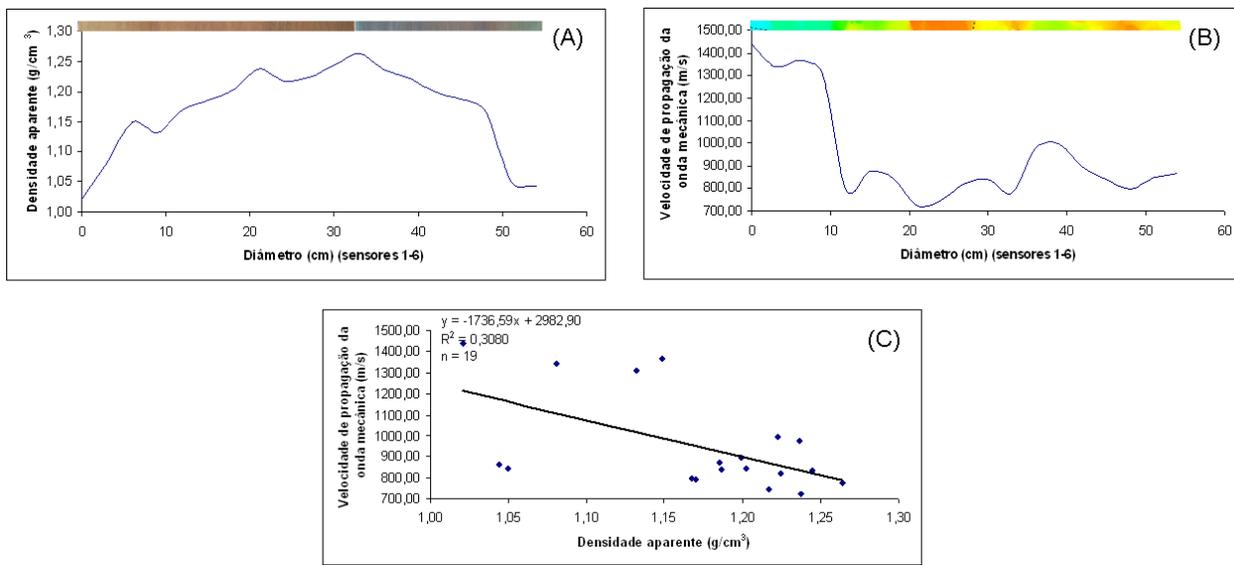


Figura 82 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

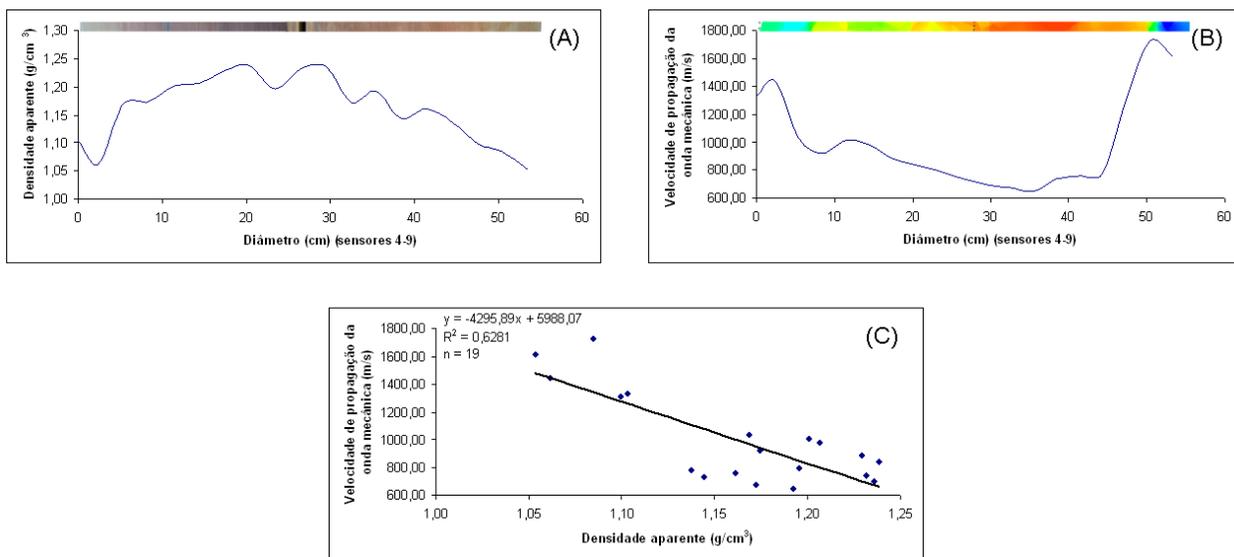


Figura 83 – Gráficos de perfil da árvore 1704, direção de obtenção da amostra entre os sensores 4 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

