

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA  
MADEIRA DE ÁRVORES DE *Hevea brasiliensis* EM TRÊS CONDIÇÕES  
DE SANIDADE NO ESTADO DE SÃO PAULO**

**ELAINE CRISTINA LEONELLO**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus  
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre  
em Ciência Florestal

BOTUCATU – SP  
Agosto – 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA  
MADEIRA DE ÁRVORES DE *Hevea brasiliensis* EM TRÊS CONDIÇÕES  
DE SANIDADE NO ESTADO DE SÃO PAULO**

**ELAINE CRISTINA LEONELLO**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus  
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre  
em Ciência Florestal

BOTUCATU – SP  
Agosto – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Leonello, Elaine Cristina, 1986-  
L583a Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores de *Hevea brasiliensis* em três condições de sanidade no Estado de São Paulo / Elaine Cristina Leonello. - Botucatu : [s.n.], 2011

xvii, 110 f. : gráfs., tabs., ils., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011  
Orientador: Adriano Wagner Ballarin  
Inclui bibliografia

1. Seringueira. 2. Madeira juvenil. 3. Propriedades físicas. 4. Propriedades mecânicas. 5. Seca do painel de sangria. I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

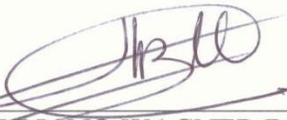
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA  
DE ÁRVORES DE *Hevea brasiliensis* EM TRÊS CONDIÇÕES DE  
SANIDADE NO ESTADO DE SÃO PAULO"

ALUNA: ELAINE CRISTINA LEONELLO

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARIO TOMAZELLO FILHO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. EDSON LUIZ FURTADO

Data da Realização: 02 de agosto de 2011.

## **OFERECIMENTO**

Aos meus pais João e Edna,

Dos quais recebi muito mais que a grande dádiva da vida, recebi as diretrizes, incentivos e o carinho que me tornaram hoje o que sou.

Aos meus irmãos Renan e Tamires,

Companheiros e amigos, que fizeram e fazem dos meus dias os melhores. Sei que posso sempre com eles contar.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, o autor da minha vida, que me capacitou para a realização deste trabalho. Deus do meu coração, Deus da minha compreensão, por Sua inefável presença e por mais esta oportunidade.

Ao professor Adriano, orientador, amigo e grande exemplo. Pessoa essencial na minha formação intelectual e grande referencial de humanidade. Muito obrigada pela paciência e dedicação.

Ao professor Hernando Alfonso Lara Palma pelas sugestões sempre oportunas e o companheirismo durante todas as etapas de minha formação profissional.

Ao professor Mário Tomazello Filho e toda a sua equipe da ESALQ/USP, pelo aprendizado e apoio nos testes de densitometria de raios X.

Agradeço pelo grande apoio dado pela professora Martha Maria Mischan, estatística que deu suporte nas análises dos dados.

Ao professor Edson Luiz Furtado, e toda sua equipe de pós-graduandos, que auxiliaram a parte inicial deste projeto de pesquisa. Sempre se mostraram disponíveis e atentos na interação dos grupos de estudo e na troca de conhecimentos.

Aos amigos do Laboratório de Ensaio de Materiais, Lucas, Javier, Humberto e Jéssica e também ao técnico Ailton de Lima Lucas pelo apoio durante todas as fases da realização do projeto de pesquisa.

Agradeço pela presença, companheirismo, pelos risos e abraços dos amigos de todas as horas, os que ficaram mais distantes, porém não esquecidos e os que estão presentes, com os quais tenho compartilhado minhas experiências neste mestrado.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na pessoa do professor Iraê e da Selma, que tanto apoiaram as divulgações de nossos trabalhos.

Enfim, agradeço à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa concedida.

“Além da mente humana e como um impulso livre, cria-se a ciência. Esta se renova, assim como as gerações, frente a uma atividade que constitui o melhor jogo do *homo ludens*: a ciência é, no mais estrito e melhor dos sentidos, uma gloriosa diversão.”

*Jacques Barzun*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XII
RESUMO .....	XIV
SUMMARY .....	XVI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. A seringueira.....	5
3.2. Plantio e clones potenciais.....	7
3.3. A madeira de seringueira .....	9
3.4. Madeira juvenil e adulta em seringueira.....	10
3.5. Madeira de reação em seringueira .....	13
3.6. Propriedades físicas da madeira.....	14
3.6.1. Densidade .....	15
3.6.2. Estabilidade dimensional .....	17
3.7. Propriedades mecânicas da madeira .....	18
3.7.1. Compressão paralela às fibras .....	19
3.7.2. Flexão estática .....	21
3.7.3. Dureza Janka.....	22
3.8. Seca do painel de sangria da seringueira .....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. Seleção dos clones e características das plantações.....	27
4.2. Seleção, corte das árvores e coleta das amostras .....	28
4.3. Delimitação entre madeira juvenil e adulta .....	34
4.4. Ensaio físicos.....	35
4.4.1. Densidade básica da madeira.....	35
4.4.1.1. No disco .....	49
4.4.1.2. Nos corpos de prova.....	50
4.4.2. Densidade aparente da madeira .....	37

4.4.3. Retratibilidade da madeira .....	38
4.5. Ensaio mecânicos .....	39
4.5.1. Compressão paralela às fibras .....	40
4.5.2. Flexão estática .....	40
4.5.3. Dureza Janka.....	41
4.6. Análises estatísticas .....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
5.1. Delimitação entre madeira juvenil e adulta .....	43
5.2. Propriedades físicas .....	49
5.2.1. Densidade básica da madeira.....	49
5.2.1.1. No disco .....	49
5.2.1.1. Nos corpos de prova.....	50
5.2.2. Densidade aparente da madeira .....	52
5.2.3. Retratibilidade.....	57
5.3. Propriedades mecânicas .....	60
5.3.1. Compressão paralela às fibras .....	60
5.3.2. Flexão estática .....	64
5.3.3. Dureza Janka paralela às fibras.....	73
5.4. Compilação dos resultados obtidos.....	77
6. CONCLUSÕES .....	81
7. REFERÊNCIAS .....	83
APÊNDICE .....	93
APÊNDICE A.....	94
APÊNDICE B .....	98

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.	Aspectos do tronco de seringueira em distintas condições de sanidade: (a) - painel de sangria da seringueira sadia com produção normal de látex - condição de sanidade X; (b) - incisão na casca do tronco da seringueira com sintoma de seca do painel de sangria – produção baixa de látex que tem aspecto “aguado” - condição de sanidade F; (c) - tronco da árvore de seringueira com presença de rachaduras e sem produção de látex - condição de sanidade P.....29
2.	(a) - Aspecto geral do plantio de árvores do clone RRIM 600; (b) - abate das árvores; (c) - mensuração da altura das árvores; (d) - transporte das toras para fora do talhão.....31
3.	(a) - Linhas de corte na seção transversal no topo da tora; (b) - desdobro da tora em pranchão contendo a medula da árvore .....31
4.	Faixas diametraais utilizadas em diversas análises.....32
5.	Esquema da retirada dos corpos de prova dos ensaios físico-mecânicos.....32
6.	Detalhe da tortuosidade do fuste, observado em grande parte das árvores de seringueira.....33
7.	Posicionamento da bagueta de 10 mm na Faixa C, com identificação das amostras para análise anatômica a cada 10 mm do raio.....36
8.	Visualização das camadas de crescimento, detectáveis no disco de árvores sadias destinado ao estudo de madeira juvenil e adulto.....36
9.	Etapas do preparo das amostras e da realização dos ensaios de raios X: (a) - dupla serra circular utilizada para a retirada de amostras com espessura constante; (b) - amostras prontas em estágio de climatização; (c) - tela do software utilizado no ensaio de densitometria de raios X; (d) - equipamento de ensaio de densitometria de raios X.....39
10.	Ensaio de compressão paralela às fibras: (a) – corpo de prova antes do ensaio; (b) - depois do ensaio; (c) - corpos de prova de uma árvore.....42

11.	Ensaio de flexão estática. Corpos de prova de 20 mm x 20 mm x 460 mm (vão livre de 420 mm) durante o ensaio .....	42
12.	Ensaio de dureza Janka: (a) - ensaio em andamento; (b) - detalhe da faixa diametral D com a demarcação dos pontos para realização do ensaio .....	42
13.	Clone GT 1 – Variação radial do comprimento das fibras em três árvores sadias e retas de tendência em duas regiões de comportamentos distintos ao longo do raio.....	44
14.	Clone GT 1 - Regressão por partes do comprimento das fibras ao longo do raio .....	45
15.	Clone RRIM 600 – Variação radial do comprimento das fibras em três árvores sadias e retas de tendência em duas regiões de comportamentos distintos ao longo do raio .....	46
16.	Clone RRIM 600 - Regressão por partes do comprimento das fibras ao longo do raio.....	47
17.	Valores médios de densidade básica de discos de madeira de seringueira com indicação do desvio em torno da média (G_ - clone GT 1; R_ - clone RRIM 600; _X – árvores sadias; _P – árvores com seca do painel de sangria por origem patológica; _F – seca do painel de sangria por origem fisiológica) .....	50
18.	Variação de coloração entre os raios opostos de uma mesma faixa diametral .....	53
19.	Perfil radial da densidade aparente da madeira – Padrão 1 .....	53
20.	Perfil radial da densidade aparente da madeira – Padrão 2.....	54
21.	Perfil radial da densidade aparente da madeira – Padrão 3.....	54
22.	Perfil radial da densidade aparente da madeira – Padrão 4.....	55
23.	Clone GT 1 – Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade X (sadia) .....	62
24.	Clone GT 1 – Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade P (seca do painel de sangria por origem patológica).....	62
25.	Clone GT 1 – Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade F (seca do painel de sangria por origem fisiológica).....	63

26.	Clone RRIM 600 – Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade X (sadia) .....	63
27.	Clone RRIM 600 – Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade P (seca do painel de sangria por origem patológica).....	64
28.	Clone RRIM 600 – Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade F (seca do painel de sangria por origem fisiológica) .....	65
29.	Tipos de ruptura de corpos de prova sujeitos ao ensaio de compressão paralela às fibras.....	65
30.	Clone GT 1 – Variação da resistência à flexão estática (fM) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c) .....	68
31.	Clone GT 1 – Variação da rigidez à flexão estática (EM) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c) .....	69
32.	Clone RRIM 600 – Variação da resistência à flexão estática (fM) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c) .....	70
33.	Clone RRIM 600 – Variação da rigidez à flexão estática (EM) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c) .....	71
34.	Tipos de ruptura no ensaio de flexão estática .....	72
35.	Clone GT 1 – Variação da dureza Janka (fH) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c) .....	75
36.	Clone RRIM 600 – Variação da dureza Janka (fH) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c) .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1.	Comportamentos variados da densidade básica da madeira de diferentes espécies de árvores no sentido medula-casca.....	16
2.	Índice de anisotropia, qualidade e uso da madeira.....	18
3.	Valores médios das principais propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies de nativas e de florestamento.....	20
4.	Resistência à compressão paralela às fibras a 12% de umidade de quatro clones de <i>H. brasiliensis</i> .....	21
5.	Módulo de ruptura e módulo de elasticidade de quatro clones de seringueira no ensaio de flexão estática.....	22
6.	Valores de dureza Janka em quatro clones de <i>Hevea brasiliensis</i> .....	22
7.	Incidência de seca do painel de sangria no seringal comercial de Codeara em 1998.....	26
8.	Dados de DAP e altura total de cada uma das seis árvores de cada condição de sanidade de cada um dos clones estudados.....	30
9.	Comprimento dos raios 1 e 2 (R1 e R2) e a relação entre eles para cada uma das 36 árvores estudadas.....	33
10.	Valores representativos do comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) para madeira juvenil e madeira adulta.....	48
11.	Valores representativos da densidade básica dos discos de madeira de seringueira para as árvores dos clones GT 1 e RRIM 600.....	49
12.	Clone GT 1 – Densidade básica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais.....	51
13.	Clone RRIM 600 – Densidade básica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais.....	51

14.	Valores representativos dos perfis de densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ ) de cada raio (R1 e R2) para todas as árvores dos clones GT 1 e RRIM 600 .....	56
15.	Clone GT 1 – Retratabilidade e índice de anisotropia da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais .....	58
16.	Clone RRIM 600 – Retratabilidade e índice de anisotropia da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais.....	59
17.	Clone GT 1 – Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais.....	61
18.	Clone RRIM 600 – Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais .....	61
19.	Frequência de cada tipologia de ruptura para os clones GT 1 e RRIM 600 .....	65
20.	Clone GT 1 - Resistência e rigidez à flexão (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais .....	66
21.	Clone RRIM 600 - Resistência e rigidez à flexão (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais.....	67
22.	Clone GT 1 – Dureza Janka (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais .....	73
23.	Clone RRIM 600 – Dureza Janka (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes de condições de sanidade e posições radiais .....	73

## RESUMO

O látex é o principal produto extraído da seringueira (*Hevea brasiliensis*). No Brasil, a madeira de seringueira, ao final do ciclo produtivo de látex, é utilizada tradicionalmente para fins energéticos, mas trabalhos internacionais relatam práticas consolidadas de agregação de valor a ela. Diversos pesquisadores têm observado crescimento e agravamento do problema da seca do painel de sangria nos plantios nacionais, doença que compromete a produção de látex. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de árvores dos clones comerciais GT 1 e RRIM 600 em três condições distintas de sanidade: árvores com produção normal de látex (sadias); árvores com presença de seca do painel de sangria por origem abiótica/fisiológica e árvores com presença da seca do painel de sangria por origem biótica/patológica. Foram amostradas seis árvores de cada condição de sanidade dos dois clones de plantios na região de São José do Rio Preto-SP com idade igual ou superior a 20 anos. Os parâmetros anatômicos e físico-mecânicos avaliados foram o comprimento das fibras (presença e delimitação de madeira juvenil e adulta), densidade básica e aparente da madeira, retratibilidade e índice de anisotropia, resistência à compressão paralela às fibras, resistência e rigidez à flexão e dureza Janka. Os resultados mostraram que a madeira juvenil ocorre desde a medula até cerca de 40% e 32% do raio para os clones GT 1 e RRIM 600, respectivamente, podendo-se associar a idade do plantio de 6 a 8 anos como transição entre madeira juvenil e adulta. A densidade básica média da madeira de seringueira dos dois clones variou de 580 kg/m<sup>3</sup> a 595 kg/m<sup>3</sup> e não houve diferença estatística deste parâmetro entre as diferentes

condições de sanidade e entre os clones. A densidade aparente da madeira de seringueira dos dois clones apresentou quatro padrões preferenciais de variação radial. O padrão mais comum (ocorrência em 60,5% das amostras) revelou diminuição inicial da densidade aparente a partir da medula em direção à casca, com posterior aumento podendo, finalmente, apresentar algumas variações na região mais externa do tronco. A madeira dos dois clones foi classificada como de baixa contração e o efeito da juvenilidade influenciou as propriedades de retratibilidade. O clone GT 1 apresentou resistência à compressão paralela às fibras variando de 41,55 MPa a 48,22 MPa e para o clone RRIM 600 essa variação foi de 34,96 MPa a 47,89 MPa. No ensaio de flexão, o clone GT 1 apresentou resistência e rigidez de 79,67 MPa a 90,98 MPa e de 9.353 MPa a 10.863 MPa, respectivamente. Para o clone RRIM 600 essas propriedades variaram de 61,05 MPa a 94,11 MPa e de 7.138 MPa a 11.579 MPa. A dureza Janka variou de 57,27 MPa a 73,71 MPa para o clone GT 1 e de 50,03 MPa a 84,92 MPa para o clone RRIM 600. O efeito de juvenilidade foi caracterizado de maneira muito discreta nas propriedades mecânicas, sendo observado exclusivamente, na dureza Janka. No geral, não houve diferença estatística das propriedades mecânicas da madeira em relação às três condições de sanidade das árvores. Considerando-se esses resultados e os condicionantes deste trabalho pôde-se afirmar que a madeira de seringueira teve qualidade constante ao longo do raio, revelando potencial tecnológico equivalente nas três condições de sanidade das árvores.

---

**Palavras-chave:** Seringueira, madeira juvenil, propriedades físicas, propriedades mecânicas, seca do painel de sangria.

EVALUATION OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD OF TREES OF *Hevea brasiliensis* IN THREE HEALTH CONDITIONS IN SÃO PAULO STATE. Botucatu, 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ELAINE CRISTINA LEONELLO

Adviser: ADRIANO WAGNER BALLARIN

## SUMMARY

Latex is the main product extracted from rubber tree (*Hevea brasiliensis*). In Brazil, at the end of the production cycle of latex, rubber wood is traditionally used for energy purposes but international studies have reported consolidated practice that result in added-value products. Several researchers have observed raised and worsening of tapping panel dryness, a disease that impairs the production of latex. The main objective of this study was to evaluate the quality of rubber wood of commercial clones GT 1 and RRIM 600 in three distinct health conditions: trees producing latex (healthy), trees with tapping panel dryness of abiotic/physiological origin and trees with tapping panel dryness of biotic/pathological origin. Six trees of each health condition of the two clones from plantations in the São José do Rio Preto region – Sao Paulo State, Brazil - aged 20 years or more were sampled. Anatomical and physical-mechanical parameters evaluated were fibers length (occurrence and delimitation juvenile–mature wood), specific gravity and apparent density, shrinkage and anisotropy index, compression parallel to grain strength, bending strength and rigidity and Janka hardness. Results showed that juvenile wood occurs from pith up to 40% and 32% of ray for GT 1 and RRIM 600 clones respectively, allowing the association of the age of 6 to 8 years of plantation as transition between juvenile and mature wood. The mean specific gravity of rubber wood from both clones varied from 580 kg/m<sup>3</sup> to 595 kg/m<sup>3</sup> and there wasn't statistical difference of this parameter among health conditions and between clones. Rubber wood apparent density from both clones presented four preferential patterns of radial variation. The most common

pattern (occurrence of 60.5%) revealed initial decrease from pith to bark, with posterior increase and eventual variations in the outer trunk. Wood from both clones was classified as low shrinkage wood and juvenility affect shrinkage properties. GT 1 clone presented compression parallel to grain strength ranging from 41.55 MPa to 48.22 MPa and for RRIM 600 clone this variation was from 34.96 MPa to 47.89 MPa. In bending test, GT 1 clone presented strength and rigidity from 79.67 MPa to 90.98 MPa and from 9,353 MPa to 10,863 MPa, respectively. For RRIM 600 clone these properties ranged from 61.05 MPa to 94.11 MPa and from 7,138 MPa to 11,579 MPa. Janka hardness ranged from 57.27 MPa to 73.71 MPa for GT 1 clone and from 50.03 MPa to 84.92 MPa for RRIM 600 clone. The effect of juvenility in mechanical properties was very discreet, been observed only in Janka hardness. Overall there wasn't statistical difference of mechanical properties in relation to three trees health conditions. Considering these results for this study conditions rubber wood had constant quality in the radial direction, revealing equivalent technological potential in three tree health conditions studied.

---

**Keywords:** Rubber tree, juvenile wood, physical properties, mechanical properties, tapping panel dryness.

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Hevea* pertence à família Euphorbiaceae e compreende 11 espécies, dentre as quais destaca-se a *H. brasiliensis*, por apresentar maior capacidade produtiva de látex e variabilidade genética para resistência a doenças, quando comparada às outras espécies do gênero.

A *H. brasiliensis* é originária da região Amazônica e sua ocorrência é verificada no Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 2009a).

O látex extraído tem grande valor comercial, sendo utilizado como matéria-prima na fabricação da borracha natural, utilizado na fabricação de luvas cirúrgicas, preservativos, pneus e revestimentos diversos (IAC, 2009b).

A área plantada com seringueira no mundo ultrapassa nove milhões de hectares, sendo que mais de 90% se encontra na Ásia, com destaque para Indonésia, Tailândia e Malásia (ZHAO, 2008).

No Brasil, a área plantada totaliza cerca de 160 mil ha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2011). O cultivo da seringueira obteve grande sucesso na região sudeste do Brasil. Destacam-se também o centro-oeste e o nordeste, mais precisamente a Bahia. O sucesso da região sudeste é, em grande parte, associado à denominação dessa região como “zona de escape”, onde a doença “mal-das-folhas” não ocorre por causa do clima local.

O estado de São Paulo tem atualmente 50% do total do plantio nacional, o que corresponde a cerca de 80 mil ha (SAMPAIO, 2010). O total de áreas plantadas tende a aumentar, sobretudo devido ao preço recorde da borracha, atingido em 2010 (ROSSMANN, 2011).

A exploração viável econômica e fisiologicamente do látex das árvores de seringueira se inicia quando o plantio atinge de sete a oito anos de idade. No manejo praticado pelos países asiáticos, a exploração se estende até a idade aproximada das árvores de 30 anos.

Diversos autores afirmam que, depois de concluído o ciclo de exploração do látex, o processamento e a utilização da madeira das árvores de seringueira é viável técnica e economicamente. A madeira é apta para usos como: combustível (produção de energia), fabricação de polpa celulósica e, com tratamento preservativo, pode ser utilizada na indústria de móveis, fabricação de portas, janelas, fôrmas para concreto armado, vigas, colunas, tabuado, forros, caixotaria, painéis de cimento-madeira, painéis de madeira compensada, MDF (*medium density particleboard*) e OSB (*oriented strand board*) (COLLOQUIUM ON RUBBERWOOD: RESOURCES AND TECHNOLOGIES, 1998; MAY e GONÇALVES, 1999; LORENZI, 2000; TEIXEIRA et al., 2001; INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2004; OKINO et al., 2004), aos moldes do que acontece em países do sudeste asiático como por exemplo, Malásia e Indonésia.

No entanto, na literatura nacional são escassos os trabalhos relatando o desempenho físico-mecânico da madeira dessa espécie, a exemplo do trabalho de Santana et al. (2001) que apresentam a caracterização físico-mecânica da madeira de quatro clones de seringueira do estado da Bahia.

Apesar desse cenário favorável, alguns produtores têm se preocupado com a incidência crescente de doenças nas árvores de seringueira. Essas doenças, muitas delas ainda em fase de investigação, estão diretamente ligadas ao painel de sangria e, podem ter implicações, ainda desconhecidas, na qualidade da madeira.

Dentre essas doenças destaca-se a seca do painel de sangria (“*brown bast*”, ou mais recentemente denominada “*tapping panel dryness*”) das árvores de seringueira. O mecanismo de atuação da doença ainda não é bem conhecido; associava-se a fatores abióticos ou fisiológicos próprios da árvore, mas alguns pesquisadores têm reportado que o

envolvimento de agentes patogênicos em alguns tipos de seca do painel de sangria parece ser uma possibilidade (BERNARDES et al., 1995; RUBBER BOARD, 2002). Beteloni et al. (2009, 2010) encontraram fortes evidências da relação entre a presença do fungo *Fusarium moniliforme* e queda gradual na produção de látex em consequência do aparecimento de rachaduras no painel de sangria da seringueira, sintoma comumente associado à seca do painel de sangria.

Este trabalho é parte de um projeto mais amplo, multitemático e inovador, onde estudos epidemiológicos e patológicos são desenvolvidos acerca da seca do painel de sangria das árvores de seringueira e estudos tecnológicos avaliam as consequências da doença, tanto na sua origem por fatores bióticos quanto abióticos, na qualidade da madeira e no potencial tecnológico que possa apresentar para algumas finalidades, como usos estruturais e na fabricação de painéis compensados.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo principal do presente projeto de pesquisa foi avaliar a qualidade da madeira das árvores de seringueira dos clones comerciais GT 1 e RRIM 600 a partir da avaliação de propriedades físicas e mecânicas do lenho de árvores que apresentam três condições distintas de sanidade: árvores com produção normal de látex, ou sadias; árvores com a presença da doença seca do painel de sangria por origem abiótica/fisiológica e, finalmente, árvores que apresentam a doença seca do painel de sangria por origem biótica/patológica.

Complementarmente, como objetivos secundários, foram estudados alguns parâmetros anatômicos a fim de se verificar e delimitar a possível presença de madeira juvenil e adulta no lenho e foram avaliados os perfis densitométricos das árvores estudadas a fim de se avaliar, com maior detalhe, a variação radial da qualidade da madeira através da densidade aparente.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. A seringueira**

Os primeiros registros históricos da exploração da seringueira para a produção de borracha natural são da época do descobrimento da América. O texto seguinte apresenta recortes dessa história, relatada detalhadamente por Putz (2010).

Nos séculos XVII e XVIII as gomas da América já eram bem difundidas; além da borracha, os sapatos feitos pelos indígenas eram comercializados para a Europa, onde tinham grande aceitação.

Em 1839, Charles Goodyear, acidentalmente, descobriu o processo de vulcanização, que patenteou no Departamento de Patentes nos Estado Unidos, de Nova York, em 15 de junho de 1844.

A partir de 1844 o uso da borracha na fabricação de artefatos teve um desenvolvimento espetacular, com aplicações diversificadas: mangueiras e tubos, revestimento de rodas, salto de sapato, dentre outros. O Brasil passou a ser o maior produtor mundial e a borracha trouxe enorme riqueza à Amazônia.

Com o crescimento das indústrias de artefatos de borracha, a matéria-prima ficou escassa e com preço cada vez mais alto. O Brasil, que se encontrava em posição privilegiada na produção da borracha natural, foi duramente castigado pela concorrência das plantações da Ásia. Até que em 1913, as produções das plantações asiáticas foram superiores às da Amazônia, fazendo com que os preços caíssem drasticamente.

Desde o início do século XX, buscavam-se resultados com o plantio de seringueiras na Amazônia. Apesar de todos os esforços, não houve resultados: o fungo *Mycrocyclus ulei* não permitiu que as árvores fossem produtivas.

Marechal Rondon trouxe sementes de seringueira do Acre que foram semeadas no estado de São Paulo, por volta de 1915. Anos depois, a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo fez vários plantios; assim, a partir de 1970 houve um desenvolvimento rápido da cultura da seringueira em São Paulo.

Tradicionalmente, as árvores de seringueira têm sido exploradas para extração do látex na região equatorial, entre as latitudes de 10° N e 10° S, com maior produção entre 6° N e 6° S (GONÇALVES et al., 2001). Entretanto, em consequência das dificuldades de produção na região do trópico super úmido da América Latina (condições favoráveis ao fungo *Mycrocyclus ulei*, causador da doença conhecida por mal das folhas) e do aumento da demanda da borracha natural, várias regiões do mundo, fora da zona convencional, iniciaram o seu cultivo. Centurion et al. (2005) indicaram as latitudes limites de 23° N na China e 25° S compreendendo o estado de São Paulo, evidenciando a grande adaptabilidade da seringueira às mais diversas condições ecológicas.

Esta espécie é a maior fonte de borracha natural, matéria-prima superior à borracha sintética na fabricação de luvas cirúrgicas, preservativos, pneus e revestimentos diversos (IAC, 2009b).

A seringueira é originalmente utilizada para exploração do látex como fonte de renda. No entanto, existem algumas alternativas, ao molde do que já acontece em alguns países asiáticos, que podem ser viáveis em propriedades que procuram diversificar a produção agrícola: extração da madeira, produção de sementes para a extração de óleo vegetal, produção de mel, dentre outras.

A área plantada com seringueira no mundo ultrapassa nove milhões de hectares, sendo que mais de 90% se encontra na Ásia, com destaque para Indonésia, Tailândia e Malásia (ZHAO, 2008). No Brasil, a área plantada totaliza 159.500 ha (ABRAF, 2011), sendo que no estado de São Paulo se encontram 50% desse total (cerca de 80 mil ha de seringais cultivados) (SAMPAIO, 2010).

A produção mundial de borracha natural, em 2008, foi de 9,94 milhões de toneladas, dos quais mais de 78% foram provenientes do Sudeste Asiático, em países como

a Tailândia (3,02 milhões de toneladas - 30,33% do total mundial), Indonésia (2,82 milhões de toneladas - 28,40% do total mundial), Malásia (1,08 milhões de toneladas - 10,84% do total mundial) e Índia (880 mil toneladas - 8,85% do total mundial) (IAC, 2009b). No mesmo ano, o Brasil produziu pouco mais de 122 mil toneladas (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2011), aproximadamente 1,23% da produção mundial.

Atualmente, o Brasil apresenta um consumo de 390 mil toneladas de borracha natural, porém produz pouco mais de 34,5% desse total (135 mil toneladas). Os estados que se destacam na produção da borracha natural são: São Paulo (54,5%), Mato Grosso (14,5%), Bahia (12,8%), Espírito Santo (4,3%), Goiás (3,8%), Minas Gerais (2,8%) e os outros estados colaboram com 7,3%. Fábricas de pneus demandam por 78% do consumo nacional e apresentam crescimento anual de 5% e fábricas de artefatos leves consomem os outros 22% e crescem 7% ao ano (VALLE, 2010).

### **3.2. Plantio e clones potenciais**

Gonçalves, E. (2010) recomenda que a densidade populacional para a cultura da seringueira deve ser ao redor de 500 plantas por hectare. Pereira (2008) relata que na Malásia a recomendação geral é de 300 a 400 árvores por hectare e no Camboja e Vietnã existe a recomendação experimental de aumentar de 400 para 650 plantas por hectare, aumentando o ganho econômico em 15% por unidade de área em função da exploração do látex.

Macedo et al. (2009), estudando o desenvolvimento inicial de 12 diferentes clones de seringueira na região de Paracatu - MG, relataram que aos cinco anos de idade os clones GT 1 e RRIM 600, juntamente com outros três clones, apresentam bons resultados quanto a valores de altura e circunferência, revelando a superioridade desses clones. Esses parâmetros são importantes, pois, do ponto de vista fisiológico, entende-se por árvore apta para exploração do látex aquela cujo perímetro de tronco a 1,2 m do solo seja igual ou superior a 45 cm e que possua espessura de casca igual ou superior a seis milímetros (BENESI, 2010).

Conforme comentado, a *Hevea brasiliensis* vem sendo cultivada em várias regiões do mundo, para além dos limites da zona equatorial (GONÇALVES et al., 1991). Para que essa adaptabilidade da seringueira às mais diversas condições ecológicas possa ocorrer, clones com requisitos específicos de resistência e produtividade vêm sendo desenvolvidos e cultivados em todo o mundo. A nomenclatura dos clones desenvolvidos segue um padrão, recebendo o nome da instituição onde esses foram criados, conforme segue: GT - *Gondang Tapen* (Java, Indonésia); RRIM - *Rubber Research Institute of Malaysia* (Malásia); PB - *Prang Besar* (Malásia); IAN – Instituto Agrônômico do Norte (Brasil); Fx (desenvolvido pela Companhia Ford).

No Estado de São Paulo são utilizados os clones RRIM 600, RRIM 701, GT 1, PB 235, PR 107, IAN 873, Fx 2261, Fx 3844 e Fx 3864 de forma mais comercial (GONÇALVES et al., 1991), ou seja, os mais comumente encontrados em plantações por todo o estado. Dentre estes, os clones RRIM 600 e GT 1 apresentam maior desenvoltura silvicultural e maior disponibilidade no mercado atual.

As árvores do clone GT 1 apresentam como características o caule bem vertical, podendo ou não apresentar galhos líderes na conformação da copa e, quando a formação de galhos é tardia, as árvores tendem a entortar, pois seu crescimento inicial é acelerado. Apresentam produção aproximadamente constante ao longo do ano (MORENO et al., 2003), além de serem consideradas de excelente produção de látex por Gonçalves et al. (1991).

As árvores do clone RRIM 600 são altas, com caule vertical e de rápido crescimento quando jovem. Os ramos aparecem tardiamente e formam grossas bifurcações, o que pode causar problemas à árvore na presença de vento (PRIYADARSHAN et al., 1998). O vigor, se comparado antes e após o início da sangria, é considerado médio (GONÇALVES et al., 1991). Apresenta alta produção de látex na Malásia e Costa do Marfim.

A Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo introduziu o clone RRIM 600 em 1952 pelo Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). Nas décadas de 60 e 70 houve uma grande distribuição desse clone por todo o estado e hoje, estima-se que mais de 80% da área paulista com seringais estejam plantados com árvores deste clone (GONÇALVES, P., 2010).

### 3.3. A madeira de seringueira

A seringueira está classificada entre as madeiras de coloração clara (de amarela a branca) e suas características a colocam entre as madeiras mais claras (AUTRAN e GONÇALEZ, 2006).

A madeira de seringueira remanescente de plantações, árvores que já passaram da fase de exploração do látex (aproximadamente 25-30 anos), pode ser utilizada como combustível (produção de energia), na fabricação de polpa celulósica e, com tratamento preservativo, pode ser utilizada na indústria de móveis, na fabricação de portas, janelas, fôrmas para concreto armado, vigas, colunas, tabuado, forros, caixotaria, painéis de cimento-madeira, painéis de madeira compensada, MDF (*medium density particleboard*) e OSB (*oriented strand board*) (COLLOQUIUM ON RUBBERWOOD: RESOURCES AND TECHNOLOGIES, 1998; MAY e GONÇALVES, 1999; LORENZI, 2000; TEIXEIRA et al., 2001; IAPAR, 2004; OKINO et al., 2004).

Carmo et al. (2006) afirmam que os seringais oferecem benefícios, além de sociais e econômicos, de cunho ambiental, uma vez que a espécie se apresenta como uma eficiente sequestradora de carbono. Os autores reportaram que, na Zona da Mata de Minas Gerais, as árvores de seringueira podem acumular aproximadamente 114 toneladas de carbono na biomassa da madeira e da borracha produzida por um hectare de plantação de árvores do clone IAN 873 com 20 anos de idade ou por um hectare de plantação de árvores do clone RRIM 600 com 15 anos de idade.

Apesar de ser material de potencial tecnológico com grande leque de aplicações, no Brasil é utilizado com muita frequência em aplicações de menor valor agregado, como lenha e carvão. Essa prática se estende a muitos outros países, que utilizam a madeira para fins energéticos e até residuais (BALSIGER et al., 2000; PRASERTSAN e VANAPRUK, 1998 apud MATAN e KYOKONG, 2003). Por conta dessa prática consolidada, são raros os estudos tecnológicos sistemáticos para melhor caracterização anatômica de seu lenho - presença de madeiras juvenil e adulta - e o subsequente estudo de seu desempenho físico-mecânico.

Existem algumas particularidades na madeira de seringueira que devem ser ressaltadas: na condição verde, a madeira apresenta elevado conteúdo de amido

(entre 7,53% e 10,17%, comparados com cerca de 3% nas madeiras em geral) e açúcares livres (entre 1,05% e 2,29%,). Essa situação confere à madeira susceptibilidade a uma rápida degradação por fungos e insetos (KADIR e SUDIN, 1989; KRONKA et al., [200-?]).

Lim e Sulaiman (1999) relatam que os anéis de crescimento são ausentes na madeira de *Hevea* sp. e que a presença de parênquima axial em faixas ou faixas de madeira de tração podem simular as camadas de crescimento; Ohashi et al. (2001), baseados em estudo com árvores de oito anos de idade na Malásia, relatam que é possível a determinação da idade da árvore de seringueira estudando continuamente o incremento diamétrico do tronco, uma vez que o câmbio vascular apresenta dormência entre janeiro e março, retomando o crescimento nos outros meses do ano. Ogata et al. (2001) vão mais além, relatando que as faixas mais escuras do lenho incluem o limite das camadas de crescimento.

Mathew (2003), citando outros autores como Anonymous (1956), Silva (1970), Bhat et al. (1984), Reghu (1989a) e Reghu et al. (1989a), relatou que as fibras da seringueira não apresentam septos; as fibras da espécie pertencem ao grupo de médio comprimento (de 800 a 1.800  $\mu\text{m}$ ) e apresentou o intervalo de 19  $\mu\text{m}$  a 27  $\mu\text{m}$  de diâmetro das fibras. Vilas Boas et al. (2010) encontraram valores médios de comprimento, diâmetro da fibra e diâmetro do lume das fibras da madeira de seringueira de 1.140  $\mu\text{m}$ , 19,40  $\mu\text{m}$  e 9,53  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

### **3.4. Madeira juvenil e adulta em seringueira**

A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore, de forma cilíndrica, com diâmetro aproximadamente uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore (PANSHIN e ZEEUW, 1980; ZOBEL e BUIJTENEN, 1989).