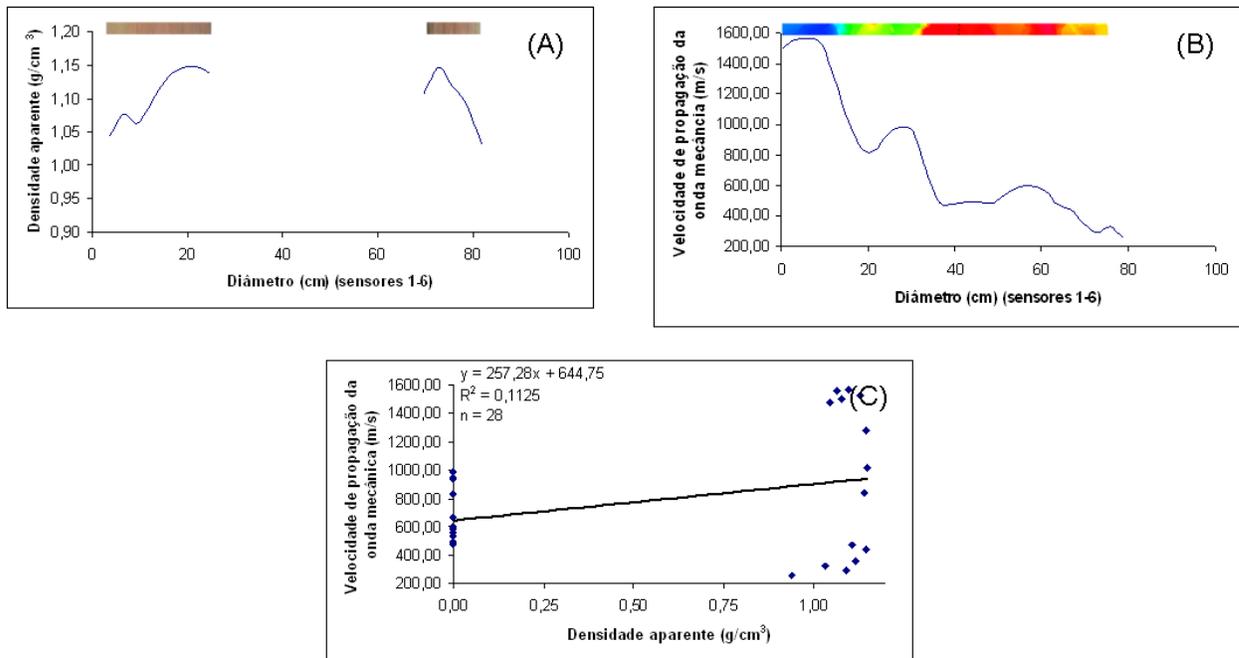


Figura 84 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 1 e 6, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

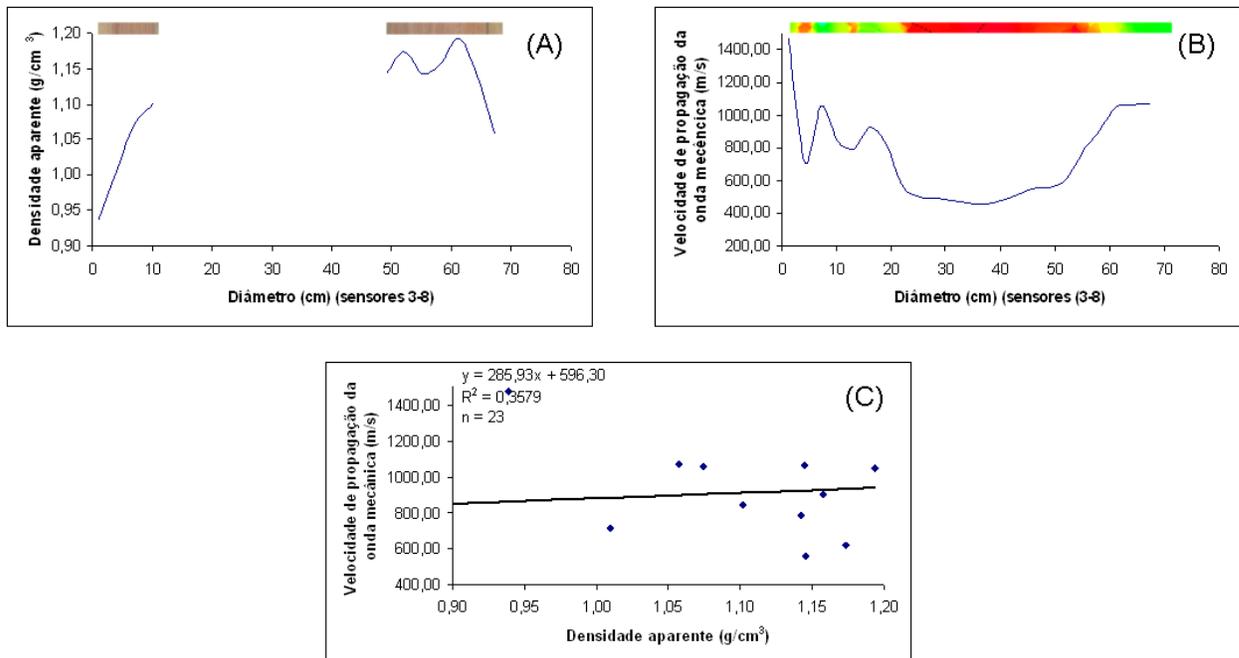


Figura 85 – Gráficos de perfil da árvore 1709, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 8, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm³) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

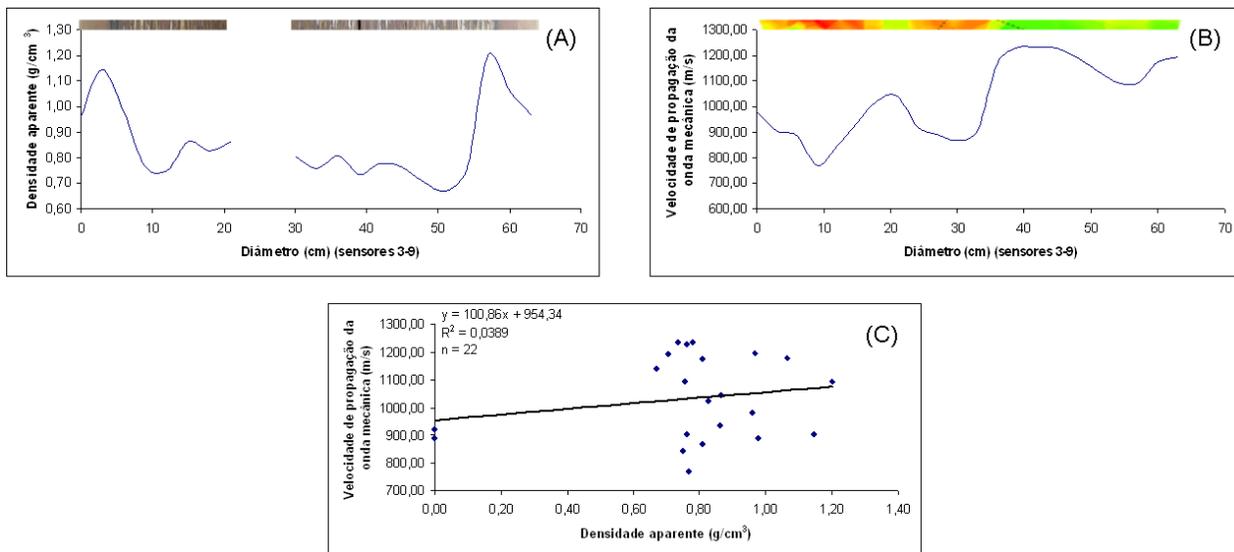


Figura 86 – Gráficos de perfil da árvore 1027, direção de obtenção da amostra entre os sensores 3 e 9, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

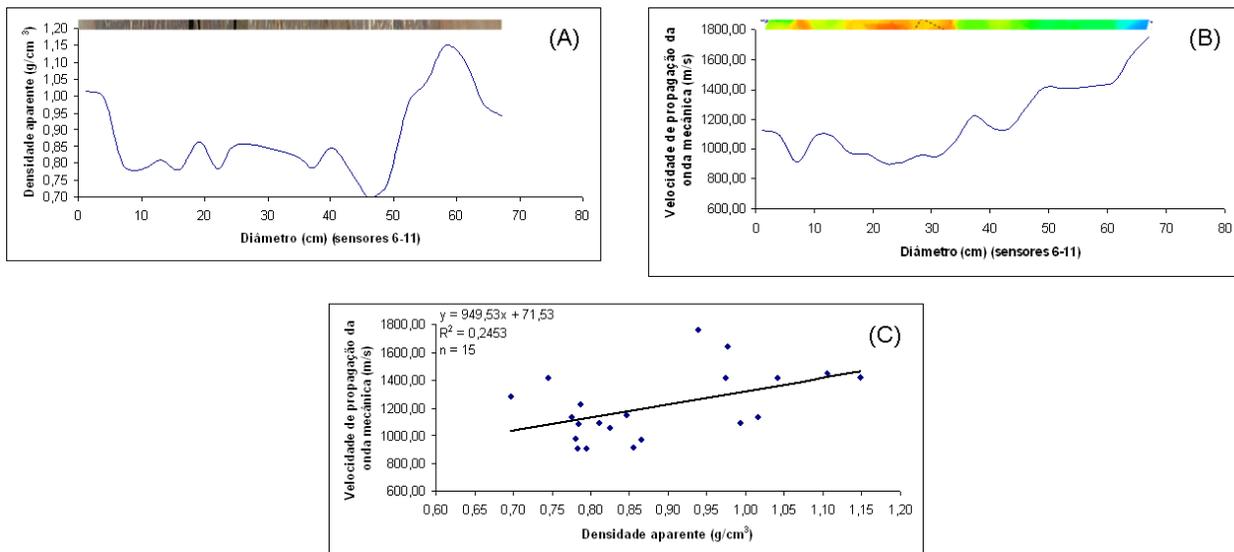


Figura 87 – Gráficos de perfil da árvore 1027, direção de obtenção da amostra entre os sensores 6 e 11, diâmetro da amostra (cm) x densidade aparente (g/cm^3) (A), diâmetro da amostra (cm) x velocidade de propagação da onda mecânica (m/s) (B), diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba (C)

O diagrama de dispersão obtido para todos os dados coletados apresentou um R^2 de 0,1473 (Figura 88). Portanto, não há correlação entre a densidade aparente e a velocidade de propagação da onda mecânica para a espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier.

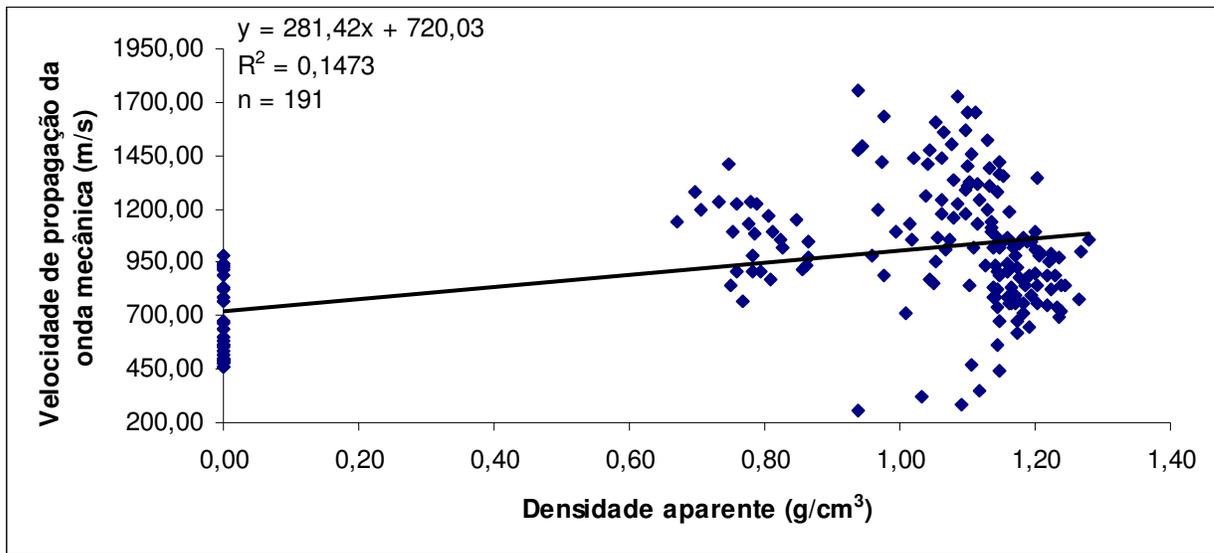


Figura 88 – Diagrama de dispersão diagrama de dispersão entre as médias de faixas de 3 cm da amostra da seção transversal do lenho de maçaranduba, para todas as amostras de lenho das árvores

5 CONCLUSÕES

Houve correlação da imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com a qualidade do fuste após o corte. A partir do diâmetro de 90 cm o tomógrafo de impulso se mostrou ineficiente para avaliar a qualidade do fuste de árvores de *Manilkara huberi*, pois não foi capaz de detectar a madeira deteriorada que essas árvores possuíam. Isso implica na tomada de decisão errada no momento do planejamento de corte das árvores da espécie em estudo. O erro nessa tomada de decisão foi de 17%.