Segundo Rendle (1960 apud NASCIMENTO, 1991), a madeira juvenil é o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore (estágios iniciais da vida da árvore). Este período varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais. Essa madeira caracteriza-se anatomicamente por um progressivo aumento nas dimensões das células e correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivas camadas de crescimento.

A madeira juvenil caracteriza-se por menor densidade, maior ângulo das microfibrilas na camada S2, células mais curtas, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemiceluloses, menor conteúdo de celulose e menor resistência, em relação à madeira mais adulta (BENDTSEN, 1978; ZOBEL, 1984; SENFT et al., 1985; ROWELL et al., 2000).

Segundo Pearson et al. (1980 apud ZOBEL e BUIJTENEN, 1989), a madeira juvenil não é formada somente quando existe um rápido crescimento inicial, pois o período em que ocorrem rápidos aumentos na densidade e no comprimento das fibras independe da taxa de crescimento, estando presente em todo o tronco e em todas as alturas. Isto quer dizer que, tanto para árvores de desenvolvimento lento como rápido, na zona central do tronco, as dimensões das células estão mudando. Assim, em árvores de crescimento vagaroso, essa zona será pequena em termos volumétricos, enquanto que nas árvores de rápido desenvolvimento ela será grande em volume.

Zobel (1980 apud BALLARIN e LARA PALMA, 2003) e Bendtsen e Senft (1986) ressaltam que não há uma mudança absoluta da madeira juvenil para a madeira adulta em um ano, mas sim em vários anos. Quase todas as propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona juvenil são muito variáveis e quase constantes na madeira adulta.

De uma forma geral, a maioria dos artigos sobre madeira juvenil enfatiza que o crescimento rápido nas plantações origina a formação de madeira de qualidade inferior e que, na atualidade, é grande a proporção de madeira juvenil comercializada nos mercados, trazendo como resultado problemas de qualidade nos produtos obtidos deste tipo de matéria-prima (ZOBEL, 1984; BROWN e MCWILLIAMS, 1990).

Segundo Jankowsky (1979), Zobel (1980 apud BALLARIN e LARA PALMA, 2003) e Kraemer (1986 apud BALLARIN e LARA PALMA, 2003), o comprimento das traqueídes ou fibras constitui a principal variável na definição do limite entre a madeira adulta e juvenil. Esses elementos anatômicos são mais curtos na região de madeira juvenil que na madeira adulta e muito mais curtos perto da medula, aumentando rapidamente na zona de madeira juvenil em direção à casca. Por outro lado, no lenho adulto, as mudanças no comprimento das traqueídes ou fibras são muito pequenas. Outros autores utilizaram outros parâmetros para definir os limites dos dois tipos de lenho: Yang et al. (1986) utilizaram as

mudanças na largura dos anéis de crescimento e, recentemente, Cooper et al. (2008) analisaram imagens coloridas captadas com eletrodos de varredura (EIT) em toras com excelente desempenho na detecção de madeira juvenil.

Na definição do limite madeira juvenil-adulta a partir do comprimento das traqueídes ou fibras são usados vários métodos. Bendtsen e Senf (1986) usaram análises de regressões por partes, análises diferenciais, análises da inclinação da curva e análises visuais subjetivas; Abdel-Gadir e Krahmer (1993) aplicaram regressões segmentadas; métodos de soluções restritas e regressão segmentada foram utilizados também por Tasissa et al. (1998). Já Mutz et al. (2004) dizem que a transição entre a região juvenil e adulta é mais bem descrita por uma curva quadrática e a madeira adulta pode ser descrita por uma função linear. Ballarin e Lara Palma (2003) e Leonello et al. (2008) utilizaram regressões polinomiais representando o comportamento do comprimento das fibras ao longo do raio e representaram a região de madeira juvenil através de regressão linear.

As diferenças entre madeira juvenil e adulta nas folhosas são menores que nas coníferas. Por essa razão, a determinação de madeira juvenil em madeiras tropicais é particularmente mais difícil. Zobel (1980 apud BALLARIN e LARA PALMA, 2003) relata que o aumento no comprimento das células, da região de madeira juvenil para adulta, pode ser de três a quatro vezes para as coníferas e de 1,5 a duas vezes para as folhosas. Evans II et al. (2000) afirmam que é limitado o conhecimento disponível sobre o comportamento da madeira juvenil nas folhosas.

Estudos de madeira juvenil em seringueira são muito escassos. No entanto, Ferreira et al. (2010) determinaram que a madeira juvenil de *Hevea* sp. (árvores de 50 anos de idade provenientes de plantação no estado de São Paulo, Brasil) se encontra desde a medula até 40 a 55 mm do raio.

Existem trabalhos que relatam as características anatômicas da espécie, como é o caso de Mohamad (1998) que estudou árvores dos clones RRIM 600, PB 359 e PB 366 com 10 e 22 anos de idade; caracterizou como lenho juvenil as árvores de seringueira com 10 anos e encontrou valores de comprimento das fibras entre 1.152  $\mu\text{m}$  e 1.600  $\mu\text{m}$  no clone PB 359. Com a mesma idade encontrou valores de 25,27  $\mu\text{m}$  para diâmetro da fibra e 12,28  $\mu\text{m}$  para diâmetro do lume celular das fibras no clone RRIM 600. Nas árvores de 22 anos, considerando lenho adulto, encontrou valores de 1.248  $\mu\text{m}$  para comprimento das fibras

no clone PB 359 e 24,61  $\mu\text{m}$  para diâmetro da fibra no clone RRIM 600. O autor constatou também que o comprimento e o diâmetro da fibra aumentam no sentido medula-casca.

### **3.5. Madeira de reação em seringueira**

As árvores reagem a fatores externos que atuam sobre elas, como ventos fortes, crescimento geotrópico, cargas descentralizadas (peso da copa e galhos), formando madeira de reação nas zonas de compressão ou tração (WIEDENHOEFT, 2010).

Nas folhosas, a madeira de reação é chamada madeira de tração, pois se forma no lado em que o tecido lenhoso é solicitado quanto à força de tração. A presença desses fatores e a conseqüente formação da madeira de tração acomete a excentricidade da medula, visivelmente detectável na seção transversal do caule. Essa excentricidade, posicionamento não central da medula, origina raios de tamanhos distintos, sendo que o maior raio da seção transversal é o que apresenta a madeira de reação e o raio oposto, menor raio da seção transversal, não apresenta a madeira de reação, mas sim madeira normal.

Não só a macroestrutura da madeira de tração sofre modificações, como a formação da camada gelatinosa na parede celular das fibras, mas também suas propriedades físicas, mecânicas e químicas. A madeira de tração apresenta baixo teor de lignina e maior teor de celulose na camada gelatinosa (PANSWIN e ZEEUW, 1980), levando a um aumento na densidade da madeira (KRETSCHMANN, 2010). Esse tecido, considerado anormal, apresenta, na camada gelatinosa, inclinação das microfibrilas por volta de 45°, conferindo ao lenho maior retratibilidade longitudinal.

Na seringueira, a ocorrência de lenho ou madeira de tração é um fato muito comum, como indicam Lim e Sulaiman (1999) e Mathew (2003). Suas principais causas são a presença de ventos, desenvolvimento da arquitetura natural da copa e a inclinação do tronco das árvores em função da inclinação do terreno. Lim e Sulaiman (1999) relatam que na seringueira a madeira de tração apresenta textura e coloração diferenciada do tecido normal de lenho, e que pode ser identificada durante o processo de desdobro, pois apresenta superfície com aspecto áspero e lanoso, com sinais de que as fibras foram “rasgadas”. Outra forma de identificá-la é através da aplicação de solução química específica, colorindo os tecidos normal e de reação diferentemente. Em estudo feito na madeira normal e de reação da seringueira,

Mathew (2003) observou que as fibras do lenho normal apresentam o comprimento maior que as mesmas do lenho de tração; o inverso acontece com o diâmetro da fibra e espessura da parede celular, que são maiores no lenho de reação em relação ao lenho normal.

### **3.6. Propriedades físicas da madeira**

A avaliação do potencial tecnológico de espécies florestais com disponibilidade comercial é iniciada pela determinação de suas propriedades físico-mecânicas (BALLARIN, 2000 apud BENJAMIM, 2006).

Essas propriedades, no geral, avaliam características intrínsecas da madeira, tais como aparência, cor, densidade aparente e básica, teor de umidade ou suas reações a estímulos não-mecânicos como as alterações dimensionais por ganho ou perda de água (inchamento e retratibilidade), a reação ao calor (condutividade e difusibilidade térmica, expansão térmica e combustão), a reação à eletricidade (condutividade, constante dielétrica), por exemplo. A grande variação das propriedades físicas entre espécies (e mesmo intra-espécie) é uma das causas da grande versatilidade e variedade de uso da madeira (BENJAMIN, 2006).

Segundo Panshin e Zeeuw (1980), basicamente todas as propriedades físicas da madeira são determinadas por fatores inerentes à sua organização estrutural tais como: a quantidade de matéria da parede celular por unidade de volume, a quantidade de água presente na parede celular, a composição relativa dos componentes químicos principais na parede celular, bem como a quantidade e natureza de outros componentes presentes, o arranjo e orientação dos materiais componentes da parede na célula e nos tecidos e o tipo, tamanho, proporção e arranjo das células constituintes dos tecidos.

As propriedades físicas mais empregadas na caracterização da madeira são a densidade, o teor de umidade e as alterações dimensionais promovidas pela perda ou ganho de água, notadamente a retratibilidade. Elas dão conta da ponderação direta dos dois primeiros fatores inerentes à organização estrutural da madeira, já listados.

### 3.6.1. Densidade

Dentre todas as propriedades físicas da madeira, a densidade básica é, sem dúvida, a propriedade mais empregada para a avaliação da madeira. É de fácil determinação e apresenta uma estreita relação com a maior parte das demais características da madeira, o que a torna um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira e para outras estimativas na análise de povoamentos florestais.

Larson (1969 apud ZOBEL e BUIJTENEN, 1989), assegura que existe maior variabilidade das propriedades da madeira dentro de uma mesma árvore, do que variações entre árvores de um mesmo talhão ou de talhões distintos. Cruz et al. (2003) atesta ainda que a variação na direção radial é mais significativa que a variação longitudinal na madeira de *Eucalyptus* sp. de 5 e 10 anos de idade.

Segundo Zobel e Buijtenen (1989), existem três padrões predominantes de variação da densidade da madeira dentro de uma árvore: o primeiro padrão é decorrente das variações existentes dentro de cada camada de crescimento, diferença entre lenho inicial e lenho tardio; o segundo padrão é observado no sentido medula-casca e considera as variações existentes entre as regiões de cerne e alborno e lenho juvenil e adulto eventualmente presentes; o terceiro padrão considera a variação da densidade da madeira na direção longitudinal da árvore.

De acordo com Oliveira e Silva (2003), as variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. Ainda segundo os autores, o crescimento da densidade, nas folhosas, pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem diminuição na espessura da parede celular, leva à redução da densidade.

Panshin e Zeeuw (1980) afirmaram que, para coníferas com lenho tardio mais denso que o lenho inicial – caso geral –, considerando-se a diminuição da largura do lenho inicial no sentido medula-casca, tem-se o conseqüente aumento da densidade da madeira nesse sentido considerado. Ainda segundo os autores, as folhosas apresentam muito menos consistência nos padrões gerais de variação da densidade no sentido medula-casca.

Para eles, as variações da densidade estão associadas diretamente aos diâmetros, padrões de distribuição e volume relativo dos vasos.

Tomazello Filho (1985, 1987) verificou que a densidade básica da madeira de *E. saligna*, *E. grandis*, *E. pellita* e *E. acmenioides*, com 10 anos de idade, aumentou no sentido medula-casca; contudo, para as árvores de *E. globulus* de mesma idade, a densidade básica diminuiu após 50% do raio. Há, de fato, uma grande relação de autores que atestaram em seus estudos o aumento da densidade da madeira no sentido medula-casca. Escobar et al. (2010) confirmam esse padrão de variação, pois estudando a densidade básica da madeira de seringueira, de árvores com 30 anos de idade, encontraram aumento dessa propriedade no sentido medula-casca.

Apesar do aumento da densidade básica no sentido medula-casca ser o modelo de variação mais freqüente para as madeiras, pesquisadores têm observado, também, variantes a esse comportamento geral, como se constata na compilação de trabalhos de Zobel e Buijtenen (1989) feita por Benjamin (2006) (Tabela 1).

Tabela 1. Comportamentos variados da densidade básica da madeira de diferentes espécies de árvores no sentido medula-casca

<b>Espécie</b>	<b>Comportamento da densidade básica no sentido medula-casca</b>
<i>E. alba</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Apresenta valores constantes</u> (FERRAZ, 1983) – árvores com 9 anos de idade.</li> </ul>
<i>E. grandis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Apresenta pequeno aumento</u> (Ferraz, 1983) – árvores com 9 anos de idade;</li> <li>• <u>Inicialmente diminui e, posteriormente, aumenta</u> (TAYLOR, 1973a) – árvores com 14 anos de idade;</li> <li>• <u>Aumenta</u> (FERREIRA, 1972) – árvores com 11 a 16 anos de idade; (BRASIL et al., 1979) – árvores com 3 anos de idade;</li> <li>• <u>Diminui nas proximidades da medula com posterior aumento, na altura do peito</u>; a uma altura de 10,7 m, a densidade básica não sofre grandes alterações com o distanciamento da medula e a 22,9 m há uma diminuição da densidade básica no sentido medula-casca (TAYLOR, 1973b) – árvores com 18 anos de idade;</li> <li>• <u>Diminui</u> (BAMBER et al., 1982) – árvores de crescimento lento, com 2,5 anos de idade.</li> </ul>
<i>E. saligna</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A densidade básica teve um grande aumento (Ferraz, 1983) – árvores com 9 anos de idade.</li> </ul>

Fonte: Zobel e Buijtenen (1989 apud BENJAMIN, 2006), modificada pelo autor

Zhou et al. (2007) e Monteiro et al. (2010) relatam a densidade básica da madeira da seringueira variando de 450 kg/m<sup>3</sup> a 550 kg/m<sup>3</sup>; Matan e Kyokong (2003) determinaram a densidade básica da madeira jovem da região do cerne de seringueira de 25-30 anos entre os valores de 520 kg/m<sup>3</sup> e 580 kg/m<sup>3</sup> na Tailândia; Santana et al. (2001) determinaram a densidade básica da madeira dos clones IAN 873, IAN 717, AVROS 1301 e GT 711 entre os valores 470 kg/m<sup>3</sup> e 510 kg/m<sup>3</sup> no estado da Bahia, Brasil; com relação à densidade aparente, Haridasan (1989) e Balsiger et al. (2000) determinaram-na entre os valores 560 kg/m<sup>3</sup> e 650 kg/m<sup>3</sup> e Matan e Kyokong (2003) determinaram-na (madeira jovem da região do cerne de seringueira de 25-30 anos na Tailândia) entre os valores de 584 kg/m<sup>3</sup> a 644 kg/m<sup>3</sup> - a 12% de umidade.

### 3.6.2. Estabilidade dimensional

Todo material higroscópico, como a madeira e vários outros materiais celulósicos, apresenta contração quando o seu teor de umidade do ponto de saturação das fibras (PSF) é reduzido até a condição absolutamente seca ou anidra. A contração e a expansão higroscópica da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade. Oliveira e Silva (2003) citam que a magnitude das variações dimensionais depende de inúmeros fatores, como o teor de umidade, a direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), a posição dentro da árvore, a densidade da madeira, a temperatura, o grau de estresse de secagem causada pelo gradiente de umidade, entre outros.

A madeira juvenil, por apresentar, dentre suas características, maior inclinação das microfibrilas na camada S2 da parede celular, implica em maior retratibilidade na direção longitudinal e, conseqüentemente, menores retrações na direção radial e tangencial. Ballarin e Lara Palma (2003) reportaram esse comportamento em estudo feito em *Pinus taeda* de 37 anos de idade.

Há um desequilíbrio entre as variações dimensionais na direção tangencial e radial. Esse desbalanceamento é chamado de índice de anisotropia e, numericamente, se caracteriza pela relação entre as duas propriedades, respectivamente. Esse índice é importante no que diz respeito à utilização da madeira, pois dá uma idéia do

comportamento da mesma, em relação à secagem, indicando maior ou menor propensão de as peças fendilharem (OLIVEIRA et al., 2010). Nock et al. (1975 apud LOGSDON e PENNA, 2004) sugerem a classificação da qualidade e uso indicado para a madeira em função do índice de anisotropia, conforme explicitado na Tabela 2.

Tabela 2. Índice de anisotropia, qualidade e uso da madeira

<b>Índice de anisotropia</b>	<b>Qualidade da madeira</b>	<b>Utilização indicada para a madeira</b>
1,2 a 1,5	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte e etc.
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha e etc.

Fonte: Nock et al. (1975 apud LOGSDON e PENNA, 2004)

Santana et al. (2001) encontraram valores de retratibilidade em quatro diferentes clones de *Hevea brasiliensis* (IAN 873, IAN 717, AVROS 1301 e GT 711, de aproximadamente 40 anos de idade) entre 5,0% e 5,6% na direção tangencial, entre 1,8% e 2,4% na direção radial e 7,4% e 7,5% como retratibilidade volumétrica. Matan e Kyokong (2003) observaram retrações volumétricas variando entre 6,4% e 10,0% na região de lenho mais próximo à medula de árvores de seringueira de 25 a 30 anos de idade.

Santana et al. (2001) determinaram o índice de anisotropia entre 2,2 e 3,3 e classificaram a madeira de seringueira como moderadamente estável. Batista et al. (2010) reportaram o índice de anisotropia de 2,06 para *Eucalyptus saligna*, 2,05 para *Eucalyptus grandis* e 2,36 para *Eucalyptus dunnii*, de 11 anos de idade no estado do Paraná.

### **3.7. Propriedades mecânicas da madeira**

As propriedades mecânicas avaliam a aptidão da madeira em suportar as solicitações mecânicas. São avaliadas em duas direções principais: paralela e normal às fibras, e normalmente mensuradas considerando-se a resistência (aptidão em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas) e a rigidez (avaliada pelo módulo de elasticidade),

que reporta a proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear.

Universalmente é aceito que a resistência da madeira na direção normal às fibras é menor que a observada na direção paralela, com valores por volta de 25% dos observados nessa última direção, no caso de ensaio à compressão. Similarmente, a rigidez da madeira na direção normal às fibras tem valores na faixa de 5% a 8% daquela na direção paralela às fibras (BODIG e JAYNE, 1993).

Na Tabela 3 são apresentados valores médios das principais propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies nativas e de florestamento que apresentam densidade aparente próxima à da seringueira.

São relativamente poucos os trabalhos encontrados na bibliografia nacional reportando a variação das propriedades mecânicas entre e dentro das árvores, considerando as folhosas. No geral, os trabalhos divulgam observações qualitativas sobre o comportamento mecânico da madeira.

Cruz et al. (2003) apresentaram, assim como para as propriedades físicas, que as propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* sp. (5 e 10 anos de idade) apresentam maiores variações no sentido medula-casca do que no sentido base-topo.

Bodig e Jayne (1993) afirmam que as propriedades mecânicas da madeira têm correlação positiva com a densidade. Dias e Lahr (2004) indicam ajuste adequado ao modelo de potência para a relação entre a densidade aparente e algumas propriedades mecânicas (resistência à compressão e tração paralela às fibras, resistência ao cisalhamento, resistência no ensaio de flexão estática, módulo de elasticidade na compressão, na tração paralela às fibras e na flexão estática, além de dureza, normal e paralela às fibras, e tenacidade).

### **3.7.1. Compressão paralela às fibras**

Dentre as propriedades mecânicas mensuradas na madeira a compressão paralela às fibras é, no enfoque nacional, a propriedade de maior importância. Ela tem boa correlação com quase todas as demais propriedades mecânicas da madeira e é o parâmetro balizador na classificação estrutural desse material.

Tabela 3. Valores médios das principais propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies de nativas e de florestamento

Nome popular e científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$f_{c0}$ (MPa)	$f_{t0}$ (MPa)	$f_{t90}$ (MPa)	$f_v$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)	n
E. Grandis ( <i>Eucalyptus grandis</i> )	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12. 813	103
Quarubarana ( <i>Erisma uncinatum</i> )	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9.067	11
Cedro doce ( <i>Cedrella</i> spp)	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8.058	10
Cafearana ( <i>Andira</i> spp)	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14.098	11
Angelim pedra ( <i>Hymenolobium petraeum</i> )	694	59,8	75,5	3,5	8,8	15.255	15
Pinho do Paraná ( <i>Araucaria angustifolia</i> )	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15.225	15
Pinus taeda ( <i>Pinus taeda</i> L.)	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13.304	15

As propriedades de resistência e rigidez foram determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo

$\rho_{ap(12\%)}$  = massa específica aparente a 12% de umidade

$f_{c0}$  = resistência à compressão paralela às fibras

$f_{t0}$  = resistência à tração paralela às fibras

$f_{t90}$  = resistência à tração normal às fibras

$f_v$  = resistência ao cisalhamento

$E_{c0}$  = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

n = número de corpos de prova ensaiados

Fonte: NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), modificada pelo autor

Santana et al. (2001), em estudo da madeira de quatro clones de *H. brasiliensis* observaram resistência à compressão paralela às fibras variando de 41,7 MPa a 43,3 MPa, conforme detalhado na Tabela 4. Matan e Kyokong (2003) relataram valores de 39 MPa em árvores de 25 a 30 anos de idade na Tailândia. Hong (1996) cita que Lee et al. (1965) encontraram o valor de 32,2 MPa e Lim et al. (2003) citam o valor de 25,9 MPa para a mesma resistência determinada em madeira seca ao ar ( $U = 17,2\%$ ).

Tabela 4. Resistência à compressão paralela às fibras a 12% de umidade de quatro clones de *H. brasiliensis*

Clones	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)
AV1301	43,3a
GT711	42,4a
IAN717	42,0a
IAN873	41,7a

Em uma mesma coluna, médias seguidas de, pelo menos, uma letra igual, não diferem significativamente em nível de 95% de probabilidade

Fonte: Santana et al. (2001), modificado pelo autor

### 3.7.2. Flexão estática

O ensaio de flexão estática é especificado na série normal de caracterização de madeiras pela grande maioria dos códigos normativos internacionais. Apesar de se constituir em um ensaio de determinação “impura” da resistência da madeira, apresenta como vantagem a facilidade de execução e é empregado nas máquinas de classificação MSR (*Machine Stress Rating*). Por essas razões, é utilizado na inferência comparativa da “qualidade” da madeira, sobretudo em condições de campo.

Santana et al. (2001), no estudo já relatado, reportaram módulos de elasticidade à flexão bastante baixos, variando de 1,1 GPa a 1,3 GPa e resistência à flexão variando de 81,5 MPa a 96,9 MPa para a madeira de seringueira, como mostra a Tabela 5. Lee et al. (1979 apud Lim et al., 2003) encontraram os valores de 66 MPa e 9.240 MPa (9,2 GPa) para MOR (módulo de ruptura à flexão estática) e MOE (módulo de elasticidade à flexão estática), respectivamente.

Tabela 5. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade de quatro clones de seringueira no ensaio de flexão estática

Clones	Módulo de Ruptura (MPa)	Clones	Módulo de Elasticidade (GPa)
IAN873	96,9a	IAN873	1,3a
GT711	87,5a	IAN717	1,2a
IAN717	84,8a	GT711	1,1a
AV1301	81,5a	AV1301	1,1a

Em uma mesma coluna, médias seguidas de, pelo menos, uma letra igual, não diferem significativamente em nível de 95% de probabilidade

Fonte: Santana et al. (2001), modificado pelo autor

### 3.7.3. Dureza Janka

Na avaliação de madeiras para diversos usos, a dureza Janka evidencia-se, também, como propriedade de interesse e fácil mensuração em condições de campo. Embora, para alguns autores seja considerada uma propriedade mecânica sem aplicação imediata ou direta dos seus resultados, subsiste como propriedade de real importância na caracterização mecânica de madeiras por ser importante parâmetro de comparação entre espécies (ROCHA, 2003).

Valores encontrados por Santana et al. (2001) para a madeira de seringueira, tanto na direção paralela quanto normal às fibras, a 12% de umidade, no ensaio de dureza Janka, variam entre 1.960 N e 5.370 N, demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de dureza Janka em quatro clones de *Hevea brasiliensis*

Clones	Paralela às fibras (N)	Clones	Transversal às fibras (N)
AV1301	5.370a	IAN717	3.360a
IAN717	5.000a	GT711	2.240a
GT711	4.840a	AV1301	2.140a
IAN873	2120b	IAN873	1.960a

Em uma mesma coluna, médias seguidas de, pelo menos, uma letra igual, não diferem significativamente em nível de 95% de probabilidade

Fonte: Santana et al. (2001), modificado pelo autor

Lee et al. (1979 citado por LIM et al., 2003) encontraram valor de dureza para madeira de seringueira úmida de 3.030 N e para a madeira seca ao ar de 4.320 N.

### 3.8. Seca do painel de sangria da seringueira

Na região Amazônica, as árvores de seringueira nativas estão dispersas umas das outras. Dessa forma convivem endemicamente com potenciais pragas e doenças. Quando adensadas em plantios, as árvores ficam mais susceptíveis ao ataque desses agentes patogênicos, como por exemplo, o fungo *Mycrocyclus ulei* causador da doença conhecida como mal das folhas (GONÇALVES e MARQUES, 2008).

O mal das folhas apresenta incidência elevada na região Amazônica devido ao clima e à fenologia das árvores, que são favoráveis ao desenvolvimento do fungo que a causa. O sintoma mais grave da doença é a desfolha da copa, resultando na diminuição drástica da produção de látex, chegando à inviabilização da exploração do mesmo. Entretanto, existem as regiões denominadas “áreas de escape”, com características climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento do fungo *M. ulei* e com as árvores de seringueira apresentando o hábito decíduo, o que protege a planta contra ataques de fungos endêmicos das folhas (FURTADO et al., 2008).

Fatores abióticos podem também representar riscos para a produção de látex, na seringueira. Pinheiro e Pinheiro (2008) relatam que a seringueira, cultivada em regiões onde há falta de chuva, sofre estresse hídrico, o que influencia sua fenologia, interfere no crescimento das plantas e na produção do látex e predispõe as árvores à maior incidência do distúrbio fisiológico seca de painel de sangria (“*brown bast*” ou, mais recentemente denominado “*tapping panel dryness*”). Os autores reforçam ainda que somente as árvores em sangria apresentam essa doença e que ela está muito ligada à intensidade de sangria e à aplicação intensiva de estimulantes de produção.

O mecanismo de atuação da doença não é bem conhecido, porém pesquisadores têm reportado variações interclonais no que diz respeito à propensão ao distúrbio. Esses estudiosos afirmam, ainda, que plantações feitas com o uso de pés-francos são mais suscetíveis à seca do painel de sangria do que os seringais tecnicamente implantados com mudas enxertadas (BERNARDES et al., 1995; RUBBER BOARD, 2002; GONÇALVES e MARQUES, 2008).

As árvores inicialmente atingidas pela doença apresentam fluxo prolongado de látex aquoso, com tendência ao secamento total do látex. Bernardes et al.

(1995) e Beteloni et al. (2010) indicam que a doença pode ser notada em árvores com a presença de fissuras na casca. Primeiramente ocorre a fissura da casca próxima ao solo, em seguida as rachaduras vão subindo em direção ao painel de sangria e, em casos mais avançados, nota-se o completo comprometimento do painel, inutilizando a exploração de látex da planta.

RUBBER BOARD (2002) relata que o envolvimento de agentes patogênicos em alguns tipos de seca do painel de sangria parece ser uma possibilidade, pois investigações mostraram que uma vez que uma árvore mostre sintomas da doença, pode facilmente desenvolver este transtorno em outro painel de sangria. Esse fato indica que sua incidência não é um fenômeno local na casca da árvore, revelando o envolvimento de um patógeno ou a susceptibilidade intrínseca da árvore para o distúrbio fisiológico com qualquer envolvimento de um patógeno. Bernardes et al. (1995) afirmam, ainda, que a incidência da doença não obedece uma distribuição casualizada no seringal, tendendo a afetar árvores agrupadas, outro indício da possibilidade do envolvimento de um fator biótico particular em alguns casos.

Beteloni et al. (2009, 2010) encontraram fortes evidências da relação entre a presença do fungo *Fusarium moniliforme* e queda gradual na produção de látex em consequência do aparecimento de rachaduras no painel de sangria da seringueira, sintoma comumente associado à seca do painel de sangria.

O gênero *Fusarium* é um dos mais importantes gêneros de fungos existentes, pois apresenta grande diversidade de espécies e ampla distribuição geográfica, com ocorrência em todo o globo terrestre. Algumas espécies são particularmente comuns no solo, onde podem persistir sob a forma de estruturas de resistência, denominadas clamidósporos ou, como hifas (VENTURA, 1999 apud MENEZES, 2009), como é o caso do *Fusarium moniliforme*.

O fungo *Fusarium moniliforme* coloniza o tecido poroso da casca das árvores de seringueira, atingindo os vasos laticíferos e o floema em busca de recursos nutricionais. Como fungo de solo, ele inicia seu ataque na casca da região basal da árvore (mais próxima ao solo), subindo em direção ao painel de sangria. Conforme os tecidos da casca vão sendo atacados surgem trincas e rachaduras na mesma. Em condições de ataque severo, pode alcançar o tecido meristemático (câmbio vascular); nessa situação, esse tecido

apresenta os mesmos sintomas que o ataque à casca, porém, as células cambiais não se recompõem, originando um crescimento anormal no lenho. Assim, pode-se visualizar, em corte transversal do tronco, a perda da forma cilíndrica da árvore, com a presença de reentrâncias e saliências, onde houve a infecção e morte do tecido cambial, caracterizadas pela não formação de xilema e pela formação do floema nas regiões ao redor da região danificada (comunicação pessoal)<sup>1</sup>.

Nesse sentido, o *F. moniliforme* apresenta área de atuação na região externa do tronco. Indiretamente, seu ataque provoca defeitos no crescimento normal da madeira e, principalmente, quando ataca a casca e o câmbio vascular, abre-se uma porta de entrada para outros patógenos, que podem, diretamente, afetar a madeira.

Levantamentos realizados no estado de São Paulo, por Beteloni et al. (2010), revelam plantios de seringueira com 40% das árvores apresentando os sintomas de seca do painel de sangria. Na Tabela 7, Pinheiro e Pinheiro (2008) apresentam a incidência dessa doença em diferentes clones cultivados comercialmente pela Codeara (Companhia de Desenvolvimento do Araguaia) relacionando, em valores percentuais, as plantas afetadas com a população de cada clone. Sem detalhar a idade dos plantios, os autores inferem duas importantes conclusões, que existe grande variação de comportamento dos diversos clones quanto à sensibilidade à seca do painel de sangria e que os híbridos interespecíficos *H. brasiliensis* x *H. benthamiana* (Fx 3899, IAN 717, Fx 3810 e IAN 3087) foram muito mais sensíveis à doença. Dessa forma nota-se a importância dessa doença nos seringais e a necessidade crescente de estudos tanto relacionados à sua prevenção e cura quanto às consequências na produção de látex e de madeira.

---

<sup>1</sup> Comunicação pessoal do Prof. Edson Luiz Furtado, da Disciplina de Patologia Florestal, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp de Botucatu em março de 2011.

Tabela 7. Incidência de seca do painel de sangria no seringal comercial de Codeara em 1998

<b>Clone</b>	<b>Plantas em produção</b>	<b>Plantas afetadas</b>	<b>% de plantas afetadas</b>
Fx 3899	21.521	6.754	31,4
IAN 717	37.290	8.285	22,2
Fx 3810	5.801	1.023	17,6
IAN 3087	8.430	1.086	12,9
PB 252	4.308	166	3,9
RRIM 600	28.203	976	3,5
GT 1	5.319	167	3,1
PB 235	21.139	603	2,9
RRIM 701	18.428	417	2,3
IAN 873	39.421	672	1,7

Fonte: Pinheiro e Pinheiro (2008)

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Seleção dos clones e características das plantações**

Para este estudo foram selecionados os clones RRIM 600 e GT 1, considerando suas importâncias comerciais, por apresentarem características desejáveis ao estudo (três condições distintas de sanidade das árvores de seringueira) e por serem encontrados em plantios no estado de São Paulo com idade igual ou superior a 20 anos.

As árvores do clone RRIM 600, de aproximadamente 29 anos de idade, foram retiradas de plantação na cidade de Macaubal, SP. A propriedade está localizada nas coordenadas geográficas 20°44' S e 49°56' W. A plantação fora manejada visando unicamente à exploração de látex, e, na época do abate, apresentava espaçamento aproximado de 4 m x 3 m x 12 m, resultando em uma densidade de 270 árvores por hectare.

As árvores do clone GT 1, com 20 anos de idade, foram coletadas da propriedade Santa Terezinha, localizada na Estrada Itajobi-Pindorama, km 5, no município de Itajobi, SP, nas coordenadas geográficas 21°18' S e 49°01' W. A plantação apresentava espaçamento de 2,5 m x 8 m, com 500 árvores por hectare. Ambas as localidades são próximas a São José do Rio Preto, SP e apresentam temperatura média anual de 23,5°C e precipitação anual de, aproximadamente, 1.240 mm.

Para satisfazer aos objetivos do trabalho, três condições de sanidade das árvores foram selecionadas: árvores com produção normal de látex e árvores que

apresentavam seca do painel de sangria por origem fisiológica (abiótica) e por origem patológica (biótica). A diferenciação entre as árvores saudáveis e doentes e a diferenciação entre as doenças foi realizada por grupo de especialistas da área de fitopatologia, que acompanhou a identificação das árvores em campo. A presença do patógeno nas árvores que apresentavam seca do painel de sangria foi confirmada e estudada detalhadamente no Laboratório de Patologia Florestal da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, no projeto intitulado: “Estudos de patógenos associados ao painel de sangria da seringueira, resistência clonal e alterações nas propriedades físico-mecânicas da madeira”.

Em campo, as diferentes condições de sanidade foram definidas pela observação de características no tronco das árvores. As árvores saudáveis apresentavam escoamento normal de látex após incisão na casca (Figura 1a). As árvores que apresentavam pouco ou nenhum escoamento de látex após corte na casca, e o látex, eventualmente escoado, apresentava textura “aguada”, foram classificadas como “seca do painel de sangria por origem fisiológica/abiótica” (Figura 1b). A condição de sanidade que considera a “seca do painel de sangria por origem patológica/biótica” foi caracterizada pela presença dos sintomas da seca do painel de sangria, porém com rachaduras na casca (considerado sintoma da presença do *Fusarium* sp.) (Figura 1c). Ao longo deste trabalho, as três condições de sanidade são denominadas, respectivamente, como X, F e P.

Nos dois plantios não foi possível resgatar a idade das árvores quando do aparecimento da seca do painel de sangria.

#### **4.2. Seleção, corte das árvores e coleta das amostras**

De cada clone foram escolhidas seis árvores em cada uma das três condições de sanidade, totalizando 18 árvores para cada um dos clones. Buscou-se a seleção das árvores com maior diâmetro, ou seja, árvores representantes do extrato superior da classe diamétrica da população, visando à possibilidade de se retirar a maior quantidade de corpos de prova na direção radial do tronco, uma vez que um dos objetivos do trabalho é a caracterização da variação das propriedades físico-mecânicas nessa direção. No entanto, não foram observadas a forma, o aspecto retilíneo e a inclinação dos fustes, o que acarretou, durante o processo de desdobro e retirada dos corpos de prova, alguns inconvenientes como a

excentricidade da medula, presença de lenho de reação e a limitação do número de corpos de prova.



Figura 1. Aspectos do tronco de seringueira em distintas condições de sanidade: (a) - painel de sangria da seringueira sadia com produção normal de látex - condição de sanidade X; (b) - incisão na casca do tronco da seringueira com sintoma de seca do painel de sangria – produção baixa de látex que tem aspecto “aguado” - condição de sanidade F; (c) - tronco da árvore de seringueira com presença de rachaduras e sem produção de látex - condição de sanidade P

Os dados de DAP e altura total das árvores selecionadas são apresentados na Tabela 8. Algumas árvores ficaram parcialmente presas nas copas de outras árvores próximas no momento do abate; dessa forma, foi impossível a medição da altura total dessas árvores com o equipamento disponível (trena).

O teste de comparação de médias mostrou que as árvores sadias apresentaram maior DAP e as alturas totais são semelhantes em todas as condições de sanidade, para os dois clones estudados.

De cada árvore foi aproveitada uma tora de 2,5 m de comprimento a partir da base. A Figura 2 ilustra etapas do processo de abate da árvore e seu transporte para fora do talhão.

O desdobro primário das toras foi realizado na Indústria de Compensados Caribeia S.A., localizada em São Manuel – SP. Cada tora de 2,5 m foi desdobrada em uma tora menor, de 1,3 m de altura, na região basal do tronco, imediatamente abaixo do DAP. A partir do topo dessas toras (posição referente ao DAP da árvore) foi retirado um disco de 30 mm para avaliação da densidade básica da madeira (Disco A).

Tabela 8. Dados de DAP e altura total de cada uma das seis árvores de cada condição de sanidade de cada um dos clones estudados

Condição de Sanidade		X			P			F		
Clone	Árvore	DAP (mm)	Altura (m)	Árvore	DAP (mm)	Altura (m)	Árvore	DAP (mm)	Altura (m)	
RRIM 600	1	379	21,5	1	277	*	1	344	*	
	2	404	21,6	2	312	*	2	258	*	
	3	404	*	3	293	*	3	366	19,0	
	4	372	19,5	4	398	20,0	4	347	21,0	
	5	474	18,3	5	341	19,0	5	312	12,5	
	6	388	21,7	6	465	19,4	6	293	*	
		<b>Média</b>	404	20,5	<b>Média</b>	347	19,5	<b>Média</b>	320	17,5
	<b>DesvPad</b>	37	1,5	<b>DesvPad</b>	72	0,5	<b>DesvPad</b>	40	4,4	
	<b>CV (%)</b>	9,15	7,51	<b>CV (%)</b>	20,58	2,59	<b>CV (%)</b>	12,57	25,39	
GT 1	1	293	23,0	1	286	20,8	1	306	17,5	
	2	277	18,2	2	271	21,7	2	267	18,0	
	3	315	19,7	3	264	18,2	3	280	18,0	
	4	318	26,5	4	258	20,8	4	261	16,5	
	5	318	20,6	5	245	19,5	5	312	18,8	
	6	277	19,5	6	274	20,2	6	251	20,2	
		<b>Média</b>	300	21,3	<b>Média</b>	266	20,2	<b>Média</b>	280	18,2
	<b>DesvPad</b>	20	3,0	<b>DesvPad</b>	14	1,2	<b>DesvPad</b>	25	1,3	
	<b>CV (%)</b>	6,70	14,24	<b>CV (%)</b>	5,33	6,05	<b>CV (%)</b>	8,77	6,88	

X = árvores com produção normal de látex

P = árvores com presença da doença seca do painel de sangria com sintomas de origem patológica/biótica

F = árvores com presença da doença seca do painel de sangria com sintomas de origem fisiológica/abiótica

\* = altura das árvores que não foi coletada por dificuldades oriundas do momento do abate

A parte restante dessa tora foi desdobrada em um pranchão de 80 mm de espessura, tomando-se cuidado para que ele contivesse a medula (Figura 3).

Do topo do pranchão central, conforme ilustrado na Figura 4, foram retiradas duas faixas diamétrais com 30 mm de espessura cada (Faixa B e C). A Faixa B foi reservada para realização dos ensaios de densitometria de raios-X e a Faixa C, exclusiva das árvores sadias, foi utilizada nas medições anatômicas. Foi ainda retirada uma faixa diametral de 70 mm (Faixa D) logo abaixo das faixas anteriores, reservada para realização dos ensaios de dureza Janka.

Do pranchão restante, com cerca de 1,0 m de comprimento, foram serrados caibros com seção transversal de (35 x 35) mm<sup>2</sup>, ao longo do diâmetro da tora (largura do pranchão), partindo-se da medula para as extremidades, conforme ilustrado na Figura 5, de onde os corpos de prova “E”, “F” e “G” foram posteriormente desdobrados. Para

que toda a medula fosse eliminada, descartaram-se 15 mm de madeira, de cada raio a partir do centro da medula, em todos os pranchões. Os caibros foram serrados paralelamente ao eixo medular da árvore.

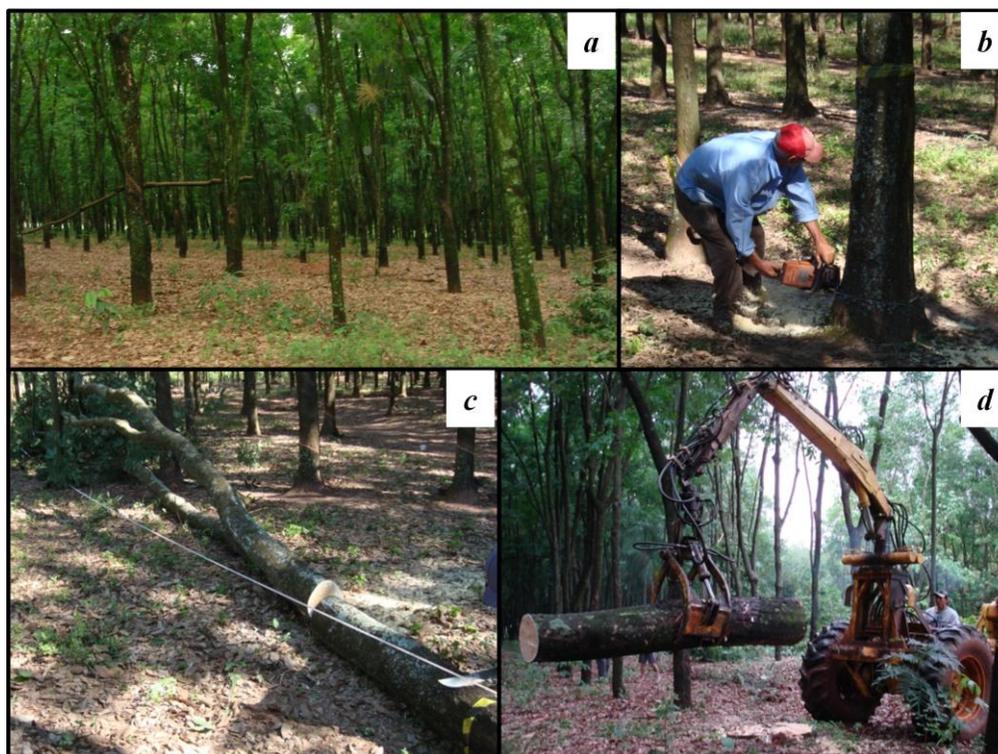


Figura 2. (a) - Aspecto geral do plantio de árvores do clone RRIM 600; (b) - abate das árvores; (c) - mensuração da altura das árvores; (d) - transporte das toras para fora do talhão



Figura 3. (a) - Linhas de corte na seção transversal no topo da tora; (b) - desdobro da tora em pranchão contendo a medula da árvore

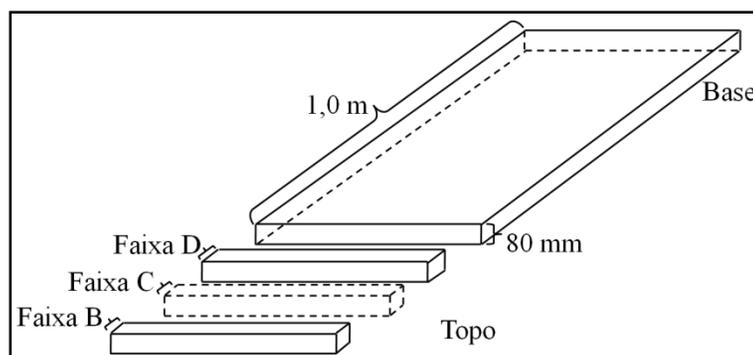


Figura 4. Faixas diametrais utilizadas em diversas análises

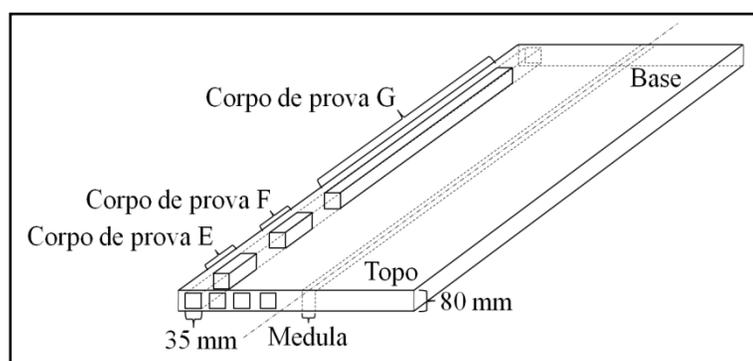


Figura 5. Esquema da retirada dos corpos de prova dos ensaios físico-mecânicos

Constatou-se a diferença dos comprimentos dos raios, com desbalanceamento dos raios opostos. Esse fato, que pode caracterizar a presença de lenho de reação (lenho de tração no raio maior e lenho oposto no raio menor) para as folhosas, exigiu uma sistematização nos procedimentos. Assumiu-se, tanto quanto possível, que o maior dos raios (com probabilidade de ocorrência de lenho de tração) seria sempre o raio 2 (R2) e, conseqüentemente, o menor raio seria o raio 1 (R1). A seleção dos raios, portanto, foi feita em função do topo do pranchão central inicialmente desdobrado, de onde todos os corpos de prova, discos e faixas de madeira foram retirados, mas como o fuste apresentava grande irregularidade de forma, como mostra a Figura 6, em algumas posições do tronco, o R2 se apresentava menor que o R1.



Figura 6. Detalhe da tortuosidade do fuste, observado em grande parte das árvores de seringueira

Na Tabela 9 são apresentados os comprimentos dos raios (raio 1 – R1 e raio 2 – R2) e a relação entre os raios de cada árvore.

Para facilitar a referência às condições de sanidade, árvore e raio, é sistematicamente adotada aqui a terminologia típica: clone – condição de sanidade – árvore – raio. Assim, por exemplo, a terminologia GT1–X–6–R1 refere-se ao clone GT 1, condição de sanidade sadia (X), árvore 6, raio 1 (R1).

Tabela 9. Comprimento dos raios 1 e 2 (R1 e R2) e a relação entre eles para cada uma das 36 árvores estudadas

Clone GT 1					Clone RRIM 600				
Sanidade	Árvore	Raio 1 (R1)	Raio 2 (R2)	Relação R2/R1	Sanidade	Árvore	Raio 1 (R1)	Raio 2 (R2)	Relação R2/R1
X	1	13,25	13,40	1,01	X	1	15,75	17,54	1,11
	2	10,92	12,38	1,13		2	17,82	16,66	0,93
	3	13,29	14,64	1,10		3	18,24	16,45	0,90
	4	10,29	12,84	1,25		4	17,09	16,02	0,94
	5	12,30	16,95	1,38		5	17,10	25,56	1,49
	6	10,69	13,05	1,22		6	17,84	15,59	0,87
F	1	11,38	13,49	1,19	F	1	13,34	15,59	1,17
	2	10,99	11,47	1,04		2	10,03	12,06	1,20
	3	12,13	11,46	0,94		3	13,87	14,14	1,02
	4	9,90	11,65	1,18		4	14,48	17,20	1,19
	5	11,34	13,93	1,23		5	12,07	13,88	1,15
	6	9,07	11,56	1,27		6	11,79	12,32	1,04
P	1	10,56	12,89	1,22	P	1	10,46	15,20	1,45
	2	11,52	10,58	0,92		2	10,10	13,48	1,33
	3	9,78	11,66	1,19		3	12,39	13,23	1,07
	4	10,62	10,86	1,02		4	17,11	18,32	1,07
	5	10,48	10,66	1,02		5	16,14	13,58	0,84
	6	10,12	13,13	1,30		6	22,46	17,25	0,77

Pela relação  $R2/R1$ , observa-se que as árvores GT1-X-5, GT1-P-6, RRIM600-X-5 e RRIM600-P-1 foram as que apresentaram maior desbalanceamento entre os raios; o mesmo parâmetro, quando menor que um, indica que o R2 foi menor, em comprimento, que o R1, como no caso das árvores GT1-F-3, GT1-P-2, RRIM600-X-2, RRIM600-X-3, RRIM600-X-4, RRIM600-X-6, RRIM600-P-5 e RRIM600-X-6.

O número de caibros extraídos do pranchão variou em função do diâmetro das toras obtendo-se de cinco a 10 caibros, respectivamente para as toras de menor e maior diâmetro.

Os caibros foram levados para câmara de climatização, onde se mantiveram em condições de umidade relativa do ar de 65% e temperatura de 20 °C, até atingir umidade de equilíbrio próxima de 12%, de tal forma que deles pudessem ser desdobrados os corpos de prova, em suas dimensões finais, sem que sofressem retrações adicionais significativas.

Com esse esquema de amostragem dos corpos de prova pretendia-se avaliar a variação radial das propriedades físico-mecânicas.

### **4.3. Delimitação entre madeira juvenil e adulta**

A delimitação entre madeira juvenil e adulta foi realizada a partir da mensuração do comprimento das fibras.

As análises anatômicas do lenho foram realizadas a partir de material (Faixa C, Figura 5) de três árvores sadias escolhidos ao acaso de cada um dos clones (RRIM 600 e GT 1). De cada faixa foi retirada uma bagueta na direção radial, contendo a medula, com aproximadamente 10 mm de largura (Figura 7) e, a partir da medula em direção à casca foram retiradas amostras a cada 10 mm, em um dos raios, sendo selecionado sempre o maior raio.

Para a dissociação das células foram retirados pequenos “palitos” de cada amostra, que foram colocados em frascos de vidro contendo solução de ácido acético glacial e água oxigenada 30 volumes, na proporção 1:1 (FRANKLIN, 1945). Cada frasco foi vedado e levado à estufa a 60 °C por cerca de 20 horas, ou até que a solução se apresentasse

transparente e os palitos esbranquiçados. Depois de resfriado à temperatura ambiente, o material foi cuidadosamente lavado em água corrente.

Para a montagem de lâminas semipermanentes, o material foi corado com safranina 1% em etanol 50%. Foram montadas cinco lâminas de cada amostra, utilizando-se uma pequena parte do material (fibras dissociadas) e glicerina. Os dados para as análises quantitativas foram obtidos a partir da medição do comprimento de seis fibras por lâmina, conforme as técnicas usuais descritas por INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (1989) e Coradin e Muniz (1992).

As medições foram realizadas em equipamento de análise de imagens, composto de microscópio trinocular marca Carl Zeiss, acoplado a uma câmera digital de alta resolução marca AxioCam MRc Color. Foi utilizado o software de análise de imagem Axio Vision 3.0 para aquisição e diagnóstico das imagens.

A seringueira, mesmo sendo uma folhosa, apresenta visivelmente os anéis de crescimento (Figura 8). A partir da medição e contagem desses anéis, portanto verifica-se a idade da árvore na altura do tronco em que o material foi retirado. É possível, assim, a correlação entre as posições, na direção radial, e a idade da árvore nessas respectivas posições.

#### **4.4. Ensaio físicos**

##### **4.4.1. Densidade básica da madeira**

###### **4.4.1.1. No disco**

A densidade básica da madeira determinada nos discos foi avaliada pelo método gravimétrico (método da balança hidrostática), reportado em Foelkel et al. (1971), Vale et al. (1999), Santos et al. (2008), dentre outros.

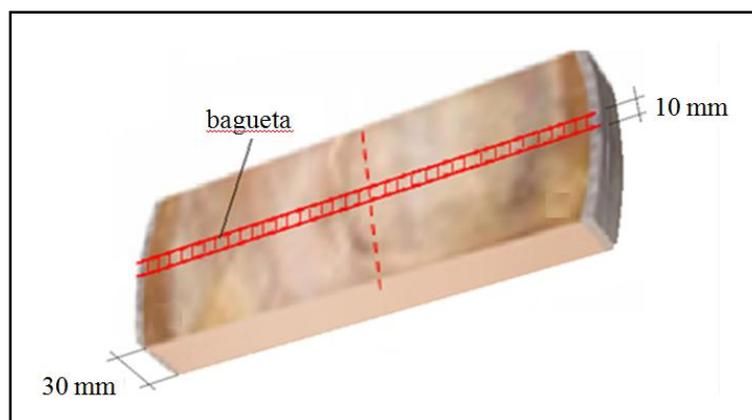


Figura 7. Posicionamento da bagueta de 10 mm na Faixa C, com identificação das amostras para análise anatômica a cada 10 mm do raio



Figura 8. Visualização das camadas de crescimento, detectáveis no disco de árvores sadias destinado ao estudo de madeira juvenil e adulto

Os Discos A foram submetidos à saturação em meio aquoso até que cada um apresentasse massa constante. Nessa situação de saturação foram obtidas as massas ao ar ( $M_{\text{sat,ar}}$ ) e massa imersa em água ( $M_{\text{sat,imersa}}$ ).

Os discos foram, então, secados em estufa (a  $105 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), para posterior mensuração da massa seca ( $M_{\text{seca}}$ ) e cálculo da densidade básica pela expressão (1).

$$Db = \frac{M_{sat,ar} - M_{sat,imersa}}{M_{seca}} \quad (1)$$

onde:

Db - densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);

M<sub>sat,ar</sub> - massa saturada determinada ao ar (g);

M<sub>sat,imersa</sub> - massa saturada determinada imersa em meio aquoso (g); e

M<sub>seca</sub> - massa seca (g).

#### 4.4.1.2. Nos corpos de prova

A densidade básica da madeira determinada nos corpos de prova seguiu as diretrizes da NBR 7190 (ABNT, 1997). Os corpos de prova apresentavam as seguintes dimensões nominais: 20 mm na direção tangencial x 30 mm na direção radial x 50 mm na direção longitudinal.

Os corpos de prova foram submetidos à saturação e, posteriormente, foram realizadas três medições em cada uma das três direções em relação às fibras dos corpos de prova, utilizando paquímetro Starrett com 0,01 mm de precisão, para cálculo do volume saturado. Após as medições, os mesmos foram secados em estufa a 105 °C ± 2 °C, até apresentar massa constante em pesagens consecutivas a cada seis horas, para determinação da massa seca.

A densidade básica dos corpos de prova foi calculada pela relação entre massa seca e volume saturado, assim determinados.

#### 4.4.2. Densidade aparente da madeira

A densidade aparente da madeira foi avaliada com uso do método da densitometria de raios X, determinando-se os perfis densitométricos radiais. As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de raios X em Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ)/USP.

A avaliação da variação radial da densidade aparente da madeira foi realizada para as 36 árvores estudadas – dois clones x três condições de sanidade x seis árvores. As faixas encaminhadas ao estudo de densitometria foram lixadas e tiveram sua face digitalizada para possibilitar a análise visual do lenho e posterior comparação com os perfis obtidos.

A partir da faixa diametral B (Figura 4) na direção radial foram demarcadas e cortadas amostras diametraais (30 mm de altura x 10 mm de espessura x comprimento do diâmetro), coladas em suporte de madeira e seccionadas ao longo do comprimento, por dupla serra circular. As amostras finais apresentaram um milímetro de espessura x 10 milímetros de largura x comprimento do diâmetro, contendo a medula. As mesmas foram acondicionadas em câmara de climatização (por 12 h, 20 °C de temperatura e umidade relativa de 50%), a fim de atingir a umidade de equilíbrio de 12%.

As amostras do lenho foram fixadas em um apoio interno da máquina de raios-X digital, modelo QTRS-01X *Tree Ring Scanner* que opera com software próprio. Durante o ensaio, o software mostra, em tempo real, a imagem ampliada do material e a curva de densidade pontual, a um passo incremental de 0,04 mm. Os arquivos foram gerados em formato QTR e DAT. O primeiro formato, próprio do software, permite a visualização do perfil densitométrico e sua correspondente imagem e o segundo formato permite que os dados sejam compilados em softwares específicos de análise de dados. A Figura 9 ilustra as etapas do preparo das amostras e o ensaio na máquina de raios X.

#### **4.4.3. Retratibilidade da madeira**

Os ensaios de retratibilidade foram realizados como preconizado pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Para este ensaio foram utilizados os corpos de prova E (Figura 5) com as dimensões de 20 mm na direção tangencial, 30 mm na direção radial, e 50 mm na direção longitudinal.

Os corpos de prova foram submetidos à saturação, com acompanhamento dimensional diário, até que, em duas medições consecutivas, feitas com micrômetro Digimess e sensibilidade de 0,001 mm, não apresentassem variação dimensional, em qualquer direção, maior que 0,02 mm.

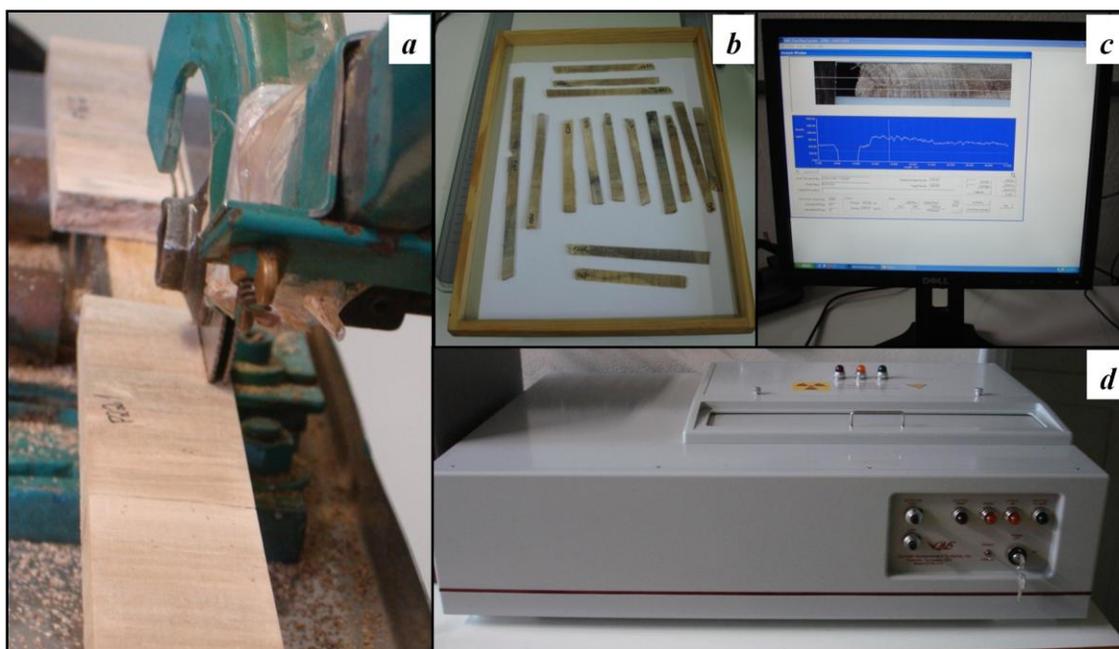


Figura 9. Etapas do preparo das amostras e da realização dos ensaios de raios X: (a) - dupla serra circular utilizada para a retirada de amostras com espessura constante; (b) - amostras prontas em estágio de climatização; (c) - tela do software utilizado no ensaio de densitometria de raios X; (d) - equipamento de ensaio de densitometria de raios X

Foram marcados e identificados três pontos para medição das dimensões dos corpos de prova em cada uma das três direções estruturais. Após as medições, os corpos de prova foram levados à estufa a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  até apresentar massa constante em medições consecutivas a cada seis horas. Quando secos, os corpos de prova foram novamente medidos nos mesmos nove pontos marcados.

#### 4.5. Ensaio mecânicos

Utilizando-se de prerrogativas da NBR 7190 (ABNT, 1997), que permitem a redução das dimensões dos corpos de prova para até 18 mm de lado, desde que mantidas as proporcionalidade dimensionais originais entre os lados e entre os lados e os comprimentos (1:3 – no ensaio de compressão paralela às fibras; e 1:23 – no ensaio de flexão estática), os corpos de prova tiveram suas dimensões nominais reduzidas para um módulo de

20 mm (ao invés dos 50 mm, utilizados correntemente) sem prejuízo na qualidade dos resultados.

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP – Botucatu, em máquina universal de ensaios marca EMIC, modelo DL30000.

#### **4.5.1. Compressão paralela às fibras**

Os ensaios de compressão paralela foram realizados nos corpos de prova F (Figura 5), com as dimensões nominais de 20 mm x 20 mm x 60 mm. Após climatização para obtenção da umidade de equilíbrio próxima de 12%. Os corpos de prova com inclinação da grã maior do que 6° foram descartados.

No ensaio foi avaliada a resistência à compressão paralela às fibras da madeira ( $f_{c0}$ ), dada pela máxima tensão suportada pelo corpo de prova. Os resultados obtidos foram corrigidos para a umidade de referência de 12%, a partir da expressão sugerida pelo código normativo.

Por fim, após cada ensaio, os corpos de prova foram fotografados (Figura 10c) para caracterização do tipo de ruptura, de acordo com a ASTM D143-94 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007).

#### **4.5.2. Flexão estática**

Os ensaios de flexão estática (Figura 11) foram realizados nos corpos de prova G (Figura 5), que apresentaram as dimensões nominais de 20 mm x 20 mm x 460 mm, e que foram climatizados até atingirem umidade de equilíbrio próxima de 12%.

O ensaio de flexão foi realizado atendendo-se, no geral, o preconizado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), utilizando-se um único ciclo de carregamento prévio (pré-carga). Deste ensaio foram obtidos o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) dos corpos de prova.

Assim como nos ensaios de compressão paralela às fibras, os corpos de prova de flexão estática foram fotografados, para posterior caracterização da ruptura pela

ASTM D143-94 (ASTM, 2007). Os resultados finais de MOR e MOE foram reportados à unidade de referência de 12%, a partir da expressão de correção já comentada.

#### **4.5.3. Dureza Janka**

Os ensaios de dureza Janka paralela às fibras foram realizados ao longo das Faixas D (Figura 4), a intervalos regulares de 35 mm a partir da medula (para cada um dos raios; Figura 12), proporcionando correlação entre estes resultados e os obtidos nos ensaios mecânicos de compressão paralela às fibras e flexão já descritos.

A metodologia do ensaio seguiu, a menos das dimensões dos corpos de prova, o preconizado na NBR 7190 (ABNT, 1997).

#### **4.6. Análises estatísticas**

Todos os dados das árvores (dois clones x três condições de sanidade x seis repetições) referentes às propriedades físicas e mecânicas e características anatômicas foram tabulados em planilhas do Microsoft Excel e as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio de estatísticos do Departamento de Bioestatística - Instituto de Biociências de Botucatu (IBB/UNESP).

Para as propriedades físico-mecânicas foi utilizado o método estatístico de análise em parcelas subdivididas, considerando as condições de sanidade (F, P e X) como parcelas e as posições na direção radial (R1-32,5, R2-32,5; R1-71,5, entre outras) como sub-parcelas ou subdivisões das parcelas. Analisaram-se a significância das parcelas, das sub-parcelas e das interações (parcela/sub-parcela).

Para a delimitação das regiões do fuste da árvore correspondentes a madeira juvenil e adulta utilizou-se como ferramenta a regressão linear, caracterizando, separadamente as regiões de madeira juvenil (região próxima à medula com maior incremento no comprimento das fibras ao longo do raio) e de madeira adulta (região com tendência a estabilização do comprimento das fibras). Esta técnica é a mesma descrita e utilizada por Ballarin e Lara Palma (2003) e Leonello et al. (2008) para a madeira juvenil.

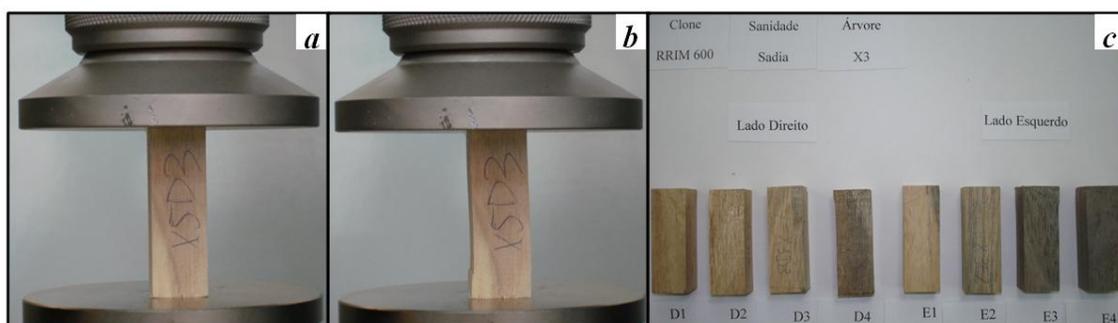


Figura 10. Ensaio de compressão paralela às fibras: (a) – corpo de prova antes do ensaio; (b) - depois do ensaio; (c) - corpos de prova de uma árvore



Figura 11. Ensaio de flexão estática. Corpos de prova de 20 mm x 20 mm x 460 mm (vão livre de 420 mm) durante o ensaio

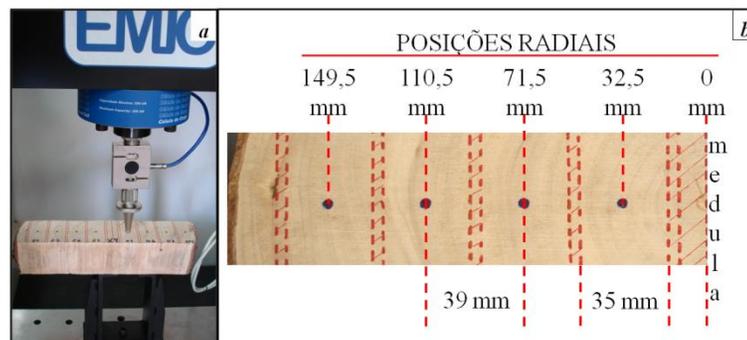


Figura 12. Ensaio de dureza Janka: (a) - ensaio em andamento; (b) - detalhe da faixa diametral D com a demarcação dos pontos para realização do ensaio

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Delimitação entre madeira juvenil e adulta**

Visando à definição da delimitação entre madeira juvenil e adulta, as árvores amostradas nos dois clones para as determinações anatômicas foram a 3, 5 e 6. Para o clone GT 1 os raios amostrados tinham, respectivamente, 15 cm, 17 cm e 14 cm e para o clone RRIM 600 tinham 17 cm, 28 cm e 18 cm. Como as árvores apresentavam eventual desproporção entre os raios (um raio maior que o seu oposto), esses raios apresentados podem não representar exatamente 50% do diâmetro dessas árvores.

O comprimento dos traqueídes ou fibras constitui a principal variável na definição do limite entre a madeira juvenil e adulta (JANKOWSKY, 1979; KRAHMER, 1986 e ZOBEL, 1980 apud BALLARIN; LARA PALMA, 2003). Portanto esta variável foi eleita para compor as análises de madeira juvenil e adulta. Os resultados obtidos nas mensurações do comprimento das fibras estão apresentados no Apêndice A (Tabelas A-1 e A-2).

Na Figura 13 apresentam-se os resultados da variação radial do comprimento das fibras para as três árvores amostradas do clone GT 1.

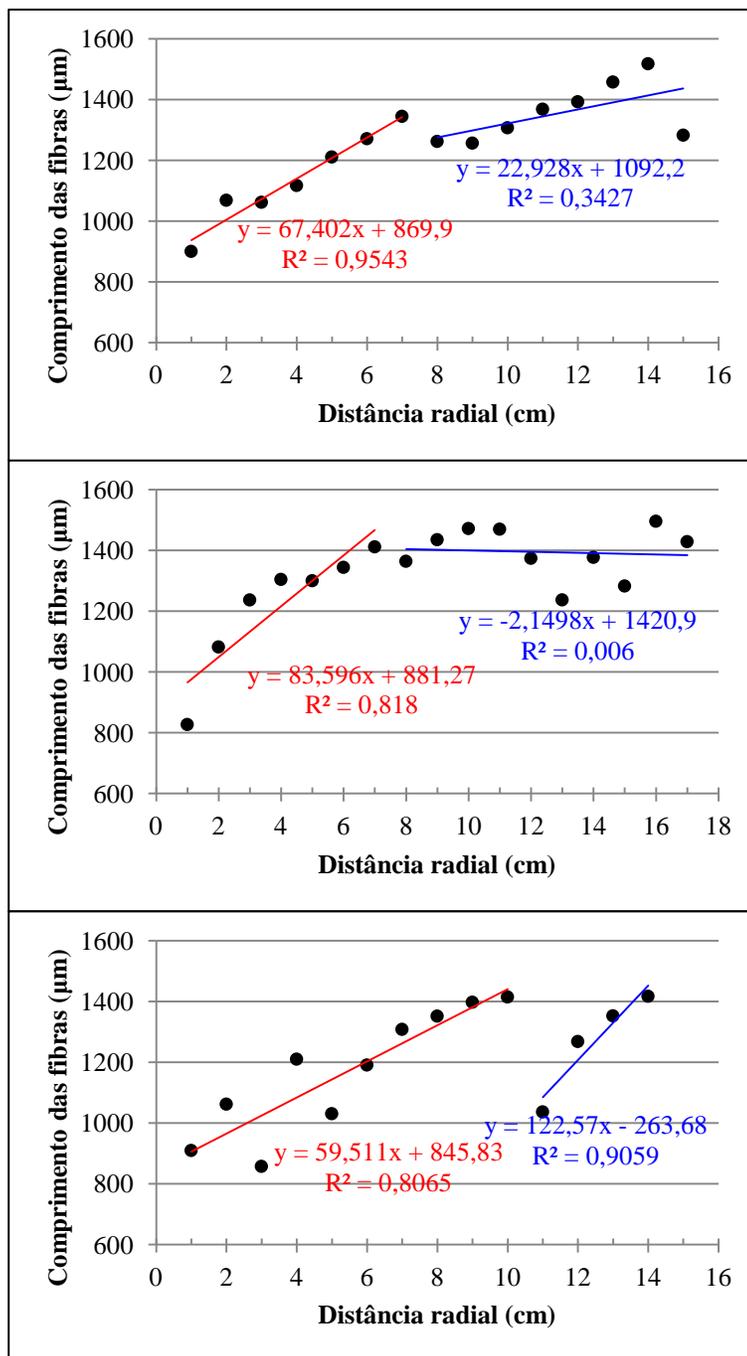


Figura 13. Clone GT 1 – Variação radial do comprimento das fibras em três árvores sadias e retas de tendência em duas regiões de comportamentos distintos ao longo do raio

O comportamento médio do comprimento das fibras da madeira das árvores do clone GT 1 indica que, ao longo do raio, há um incremento acentuado do mesmo na região mais interna do tronco em direção à parte mais externa; com tendência a estabilização da curva.

A delimitação das regiões do fuste da árvore correspondentes a madeira juvenil e adulta foi estabelecida utilizando-se como ferramenta duas regressões lineares distintas, representando a região mais próxima da medula (com maior incremento no comprimento) e a região subsequente (com tendência à estabilização do comprimento das fibras ao longo do raio) da mesma forma que Ballarin e Lara Palma (2003) e Leonello et al. (2008).

A madeira juvenil, caracterizada pela região onde o incremento das fibras é mais acentuado – mais próxima à medula – ficou delimitada em 7 centímetros de distância radial para as duas primeiras árvores e em 10 centímetros de distância radial para a terceira árvore.

Essas distâncias radiais puderam ser associadas às camadas de crescimento de cada uma das árvores avaliadas. Assumindo-se cada camada de crescimento como associado a um ano de vida da árvore, pode-se dizer que as distâncias radiais correspondiam aos 10, 8 e 13 anos das árvores 3, 5 e 6 respectivamente.