Não houve correlação da imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com o resultado da densitometria de raios X.

Não houve correlação da imagem gerada pelo tomógrafo de impulso com o resultado da densidade aparente do lenho.

Houve uma melhora na estimativa de volume útil da árvore quando acrescida do resultado de classificação supervisionada da imagem tomográfica.

O melhor modelo que estimou o volume total de madeira para a maçaranduba foi o de Schumacher-Hall.

O melhor modelo que estimou o volume útil de maçaranduba foi o de Schumacher-Hall modificado, ou seja, o modelo de Schumacher-Hall que levou em consideração os dados da classificação supervisionada da imagem tomográfica.

Não houve correlação entre as características do solo de cada indivíduo com a ocorrência de oco.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. **D-2395-02**: Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. West Conshohocken, 2002. 9p.
- AMARAL, P.H.C.; VERISSIMO, J.A.O.; BARRETO, P.G.; VIDAL, E.J.S. **Floresta para sempre**: um manual para produção de madeira na Amazônia. Belém: IMAZON, 1998. 137p.
- AZAR, C.; HOLMBERG, J.; LINDGREN, K. Socio-ecological indicators for sustainability. **Ecological Economics**. Amsterdam, v. 18, p. 89-112, ago. 1996.
- AZEVEDO, V.C.R. **Desenvolvimento e aplicações de cpDNA e modelagem computacional para estudos da estrutura e dinâmica genética de maçaranduba – *Manilkara huberi* (Ducke) Chev. Sapotaceae**. 2007. 215p. Tese (Doutorado em Biologia Molecular). – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of Forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 9-26, 1998.
- BAHARUDDIN, H.G. Timber certification: an overview. **Unasyuva**, Roma, v. 46, n. 183, p. 18-24, 1995.
- BARRY, K.K.; IRIANTO, R.S.B.; SANTOSO, E.; TURJAMAN, M.; WIDDYATI, E.; SITEPU, I.; MOHAMMED, C.L. Incidence of heartrot in harvest-age *Acacia mangium* in Indonesia, using a rapid survey method. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, p. 273–280, 2004
- BERTI FILHO, E.; FONTES, L.R. **Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: FEALQ, 1995. 184p.
- BOURKE, I.J. International trade in Forest products and the environment. **Unasyuva**, Roma, v. 46, n. 183, p. 11-7, 1995.
- BOYCE, J.S. **Forest Pathology**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1961. 572 p
- BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia 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. 265p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- DAVIDSON, R.W.; HINDS, T.E.; HAWKSWORTH, F.G. Decay of Aspen in Colorado. **Station Paper**, Colorado, n. 45, p. 1-14, 1959.

DEFLORIO, G.; FINK, S.; SCHWARZE, F.W.M.R. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. **Wood Science and Technology**, New York, v. 42, p. 117–132, 2008.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 1995. 134p.

EL-KHOLY, O.A. **Cleaner production**. Arabian Gulf University. 2005. Disponível em: <<http://www.wiley.co.uk/wileychi/egec/pdf/GB604-W.PDF>> Acesso em: 19 maio 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212p.

EMBRAPA Amazônia Oriental. **Espécies arbóreas da Amazônia** Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2004. n.4.

ENTERS, T. DURST, B.P. Applying reduced impact logging to advance sustainable forest management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2001. Kuching. **Proceedings...** Kuching, Malaysia: FAO, 2001.p 14-28.

FERRAZ, I.D.K.; LEAL FILHO, N; IMAKAWA, A.M.; VARELA, V.P.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n.4, p. 621-633, 2004.

FOELKEL, C.E.B.; BUSNARDO, C.A. O fenômeno de apodrecimento central do cerne de árvores vivas de *Eucalyptus*: qualidade da madeira. **IPEF**, Piracicaba, n.33, p.31-38, ago.1986.

FONTES, L.R.; BERTI FILHO, E. (Ed.). **Cupins**: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998. 512p.

FRESNER, J. Cleaner production as a means for effective environmental management. **Journal of Cleaner Production**, Austria, v. 6, n. 3/4, p. 171-9, sept. 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VFX-3VGH6RR-1-7&_cdi=6022&_user=972067&_orig=browse&_coverDate=09%2F30%2F1998&_sk=999939996&view=c&wchp=dGLbVlb-zSkWW&md5=778e56613ce0794f95245bbd67762f0e&ie=/sdarticle.pdf> Acesso em: 19 maio 2009.

FSC – FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Padrões de certificação do FSC**: Forest Stewardship Council para manejo florestal em terra firme na Amazônia brasileira. Brasil: FSC, 1998. 33p.

GARDINGEN, P.R. van; VALLE, D.; THOMPSON, I. Evaluation of yield regulation options for primary forest in Tapajós National Forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 231, p.184-195, 2006.

GUNNINGHAM, N.; SINCLAIR, D. **Barriers and motivators to the adoption of cleaner production practice**. Australia: Australian Centre for Environmental Law, 1997. 115p.

Disponível em:

< http://campus-sostenible.mty.itesm.mx/publicaciones/pl/pl03/pl03_01.pdf > Acesso em: 19 maio 2009.

HOLMES, T.P.; BLATE, G.M.; ZWEED, J.C.; PEREIRA JÚNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. **Custos e benefícios financeiros da exploração florestal de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental**. 2.ed. Belém: Fundação Floresta Tropical/Instituto Floresta Tropical, 2006. 68p.