A Figura 14 revela a análise do comportamento do comprimento das fibras das três árvores do clone GT 1 agrupadas, não em relação à distância radial em centímetros, mas em porcentagem do raio em vista da diferença do comprimento nominal dos raios. A região de madeira juvenil ficou, portanto, restrita a cerca de 40% do raio das árvores. Na média, essa região correspondeu a uma idade das árvores de 7 a 8 anos.

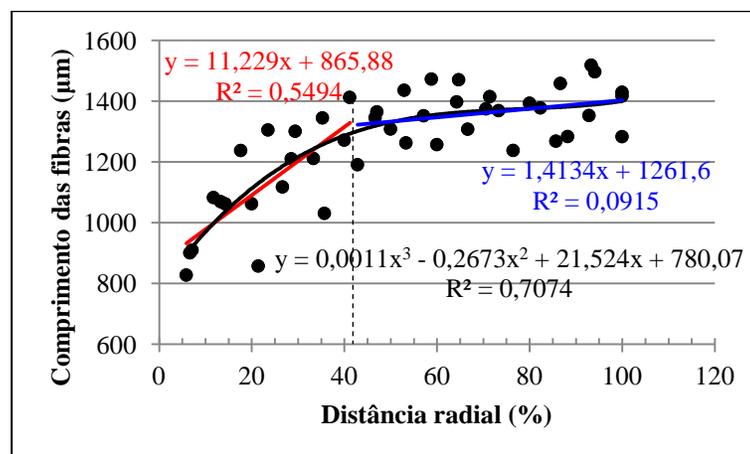


Figura 14. Clone GT 1 - Regressão por partes do comprimento das fibras ao longo do raio

Na Figura 15 apresentam-se a variação radial do comprimento das fibras para as três árvores amostradas do clone RRIM 600.

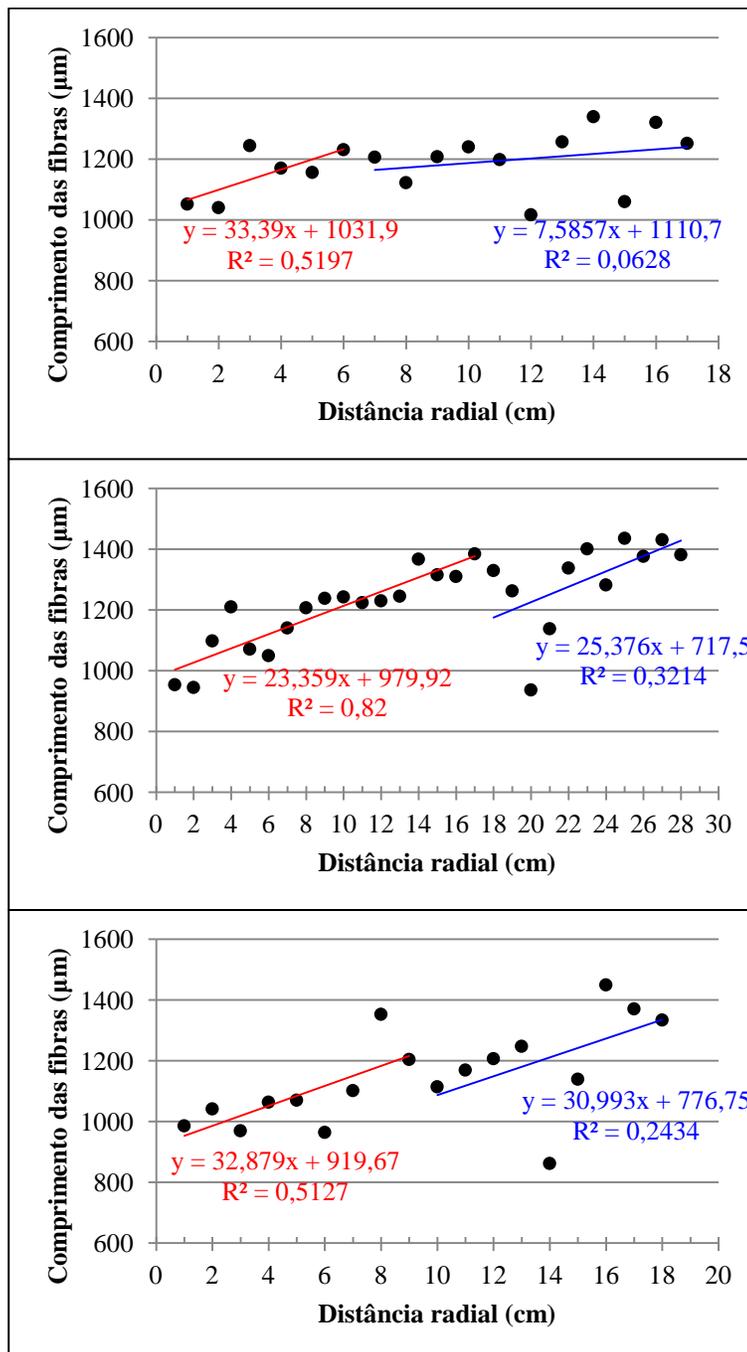


Figura 15. Clone RRIM 600 – Variação radial do comprimento das fibras em três árvores sadias e retas de tendência em duas regiões de comportamentos distintos ao longo do raio

Para o clone RRIM 600, a análise de regressões nas árvores individuais revelou a presença de madeira juvenil até as distâncias radiais de 6 cm, 17 cm e 9 cm para as três árvores estudadas. Neste caso, a grande diferença observada para as distâncias radiais limítrofes da madeira juvenil pode ser atribuída à diferença de DAP (e possivelmente de classes diamétrais) entre as árvores amostradas. Igual associação das distâncias radiais às camadas de crescimento feita para o clone GT 1, representa, nas árvores do clone RRIM 600, as camadas de crescimento 7, 14 e 11 respectivamente para as três árvores estudadas.

A curva média das árvores (Figura 16), com o eixo das abscissas expresso em termos percentuais do raio, indica a mesma tendência do clone RRIM 600, ou seja, um incremento mais acentuado na região próxima à medula, com tendência à estabilização posterior. Essa região de maior incremento, representando a madeira juvenil, se estendeu até 32% do raio. Na análise conjunta das três árvores esse percentual correspondeu às primeiras 6 a 7 camadas de crescimento (6 a 7 primeiros anos das árvores).

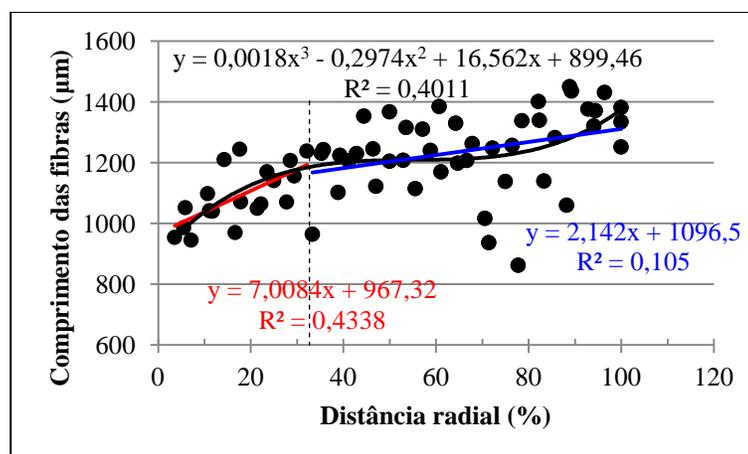


Figura 16. Clone RRIM 600 - Regressão por partes do comprimento das fibras ao longo do raio

Os valores de distâncias radiais aqui obtidos (7 a 10 cm para o clone GT 1 e 6, 9 e 17 cm para o clone RRIM 600) são superiores aos observados por Ferreira et al. (2010), que reportaram que a região de madeira juvenil vai desde a medula até 4 a 5,5 cm de distância radial na madeira de *Hevea brasiliensis* com 50 anos de idade.

Estudando outras madeiras, Leonello et al. (2008) constataram que a madeira juvenil em *Eucalyptus grandis* de 28 anos de idade ficou limitada a 15 cm do raio.

Abdel-Gadir e Krahmer (1993), analisando 180 árvores de *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) encontraram a idade de transição entre esses dois tipos de lenho entre 11 e 37 anos de idade.

Na Tabela 10 são apresentados os valores representativos do comprimento das fibras, separadamente para a região de madeira juvenil e madeira adulta, considerando-se a diferença estatística entre essas duas regiões distintas.

Tabela 10. Valores representativos do comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) para madeira juvenil e madeira adulta

	Clone GT 1		Clone RRIM 600	
	Madeira juvenil	Madeira adulta	Madeira juvenil	Madeira adulta
<b>Média</b>	1122,8a	1352b	1090A	1241B
<b>Mínimo</b>	827	1036	945	862
<b>Máximo</b>	1412	1518	1244	1450
<b>Desvio padrão</b>	175	104	95	135
<b>CV (%)</b>	15,60	7,67	8,69	10,85

para cada clone, numa mesma linha, valores seguidos de, ao meno uma letra igual, não diferem significativamente (teste de Tukey;  $p=0,05$ )

Observa-se que a região de madeira juvenil apresenta comprimento médio das fibras menor que a madeira adulta. Para as árvores do clone GT 1 o coeficiente de variação dessa propriedade na madeira juvenil é superior ao observado para a região de madeira adulta, revelando a maior heterogeneidade da madeira produzida antes do amadurecimento do câmbio vascular. Para as árvores do clone RRIM 600, diferentemente, não se verificou esse mesmo comportamento; o coeficiente de variação da madeira adulta foi maior que o observado para a madeira juvenil.

## 5.2. Propriedades físicas

### 5.2.1. Densidade básica da madeira

#### 5.2.1.1. No disco

Na Tabela 11 apresentam-se os resultados estatísticos da densidade básica da madeira (média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação) para cada condição de sanidade dos dois clones estudados. Os valores médios (e respectivos desvios) dessa propriedade são apresentados na Figura 17.

Tabela 11. Valores representativos da densidade básica dos discos de madeira de seringueira para as árvores dos clones GT 1 e RRIM 600

Clone	Densidade básica (kg/m <sup>3</sup> )					
	GT 1			RRIM 600		
Condição de sanidade	X	P	F	X	P	F
Média	594a	587a	595a	581a	592a	580a
Mínimo	572	565	582	568	583	493
Máximo	603	597	602	595	604	604
Desvio padrão	11	12	8	9	8	43
CV (%)	1,87	2,02	1,34	1,57	1,27	7,44

X - indivíduos sadios  
P - indivíduos com seca do painel de sangria por origem fisiológica  
F - indivíduos com seca do painel de sangria por origem patológica

numa mesma linha, valores seguidos de, ao menos uma letra igual, não diferem significativamente (teste de Tukey; p=0,05)

A madeira das árvores do clone GT 1 apresentou densidade básica mínima de 565 kg/m<sup>3</sup> e máxima de 603 kg/m<sup>3</sup> (Tabela 11). Seu coeficiente de variação foi de 1,34% a 2,02%, mostrando-se uma característica bem estável ou pouco variável.

Os valores da densidade básica da madeira das árvores do clone RRIM 600 variaram de 493 kg/m<sup>3</sup> a 604 kg/m<sup>3</sup> (Tabela 11), apresentando coeficiente de variação de 1,27% a 7,44%, revelando, igualmente, uma variabilidade baixa entre árvores.

Os valores de densidade básica observados neste estudo revelaram-se maiores dos que os valores encontrados por Santana et al. (2001), que estudaram diversos

clones de *Hevea brasiliensis*, com idade variando de 40 a 44 anos e obtiveram densidades básicas de 470 kg/m<sup>3</sup> (clones AV 1301 e IAN 717) a 510 kg/m<sup>3</sup> (clone GT 711). Os valores reportados neste trabalho são superiores ainda aos reportados por Matan e Kyokong (2003) – 520 kg/m<sup>3</sup> a 580 kg/m<sup>3</sup> e por Zhou et al. (2007) e Monteiro et al. (2010) – 450 kg/m<sup>3</sup> a 550 kg/m<sup>3</sup>.

A análise dos dados de densidade básica revela que em todas as seis situações estudadas (três condições de sanidade em dois clones) houve igualdade estatística entre elas, ou seja, a densidade básica da madeira não variou entre as árvores dos clones, nem entre as condições de sanidades.

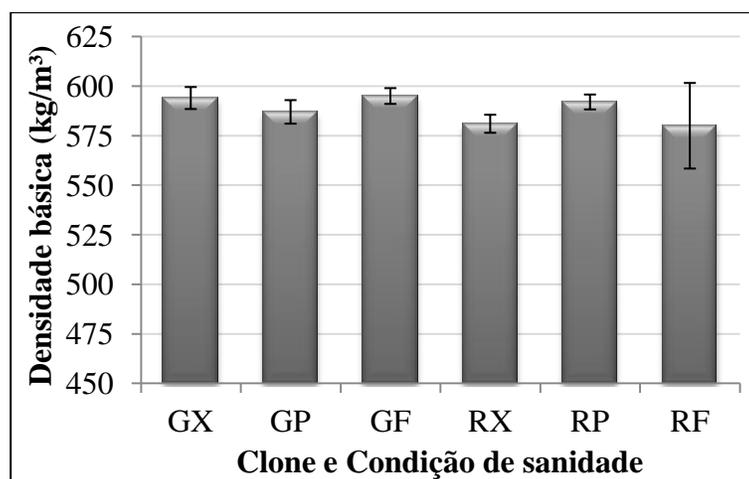


Figura 17. Valores médios de densidade básica de discos de madeira de seringueira com indicação do desvio em torno da média (G\_ - clone GT 1; R\_ - clone RRIM 600; \_X – árvores sadias; \_P – árvores com seca do painel de sangria por origem patológica; \_F – seca do painel de sangria por origem fisiológica)

#### 5.2.1.2. Nos corpos de prova

As Tabelas 12 e 13 apresentam os valores de densidade básica determinada em corpos de prova da madeira dos clones GT 1 e RRIM 600, respectivamente.

A análise de variância não revelou efeito significativo da interação parcela/sub-parcela. Assim, nas duas tabelas, o teste de comparação de médias (Tukey – 5% de significância) foi conduzido, separadamente, para cada um dos efeitos: parcela (última coluna à direita) e sub-parcela (linha inferior da tabela).

Tabela 12. Clone GT 1 – Densidade básica (kg/m<sup>3</sup>) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

Clone GT 1 - Densidade básica (kg/m <sup>3</sup> )							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
<b>X</b>	581	557	511	516	533	558	<b>538 A</b>
<b>P</b>	526	545	524	537	546	559	<b>539 A</b>
<b>F</b>	541	567	530	539	550	549	<b>546 A</b>
	<b>548abc</b>	<b>556a</b>	<b>522c</b>	<b>531bc</b>	<b>543abc</b>	<b>556ab</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

Tabela 13. Clone RRIM 600 – Densidade básica (kg/m<sup>3</sup>) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

Clone RRIM 600 - Densidade básica (kg/m <sup>3</sup> )												
Sanidade	Posição										Média	
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5		R2-227,5
<b>X</b>		524	524	538	525	513	530	520	526	560	495	<b>525 A</b>
<b>P</b>	519	539	531	543	527	523	535	534	525			<b>532 A</b>
<b>F</b>			515	516	516	519	524	521	496			<b>516 A</b>
<b>Média</b>	<b>519a</b>	<b>528a</b>	<b>522a</b>	<b>532a</b>	<b>523a</b>	<b>519a</b>	<b>529a</b>	<b>525a</b>	<b>518a</b>	<b>560a</b>	<b>495a</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

A densidade básica da madeira de seringueira determinada nos corpos de prova do clone GT 1 variou de 511 kg/m<sup>3</sup> a 581 kg/m<sup>3</sup>; apresentou valores estatisticamente menores próximos à medula, com posterior aumento em direção à casca. No clone RRIM 600 a densidade básica dos corpos de prova variou de 495 kg/m<sup>3</sup> a 560 kg/m<sup>3</sup>; entre posições, a densidade básica não apresentou diferença significativa.

A variação radial da densidade básica com comportamento crescente da medula à casca é bem comum, sendo encontrada por diferentes autores para diversas espécies. A título de exemplo, cita-se Tomazello Filho (1985, 1987) que estudou *Eucalyptus saligna*, *E. grandis*, *E. pellita* e *E. acmenioides* de 10 anos de idade.

Como demonstrado pelo teste estatístico, tanto para as árvores do clone GT 1 quanto para as árvores do clone RRIM 600, a densidade básica da madeira de

seringueira determinada nos corpos de prova foi semelhante entre as condições de sanidade. Essa constatação corrobora os resultados obtidos para densidade básica da madeira nos discos.

### 5.2.2. Densidade aparente da madeira

A densidade aparente da madeira foi avaliada com uso dos perfis densitométricos, obtidos pela técnica da atenuação de raios X. O objetivo proposto para o estudo de densitometria de raios X foi de identificar os padrões dos perfis radiais, dando condições para análise de qualidade do lenho nesta direção.

Esses perfis foram obtidos para cada uma das seis árvores de cada clone, nas três condições de sanidade e foram apresentados (Apêndice B – Figuras B-1 a B-36) separadamente para cada um dos raios da árvore (R1 e R2).

As imagens dos raios acompanharam as imagens dos perfis densitométricos, auxiliando a interpretação dos dados. Em algumas situações os raios opostos apresentaram coloração diferente, como observado na Figura 18.

Duas ocorrências iniciais que podem ter condicionado os resultados obtidos e a tipologia dos perfis densitométricos merecem destaque inicial: alguns aumentos pontuais de densidade e o desbalanceamento dos raios das árvores (já comentado). As imagens das faixas digitalizadas revelaram, em alguns casos, a presença de manchas escuras e cicatrizes na madeira causadas por situações diversas (ferimento do tecido cambial no processo de exploração do látex, desrama em função da liberação do painel para sangria; afixação do recipiente coletor de látex, entre outros), não alvo de investigação neste trabalho. Nessas regiões há um aumento na densidade aparente, assim como na região limítrofe da medula; apesar de a medula ser um tecido, em grande parte, formado por células parenquimáticas, de baixa densidade, este é um fenômeno que pode ser encontrado em algumas espécies de *Eucalyptus* (comunicação pessoal)<sup>2</sup> e que possivelmente pode ser explicado pela presença de cristais nesse tecido (RICHTER e DALLWITZ, 2009).

---

<sup>2</sup> Comunicação pessoal do Prof. Mário Tomazello Filho, da Disciplina de Dendrologia, Anatomia e Identificação de Madeiras, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Usp de Piracicaba em janeiro de 2011.

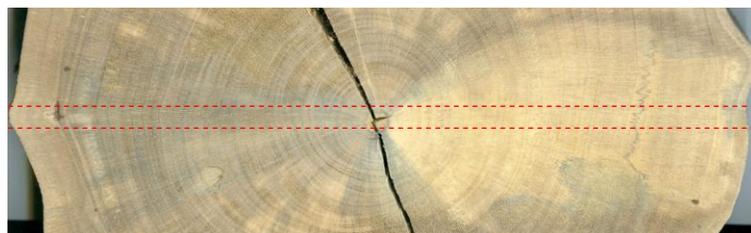


Figura 18. Variação de coloração entre os raios opostos de uma mesma faixa diametral

Buscando a sistematização, todos os perfis densitométricos foram analisados e classificados em quatro padrões de comportamento na direção radial. Os padrões propostos têm as seguintes descrições:

- 1° padrão – a densidade aparente diminui na região inicial do raio, aumentando em seguida, podendo ter algumas variações na região mais próxima da casca (Figura 19);
- 2° padrão – a densidade aparente permanece constante ao longo do raio, podendo ter alguma variação na região mais próxima da casca (Figura 20);
- 3° padrão – a densidade aparente diminui a partir da medula em direção à casca; essa diminuição pode ou não apresentar região intermediária do raio com estabilização (Figura 21); e
- 4° padrão – a densidade aparente aumenta no sentido medula-casca, atingindo um valor máximo, a partir do qual mantém-se constante ou diminui (Figura 22).

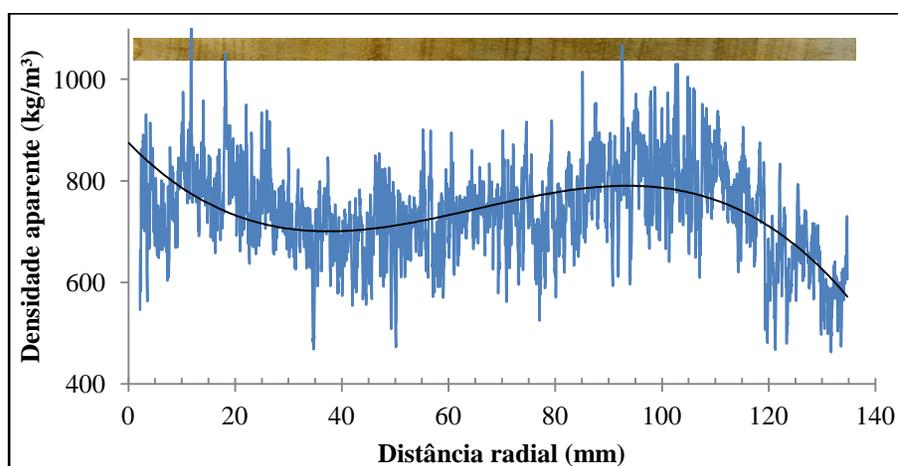


Figura 19. Perfil radial da densidade aparente da madeira - Padrão 1

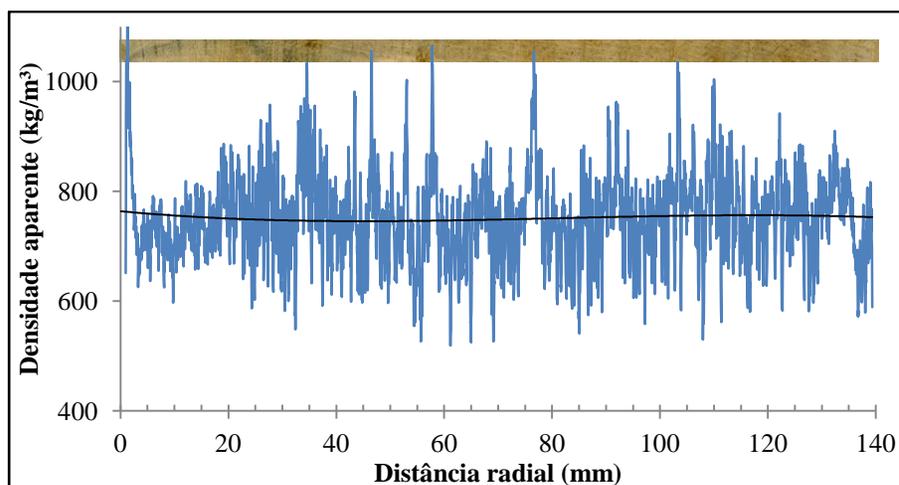


Figura 20. Perfil radial da densidade aparente da madeira - Padrão 2

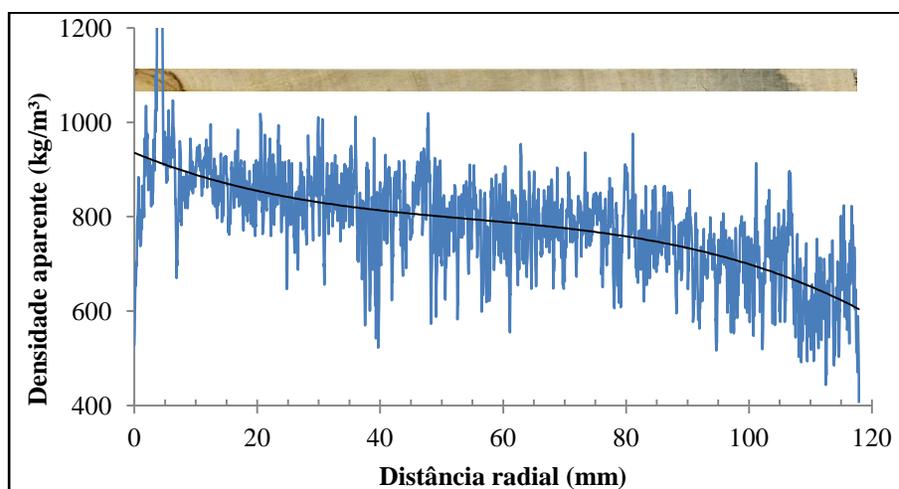


Figura 21. Perfil radial da densidade aparente da madeira - Padrão 3

O primeiro padrão foi o mais comum, sendo observado em 60,5% dos raios. Os padrões 2 e 3 foram observados em 18,5% e 15,5% dos raios, respectivamente; o padrão 4 foi observado em 5,5% dos raios estudados.

O padrão mais comum de variação dos perfis densitométricos pode indicar um eventual processo de cernificação: valores maiores de densidade aparente da madeira na região mais próxima da medula indicando a possível presença de cerne e, valores menores na região mais externa, associados ao alburno. Zhao (2008) e Zhou et al.(2007) reportam a possibilidade da ocorrência de cerne, porém, indistinguível visualmente do alburno.

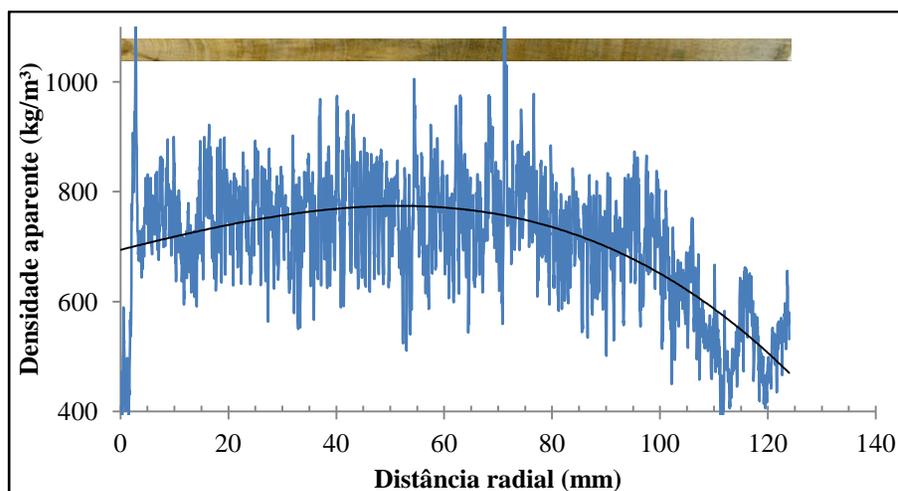


Figura 22. Perfil radial da densidade aparente da madeira - Padrão 4

A madeira das árvores do clone GT 1 apresentou densidade média de  $757 \text{ kg/m}^3$ , com valores variando de  $609 \text{ kg/m}^3$  a  $854 \text{ kg/m}^3$ , apresentando coeficiente de variação entre 10,16% e 16,26%. Para o clone RRIM 600, a madeira as árvores apresentou densidade aparente média de  $775 \text{ kg/m}^3$ , com mínimo de  $585 \text{ kg/m}^3$  e máximo de  $879 \text{ kg/m}^3$  e coeficiente de variação entre 9,35% e 17,91%. Os valores médios de densidade aparente da madeira das árvores dos clones estudados, comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância, foram considerados semelhantes estatisticamente, assim como na análise da densidade básica da madeira dos discos.

A Tabela 14 apresenta valores de densidade aparente representativos de cada um dos raios estudados em cada uma das situações (clone e condição de sanidade).

O coeficiente de variação médio da densidade aparente dos raios das árvores do clone GT 1 foi de 12,24% e o coeficiente de variação médio da densidade aparente das árvores do clone RRIM 600 foi de 13,40%. Ambos bem próximos do coeficiente de variação médio (13 a 14%) encontrado por Benjamim (2006) para *Corymbia citriodora* de 29 anos de idade, utilizando a mesma técnica de atenuação de raios X; e menores que o coeficiente de variação de 20% encontrado, pelo mesmo autor, para *Eucalyptus grandis* de 28 anos de idade. Tomazello Filho (2006), analisando a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* de cerca de 7 anos de idade obteve o coeficiente de variação de 13,1% a 15,4% utilizando o mesmo método.

Tabela 14. Valores representativos dos perfis de densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>) de cada raio (R1 e R2) para todas as árvores dos clones GT 1 e RRIM 600

Clone GT 1							Clone RRIM 600								
San.	Árv.	Raio	Média	Mínimo	Máximo	Desv pad	CV (%)	San.	Árv.	Raio	Média	Mínimo	Máximo	Desv pad	CV (%)
F	1	1	789	528	1331	93	11,81	1	1	720	464	1439	95	13,15	
		2	734	498	1085	88	11,94		2	752	474	1413	103	13,74	
	2	1	722	413	1215	94	12,95	2	1	800	475	1308	117	14,67	
		2	712	466	1425	92	12,99		2	740	388	1368	102	13,83	
	3	1	839	517	2261	133	15,82	3	1	756	463	1070	100	13,21	
		2	783	480	1443	96	12,22		2	757	389	1079	103	13,56	
	4	1	725	466	1302	111	15,35	4	1	797	514	1279	107	13,49	
		2	734	471	1220	88	12,01		2	778	511	1068	94	12,07	
	5	1	744	446	1028	82	11,05	5	1	638	354	1288	114	17,91	
		2	752	519	1128	82	10,93		2	585	323	1206	81	13,90	
	6	1	762	507	1069	85	11,20	6	1	777	407	1046	101	13,02	
		2	780	495	1191	79	10,16		2	744	362	993	100	13,43	
P	1	1	756	506	1133	90	11,95	1	1	820	510	1269	107	13,04	
		2	772	536	1201	93	12,03		2	830	576	1255	93	11,19	
	2	1	734	442	1534	96	13,06	2	1	714	425	1296	113	15,89	
		2	729	444	1296	112	15,43		2	739	463	1117	93	12,54	
	3	1	801	465	1239	94	11,76	3	1	707	360	1145	116	16,39	
		2	785	499	1144	104	13,24		2	752	490	1046	87	11,62	
	4	1	711	465	1081	90	12,69	4	1	795	403	1232	120	15,15	
		2	772	503	1262	89	11,55		2	775	435	1078	97	12,46	
	5	1	609	413	952	68	11,12	5	1	746	453	1163	98	13,13	
		2	619	445	931	63	10,24		2	728	482	980	74	10,22	
	6	1	774	491	1119	89	11,53	6	1	769	422	1216	113	14,70	
		2	741	499	1111	80	10,78		2	824	435	1185	106	12,82	
X	1	1	821	531	1161	92	11,25	1	1	763	398	1261	90	11,73	
		2	766	501	1305	96	12,49		2	840	445	1286	108	12,87	
	2	1	788	511	1162	94	11,99	2	1	832	491	1299	105	12,63	
		2	711	360	1541	116	16,26		2	845	490	1372	106	12,59	
	3	1	773	515	1209	88	11,35	3	1	843	519	1493	134	15,85	
		2	770	453	1111	82	10,65		2	810	509	1207	101	12,50	
	4	1	757	492	1135	93	12,29	4	1	822	525	1114	77	9,35	
		2	803	509	1187	90	11,15		2	770	550	1281	87	11,35	
	5	1	727	437	1213	86	11,79	5	1	876	490	1327	122	13,97	
		2	752	485	1117	90	11,96		2	879	477	1320	140	15,99	
	6	1	854	591	1548	111	13,05	6	1	839	553	1427	123	14,72	
		2	835	547	1482	104	12,46		2	752	474	1287	102	13,57	
<b>Média</b>			757	485	1247	93	12,24	<b>Média</b>			775	458	1228	104	13,40
<b>Mínimo</b>			609	360	931	63	10,16	<b>Mínimo</b>			585	323	980	74	9,35
<b>Máximo</b>			854	591	2261	133	16,26	<b>Máximo</b>			879	576	1493	140	17,91
<b>Desv pad</b>			50	43	233	13	1,47	<b>Desv pad</b>			61	60	131	14	1,73
<b>CV (%)</b>			6,65	8,95	18,68	14,01	12,04	<b>CV (%)</b>			7,86	13,17	10,66	13,94	12,95

San. = Sanidade Árv. = Árvore

### 5.2.3. Retratibilidade

As Tabelas 15 e 16 apresentam os valores de retratibilidade e índice de anisotropia da madeira das árvores dos clones GT 1 e RRIM 600, respectivamente.

A análise de variância não revelou efeito significativo da interação parcela/sub-parcela. Assim, nas duas tabelas, o teste de comparação de médias (Tukey – 5% de significância) foi conduzido, separadamente, para cada um dos efeitos: parcela (última coluna à direita) e sub-parcela (linha inferior da tabela).

A retratibilidade tangencial da madeira das árvores do clone GT 1 variou de 5,17% a 6,39%. Apresentou valores estatisticamente menores próximos à medula, com posterior aumento em direção à casca. O mesmo comportamento foi observado para a madeira das árvores do clone RRIM 600, com valores entre 4,71% e 6,69%.

Nas árvores do clone GT 1, a retratibilidade radial apresentou variação de 2,17% a 3,81%, com diferenciação estatística entre as posições mais próximas à medula (menores retrações) e mais próximas à casca (maiores retrações). Nas árvores do clone RRIM 600, os valores variaram de 2,31% a 3,49%, porém, nesse caso, a diferenciação estatística entre posições não foi observada.

No clone GT 1 os valores de retratibilidade longitudinal variaram de 0,14% a 0,38%. No clone RRIM 600 a retratibilidade longitudinal apresentou valores estatisticamente maiores nas posições mais próximas à medula, variando de 0,23% a 0,76%.

No geral, a madeira de seringueira pode ser classificada como de baixa contração segundo a classificação sugerida pelo INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS [IPT, 1990?]. Comparativamente, ela, de fato, apresenta melhores valores de retratibilidade, quando comparados aos reportados por Oliveira et al. (2010) para sete espécies de eucaliptos.

Bendtsen (1978), Zobel (1984), Senft et al. (1985), Rowell et al. (2000) e diversos outros autores dizem que a madeira juvenil apresenta menor contração transversal (tangencial e radial) quando comparada à madeira adulta, mais externa ao tronco; da mesma forma, apresenta maior contração longitudinal. Esse comportamento, observado neste estudo, pode ser associado à influência desses dois tipos de lenhos na madeira de seringueira.

Tabela 15. Clone GT 1 – Retratibilidade e índice de anisotropia da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

Retratibilidade tangencial							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
X	6,24	6,28	5,25	5,17	5,76	6,12	<b>5,75 A</b>
P	5,46	6,14	5,54	5,40	6,18	6,09	<b>5,82 A</b>
F	5,96	6,27	5,29	5,69	6,39	6,14	<b>5,94 A</b>
	<b>5,90ab</b>	<b>6,23a</b>	<b>5,36b</b>	<b>5,42b</b>	<b>6,11a</b>	<b>6,12a</b>	

Retratibilidade radial							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
X	3,13	2,93	2,38	2,62	2,58	3,01	<b>2,73 A</b>
P	3,81	2,67	2,40	2,17	2,88	3,18	<b>2,69 A</b>
F	3,06	2,90	2,73	2,92	3,09	3,01	<b>2,93 A</b>
	<b>3,29a</b>	<b>2,83ab</b>	<b>2,50b</b>	<b>2,57b</b>	<b>2,85ab</b>	<b>3,05a</b>	

Retratibilidade longitudinal							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
X	0,23	0,29	0,29	0,30	0,21	0,25	<b>0,26 A</b>
P	0,14	0,30	0,25	0,38	0,25	0,19	<b>0,27 A</b>
F	0,24	0,29	0,30	0,23	0,18	0,16	<b>0,24 A</b>
	<b>0,21a</b>	<b>0,29a</b>	<b>0,28a</b>	<b>0,30a</b>	<b>0,22a</b>	<b>0,21a</b>	

Retratibilidade volumétrica							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
X	10,36	10,25	8,42	8,63	9,16	10,10	<b>9,38 A</b>
P	10,16	9,80	8,75	8,46	10,04	10,19	<b>9,42 A</b>
F	9,97	10,18	8,87	9,47	10,44	10,03	<b>9,79 A</b>
	<b>10,13a</b>	<b>10,08a</b>	<b>8,68b</b>	<b>8,85b</b>	<b>9,88a</b>	<b>10,10a</b>	

Índice de anisotropia							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
X	2,00	2,17	2,27	2,16	2,25	2,06	<b>2,17 A</b>
P	1,58	2,31	2,33	2,51	2,15	1,91	<b>2,23 A</b>
F	1,95	2,18	1,97	1,97	2,08	2,04	<b>2,04 A</b>
	<b>1,86b</b>	<b>2,22a</b>	<b>2,19ab</b>	<b>2,21a</b>	<b>2,16ab</b>	<b>2,02ab</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)

\*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)

\*\*\* médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p&gt;0,05)

Tabela 16. Clone RRIM 600 – Retratabilidade e índice de anisotropia da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

Retratabilidade tangencial												
Sanidade	Posição										Média	
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5		R2-227,5
X		6,40	6,29	5,42	5,22	4,71	5,72	6,17	6,26	6,43	6,04	5,78 A
P	6,08	6,60	6,20	5,68	5,50	5,04	5,84	6,09	6,33			5,77 A
F			6,69	6,02	5,26	4,87	5,85	6,11	5,58			5,75 A
<b>Média</b>	<b>6,08abc</b>	<b>6,45a</b>	<b>6,42a</b>	<b>5,70ab</b>	<b>5,33bc</b>	<b>4,87c</b>	<b>5,80ab</b>	<b>6,12ab</b>	<b>6,09ab</b>	<b>6,43abc</b>	<b>6,04abc</b>	

Retratabilidade radial												
Sanidade	Posição										Média	
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5		R2-227,5
X		2,83	2,41	2,34	2,60	2,75	2,31	2,39	2,64	2,78	2,54	2,53 B
P	3,02	3,00	2,61	2,61	2,90	2,56	2,68	2,76	2,91			2,73 AB
F			2,90	3,00	3,46	3,49	2,81	2,97	2,69			3,08 A
<b>Média</b>	<b>3,02a</b>	<b>2,88a</b>	<b>2,63a</b>	<b>2,65a</b>	<b>2,98a</b>	<b>2,93a</b>	<b>2,60a</b>	<b>2,69a</b>	<b>2,70a</b>	<b>2,78a</b>	<b>2,54a</b>	

Retratabilidade longitudinal												
Sanidade	Posição										Média	
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5		R2-227,5
X		0,33	0,50	0,71	0,61	0,68	0,62	0,51	0,49	0,76	0,67	0,57 A
P	0,27	0,23	0,29	0,35	0,34	0,40	0,29	0,25	0,29			0,31 B
F			0,16	0,26	0,37	0,52	0,34	0,27	0,38			0,33 B
<b>Média</b>	<b>0,27ab</b>	<b>0,30b</b>	<b>0,33b</b>	<b>0,44ab</b>	<b>0,44ab</b>	<b>0,53a</b>	<b>0,42ab</b>	<b>0,35b</b>	<b>0,42ab</b>	<b>0,76ab</b>	<b>0,67ab</b>	

Retratabilidade volumétrica												
Sanidade	Posição										Média	
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5		R2-227,5
X		10,33	9,89	9,07	9,02	8,67	9,27	9,75	10,16	10,82	10,00	9,54 A
P	10,01	10,71	9,76	9,26	9,30	8,53	9,44	9,79	10,28			9,45 A
F			10,56	9,99	9,74	9,50	9,66	10,07	9,26			9,85 A
<b>Média</b>	<b>10,01a</b>	<b>10,44a</b>	<b>10,10ab</b>	<b>9,44ab</b>	<b>9,35ab</b>	<b>8,90b</b>	<b>9,46ab</b>	<b>9,86ab</b>	<b>9,94ab</b>	<b>10,82ab</b>	<b>10,00ab</b>	

Índice de anisotropia												
Sanidade	Posição										Média	
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5		R2-227,5
X		2,28	2,63	2,35	2,21	1,80	2,50	2,61	2,38	2,31	2,38	2,34 A
P	2,02	2,20	2,36	2,22	1,97	2,04	2,21	2,25	2,18			2,16 AB
F			2,31	2,03	1,58	1,57	2,10	2,10	2,09			1,94 B
<b>Média</b>	<b>2,02abc</b>	<b>2,26abc</b>	<b>2,46a</b>	<b>2,20ab</b>	<b>1,92bc</b>	<b>1,80c</b>	<b>2,27ab</b>	<b>2,33a</b>	<b>2,27ab</b>	<b>2,31abc</b>	<b>2,38abc</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)

\*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)

\*\*\* médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

Os valores de retratabilidade volumétrica variaram de 8,42% a 10,36% para as árvores do clone GT 1 e de 8,53% a 10,82% para as árvores do clone RRIM 600. Para essa propriedade houve igualdade estatística entre as condições de sanidades. Os valores foram menores na região próxima à medula, aumentando no sentido medula-casca, em ambos os clones. As contrações volumétricas médias aqui observadas foram maiores que as relatadas

por Santana et al. (2001), porém enquadraram-se no intervalo observado por Matan e Kyokong (2003), com retrações volumétricas variando de 6,4% a 10,0%.

O índice de anisotropia, nas árvores do clone GT 1 variou de 1,58 a 2,51, sendo maior próximo à medula, diminuindo no sentido medula-casca. Nas árvores do clone RRIM 600, a mesma propriedade apresentou crescimento com posterior diminuição ao longo do raio, com valores entre 1,57 e 2,63. Santana et al. (2001) reporta, para quatro clones de seringueira, já listados, o índice de anisotropia variando de 2,2 a 3,3; valores, relativamente, maiores que os observados neste estudo. Este índice está associado à estabilidade dimensional da madeira. Quanto mais próximo da unidade, mais estável é considerada a madeira. Como era esperado, a região mais exterior do tronco, ou região de madeira adulta, apresentou valores de índice de anisotropia menores, associado a uma maior estabilidade dimensional.

Segundo a classificação sugerida por Nock et al. (1975 apud LOGSDON e PENNA, 2004), considerando a variação do índice de anisotropia, a qualidade da madeira de seringueira é considerada de normal a ruim.

### **5.3. Propriedades mecânicas**

#### **5.3.1. Compressão paralela às fibras**

Nas Tabelas 17 e 18 estão apresentados os valores de resistência à compressão paralela às fibras para as árvores dos clones GT 1 e RRIM 600, respectivamente.

A madeira do clone GT 1 teve resistência à compressão paralela às fibras variando de 41,55 MPa a 48,22 MPa. Para a madeira das árvores do clone RRIM 600 essa resistência variou de 34,96 MPa a 47,89 MPa. Ambos não apresentaram diferença significativa entre as condições de sanidade. Não houve, também, variação radial significativa para o parâmetro mecânico estudado, tanto para o clone GT 1, quanto para o clone RRIM 600.

Santana et al. (2001) obtiveram a resistência à compressão paralela às fibras variando de 41,7 MPa a 43,3 MPa para a madeira de seringueira; Lee et al. (1965 apud HONG 1996) e Matan e Kyokong (2003) obtiveram, para a mesma propriedade, 32,2 MPa e 39 MPa, respectivamente. Ainda, Lim et al. (2003) obtiveram resistência à compressão paralela às fibras a 17,2% de umidade de 25,9 MPa. Os dados obtidos neste estudo foram

superiores aos obtidos pelos autores reportados. Não foi possível buscar explicações para essa superioridade, pois nos trabalhos reportados os autores não citaram o clone e a idade das árvores estudadas.

Tabela 17. Clone GT 1 - Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

<b>Clone GT 1 - Resis. à compressão paralela às fibras (MPa)</b>							
<b>Sanidade</b>	<b>Posição</b>						<b>Média</b>
	<b>R1-110,5</b>	<b>R1-71,5</b>	<b>R1-32,5</b>	<b>R2-32,5</b>	<b>R2-71,5</b>	<b>R2-110,5</b>	
<b>X</b>	41,55	42,70	43,47	44,29	42,85	44,57	<b>43,45 A</b>
<b>P</b>	42,78	42,82	45,18	43,43	42,08	46,59	<b>43,69 A</b>
<b>F</b>	46,03	42,14	43,16	47,68	46,80	48,22	<b>45,46 A</b>
	<b>43,82a</b>	<b>42,55a</b>	<b>43,98a</b>	<b>45,13a</b>	<b>43,91a</b>	<b>45,99a</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

Tabela 18. Clone RRIM 600 - Resistência à compressão paralela às fibras (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

<b>Clone RRIM 600 - Resis. à compressão paralela às fibras (MPa)</b>											
<b>Sanidade</b>	<b>Posição</b>										<b>Média</b>
	<b>R1-188,5</b>	<b>R1-149,5</b>	<b>R1-110,5</b>	<b>R1-71,5</b>	<b>R1-32,5</b>	<b>R2-32,5</b>	<b>R2-71,5</b>	<b>R2-110,5</b>	<b>R2-149,5</b>	<b>R2-188,5</b>	
<b>X</b>	37,83	42,28	44,87	43,96	41,83	42,63	42,74	39,80	38,87	34,96	<b>41,87 A</b>
<b>P</b>	40,42	45,51	41,94	45,64	47,89	45,06	46,44	41,31	40,77		<b>44,65 A</b>
<b>F</b>			43,02	43,29	43,97	43,66	43,37	43,71	43,66		<b>43,53 A</b>
<b>Média</b>	<b>40,42a</b>	<b>40,02a</b>	<b>42,48a</b>	<b>44,60a</b>	<b>45,27a</b>	<b>43,51a</b>	<b>44,14a</b>	<b>42,52a</b>	<b>41,03a</b>	<b>38,87a</b>	<b>34,96a</b>

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

As Figuras 23 a 25 ilustram a variação radial da resistência à compressão paralela às fibras comparativamente à variação radial da densidade aparente da madeira, para as árvores do clone GT 1. As Figuras 26 a 28 ilustram esse mesmo comportamento comparativo para as árvores do clone RRIM 600. Nesses gráficos, os valores de densidade aparente são apresentados em termos médios (marcados na região central da barra vertical) e dos valores máximos e mínimos.

Pôde-se observar, de forma geral, um aumento no valor médio da resistência à compressão paralela às fibras, seguido de diminuição no sentido medula-casca,

acompanhado, na maioria das vezes, por igual comportamento da densidade aparente, para o clone RRIM 600. O clone GT 1 apresentou variação da propriedade mecânica, na direção radial, sem comportamento predominante.

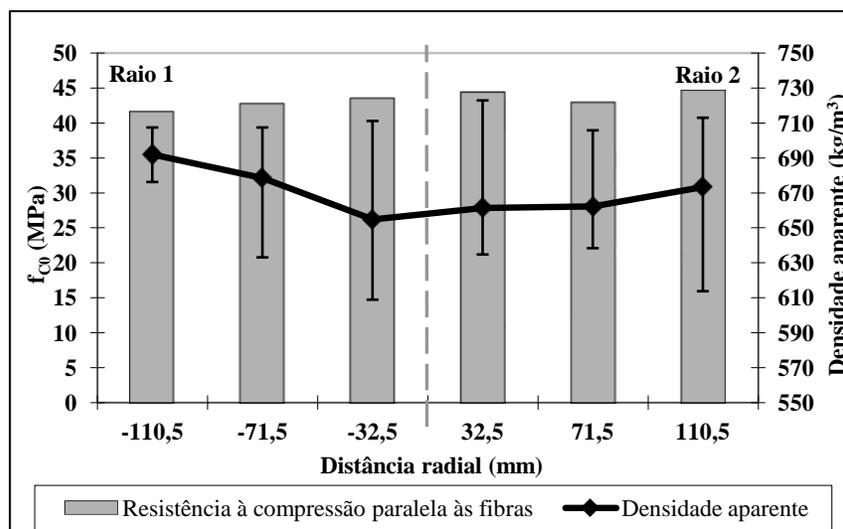


Figura 23. Clone GT 1 - Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade X (sadia)

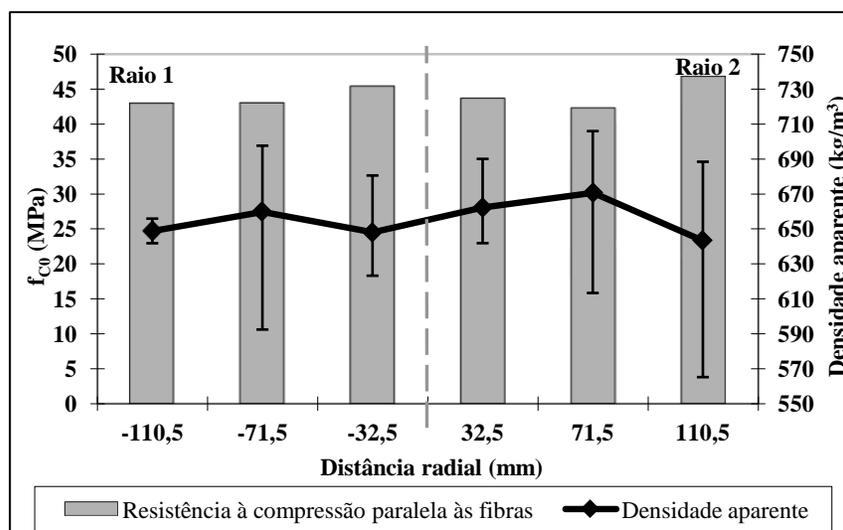


Figura 24. Clone GT 1 - Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade P (seca do painel de sangria por origem patológica)

Verifica-se que os comportamentos da resistência à compressão paralela às fibras estabelecem uma discreta relação entre as mudanças de região de madeira juvenil e madeira adulta, principalmente nas árvores do clone RRIM 600.

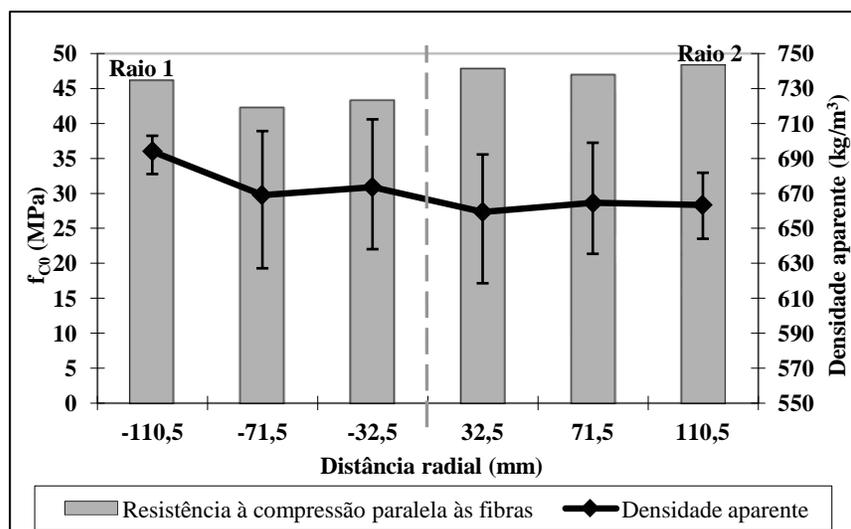


Figura 25. Clone GT 1 - Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade F (seca do painel de sangria por origem fisiológica)

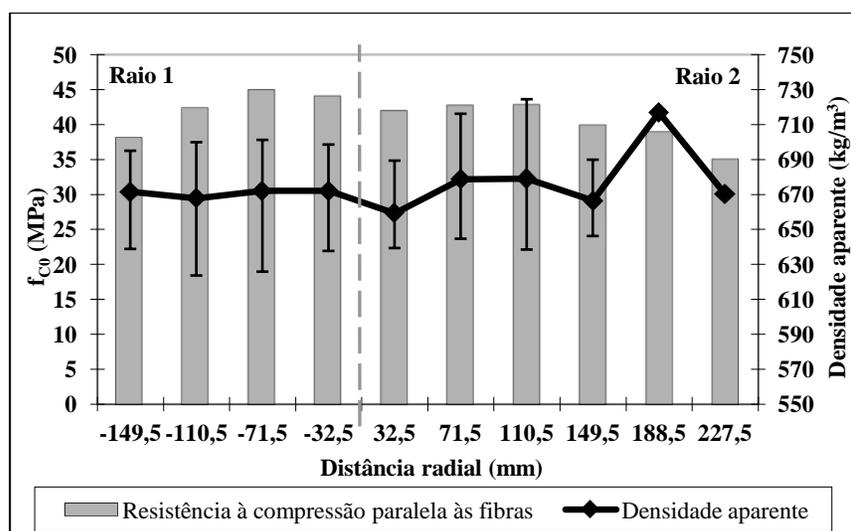


Figura 26. Clone RRIM 600 - Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade X (sadia)

Nesse ensaio foi feita, ainda, a caracterização da ruptura de cada um dos corpos de prova ensaiados, baseada na ASTM D143-94 (ASTM, 2007), por falta de maiores detalhamentos das tipologias de ruptura do corpo de prova nas normas brasileiras. Essa norma americana sugere seis tipos característicos de ruptura (Figura 29), sendo os três primeiros tipos (*crushing*, *wedge split* e *shearing*) considerados normais e os três últimos (*splitting*, *compression and shearing parallel to grain* e *brooming or end-rolling*) considerados como rupturas frágeis devido a defeitos internos, não paralelismo das faces do

corpo de prova e distorção da grã; por esse motivo, essas últimas rupturas levam ao descarte dos seus resultados; na Tabela 19 pode ser observada a frequência relativa (%) de ocorrência de cada um dos tipos de ruptura descritos para as árvores de ambos os clones estudados. Outro parâmetro importante analisado no corpo de prova foi a inclinação da grã, uma vez que inclinação maior que 6° exclui o corpo de prova do lote. Todos os corpos de prova considerados para o estudo apresentaram inclinação da grã menor que esse valor limite imposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

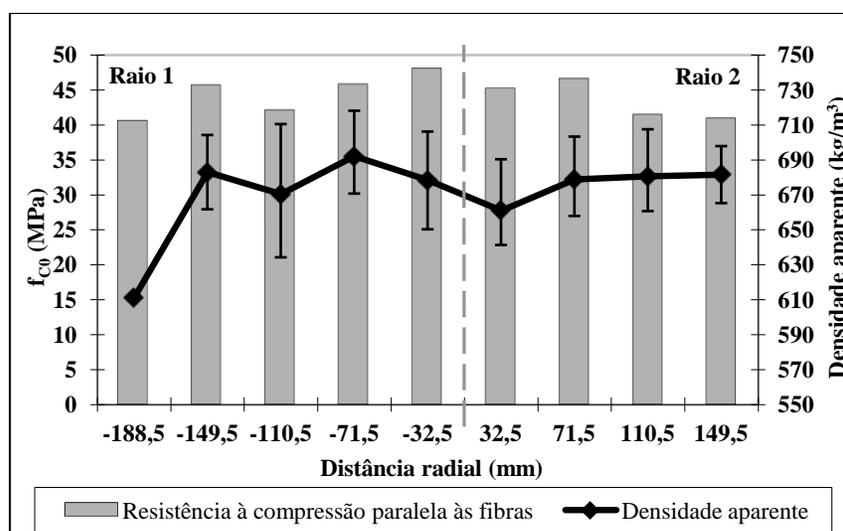


Figura 27. Clone RRIM 600 - Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade P (seca do painel de sangria por origem patológica)

Na Tabela 19 observa-se que, para o clone GT 1, 3,3% dos corpos de prova apresentaram um dos três últimos tipos de ruptura, portanto seus resultados foram descartados; no entanto, os corpos de prova do clone RRIM 600 não apresentaram ruptura enquadrada nas tipologias que levam ao descarte de seus resultados.

### 5.3.2. Flexão estática

Nas Tabelas 20 e 21 estão apresentados os valores de resistência e rigidez à flexão estática da madeira das árvores dos clones GT 1 e RRIM 600, respectivamente.

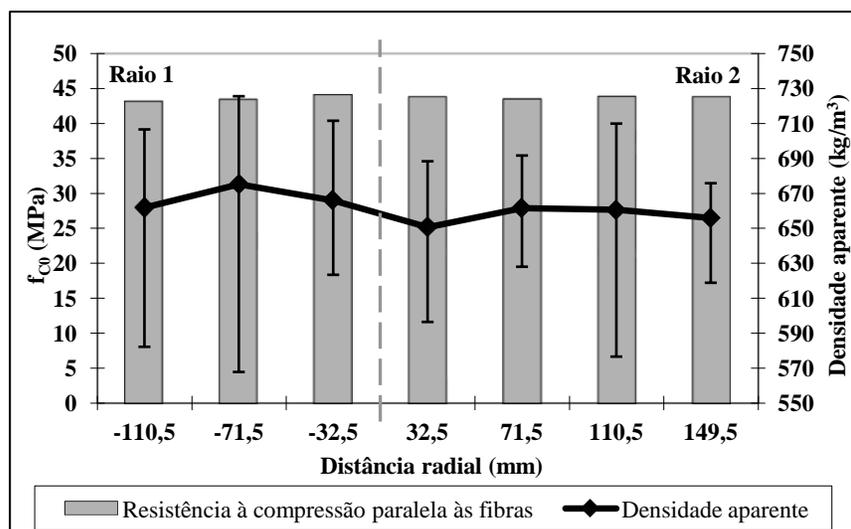


Figura 28. Clone RRIM 600 - Variação radial da resistência à compressão paralela às fibras nas árvores com sanidade F (seca do painel de sangria por origem fisiológica)

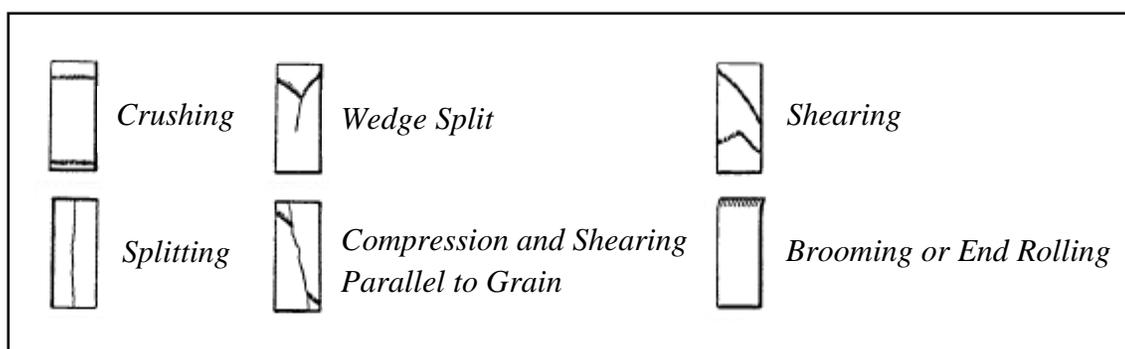


Figura 29. Tipos de ruptura de corpos de prova sujeitos ao ensaio de compressão paralela às fibras

Fonte: ASTM D143-94 (ASTM, 2007)

Tabela 19. Frequência de cada tipologia de ruptura para os clones GT 1 e RRIM 600

Tipologia de ruptura	Clone GT 1	Clone RRIM 600
<i>Crushing</i>	94,5%	99,2%
<i>Wedge split</i>	1,1%	0,8%
<i>Shearing</i>	1,1%	0,0%
<i>Splitting</i>	0,0%	0,0%
<i>Compression and shearing parallel to grain</i>	2,2%	0,0%
<i>Brooming or end-rolling</i>	1,1%	0,0%

Os valores de resistência no ensaio de flexão estática variam de 79,67 MPa a 90,98 MPa e os valores de rigidez variam de 9353 MPa a 10863 MPa para a

madeira do clone GT 1. Não houve diferenciação estatística entre os resultados dessas propriedades, quando considerados os efeitos da condição de sanidade e da posição radial.

Tabela 20. Clone GT 1 – Resistência e rigidez à flexão (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

<b>Clone GT 1 - Flexão estática</b>							
<b>Resistência (MPa)</b>							
<b>Sanidade</b>	<b>Posição</b>						<b>Média</b>
	<b>R1-110,5</b>	<b>R1-71,5</b>	<b>R1-32,5</b>	<b>R2-32,5</b>	<b>R2-71,5</b>	<b>R2-110,5</b>	
<b>X</b>	79,67	82,78	82,21	82,78	85,03	90,98	<b>84,23 A</b>
<b>P</b>	82,66	85,15	86,68	87,16	83,01	89,84	<b>85,52 A</b>
<b>F</b>	81,16	81,28	84,74	83,92	84,57	85,40	<b>83,66 A</b>
	<b>81,59a</b>	<b>82,95a</b>	<b>84,42a</b>	<b>84,47a</b>	<b>84,20a</b>	<b>89,07a</b>	
<b>Rigidez (MPa)</b>							
<b>Sanidade</b>	<b>Posição</b>						<b>Média</b>
	<b>R1-110,5</b>	<b>R1-71,5</b>	<b>R1-32,5</b>	<b>R2-32,5</b>	<b>R2-71,5</b>	<b>R2-110,5</b>	
<b>X</b>	9867	10496	9849	10003	9718	10279	<b>10049 A</b>
<b>P</b>	10045	10573	10841	10863	10193	10424	<b>10539 A</b>
<b>F</b>	9353	10124	10399	10155	10696	10663	<b>10277 A</b>
	<b>9697a</b>	<b>10388a</b>	<b>10335a</b>	<b>10310a</b>	<b>10202a</b>	<b>10423a</b>	
* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)							
** letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)							
***médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)							

Para o clone RRIM 600, os valores de resistência e rigidez, respectivamente, encontram-se entre 61,05 MPa e 94,11 MPa e 7138 MPa e 11579 MPa. Analogamente, no geral, não houve diferenciação estatisticamente entre os valores das propriedades para esse clone. A única exceção foi a condição de sanidade P (seca do painel de sangria por origem patológica) que apresenta rigidez estatisticamente diferente da observada na condição de sanidade X (sadia).

Os valores médios de resistência aqui observados na madeira dos dois clones são próximos dos obtidos para outros clones de *Hevea brasiliensis* por Santana et al., (2001) - entre 81,5 MPa a 96,9 MPa. Contudo, as resistências aqui obtidas são superiores às reportadas por Lee et al. (1979 apud LIM et al. 2003) – valor médio de 66 MPa. Quanto à

rigidez, Lee et al. (1979 apud LIM et al. 2003) reportaram o valor médio de 9.240 MPa para a madeira de seringueira, compatível com os obtidos neste estudo.

Tabela 21. Clone RRIM 600 – Resistência e rigidez à flexão (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

<b>Clone RRIM 600 - Flexão estática</b>												
<b>Resistência (MPa)</b>												
<b>Sanidade</b>	<b>Posição</b>											<b>Média</b>
	<b>R1-188,5</b>	<b>R1-149,5</b>	<b>R1-110,5</b>	<b>R1-71,5</b>	<b>R1-32,5</b>	<b>R2-32,5</b>	<b>R2-71,5</b>	<b>R2-110,5</b>	<b>R2-149,5</b>	<b>R2-188,5</b>	<b>R2-227,5</b>	
<b>X</b>		61,05	80,05	81,94	77,19	74,73	80,11	68,69	86,27	94,11	87,16	<b>77,02 A</b>
<b>P</b>	81,16	91,05	73,80	86,03	91,36	85,10	87,32	85,45	92,74			<b>86,38 A</b>
<b>F</b>			78,62	64,67	87,76	78,58	82,87	70,58	78,64			<b>77,63 A</b>
<b>Média</b>	<b>81,16a</b>	<b>69,62a</b>	<b>77,89a</b>	<b>77,54a</b>	<b>85,92a</b>	<b>79,47a</b>	<b>83,44a</b>	<b>74,78a</b>	<b>85,37a</b>	<b>94,11a</b>	<b>87,16a</b>	

<b>Rigidez (MPa)</b>												
<b>Sanidade</b>	<b>Posição</b>											<b>Média</b>
	<b>R1-188,5</b>	<b>R1-149,5</b>	<b>R1-110,5</b>	<b>R1-71,5</b>	<b>R1-32,5</b>	<b>R2-32,5</b>	<b>R2-71,5</b>	<b>R2-110,5</b>	<b>R2-149,5</b>	<b>R2-188,5</b>	<b>R2-227,5</b>	
<b>X</b>		7254	8709	9391	9121	8968	9244	7811	9423	10260	7138	<b>8763 B</b>
<b>P</b>	9904	10127	9262	9510	11579	10686	10723	9172	10927			<b>10288 A</b>
<b>F</b>			9684	7393	9724	9526	10139	8754	8527			<b>9159 AB</b>
<b>Média</b>	<b>9904a</b>	<b>8075a</b>	<b>9253a</b>	<b>8764a</b>	<b>10201a</b>	<b>9727a</b>	<b>10035a</b>	<b>8516a</b>	<b>9452a</b>	<b>10260a</b>	<b>7138a</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

As Figuras 30 e 31 ilustram a variação radial da resistência e da rigidez à flexão estática comparativamente à variação radial da densidade aparente da madeira, para as árvores do clone GT 1. As Figuras 32 e 33 ilustram esse mesmo comportamento comparativo para o clone RRIM 600. Nesses gráficos, os valores de densidade aparente são apresentados em termos médios (marcados na região central da barra vertical) e dos valores máximos e mínimos.

Pôde-se observar, de forma geral, um aumento no valor médio da resistência e da rigidez à flexão, seguido de diminuição no sentido medula-casca, acompanhado, na maioria das vezes, por igual comportamento da densidade aparente, para as árvores do clone RRIM 600. O clone GT 1 apresentou variação da propriedade mecânica, na direção radial, sem comportamento predominante.

Verifica-se que os comportamentos da resistência e da rigidez à flexão estática estabelecem discreta relação entre as mudanças de região de madeira juvenil e madeira adulta, principalmente para as árvores do clone RRIM 600.

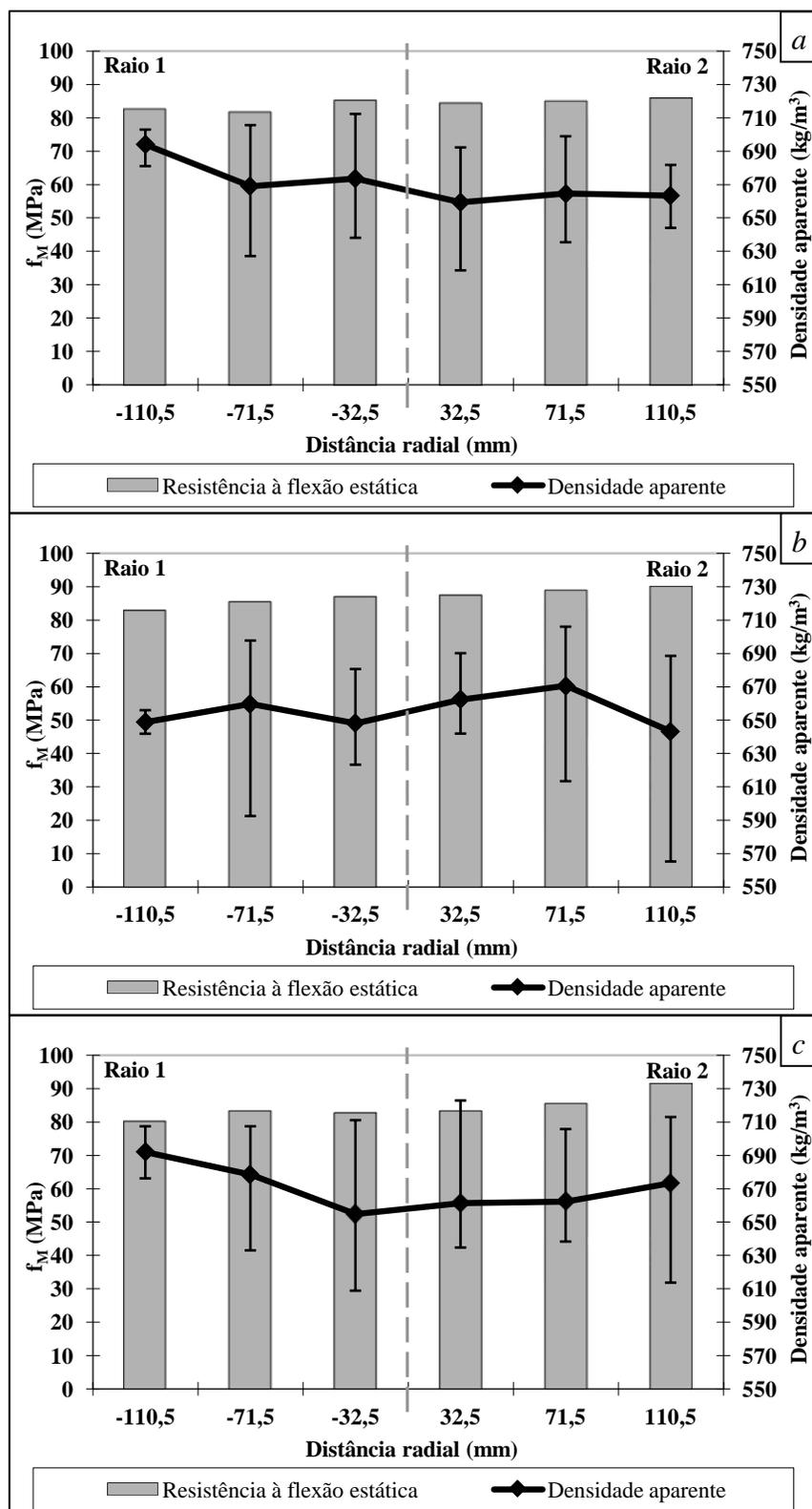


Figura 30. Clone GT 1 – Variação da resistência à flexão estática ( $f_M$ ) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c)

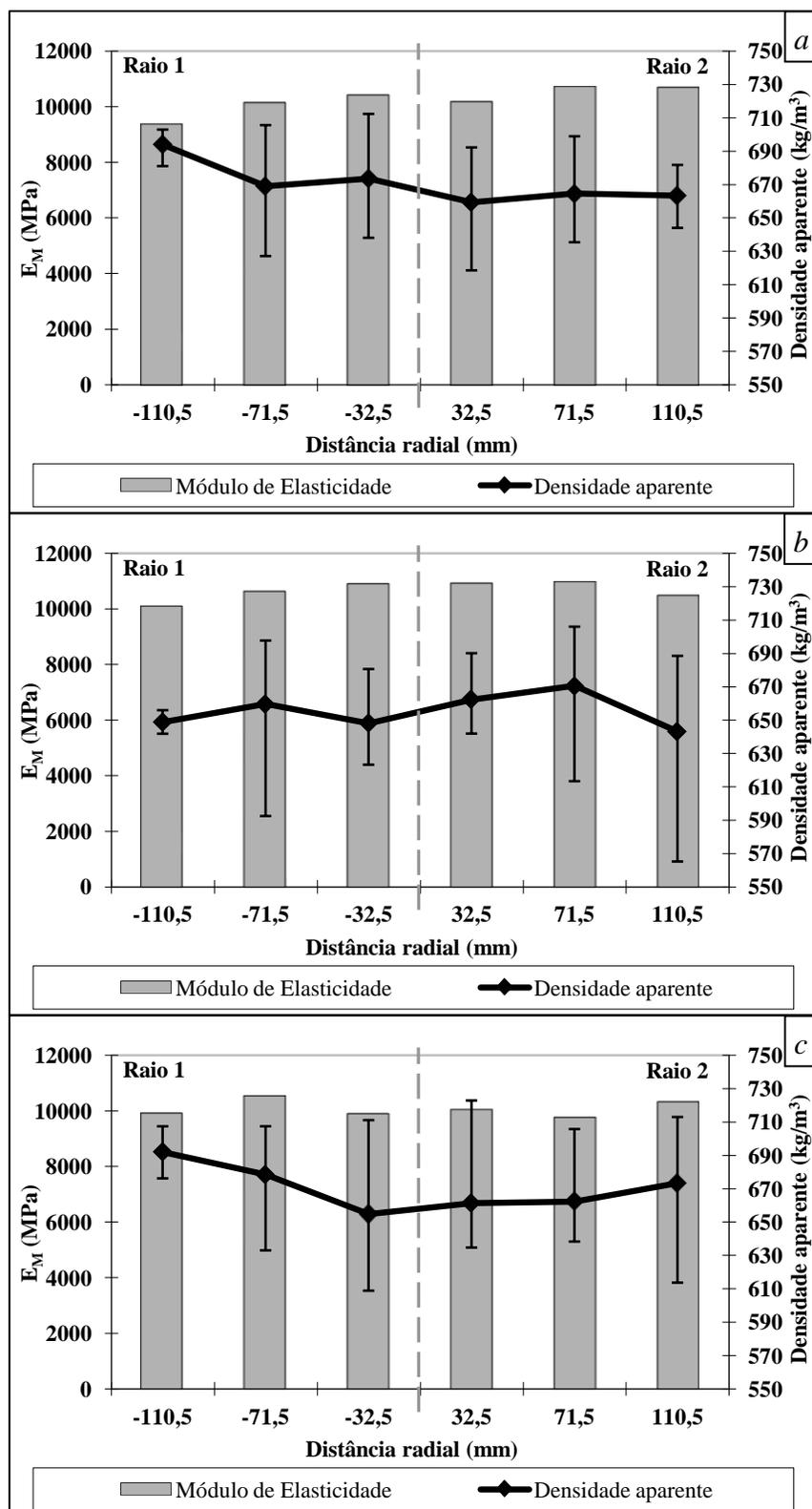


Figura 31. Clone GT 1 – Variação da rigidez à flexão estática ( $E_M$ ) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c)