IFT. **Relatório de Atividades 2007-2008**. Belém: IFT, 2009. 51p. Disponível via: <<http://www.fft.org.br/>> Acesso em 16 dez 2009.

IMAFLOA. **Manual de certificação do manejo florestal no sistema do Forest Stewardship Council – FSC**. Piracicaba: IMAFLORA, 2007 Disponível em:

<http://imafloa.org/arquivos/maual_manejo_final.pdf> Acesso em: 27 abr. 2007.

IPT. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT/SVMA/SindusCon-SP, 2003, 59p.

JANZEN, D.H. Why tropical trees have rotten cores. **Biotropica**, Washington, v.8, n. 2, p.110, jun. 1976.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos florestais da Amazônia 2005**. Belém: AMAZON, 2005. 138p.

LEE, S.S.; ZAKARIA, M. Fungi associated with heart rot of *Acacia mangium* in peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**, Malásia, v. 5, n. 4, p. 479 – 484, 1993.

LINTU, L. Marketing non-wood forest products in developing countries. **Unasylva**, Roma, v. 46, n. 183, p. 37-41, 1995.

MONTEIRO, J.O. **Manejo florestal de baixo impacto**. Itacoatiara: Centro Florestal/Precious Woods Amazon, 2004. 28p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250p.

NARDELLI, A.M.B.; GRIFFITH, J.J. Modelo teórico para compreensão do ambientalismo empresarial do setor florestal brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 855-869, 2003.

NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDONZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, London, v.398, p. 505-508, Apr. 1999.

PEREIRA, L.C.; SILVA FILHO, D.F.; TOMAZELLO FILHO, M.; COUTO, H.T.Z.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; POLIZEL, J.L. Tomografia de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p 65-75, 2007.

PICUS. **Sonic Tomograph**, Manual, Rostock, 2003. 17p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Frederico Pimentel Gomes, 2000. 477p.

POSCHEN, P. **Crítérios e indicadores sociais para o manejo florestal sustentável: um guia para os textos da OIT**. jul, 2000. Disponível em:
<<http://www.imaflora.org/arquivos/guia-oit%20FINAL%20REVISADO%20site.pdf>> Acesso em: 19 maio 2009.

PUKKALA, T.; MIINA, J. Tree-selection algoritms for optimizing thinning using a distance-dependent growth model. **Canadian Journal of Forest Resource**, Ottawa, n.28, p. 693-702, 1998.

QUORIN, N.S. **Diagnóstico de defeitos em madeira por tomografia de raios X**. 2004. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RINNTECH. **User manual: ARBOTOM 3-D tree impulse tomograph**, version 1.59 for Microsoft Windows 98, 2000, XP. 2005. 42p.

RINNTECH. **Arbotom**. Disponível em:
<<http://www.rinntech.com/Products/ArbotomTypicalCrosssections.pdf>> Acesso em: 29 maio 2007.

ROLLO, F.M.A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth). O. Kuntze)**. 2009. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review**. Madison, may 1994. 40 p. (General Technical Report FPL-GTR-70)

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madson, v. 48, n.1, p. 14-19, Jan. 1998.

- ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F.; VOLNY, N.; SALSIG, W.W.; FALK, R.H. **Inspection of timber bridges using stress wave timing nondestructive evaluation tools - a guide for use and interpretation.** Madison, 1999. 15 p.(General Technical Report FPL–GTR–114).
- SABOGAL, C.; SILVA, J.N.M.; ZWEEDE, J.; PEREIRA JÚNIOR, R.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C.A. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 52p.
- SABOGAL, C.; LENTINI, M.; POKORNY, B.; SILVA, J.N.M.; ZWEEDE, J.; VERÍSSIMO, A.; BOSCOLO, M. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira.** Belém: CIFOR, 2006. 72p.
- SCHAD, K.C.; SCHMOLDT, D.L.; ROSS, R.J. **Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs.** Madison:: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Feb ,1996. 13p. (Research Paper FPL-RP-546)
- TOMAZELLO-FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*.** 2006. 135 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2006.
- VALLE, D.; PHILLIPS, P.; VIDAL, E.; SCHULZE, M.; GROGAN, J.; SALES, M.; GARDINGEN, P. van. Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and long-term comparison between reduced-impact and conventional logging in eastern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 243, p. 187-198, 2007.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.
- VIANA, V.M.; NOLASCO, A.M.; MARQUESINI, M. (Coord.). **Projeto temático: Manejo integrado e sustentável de florestas de caixeta no Vale do Ribeira – SP.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 105p.
- VIDAL, E.; GERWING, J.; BARRETO, P.; AMARAL, P.; JOHNS, J. Redução de desperdícios na produção de madeira na Amazônia. **Série Amazônica**, Belém, n.5, p.1-18, 1997.
- WAGENER, W.W.; DAVIDSON, R.W. Heart rots in living trees. **The Botanical Review**, Lancaster, v. 20, n.2, p.123-128, Feb. 1954.
- WANG, X.; ALLISON, R.B. Decay detections in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. **Arboriculture and Urban Forestry**, Champaign, v. 34, n. 1, p. 1-4, Jan. 2008.
- WATRIN, O.S.; ROCHA, A.M.A. **Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/ LANDSAT.** Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 1991. 40 p. (Boletim de Pesquisa, 124).

WHER, N.J.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvore de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 161-170, dez. 2000.

WHITFORD, K.R. Hollows in jarrah (*Eucalyptus marginata*) and marri (*Corymbia calophylla*) trees I. Hollow sizes, tree attributes and ages. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 160, p. 201-214, 2002.

ANEXOS

ANEXO A – Laudo da EMBRAPA Amazônia Oriental (Belém) na identificação dos 29 indivíduos estudados



LABORATÓRIO DE BOTÂNICA-HERBÁRIO

LAUDO DE IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA

1) Dados do Solicitante

| | | | |
|--|-------------------|--------------------------|--------|
| Pessoa Física ou Jurídica: Lis Rodrigues Uliana | | | |
| CPF ou CNPJ: ESALQ/USP | | C.I. ou Inscção Estadual | |
| Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal 9 | | | |
| Bairro: | CEP: 13418-900 | Cidade: Piracicaba | UF: SP |
| Telefone: (19) 21058622 | FAX(019) 21058601 | E-mail: | |

2) Dados do Material para Análise – Nº do NID: 49/2010 (controle do Laboratório)

| | | | |
|--|--|-------------------------------------|--|
| Local de Origem: Cikel Brasil Verde S/A -Paragominas | | Quantidade de Amostras: | |
| Tipo de Amostra: () Fértil (X) Estéril | | | |
| Nome do Coletor: Lis Rodrigues Uliana/Adriana M. Nolasco | | | |
| Data de Entrada no Laboratório: 05.07.2010 | | Analisado por: João Carlos | |
| Destino e/ou Utilização do Laudo: Doutorado | | Supervisionado por: Silvane Tavares | |

3) Processo utilizado para identificação:

Comparação com exsicatas do acervo do herbário IAN.

Classificação dos gêneros em família segundo APG III.

RESULTADO DAS ANÁLISES

| Cod. | Nome Comum | Nome Científico | Família |
|------|------------|---|------------|
| 01 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 02 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 03 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 04 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 05 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 06 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 07 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 08 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 09 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 10 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 11 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 12 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 13 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 14 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 15 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 16 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 17 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 18 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 19 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 20 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |



Amazônia Oriental

| | | | |
|----|--|---|------------|
| 21 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 22 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 23 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 24 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 25 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 26 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 27 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 28 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |
| 29 | | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier | Sapotaceae |

Material coletado dentro da propriedade da Cikel Brasil Verde S/A, na fazenda Rio Capim, no município de Paragominas, Estado do Pará, na micro região homogênia Guajarina município de Paragominas.

Material devolvido ao remetente por está estéril.

Obs: Prazo de permanência do material no laboratório: 60 dias; a partir dessa data, o material ficará a critério do laboratório.

Belém, 04 de Agosto 2010

Silvane Tavares Rodrigues
Pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental

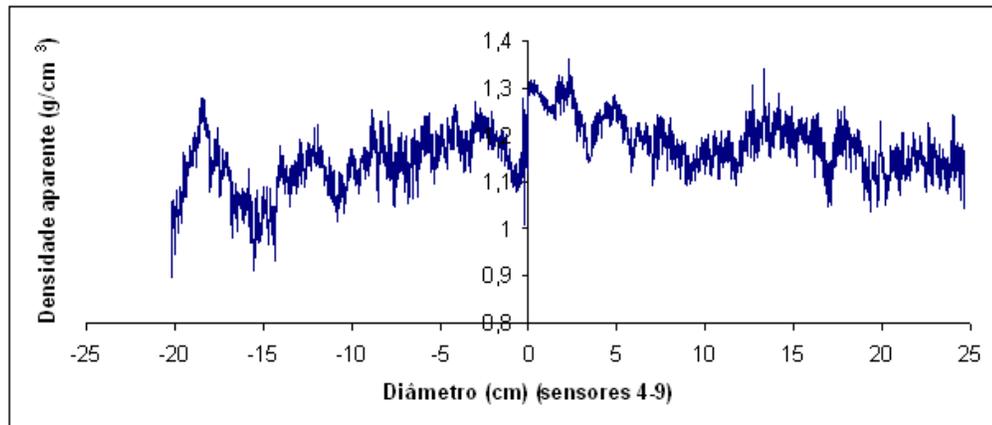
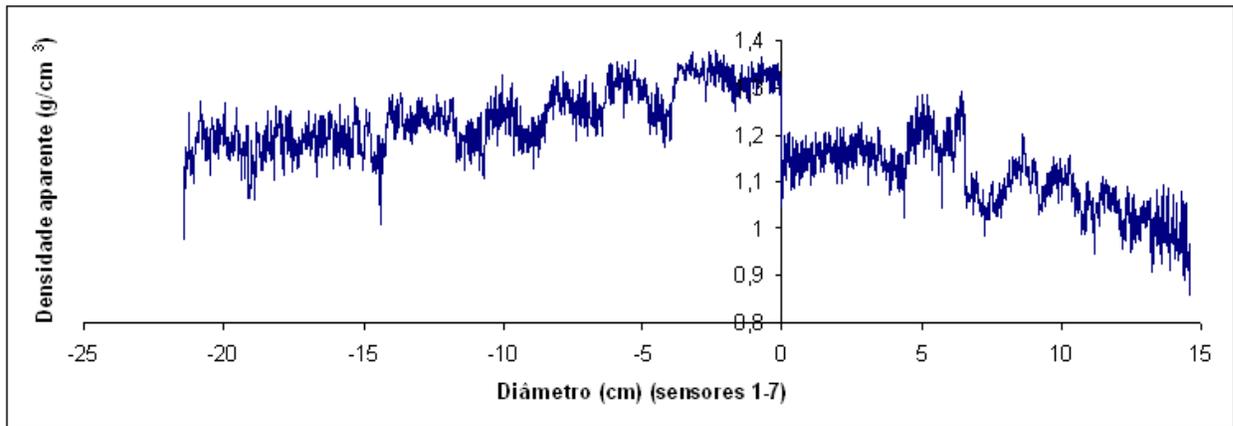
ANEXO B – Resultados da densitometria de raios X por árvore estudada

Figura 89 – Perfis de densidade aparente de amostras diametraais do lenho de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier da árvore 1734