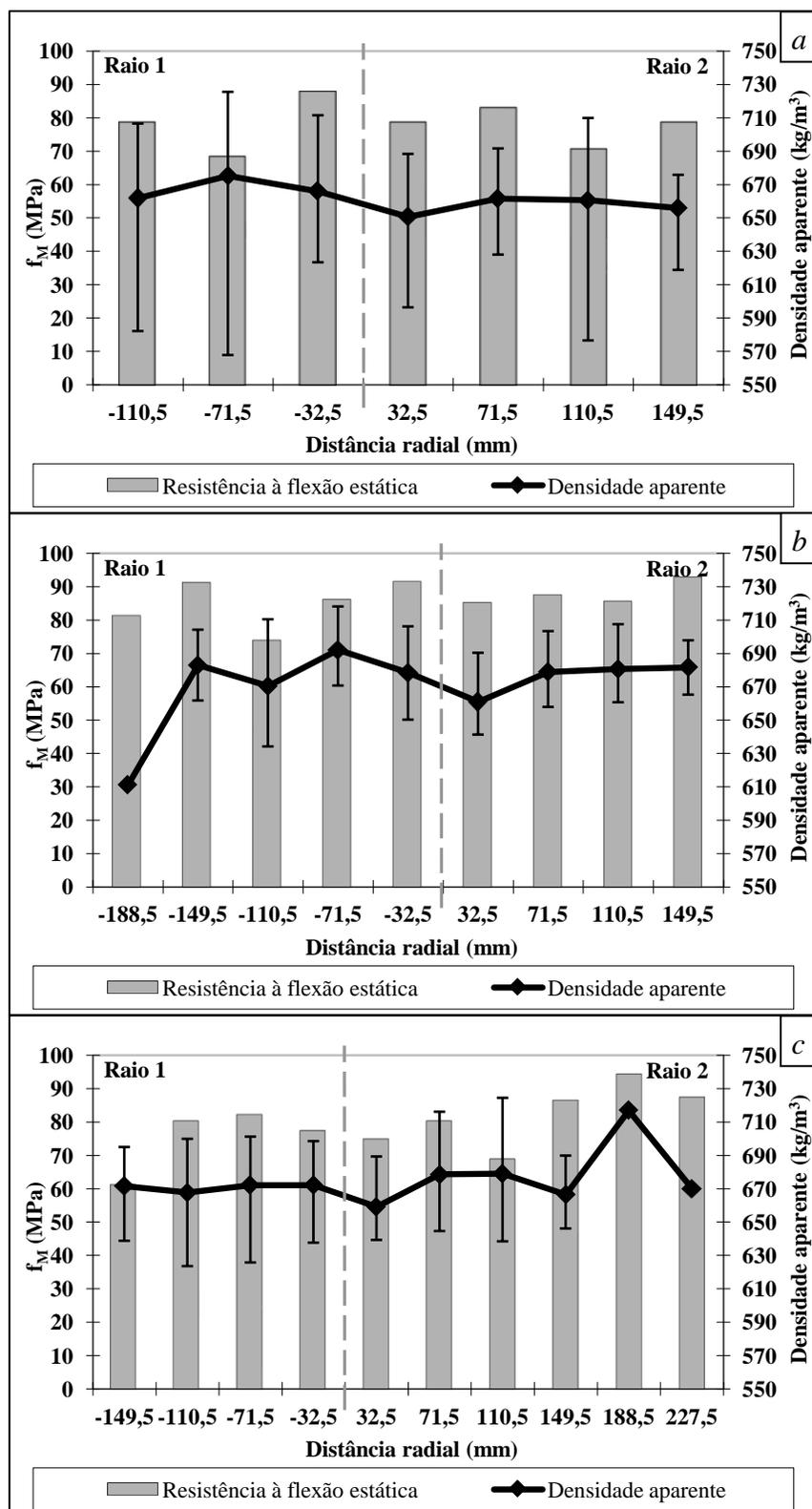


Figura 32. Clone RRIM 600 – Variação da resistência à flexão estática ( $f_M$ ) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c)

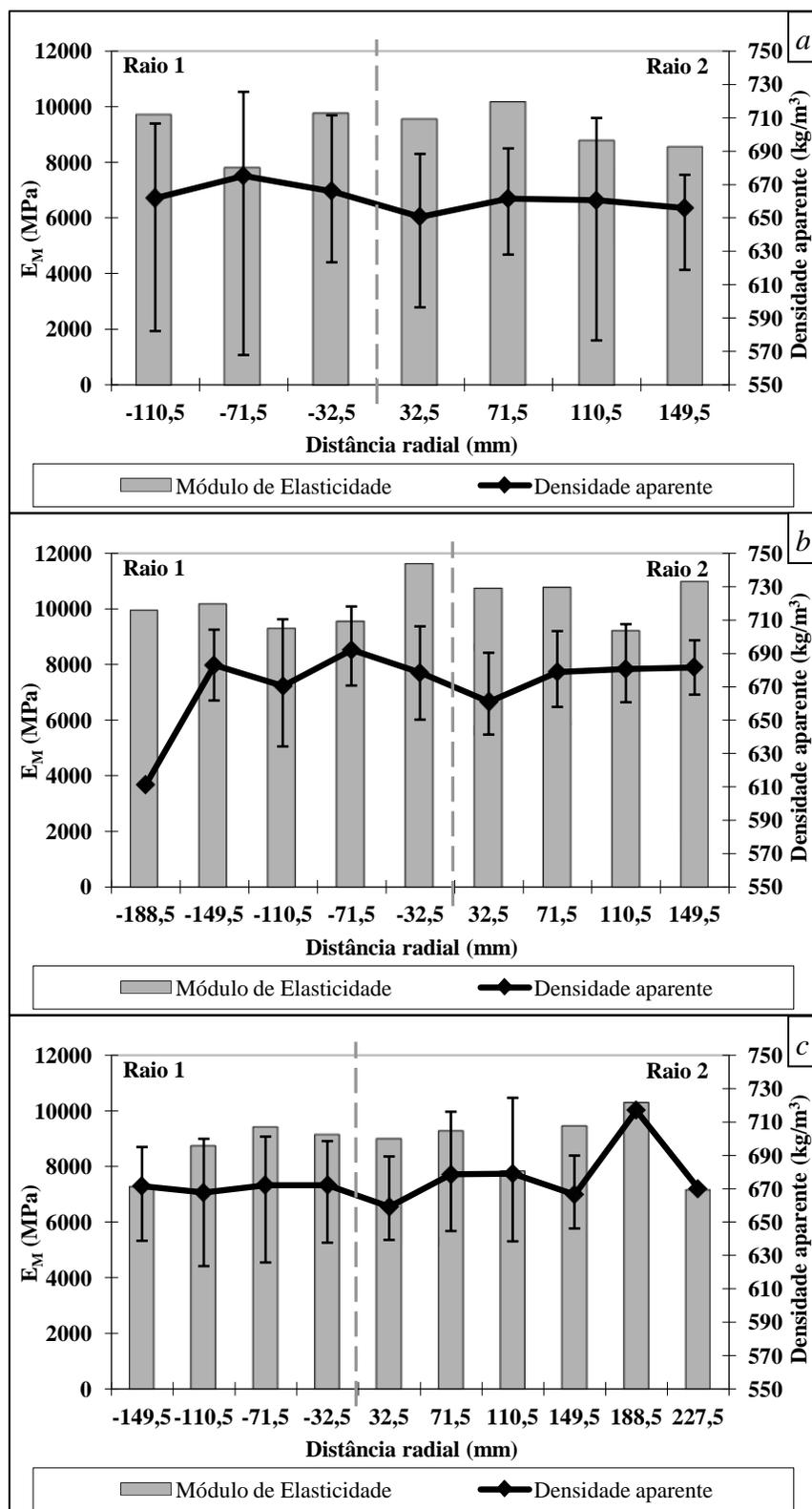


Figura 33. Clone RRIM 600 – Variação da rigidez à flexão estática ( $E_M$ ) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c)

As rupturas à flexão foram analisadas seguindo-se os padrões típicos sugeridos pela ASTM D413-94 (ASTM, 2007), e apresentados na Figura 34, considerando-se a face lateral e inferior dos corpos de prova.

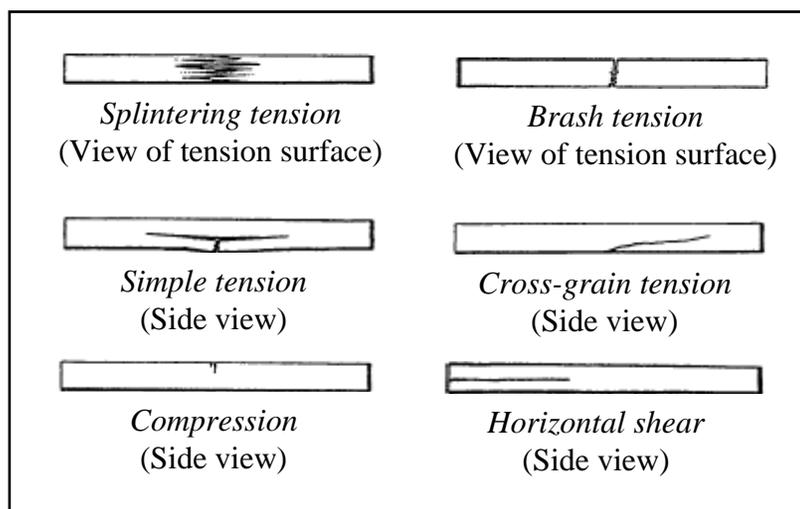


Figura 34. Tipos de ruptura no ensaio de flexão estática

Fonte: ASTM D143-94 (ASTM, 2007)

Analisando-se a face inferior, 86,0% dos exemplares romperam por *brash tension* e 14,0% romperam por *splintering tension*. Analisando-se a face lateral, 84,5% dos exemplares romperam por *simple tension* e 15,5% por *cross-grain tension*.

A ruptura *brash tension*, verificada na superfície tracionada de 86,0% dos corpos de prova, é associada por Zobel e Buijtenen (1989) à madeira de reação em coníferas. Autores como Lim e Sulaiman (1999) e Mathew (2003) afirmam que a presença de madeira de reação em seringueira é muito comum em consequência de diversos fatores externos.

A relação média observada entre módulo de elasticidade e módulo de ruptura no ensaio de flexão estática ( $E_M/f_M$ ), que foi de 120; a relação média entre a resistência no ensaio de flexão estática e resistência à compressão paralela às fibras ( $f_M/f_{c0}$ ) foi 1,844 - o resultado é superior à relação teórica (1,286) sugerida pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

### 5.3.3. Dureza Janka paralela às fibras

Nas Tabelas 22 e 23 estão apresentados os valores de dureza Janka paralela às fibras das árvores dos clones GT 1 e RRIM 600, respectivamente. Os resultados obtidos na análise estatística revelaram que não houve interação entre parcela e sub-parcela no caso das árvores do clone GT 1 (Tabela 22). Diferentemente do que observado para as outras propriedades, a dureza Janka sofre o efeito da interação parcela/sub-parcela para o clone RRIM 600 (Tabela 23).

Tabela 22. Clone GT 1 – Dureza Janka (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

Clone GT 1 - Dureza Janka (MPa)							
Sanidade	Posição						Média
	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	
<b>X</b>	69,72	67,56	57,30	57,27	58,55	66,17	<b>61,89 A</b>
<b>P</b>	62,83	60,61	59,59	63,06	62,71	65,32	<b>61,98 A</b>
<b>F</b>	67,21	67,40	61,64	63,15	64,47	73,71	<b>65,36 A</b>
<b>Média</b>	<b>66,59ab</b>	<b>65,19ab</b>	<b>59,51c</b>	<b>61,16c</b>	<b>61,91bc</b>	<b>67,84a</b>	

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

Tabela 23. Clone RRIM 600 – Dureza Janka (MPa) da madeira de árvores de seringueira em diferentes condições de sanidade e posições radiais

Clone RRIM 600 - Dureza Janka (MPa)											
Sanidade	Posição										Média
	R1-188,5	R1-149,5	R1-110,5	R1-71,5	R1-32,5	R2-32,5	R2-71,5	R2-110,5	R2-149,5	R2-188,5	
<b>X</b>	72,81 Aa	73,36 Aa	77,11 Aa	71,04 Aa	71,04 Aa	84,92 Aa	76,69 Aa	71,91 Aa	73,68 Aa	68,18 Aa	<b>75,03</b>
<b>P</b>	53,02 Aa	70,64 Aa	68,08 Aa	69,19 Aa	66,00 Aa	65,91 Aa	66,78 ABa	62,39 Aa	58,39 ABa		<b>65,72</b>
<b>F</b>		59,81 Aab	65,04 Aa	60,58 Aab	55,89 Aab	57,12 Bab	58,74 Aab	50,03 Bb			<b>58,77</b>
<b>Média</b>	<b>53,02</b>	<b>72,08</b>	<b>68,25</b>	<b>70,44</b>	<b>65,91</b>	<b>64,28</b>	<b>69,61</b>	<b>66,36</b>	<b>63,48</b>	<b>73,68</b>	<b>68,18</b>

\* letras maiúsculas comparam valores médios das parcelas (sanidade)  
 \*\* letras minúsculas comparam valores médios das sub-parcelas (posição)  
 \*\*\*médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

Para as árvores do clone GT 1, os valores de dureza Janka ( $f_H$ ) variaram de 57,27 MPa a 73,71 MPa. Pelas análises estatísticas conduzidas observa-se que não houve efeito das condições de sanidade, mas houve efeito da posição radial entre a posição

mais próxima à medula: apresentou valores menores de dureza Janka e eles aumentaram no sentido medula-casca.

Para as árvores do clone RRIM 600, os valores dureza Janka variaram de 50,03 MPa a 84,92 MPa. Não houve, no geral, diferenças estatísticas entre os resultados nas três condições de sanidade, embora a sanidade F (seca do painel de sangria por origem fisiológica) tenha revelado comportamento mecânico sistematicamente inferior às demais.

A Figura 35 ilustra a variação radial da dureza Janka comparativamente à variação radial da densidade aparente da madeira, para as árvores do clone GT 1. A Figura 36 ilustra esse mesmo comportamento comparativo para o clone RRIM 600. Nesses gráficos, os valores de densidade aparente são apresentados em termos médios (marcados na região central da barra vertical) e dos valores máximos e mínimos.

Na Figura 35 *c* (clone GT 1, sanidade X) verifica-se boa associação entre os valores de dureza Janka e a densidade aparente: posições com valores mais elevados de densidade apresentam maior resistência no ensaio de dureza Janka. Essa correlação também pode ser verificada nas Figuras 36 *a* e *b* (clone RRIM 600, sanidades F e P, respectivamente).

A correlação entre densidade aparente e a dureza Janka ficou evidenciada de forma bem mais clara que nas análises conduzidas para os outros parâmetros de resistência estudados. Este fato pode ser associado ao fato de que o ensaio de dureza Janka é localizado: compressão em uma área circular pequena (1 cm<sup>2</sup>) e apenas superficialmente, deixando essa resistência menos susceptível às variações que possam ocorrer em corpos de prova com maiores dimensões.

Para o clone GT 1, o valor da relação entre a dureza Janka e a resistência à compressão paralela às fibras ( $f_H/f_{c0}$ ) variou de 0,96 a 2,38. Para o clone RRIM 600 a mesma relação variou de 1,07 a 2,05. É sempre esperado que essa relação seja maior que um ( $f_H/f_{c0} > 1$ ), pois o ensaio de dureza é mais localizado, atuando em uma área menor e no ensaio de compressão a força atua em um corpo de prova com área maior, portanto está susceptível a possíveis variações que possam ocorrer na madeira que compõe o corpo de prova, diminuindo normalmente o valor da resistência obtido.

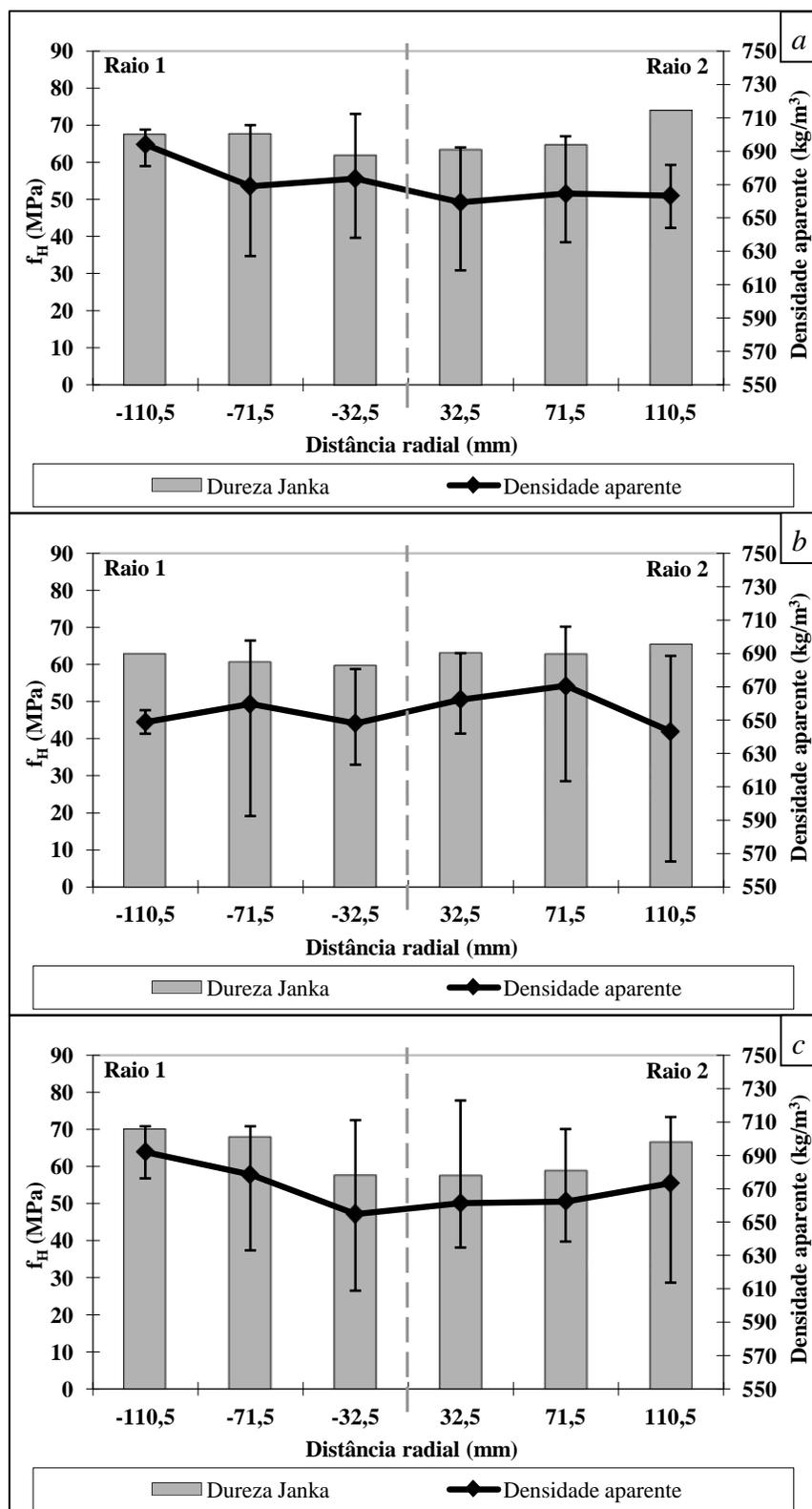


Figura 35. Clone GT 1 – Variação da dureza Janka ( $f_H$ ) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c)

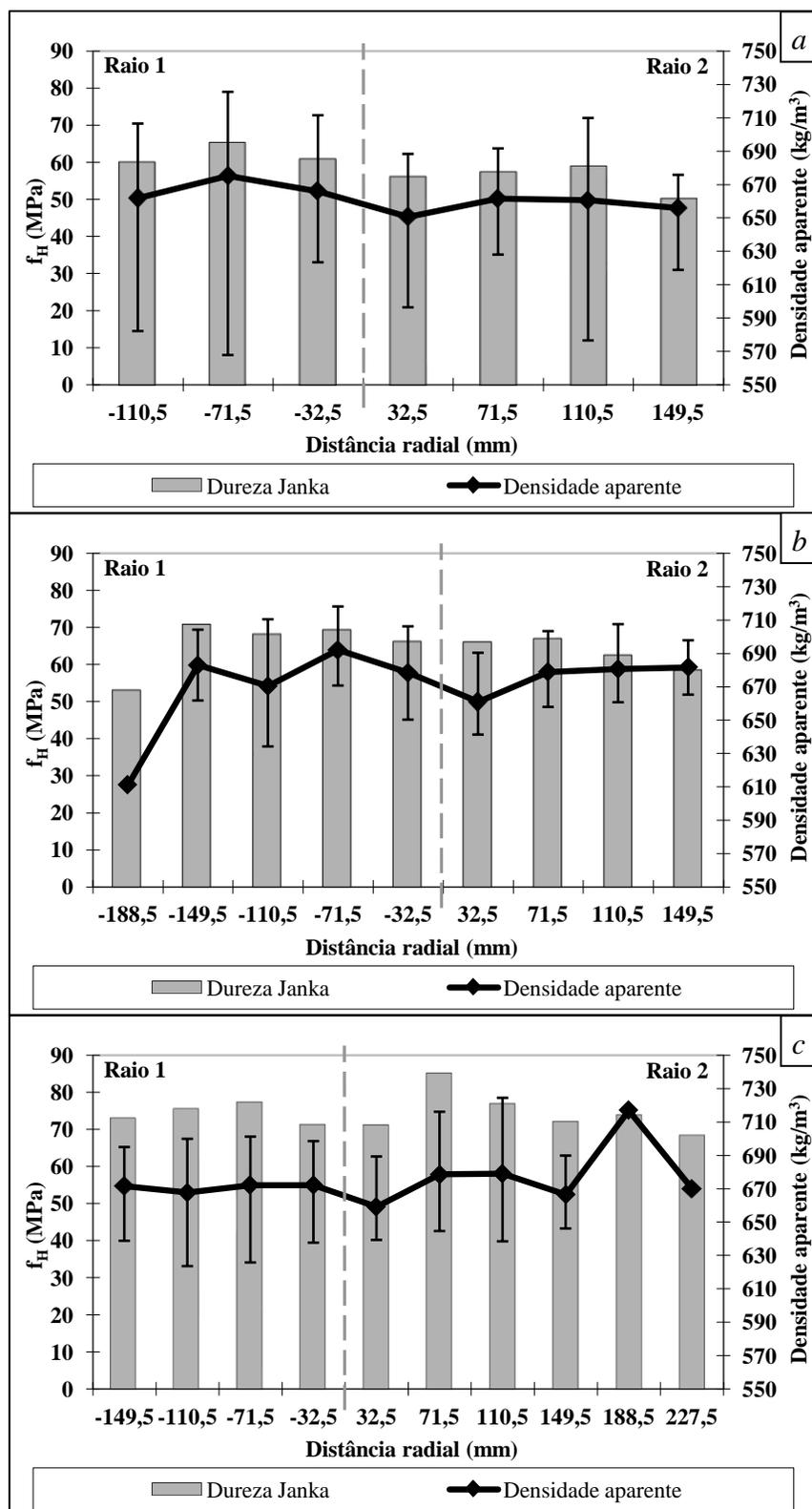


Figura 36. Clone RRIM 600 – Variação da dureza Janka ( $f_H$ ) nas árvores com sanidade F (a), P (b) e X (c)

#### 5.4. Compilação dos resultados obtidos

Diante do exposto neste capítulo, pode-se resumir os resultados como segue:

##### Dados gerais

- Para o clone GT 1, a madeira juvenil ficou delimitada desde a medula até cerca de 40% do raio, correspondendo aos primeiros 7 a 8 anos de idade das árvores;
- Para o clone RRIM 600, ficou delimitada até 32% do raio, representando os primeiros 6 a 7 anos das árvores;

##### Densitometria de raios X

- A densidade aparente da madeira de seringueira dos dois clones estudados apresentou quatro padrões preferenciais de variação radial. O padrão mais comum (ocorrência em 60,5% dos raios estudados) revelou diminuição inicial da densidade aparente a partir da medula em direção à casca, com posterior aumento podendo, finalmente, apresentar algumas variações na região mais externa do tronco;
- O coeficiente de variação médio da densidade aparente determinada pela densitometria de raios X foi de 12,24% para o clone GT 1 e de 13,40% para o clone RRIM 600;

##### Características anatômicas

- O comprimento médio das fibras da madeira juvenil de seringueira do clone GT 1 foi de 1.123  $\mu\text{m}$  e o comprimento médio das fibras da madeira adulta do mesmo clone foi de 1.352  $\mu\text{m}$ ;
- Para o clone RRIM 600, os comprimentos médios das fibras foram de 1.090  $\mu\text{m}$  e de 1.241  $\mu\text{m}$ , respectivamente para os dois tipos de lenho;

### Propriedades físicas

- A densidade básica média dos discos amostrados das árvores de seringueira variou de 580 kg/m<sup>3</sup> a 595 kg/m<sup>3</sup> para ambos os clones estudados; não houve diferença estatística desse parâmetro entre as diferentes condições de sanidade e entre os clones;
- Para ambos os clones, não houve diferenciação estatística da densidade básica da madeira nas três condições de sanidade das árvores;
- Para o clone GT 1 os valores de retratibilidade tangencial, radial, longitudinal e volumétrica variaram de 5,17% a 6,39%, 2,17% a 3,81%, 0,14% a 0,38% e 8,42% a 10,36%, respectivamente; para o clone RRIM 600, variaram de 4,71% a 6,69%, 2,31% a 3,49%, 0,23% a 0,76% a 8,53% a 10,82%, na mesma ordem;
- A retratibilidade tangencial aumentou no sentido medula-casca para os dois clones estudados; A retratibilidade radial aumentou neste mesmo sentido para o clone GT 1 e não variou radialmente para o clone RRIM 600; a retratibilidade longitudinal não apresentou variação radial para o clone GT 1, porém apresentou diminuição no sentido medula-casca. A retratibilidade volumétrica apresentou incremento no sentido medula-casca para os dois clones;
- O índice de anisotropia da madeira do clone GT 1 variou de 1,58 a 2,51 e, do clone RRIM 600, de 1,57 a 2,63; para os dois clones o índice de anisotropia apresentou incremento na região mais próxima à medula com posterior diminuição de seu valor no sentido medula-casca;
- A madeira dos dois clones foi classificada como de baixa contração;
- O clone GT 1 não apresentou diferença estatística entre as condições de sanidade nos ensaios de retratibilidade, porém o clone RRIM 600 apresentou maior retratibilidade radial na condição de sanidade F (árvores com seca do painel de sangria com sintoma de origem fisiológica) e a retratibilidade longitudinal e o índice de anisotropia com maiores valores na condição de sanidade X (árvores com produção normal de látex); as retratibilidades tangencial e volumétrica não apresentaram diferença entre as condições de sanidade;

### Propriedades mecânicas

- O clone GT 1 teve resistência à compressão paralela às fibras variando de 41,55 MPa a 48,22 MPa e o clone RRIM 600 de 34,96 MPa a 47,89 MPa. Esta propriedade não apresentou diferença significativa radialmente ou entre as condições de sanidade;
- Radialmente, a tendência da resistência à compressão paralela às fibras foi de aumento com posterior diminuição no sentido medula-casca, sendo este comportamento, na maioria dos casos, também verificado para a densidade aparente dos corpos de prova;
- Mais de 90% da ruptura dos corpos de prova de compressão paralela às fibras foi classificada como esmagamento (*crushing*), sendo essa ruptura considerada normal;
- O clone GT 1 apresentou resistência à flexão de 79,67 MPa a 90,98 MPa e o clone RRIM 600 apresentou resistência de 61,05 MPa a 94,11 MPa. No mesmo ensaio, a rigidez para o clone GT 1 variou de 9.353 MPa a 10.863 MPa e para o clone RRIM 600 variou de 7.138 MPa a 11.579 MPa;
- Radialmente não houve diferença estatística tanto para a resistência quanto para a rigidez no ensaio de flexão estática. Não houve também diferença estatística desses parâmetros mecânicos nas três condições de sanidade, com exceção da rigidez no clone RRIM 600, que apresentou a condição de sanidade P (seca do painel de sangria com sintoma de origem patológica) com valor superior ao das outras duas condições de sanidade;
- No geral, a resistência e a rigidez no ensaio de flexão estática apresentam a tendência de aumento e posterior diminuição no sentido medula-casca, sendo acompanhado, geralmente, pelo mesmo comportamento da densidade aparente dos corpos de prova;
- 86,0% dos corpos de prova do ensaio de flexão apresentaram ruptura quebradiça (*brash tension*) dando indícios da provável influência de madeira de tração nesse comportamento;
- A dureza Janka da madeira variou de 57,27 MPa a 73,71 MPa para o clone GT 1 e de 50,03 MPa a 84,92 MPa para o clone RRIM 600. Para o clone GT 1 houve aumento da dureza no sentido medula-casca e não houve diferença entre as condições de sanidade. Para o clone RRIM 600 foi verificado aumento e posterior diminuição desta propriedade no sentido medula-casca na condição de sanidade F, sendo a dureza nessa condição de

sanidade inferior às outras em algumas posições radiais; as condições de sanidade P e X não apresentaram variação radial desta propriedade mecânica;

- A tendência da dureza Janka foi aumentar no sentido medula-casca; a densidade aparente teve comportamento bastante semelhante nessa direção, sendo mais evidente uma associação entre os valores dessas duas propriedades (dureza e densidade aparente) do que o observado para os ensaios de compressão paralela e flexão; atribuiu-se essa maior associação ao fato do ensaio de dureza ser mais localizado sofrendo, portanto, menor influência de possíveis defeitos que o corpo de prova possa vir a apresentar.

Por fim, observou-se que a seca do painel de sangria (*brown bast* ou *tapping panel dryness*), provocada tanto pelo ataque do fungo *Fusarium moliniforme*, quanto por fatores abióticos que causam os “cortes secos” (ausência de látex) nas árvores não promoveram, no geral, alterações nas propriedades físico-mecânicas da madeira de seringueira.

## 6. CONCLUSÕES

Considerando-se os condicionantes deste estudo constata-se que:

- A seca do painel de sangria (*brown bast* ou *tapping panel dryness*) não afetou a qualidade do lenho e o desempenho físico-mecânico da madeira de seringueira;
- O comprimento das fibras variou no sentido medula-casca para as árvores dos dois clones. Essa variação foi associada à diferenciação entre os lenhos juvenil e adulto. Para as árvores do clone GT 1 (20 anos de idade), a madeira juvenil, caracterizada pela região onde o incremento das fibras é mais acentuado – região mais próxima à medula – ficou delimitada a uma idade das árvores de 7 a 8 anos. Para as árvore do clone RRIM 600 (29 anos de idade), a mesma região ficou delimitada até a idade das árvores de 6 a 7 anos;
- O estudo de densitometria por raios X revelou a presença de quatro padrões de variação da densidade aparente da madeira de seringueira ao longo do raio. A variação radial mais comum consistiu em diminuição da densidade aparente na região inicial do raio aumentando, em seguida, podendo ter algumas variações na região mais próxima da casca.
- A madeira das árvores dos dois clones foi considerada de baixa contração. Os resultados de retratibilidade da madeira revelaram efeito de juvenilidade, com valores menores de retratibilidade longitudinal e valores maiores de retratibilidade radial e tangencial na região mais próxima à medula. A retratibilidade volumétrica foi menor na região mais externa do fuste, estabilidade que pode ser associada ao lenho adulto;

- Não houve efeito estatisticamente significativo da condição de sanidade nem da posição radial (medula-casca) nas resistências à compressão paralela às fibras e à flexão e na rigidez à flexão. Por essas razões, do ponto de vista mecânico, a madeira de seringueira dos dois clones estudados pode ser considerada com qualidade constante (não variável);
- O efeito de juvenilidade nas propriedades mecânicas foi caracterizado de maneira muito discreta, somente em algumas situações isoladas.

## 7. REFERÊNCIAS

ABDEL-GADIR, A. Y.; KRAHMER, R. L. Variation in the age of demarcation between juvenile and mature wood in Douglas-fir. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 25, n. 4, p. 384-394, out. 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D143-94: standard test methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken, Reapproved 2007. 32 p.

ANDRADE, B. C. L. et al. Rendimento do desdobro de toras de seringueira. *Painel florestal*. jan. 2011. Disponível em:  
<<http://painelflorestal.com.br/noticias/seringueira/10646/rendimento-do-desdobro-de-toras-de-seringueira>>. Acesso em: 19 ago. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2010. Brasília, DF, 2011. 130 p.

AUTRAN, C. S.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 445-451, 2006.

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

BALSIGER, J.; BAHDON, J.; WHITEMAN, A. **The utilization, processing and demand for rubberwood as a source of wood supply**. Rome: FAO, 2000. 78 p.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out./dez. 2010.

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

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 18, n. 1, p. 23-38, 1986.

BENESI, J. F. C. Novas técnicas de exploração do seringal. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 7., 2010, São José do Rio Preto. **Palestras...** São José do Rio Preto: APABOR, 2010. 21 p.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 2006. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

BERNARDES, M. S. et al. **Manual de sangria da seringueira**. São José do Rio Preto: Bridgestone/Firestone do Brasil, 1995. 20 p.

BETELONI, F. G. et al. *Fusarium moniliforme*, novo patógeno no painel da seringueira, no estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 35, p. 35, 2009.

BETELONI, F. G. et al. *Fusarium* spp., novo patógeno causador da seca do painel de sangria da seringueira (*Hevea* spp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HEVEICULTURA, 2., 2010, Ilhéus. **Apresentação oral...** Ilhéus: CEPLAC, 2010.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. 2. ed. Malabar, Flórida: Krieger, 1993. 712 p.

BROWN, M. J.; McWILLIAMS, W. H. Pine stands across the South - trends and projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens, GA. **Proceedings...** Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, 1990. p. 1-15.

CARMO, C. A. F. S. et al. Biomassa e estoque de carbono em seringueiras implantadas na Zona da Mata de Minas Gerais. In: **Sequestro de carbono**: quantificação em seringueiras de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG: Suprema, 2006. p. 77-110.

CENTURION, M. A. P. C. et al. Efeito do manejo da entrelinha da seringueira sobre as propriedades químicas do solo, o estado nutricional e o crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 185-193, 2005.

COLLOQUIUM ON RUBBERWOOD: RESOURCES AND TECHNOLOGIES, 1998, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: FRIM, 1998. 36 p.

COOPER, J. E. et al. Detecting juvenile wood in southern pine logs with brush electrodes. In: EIT CONFERENCE, 9., 2008, Hanover. **Proceedings...** Hanover: Dartmouth College, 2008. 4 p.

CORADIN, V. T. R.; MUNIZ, G. B. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira**: I. Angiospermae. II. Gimnospermae. Brasília, DF: IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1992. 17 p.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, dez. 2003.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, jun. 2004.