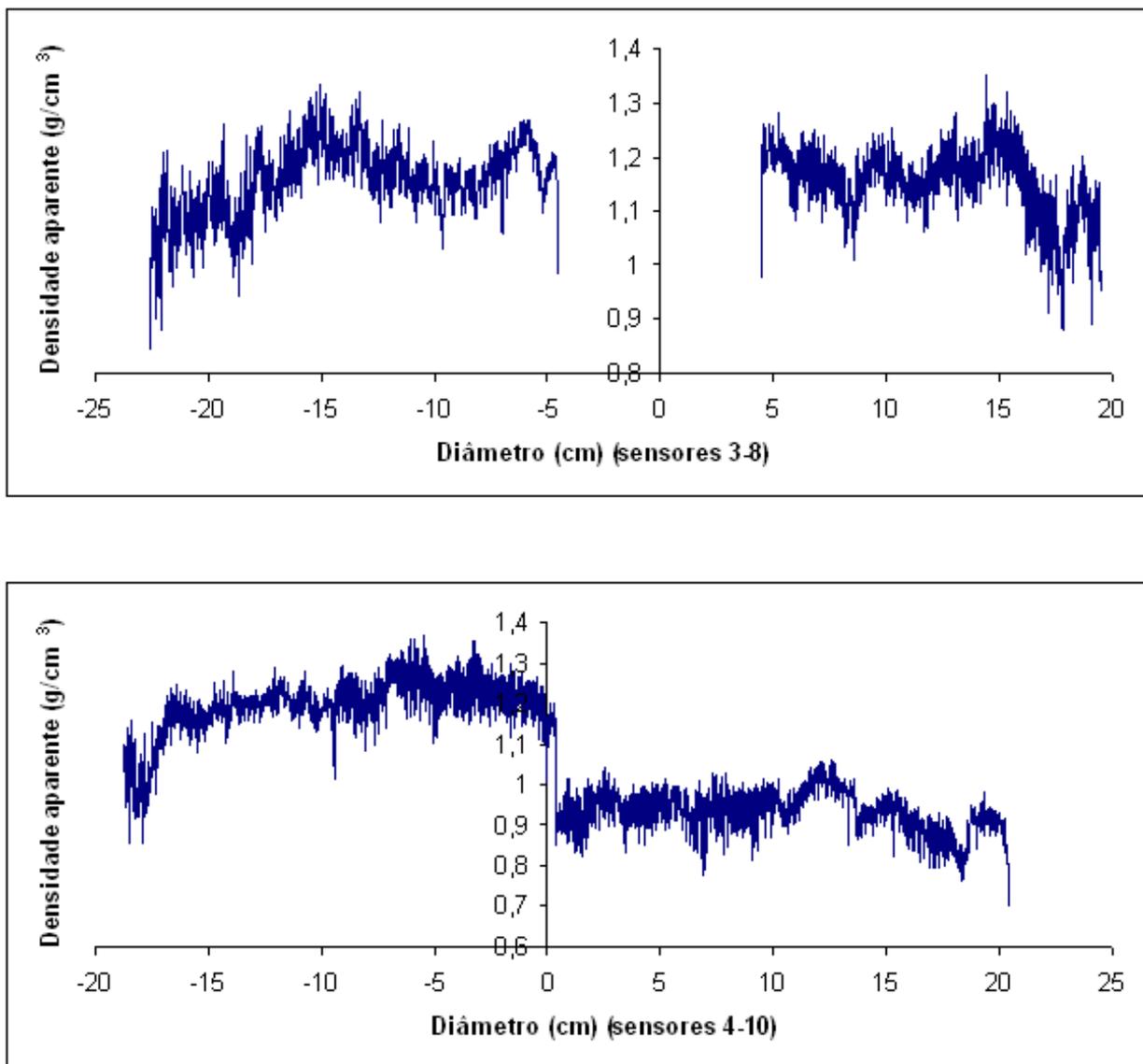


Figura 90 – Perfis de densidade aparente de amostras diametraais do lenho de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier da árvore 1707