ESCOBAR, J. F.; BALLARIN, A. W.; LARA PALMA, H. A. Variação radial da densidade básica da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*). In: EBRAMEM – ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: IBRAMEM. 2010. 1 CD-ROM.

EVANS II, J. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, jul./aug. 2000.

FERREIRA, A. L.; SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones from *Hevea brasiliensis* trees grown in Brazil. **European Journal of Wood and Wood Products**. Berlin, 2010. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/52141x77333218v1/fulltext.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FRANKLIN, L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood. Resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, n. 155, p. 51, 1945.

FURTADO, E. L.; MENTEN, J. O. M.; PASSOS, J. R. Intensidade do Mal das Folhas em plantas jovens e adultas de seis clones de seringueira na região do Vale do Ribeira. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p. 130-137, mar./apr. 2008.

GONÇALVES, E. C. P. Fatores que determinam o sucesso na implantação da cultura da seringueira. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 7., 2010, São José do Rio Preto. **Palestras...** São José do Rio Preto: APABOR, 2010. 13 p.

GONÇALVES, P. S. Clones de seringueira: recomendação para plantio no estado de São Paulo. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 7., 2010, São José do Rio Preto. **Palestras...** São José do Rio Preto: APABOR, 2010. 8 p.

GONÇALVES, P. S.; MARQUES, J. R. B. Melhoramento genético da seringueira: passado, presente e futuro. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Coords.). **Seringueira**. Viçosa, MG: EPAMIG, p. 401-407, 2008.

GONÇALVES, P. S. et al. **Clones de Hevea**: influência dos fatores ambientais na produção e recomendação para o plantio. Campinas: IAC, 1991. 32 p. (Boletim Técnico, 138).

GONÇALVES, P. S. et al. **Manual de heveicultura para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2001. 78 p. (Série Tecnológica APTA, 189).

HARIDASAN, V. Rubber wood: promise of the future. **Rubber Board Bulletin**, Kottayama, v. 25, n. 2, p. 6-8, 1989.

HONG, L. T. Rubberwood utilization: a success story. In: WORLD CONGRESS OF THE INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATIONS, 20., 1995, Tampere. **Proceedings...** 1996. Disponível em:  
<<http://www.metla.fi/iufro/iufro95abs/rsp19.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. A importância da borracha natural. Programa Seringueira, 2009a. Disponível em:  
<<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Seringueira/QuemSomos/Caracteristicas.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2011.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. A importância da borracha natural. Programa Seringueira, 2009b. Disponível em:  
<<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Seringueira/QuemSomos/ImportanciaBorracha.asp>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. O Cultivo da seringueira (*Hevea* spp.). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, 2004. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 2004. Disponível em:  
<[http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/cultsering.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/cultsering.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2009.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Área e produção dos principais produtos da agropecuária. 2011. Disponível em:  
<[http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/subjetiva.aspx?cod\\_sis=1&idioma=1](http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1)>. Acesso em: 17 jun. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tabela de classificação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.** São Paulo, [1990?]. Não publicado.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, n. 10, p. 219-332, 1989.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 81, p. 1-15, dez. 1979.

KADIR, A. A.; SUDIN, R. Carbohydrates in rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell.). **Holzforschung**, Berlin, v. 43, n. 3, p 173-178, 1989.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: ROSS, R. J. (Ed.). **Wood handbook**. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p. 100-145.

KRONKA, F. J. N.; RIBAS, C.; MONTEIRO, C. **Uso potencial da madeira da seringueira**. São Paulo: Instituto Florestal. 2006. Disponível em: <[http://www.sbs.org.br/secure/Palestra2006\\_Heveicultura.pdf](http://www.sbs.org.br/secure/Palestra2006_Heveicultura.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2010.

LEONELLO, E. C.; LARA PALMA, H. A.; BALLARIN, A. W. Delimitação da madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus grandis* em São Paulo, Brasil. **Revista Forestal Venezolana**, Merida, v. 52, n.1, p. 93-98, 2008.

LIM, S. C.; SULAIMAN, A. Structure and characteristics of rubberwood. In: HONG, L. T.; SIM, H. C. **Rubberwood processing and utilisation**. 2. ed. Kuala Lumpur: FRIM, 1999. 17-26 p.

LIM, S. C.; GAN, K. S. CHOO, K. T. The characteristics, properties and uses of plantation timbers – rubberwood and *Acacia mangium*. **Timber Technology Bulletin**, Kuala Lumpur, n. 26, p. 1-11, 2003.

LOGSDON, N. B.; PENNA, J. E. Análise comparativa entre os coeficientes de anisotropia dimensional da madeira, no inchamento e na retração. **Agricultura Tropical**, Cuiabá, v. 8, n. 1, p. 9-20, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. v. 1. 352 p.

MACEDO, R. L. G. et al. Estabelecimento e crescimento inicial de clones de *Hevea* sp na região de Paracatu - MG. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 84-91, jan./mar. 2009.

MATAN, N.; KYOKONG, B. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of juvenile rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), **Songklanakarín Journal of Science and Technology**, Hat Yai, v. 25, n. 3, p. 327-340, 2003.

MATHEW, F. **Structural studies on tension wood of *Hevea brasiliensis* (Para Rubber) with special reference to clonal viability**. 2003. 174 f. Thesis (PhD in Botany)-Mahatma Gandhi University, Kottayam, 2003.

MAY, A.; GONÇALVES, P. S. Produtos complementares na exploração do seringal. Borracha atual, p. 17-21, 1999. Disponível em: <[http://www.borrachaatual.com.br/materiatecnica/20/materia\\_tecnica\\_20a.pdf](http://www.borrachaatual.com.br/materiatecnica/20/materia_tecnica_20a.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2011.

MENEZES, V. O. **Inoculação de *Fusarium moniliforme* (Sheld.) em sementes de suas cultivares de pepino através da técnica da restrição hídrica e sua influência sobre a qualidade fisiológica.** 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Produção Vegetal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MOHAMAD, R. B. **Juvenility in rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and its relation with the physical and mechanical properties.** 1998. Dissertação (Mestrado)-Faculty of Forestry, University Putra Malaysia, Malásia, 1998.

MONTEIRO, T. C. et al. Avaliação das propriedades física e mecânica da madeira de clones de *Hevea brasiliensis*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010. Lavras. **Anais...** Lavras: IBRAMEM, 2010. 1 CD-ROM.

MORENO, R. M. B. et al. Avaliação do látex e da borracha natural de clones de seringueira no estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 5, p. 583-590, mai. 2003.

MUTZ, R. et al. Modelling juvenile-mature wood transition in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using nonlinear mixed-effects models. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 61, p. 831-841, 2004.

NASCIMENTO, C. C. **Formação da madeira juvenil.** 1991. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Melhoramento Vegetal)-Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

OGATA, Y. et al. Growth rings and tree growth in young Para rubber trees from Peninsular Malaysia. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 22, n. 1, p. 43-56, 2001.

OHASHI, Y. et al. Annual rhythm of xylem growth in rubberwood (*Hevea brasiliensis*) trees grown in Malaysia. **Holzforschung**, Berlin, v. 55, p.151-154, 2001.

OKINO, E. Y. A. et al. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 451-457, 2004.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

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

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill College, 1980. 722 p.

PEREIRA, J. P. Formação de seringais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Coords.). **Seringueira**. Viçosa, MG: EPAMIG, p. 343-370, 2008.

PINHEIRO, E.; PINHEIRO, F. S. V. Heveicultura em área de escape. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Coords.). **Seringueira**. Viçosa, MG: EPAMIG, p. 83-126, 2008.

PRIYADARSHAN, P. M. et al. Breeding of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. in Tripura: performance of a few stress tolerant clones in the early phase. **Developments in Plantation Crops Research**, Tripura, p. 63-68, 1998.

PUTZ, P. Cadeia produtiva de artefatos de borracha. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 7., 2010, São José do Rio Preto. **Palestras...** São José do Rio Preto: APABOR, 2010. 12 p.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Comercial timbers**: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 25th. Jun. 2009. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/wood/pt/www/euphebra.htm>>. Acesso em: 19 mai. 2011.

ROCHA, R. R. **Avaliação não-destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários**. 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

ROSSMANN, H. Borracha natural: queda de preço não gera preocupação. Agroblog. 2011. Disponível em: <<http://www.agroblog.com.br/cat/borracha-natural/>>. Acesso em: 25 jun. 2011.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors effecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Eds.). **Natural polymers and agrofibers composites**. São Carlos: IQSQ/USP, p.115-133, 2000.

RUBBER BOARD. Tapping panel dryness. Rubber grower's companion, Kottayam, Kerala, The Rubber Board, 2002. Disponível em:  
<<http://rubberboard.org.in/ManageCultivation.asp?Id=147>>. Acesso em: 2 fev. 2011.

SAMPAIO, J. Importância da heveicultura no Estado de São Paulo. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 7, 2010, São José do Rio Preto. **Palestras...** São José do Rio Preto: APABOR, 2010. 2 p.

SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M.; PASTORE, T. C. M. Avaliação da madeira de quatro clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 70, p. 61-68, jun. 2001.

SANTOS, F. W. et al. Variação genética para a densidade básica da madeira e caracteres silviculturais em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 185-194, dez. 2008.

SENFT, J. F.; BENDTSEN, B. A.; GALLIGAN, W. L. Weak wood. **Journal of Forestry**, Washington, n. 83, p. 476-485, 1985.

TASSISA, G.; BURKHART, H. E; BROOKS, T. M. Juvenile-mature wood demarcations in Loblolly pine trees. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 30, n. 2, p. 119-127, 1998.

TEIXEIRA, D. E. et al. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 18-26, jan./dez. 2001.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, 1985.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 35-42, 1987.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. 146 p. Tese (Livre docência na

especialidade Ciência e Tecnologia de Madeiras)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; MARTINS, I. S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VALLE, A. A. Q. Mercado da borracha natural no Brasil: situação conjuntural e futuro imediato. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 7., 2010, São José do Rio Preto. **Palestras...** São José do Rio Preto: APABOR, 2010. 17 p.

VILAS BOAS, M. A. et al. Anatomia quantitativa e produção de carvão vegetal da madeira de seringueira. In: EBRAMEM – ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12, 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: IBRAMEM, 2010. 1 CD-ROM.

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: ROSS, R. J. (Ed.). **Wood handbook**. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p. 62-79.

YANG, K. C.; BENSON, C. A.; WONG, J. K. Distribution of juvenile wood in two stems of *Larix laricina*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 16, n. 5, p. 1041-1049, 1986.

ZHAO, Y. Promotion of rubberwood processing technology in the Asia-Pacific region. In: ITTO/CFC INTERNATIONAL RUBBERWOOD WORKSHOP, 2008, Haikou. **Proceedings...** Haikou: ITTO, 2008. Disponível em: <<http://www.paneltech.cn/rubberwood/WorkshoPresentations/WorkshopProceedings.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

ZHOU, Y. et al. **Rubberwood processing manual**. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2007. 80 p.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, New York, v. 18, n. 1, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 361 p.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A

Resultados obtidos nas mensurações do comprimento das fibras

Tabela A.1. Dados característicos do comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por posição das árvores 3, 5 e 6 do clone GT 1

Árvore	Distância radial (cm)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
3	1	900,55	642,48	1231,51	153,10	17,00
3	2	1068,86	809,81	1295,13	125,86	11,78
3	3	1062,22	792,36	1378,47	148,08	13,94
3	4	1117,42	818,78	1408,47	136,20	12,19
3	5	1211,19	942,18	1676,62	206,14	17,02
3	6	1271,39	1028,50	1642,59	157,30	12,37
3	7	1344,95	1012,11	1601,50	150,14	11,16
3	8	1262,41	856,32	1487,34	155,16	12,29
3	9	1256,81	957,43	1590,23	164,58	13,09
3	10	1307,34	885,38	1782,89	183,78	14,06
3	11	1368,47	1044,59	1741,68	200,61	14,66
3	12	1392,92	1045,15	1764,60	210,52	15,11
3	13	1457,85	1051,44	1807,56	202,47	13,89
3	14	1518,01	1080,32	1952,56	201,65	13,28
3	15	1282,98	935,63	1796,70	228,18	17,79
5	1	827,47	607,25	1097,94	114,63	13,85
5	2	1082,67	784,20	1609,15	159,02	14,69
5	3	1237,38	1010,63	1468,43	119,77	9,68
5	4	1304,90	1000,68	1631,83	149,52	11,46
5	5	1300,56	948,85	1700,59	208,56	16,04
5	6	1344,54	1055,34	1670,42	161,00	11,97
5	7	1412,06	1117,92	1750,83	174,75	12,38
5	8	1364,56	1119,67	1658,93	151,02	11,07
5	9	1435,56	849,84	1726,09	188,15	13,11
5	10	1472,31	1105,79	1799,99	192,18	13,05
5	11	1470,19	1100,55	1801,91	174,24	11,85
5	12	1374,39	992,34	1675,80	167,08	12,16
5	13	1237,53	806,17	1768,42	237,61	19,20
5	14	1377,49	1017,96	1752,25	165,22	11,99
5	15	1283,20	940,66	1723,83	164,91	12,85
5	16	1496,27	1020,59	1775,18	172,57	11,53
5	17	1429,09	1067,83	1669,87	154,77	10,83
6	1	909,57	657,75	1208,22	117,27	12,89
6	2	1061,92	865,52	1303,08	118,71	11,18
6	3	857,21	593,76	1075,22	132,82	15,49
6	4	1209,98	823,27	1796,67	220,09	18,19
6	5	1030,50	637,39	1443,55	208,68	20,25
6	6	1190,71	821,35	1553,84	192,57	16,17
6	7	1307,99	998,19	1634,69	155,38	11,88
6	8	1351,60	1074,48	1659,01	159,19	11,78
6	9	1397,36	1005,12	1858,62	165,14	11,82
6	10	1414,57	1183,21	1713,40	160,68	11,36
6	11	1036,43	703,03	1340,86	173,24	16,72
6	12	1268,05	968,92	1444,45	111,88	8,82
6	13	1352,51	1000,19	1807,91	209,68	15,50
6	14	1416,85	982,66	1708,74	218,23	15,40

Tabela A.2. Dados característicos do comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por posição das árvores 3, 5 e 6 do clone RRIM 600

Árvore	Distância radial (cm)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
3	1	1051,78	744,00	1383,39	164,17	15,61
3	2	1040,12	637,23	1364,20	203,67	19,58
3	3	1244,14	916,82	1628,23	170,31	13,69
3	4	1169,96	797,03	1707,96	221,44	18,93
3	5	1156,00	895,71	1362,71	133,88	11,58
3	6	1230,82	876,01	1468,90	143,09	11,63
3	7	1206,08	940,49	1521,78	174,14	14,44
3	8	1122,15	638,66	1447,32	198,95	17,73
3	9	1207,72	752,92	1522,60	194,35	16,09
3	10	1240,06	923,33	1642,74	205,21	16,55
3	11	1198,15	746,76	1619,56	246,68	20,59
3	12	1016,58	697,58	1353,78	151,63	14,92
3	13	1256,54	898,98	1632,53	180,93	14,40
3	14	1339,33	894,50	1698,29	207,12	15,46
3	15	1059,93	608,87	1728,40	245,24	23,14
3	16	1320,52	1027,81	1689,30	185,39	14,04
3	17	1251,56	870,84	1569,12	174,15	13,91
5	1	953,95	561,85	1204,59	148,65	15,58
5	2	944,96	555,24	1253,57	163,97	17,35
5	3	1098,07	720,50	1395,48	151,76	13,82
5	4	1210,04	835,62	1552,84	209,31	17,30
5	5	1071,03	861,66	1492,54	166,87	15,58
5	6	1049,65	621,25	1427,76	178,47	17,00
5	7	1140,64	841,08	1412,62	160,04	14,03
5	8	1207,06	919,33	1614,47	175,61	14,55
5	9	1238,18	706,68	1546,45	208,33	16,83
5	10	1242,76	928,55	1622,36	211,14	16,99
5	11	1223,89	843,32	1622,90	215,80	17,63
5	12	1229,87	802,81	1572,61	217,22	17,66
5	13	1245,20	919,41	1692,84	200,86	16,13
5	14	1367,16	1126,09	1710,98	147,72	10,80
5	15	1315,50	943,33	1701,87	169,94	12,92
5	16	1310,07	935,07	1741,40	219,64	16,77
5	17	1384,56	894,27	1710,21	205,06	14,81
5	18	1329,61	938,97	1754,51	214,75	16,15
5	19	1262,61	838,17	1811,46	256,21	20,29
5	20	936,73	744,53	1370,43	151,30	16,15
5	21	1138,11	955,56	1415,13	119,75	10,52
5	22	1337,80	831,95	1911,62	232,19	17,36

Tabela A.2. Dados característicos do comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por posição das árvores 3, 5 e 6 do clone RRIM 600 (continuação)

<b>Árvore</b>	<b>Distância radial (cm)</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>CV (%)</b>
5	23	1400,96	1053,03	1791,66	184,64	13,18
5	24	1282,26	807,87	1778,77	226,06	17,63
5	25	1435,59	1105,11	1801,10	166,23	11,58
5	26	1376,40	1032,69	1748,23	185,20	13,46
5	27	1430,92	1118,74	1726,91	168,20	11,75
5	28	1381,54	1047,27	1762,54	193,82	14,03
6	1	986,07	721,66	1308,16	150,17	15,23
6	2	1041,79	721,11	1375,87	155,88	14,96
6	3	969,90	672,06	1463,99	170,49	17,58
6	4	1063,96	684,17	1488,65	166,38	15,64
6	5	1070,56	773,96	1408,95	142,55	13,32
6	6	964,59	655,42	1497,91	187,43	19,43
6	7	1102,07	783,35	1491,93	178,97	16,24
6	8	1353,11	1149,17	1654,57	149,26	11,03
6	9	1204,52	829,64	1613,55	155,80	12,93
6	10	1114,60	812,62	1425,13	176,98	15,88
6	11	1169,62	927,68	1465,71	133,22	11,39
6	12	1207,07	956,72	1541,11	153,15	12,69
6	13	1247,75	886,79	1751,84	246,00	19,72
6	14	862,35	647,58	1191,06	157,61	18,28
6	15	1139,50	884,76	1649,82	194,40	17,06
6	16	1449,83	1122,42	1905,18	193,02	13,31
6	17	1370,92	1004,05	1660,39	174,20	12,71
6	18	1334,19	934,65	1691,33	188,87	14,16