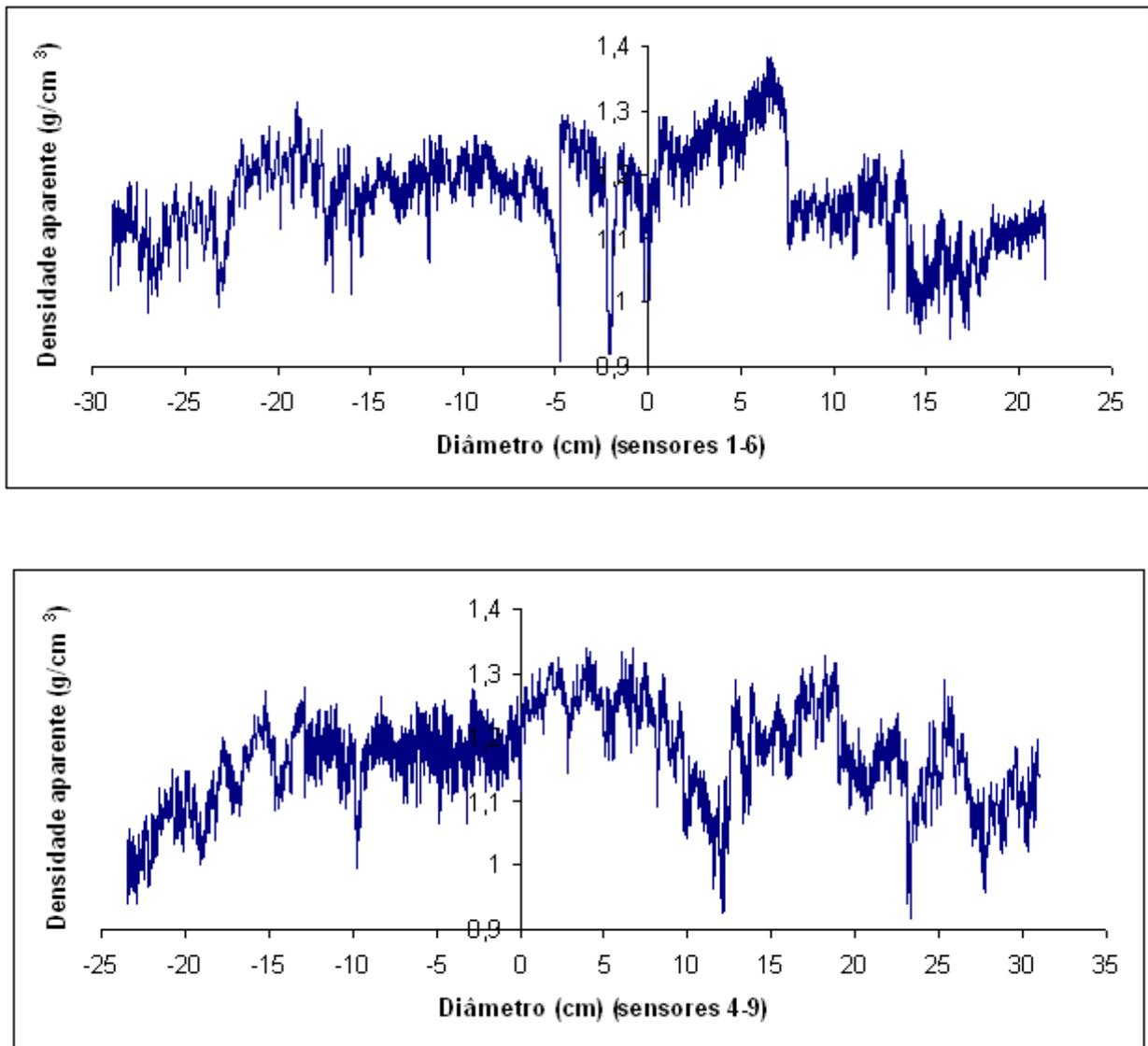


Figura 91 – Perfis de densidade aparente de amostras diametraais do lenho de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier da árvore 1704

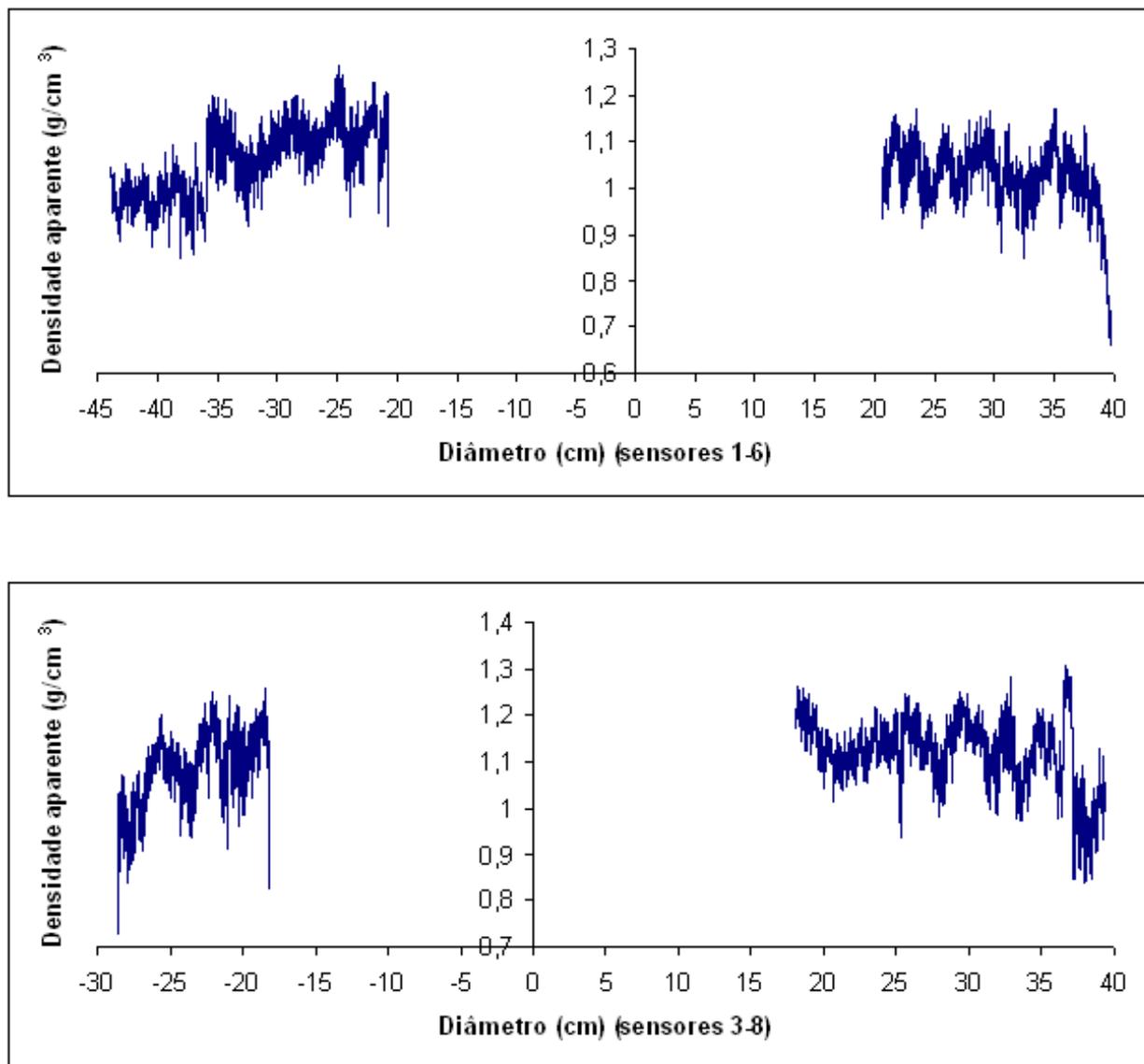


Figura 92 – Perfis de densidade aparente de amostras diametraais do lenho de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier da árvore 1709