## APÊNDICE B

Perfis densitométricos obtidos no ensaio de raios X

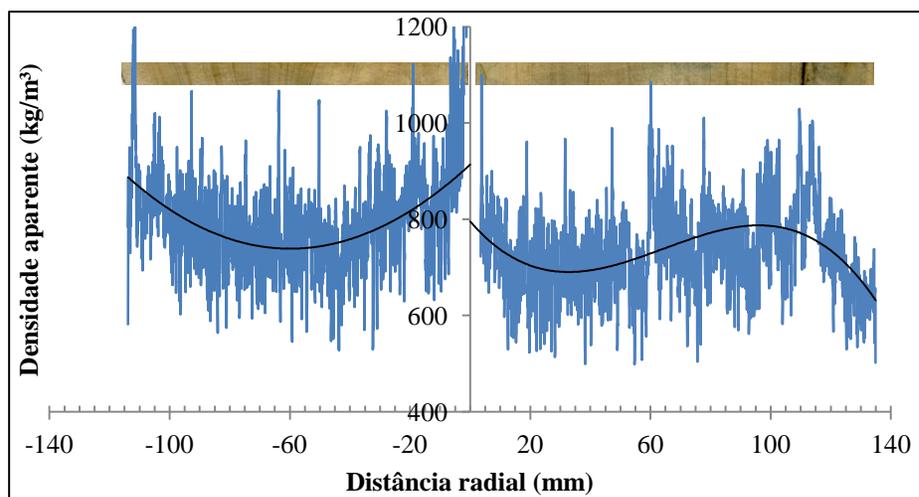


Figura B-1. Perfil densitométrico da árvore GT1-F-1

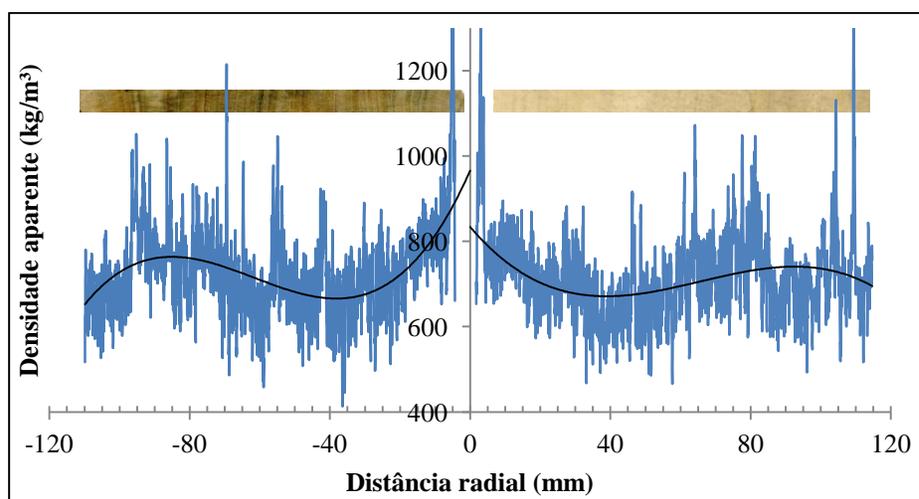


Figura B-2. Perfil densitométrico da árvore GT1-F-2

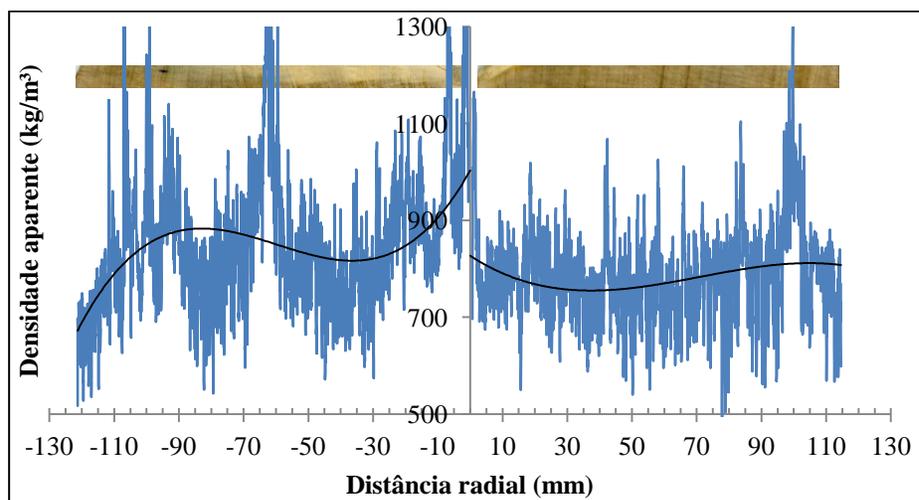


Figura B-3. Perfil densitométrico da árvore GT1-F-3

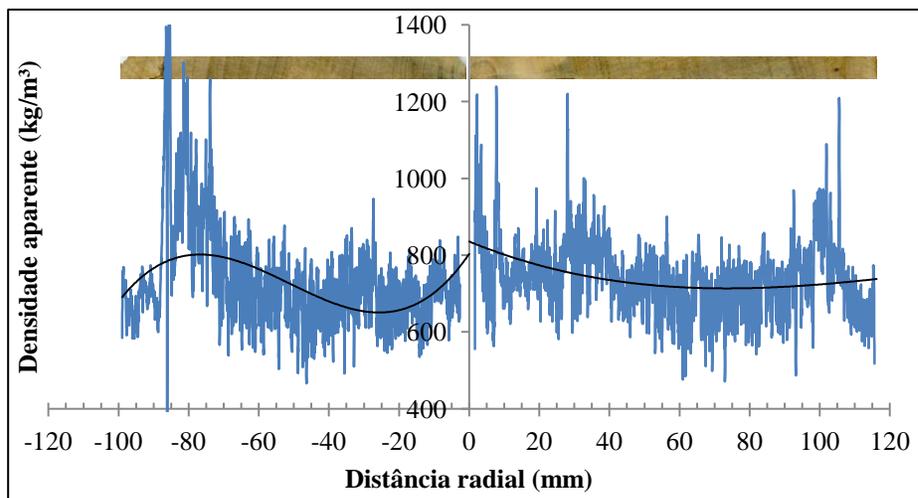


Figura B-4. Perfil densitométrico da árvore GT1-F-4

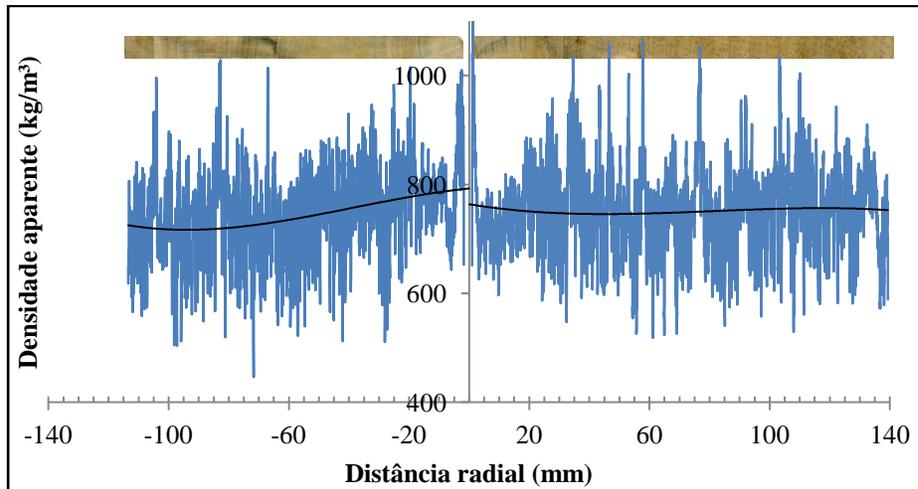


Figura B-5. Perfil densitométrico da árvore GT1-F-5

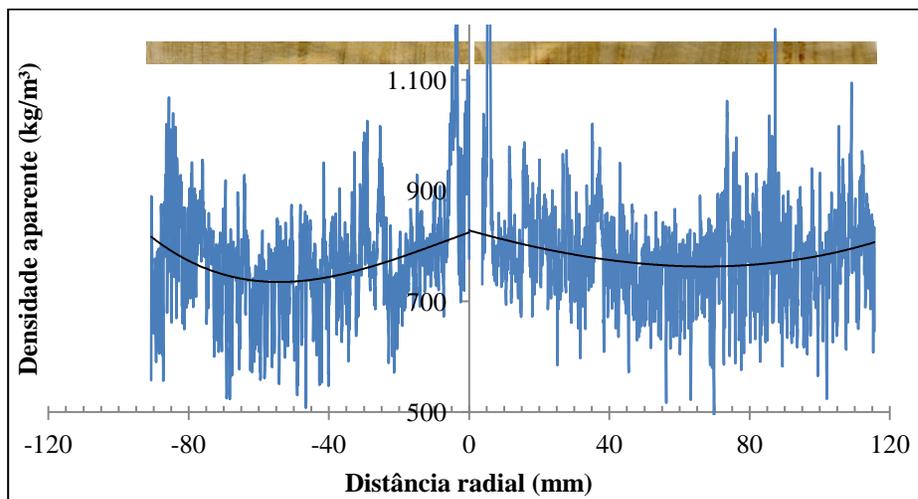


Figura B-6. Perfil densitométrico da árvore GT1-F-6

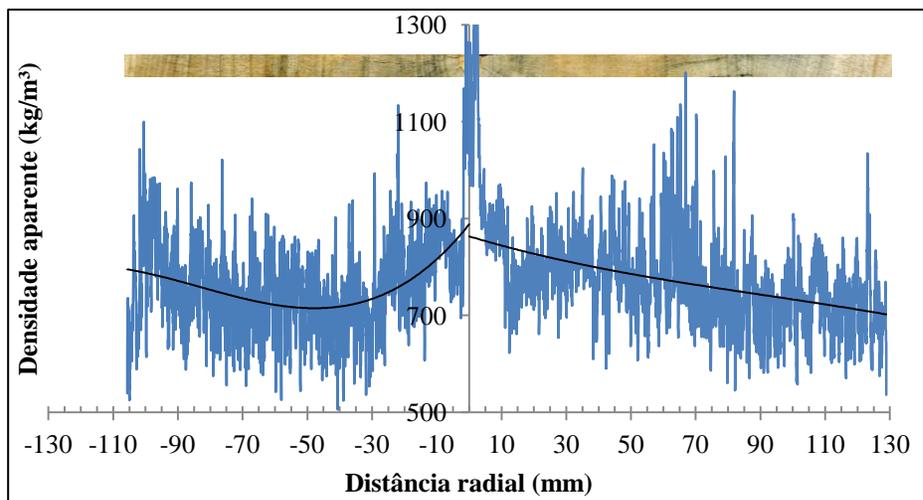


Figura B-7. Perfil densitométrico da árvore GT1-P-1

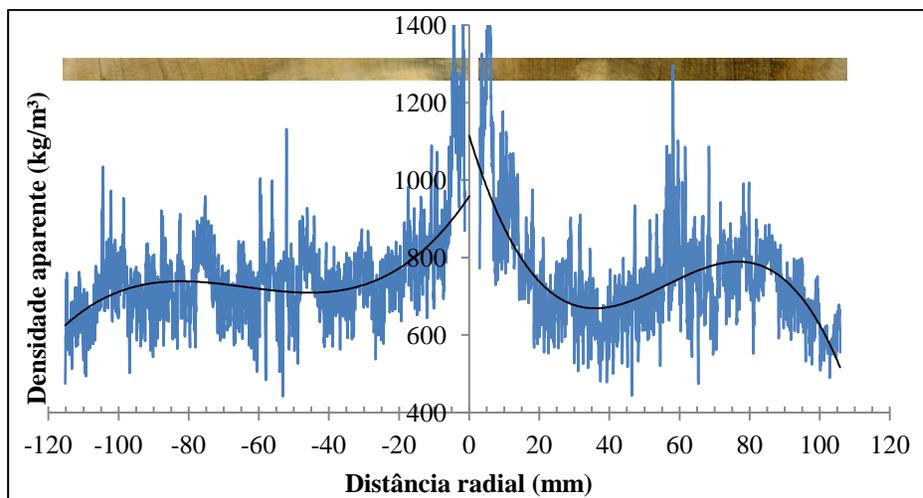


Figura B-8. Perfil densitométrico da árvore GT1-P-2

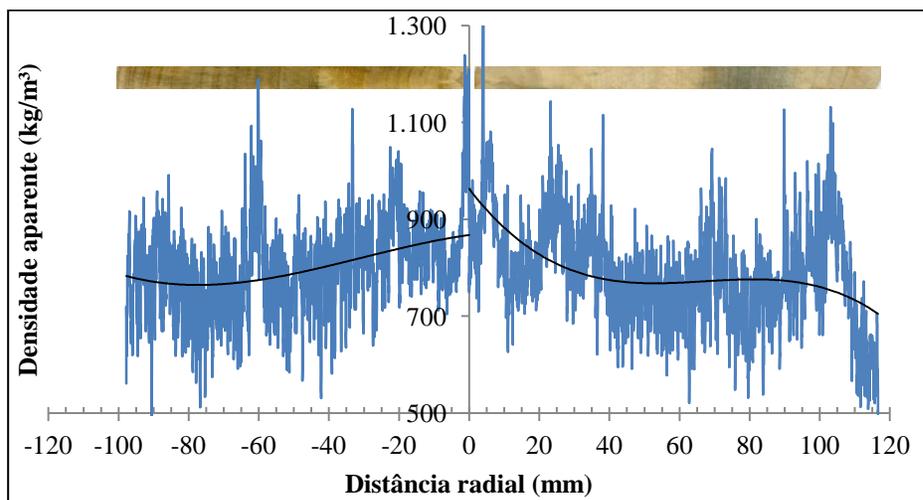


Figura B-9. Perfil densitométrico da árvore GT1-P-3

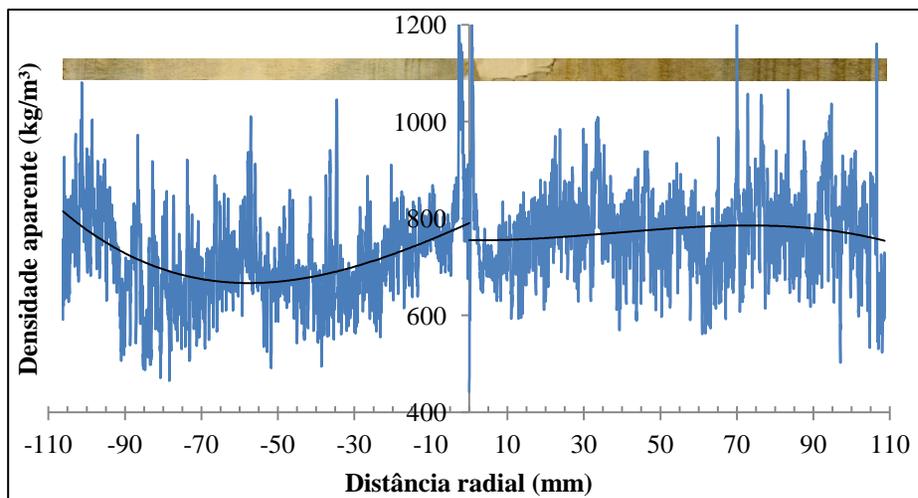


Figura B-10. Perfil densitométrico da árvore GT1-P-4

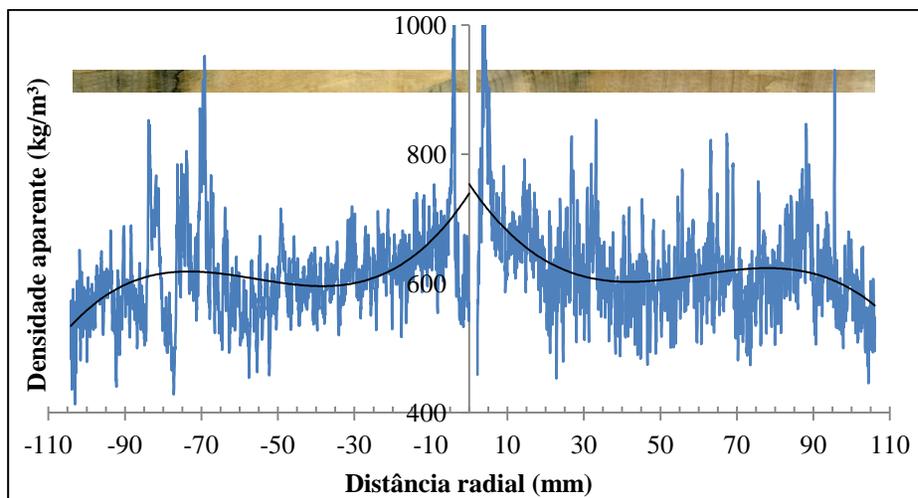


Figura B-11. Perfil densitométrico da árvore GT1-P-5

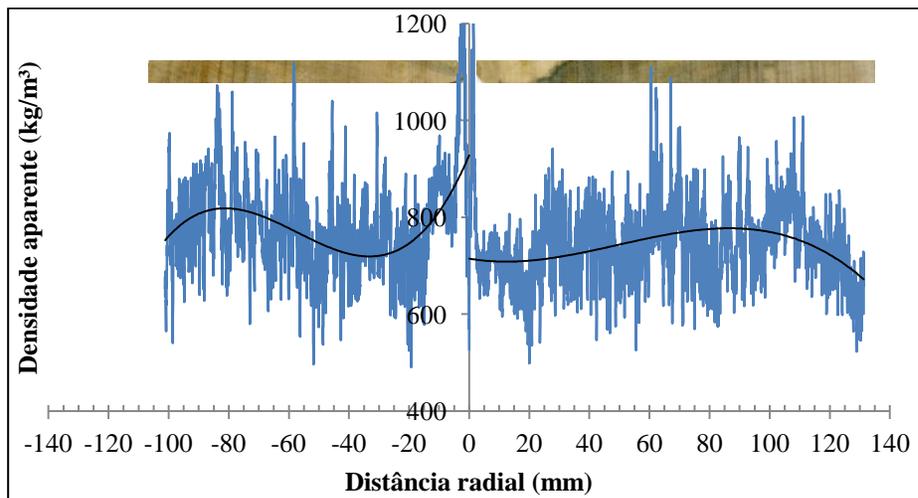


Figura B-12. Perfil densitométrico da árvore GT1-P-6

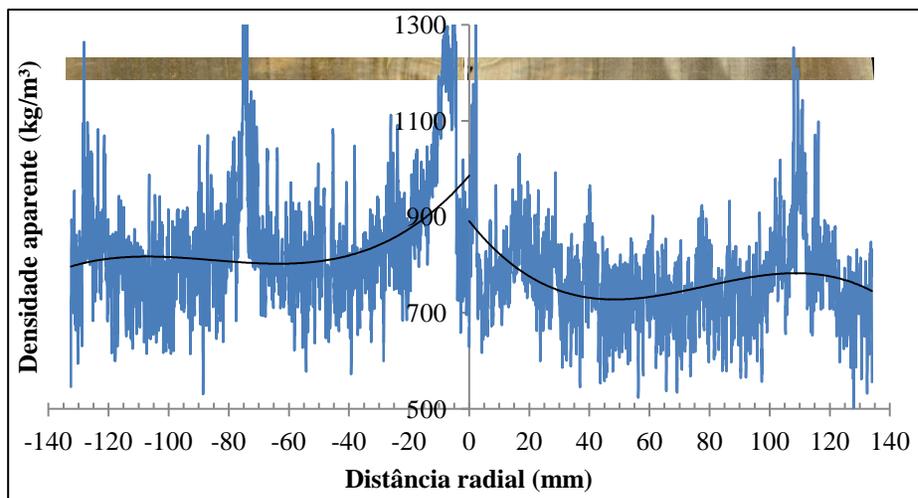


Figura B-13. Perfil densitométrico da árvore GT1-X-1

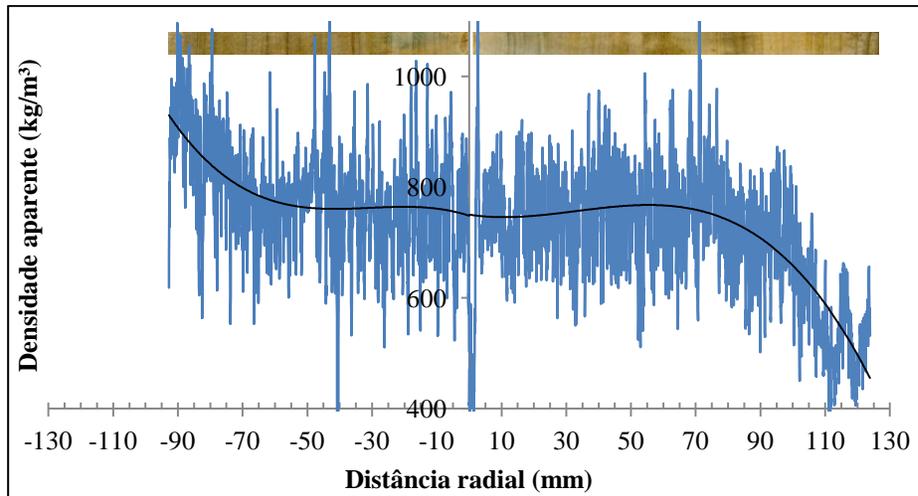


Figura B-14. Perfil densitométrico da árvore GT1-X-2

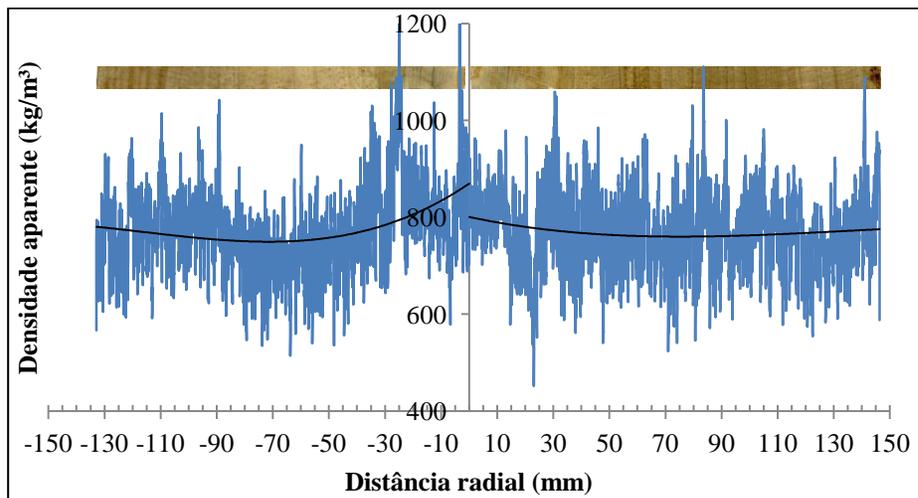


Figura B-15. Perfil densitométrico da árvore GT1-X-3

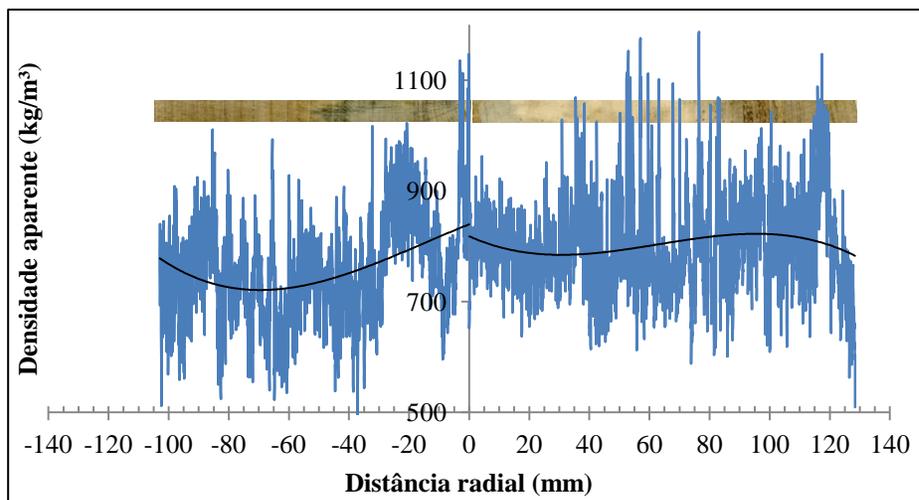


Figura B-16. Perfil densitométrico da árvore GT1-X-4

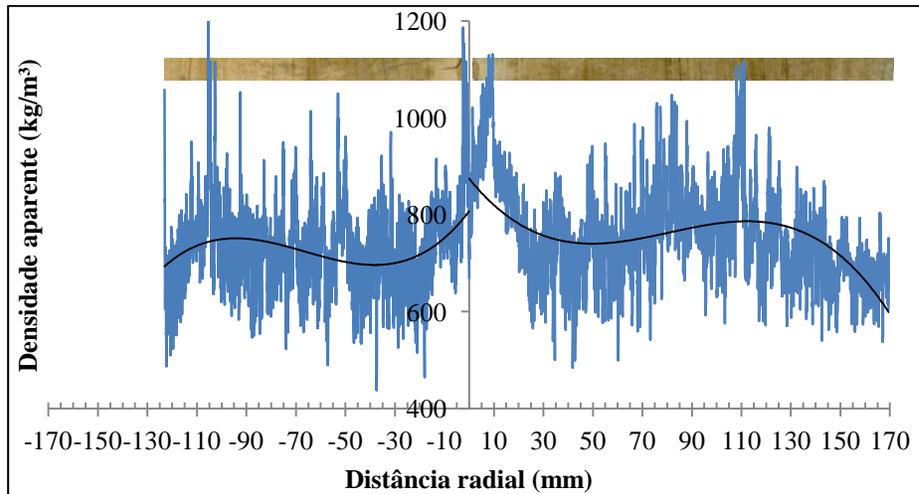


Figura B-17. Perfil densitométrico da árvore GT1-X-5

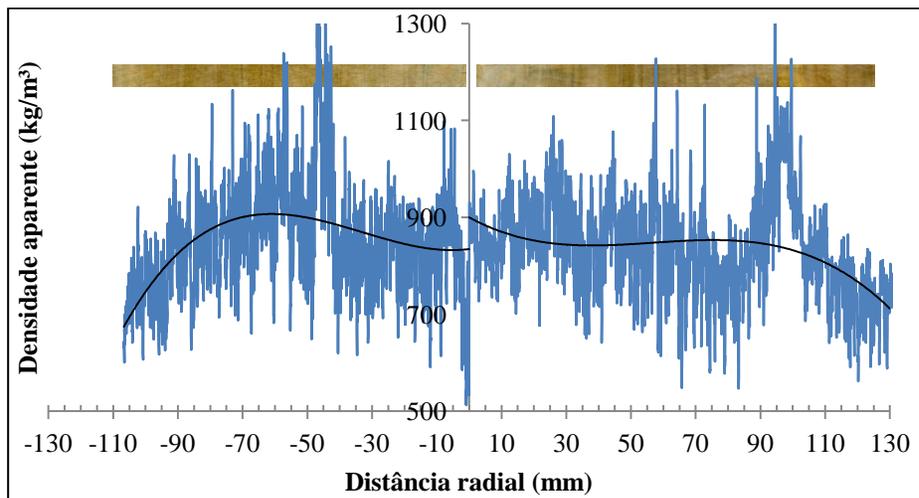


Figura B-18. Perfil densitométrico da árvore GT1-X-6

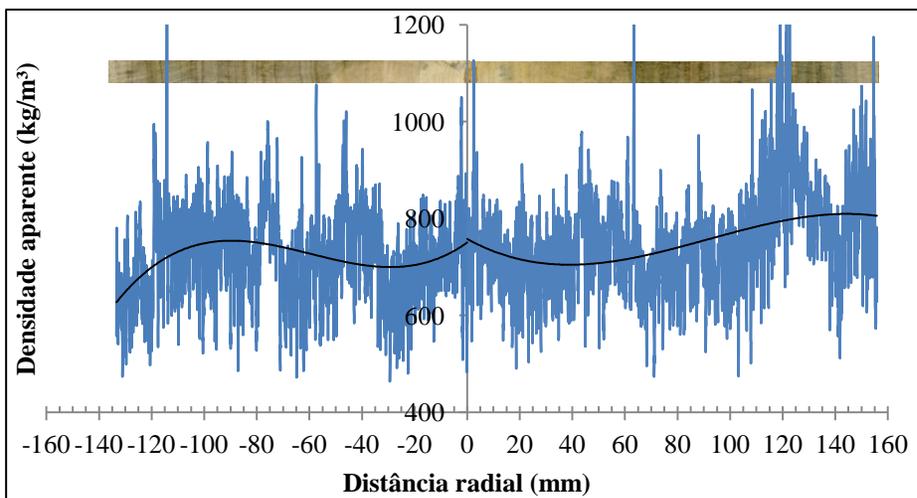


Figura B-19. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-F-1

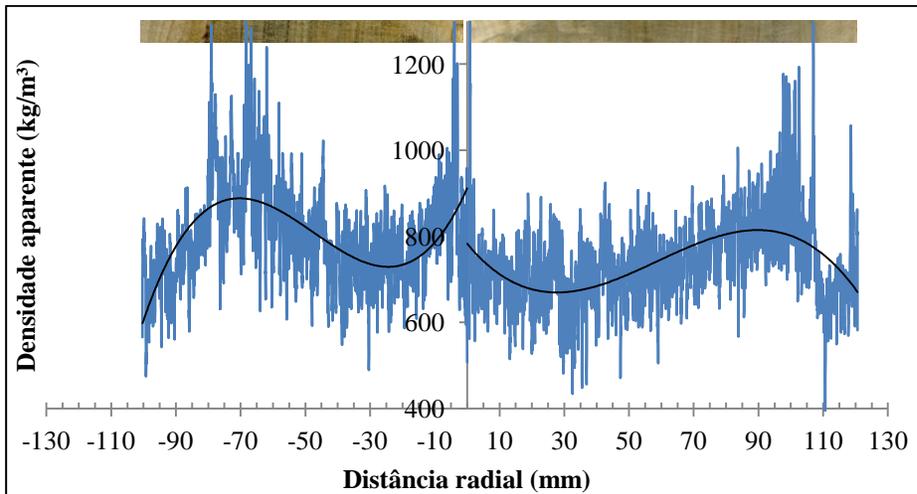


Figura B-20. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-F-2

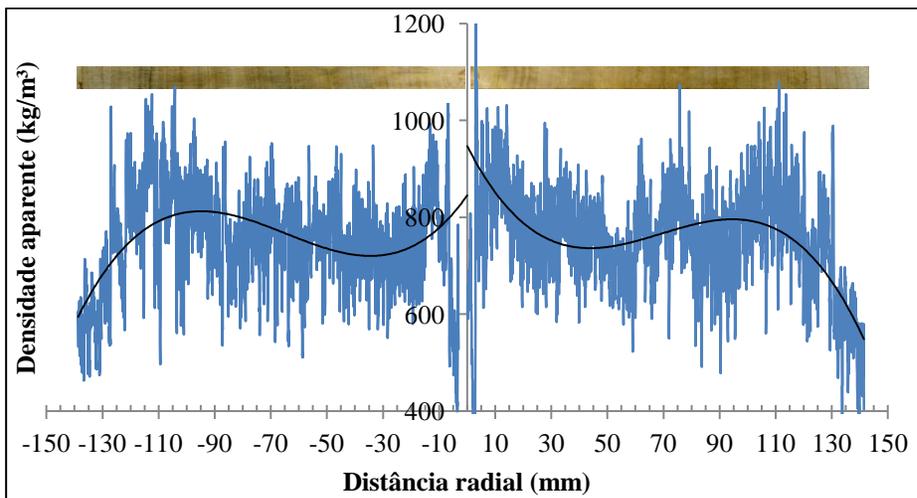


Figura B-21. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-F-3

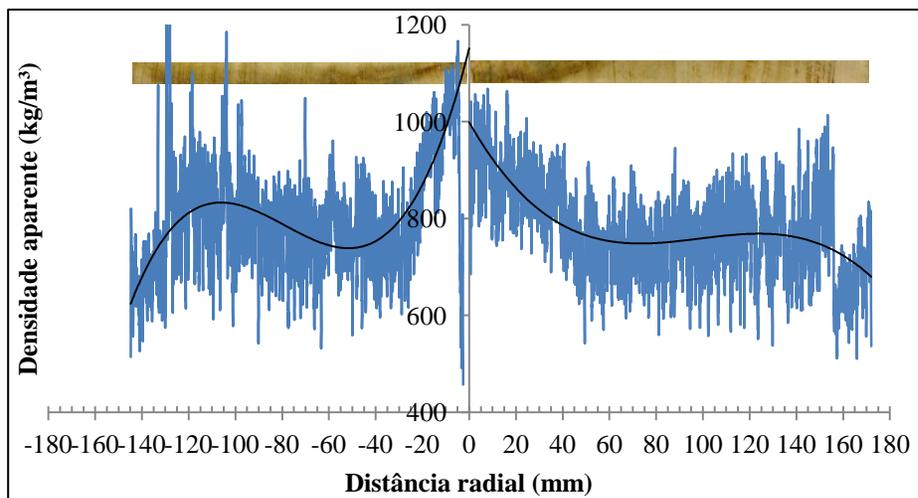


Figura B-22. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-F-4

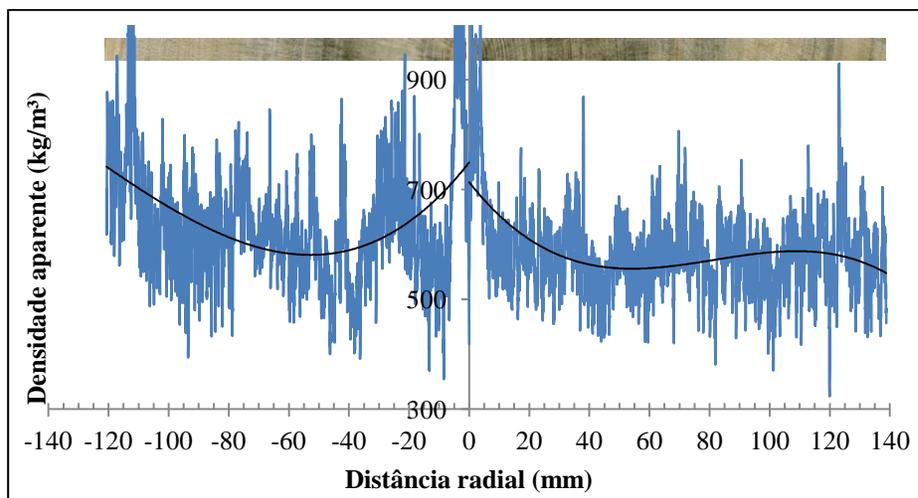


Figura B-23. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-F-5

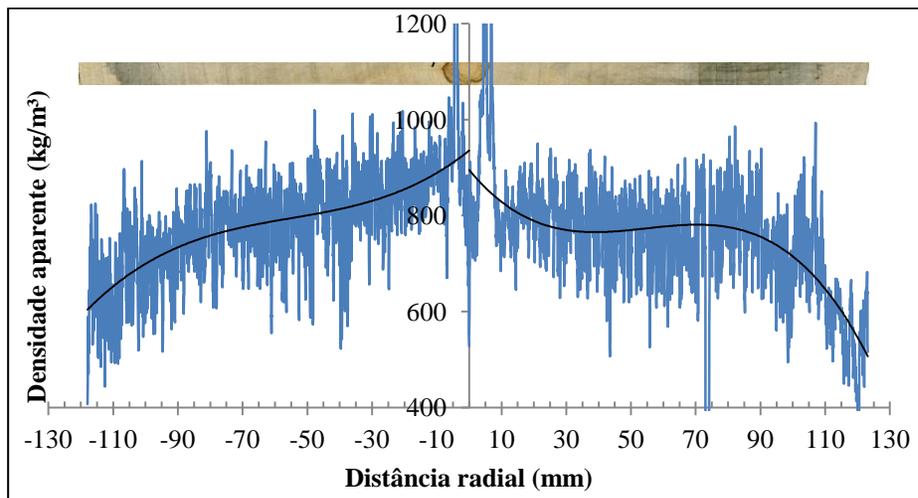


Figura B-24. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-F-6

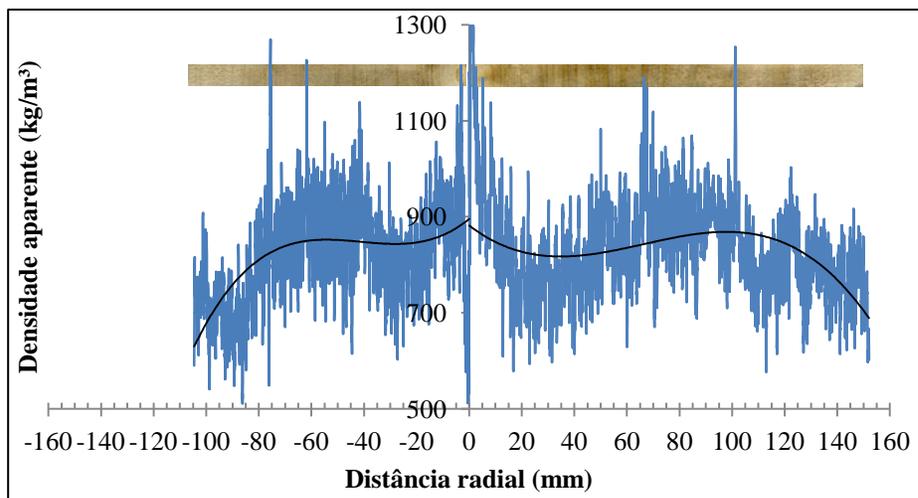


Figura B-25. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-P-1

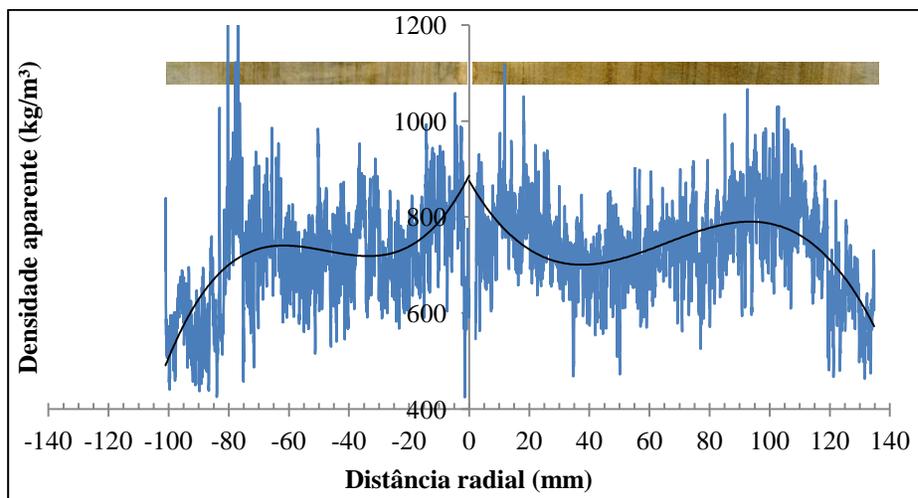


Figura B-26. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-P-2

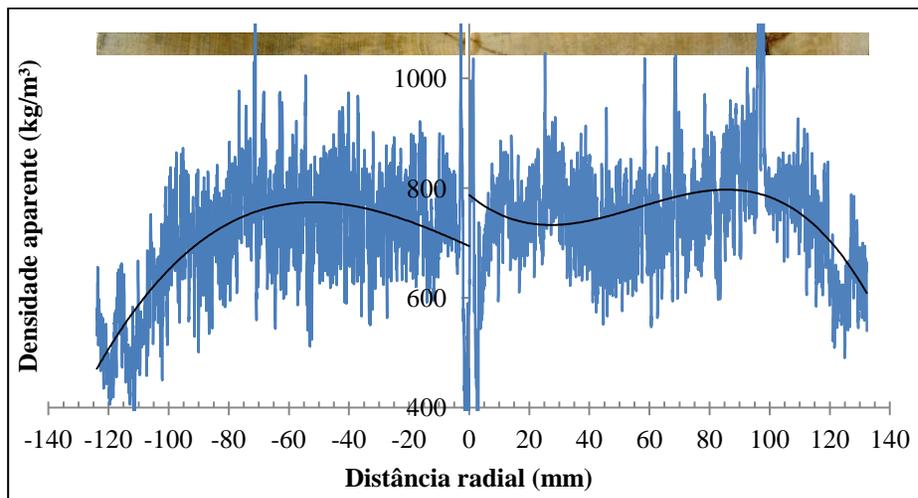


Figura B-27. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-P-3

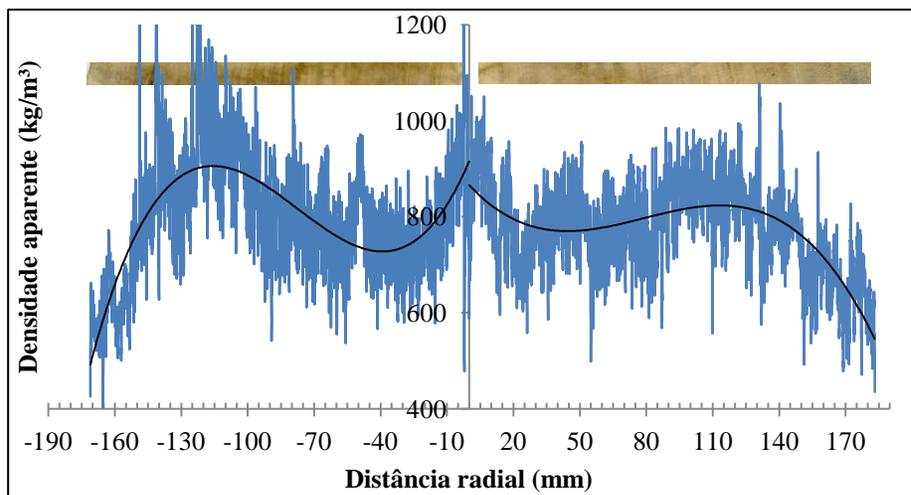


Figura B-28. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-P-4

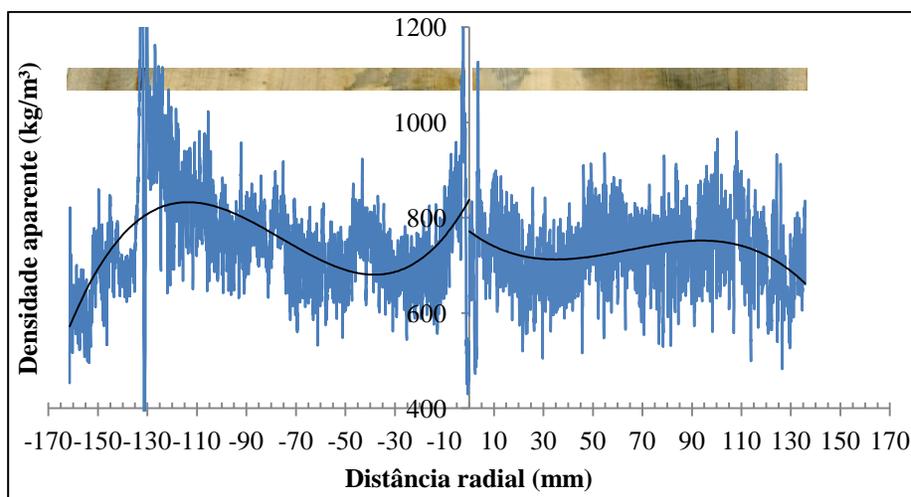


Figura B-29. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-P-5

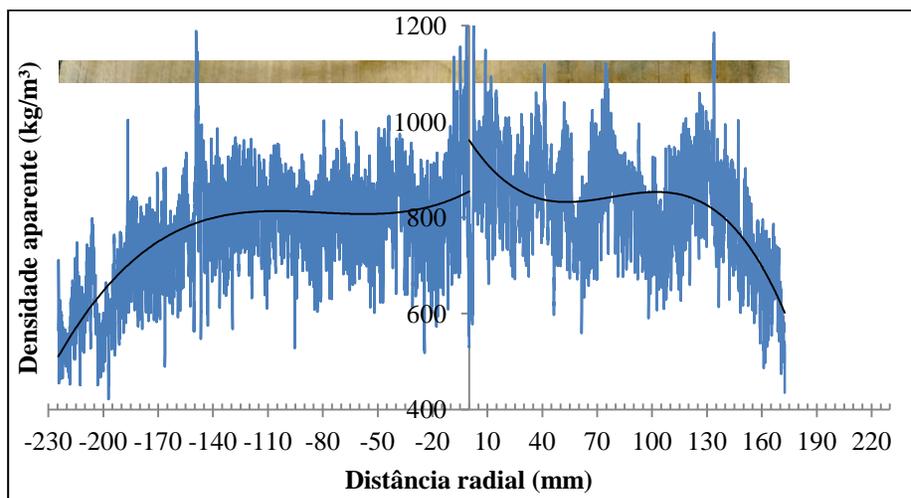


Figura B-30. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-P-6

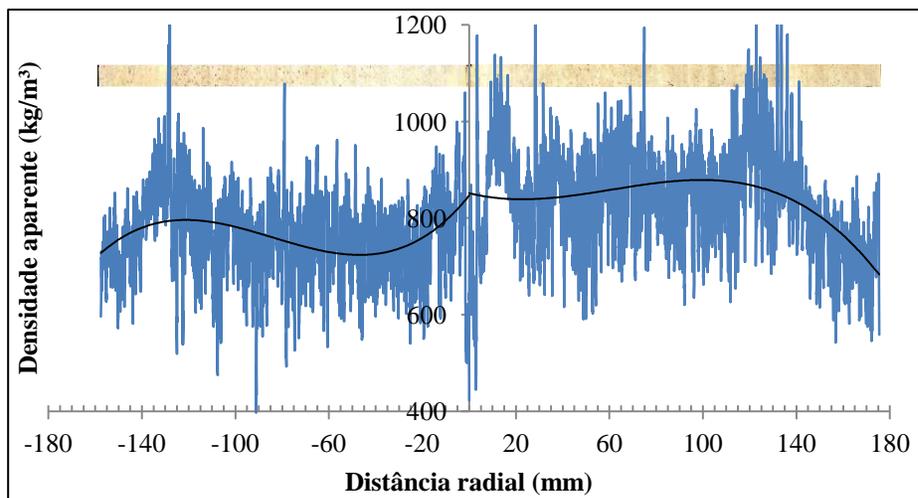


Figura B-31. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-X-1

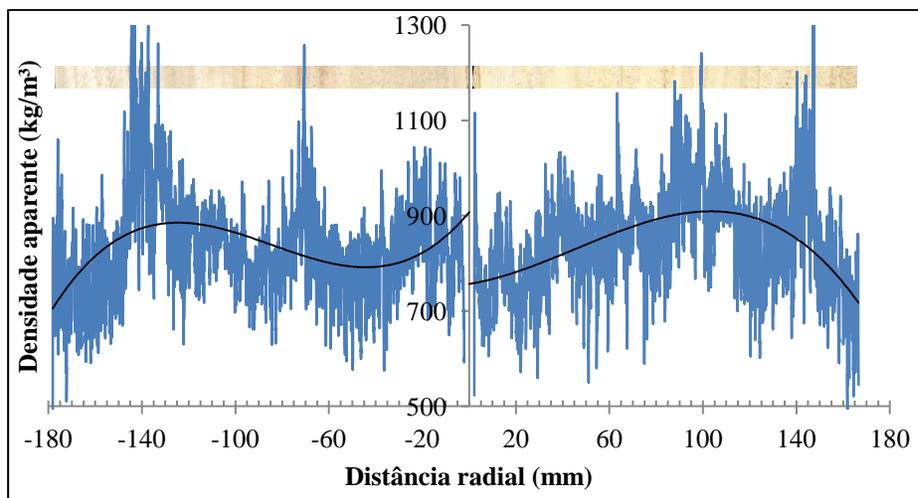


Figura B-32. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-X-2

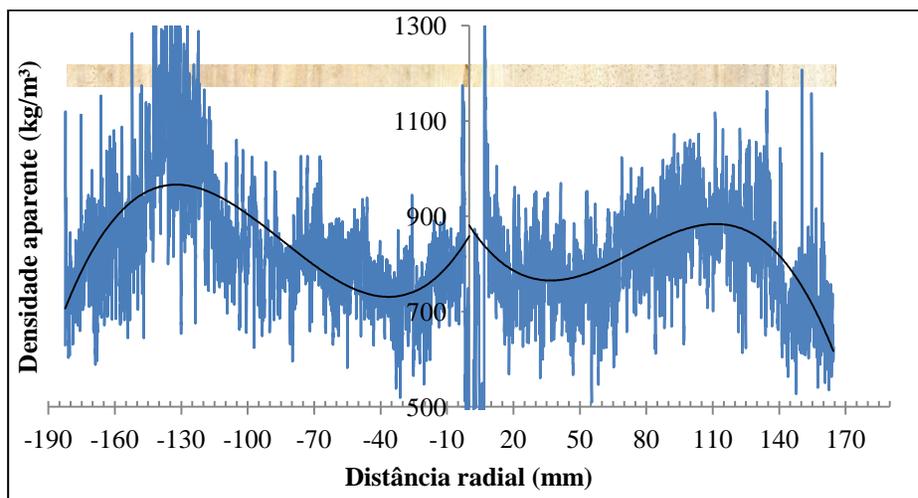


Figura B-33. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-X-3

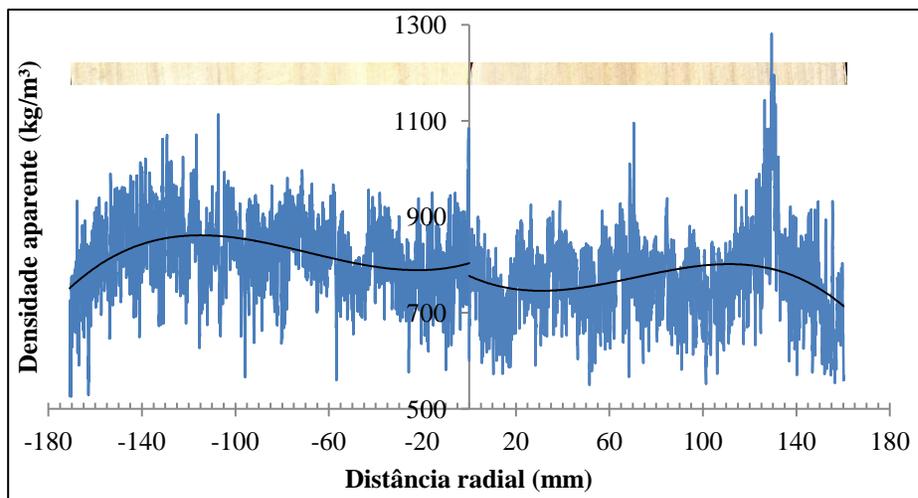


Figura B-34. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-X-4

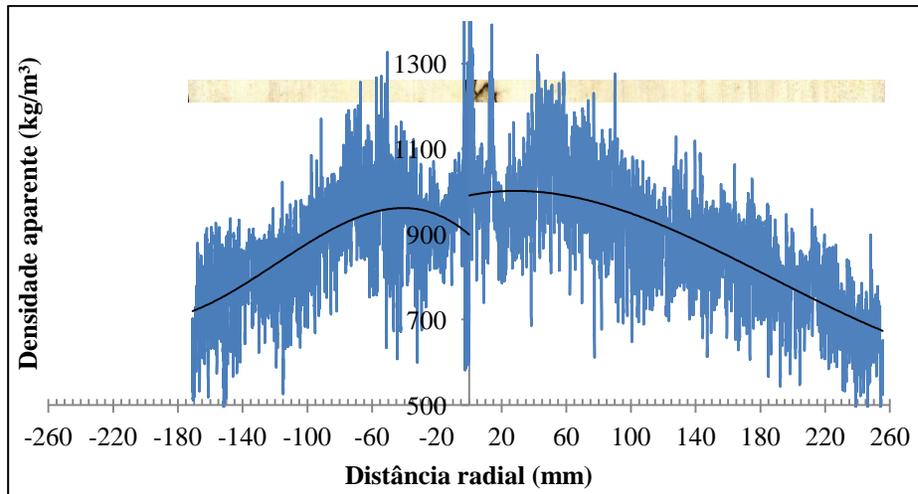


Figura B-35. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-X-5

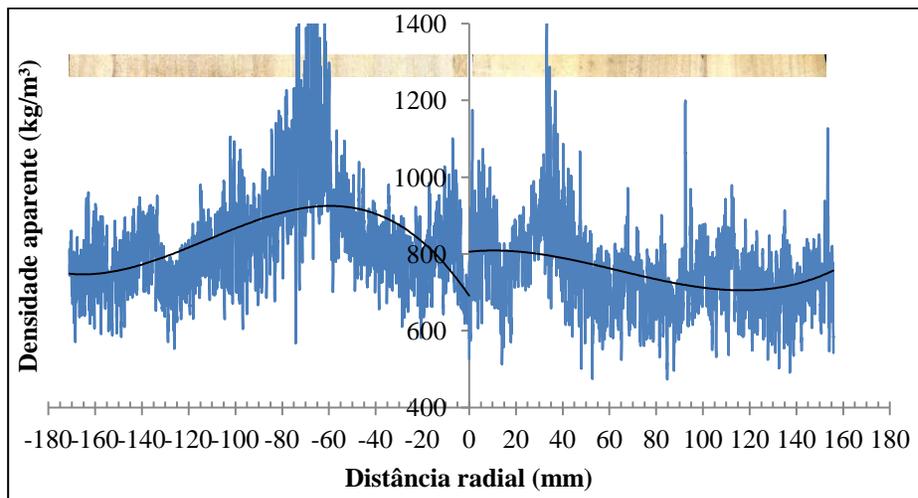


Figura B-36. Perfil densitométrico da árvore RRIM600-X-6