

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

**“AVALIAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DA MADEIRA DO HÍBRIDO
Pinus tecunumanni x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* PELA TÉCNICA DE
ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA DO ²⁴¹Am”**

ANTÔNIO SÉRGIO ARONI

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP- Campus de
Botucatu, para obtenção de Título de Doutor
em Agronomia – Energia na Agricultura**

**BOTUCATU – SP
Dezembro - 2005**

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

**“AVALIAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DA MADEIRA DO HÍBRIDO
Pinus tecunumanii x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* PELA TÉCNICA DE
ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA DO ²⁴¹Am”**

ANTÔNIO SÉRGIO ARONI

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio de Rezende

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP- Campus de
Botucatu, para obtenção de Título de Doutor
em Agronomia – Energia na Agricultura**

**BOTUCATU – SP
Dezembro - 2005**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: SELMA MARIA DE JESUS

Aroni, Antônio Sérgio.

Avaliação da Biomassa e qualidade da Madeira do híbrido *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. hondurensis pela técnica de Atenuação da Radiação Gama do ²⁴¹Am / Antônio Sérgio Aroni. – 2005.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2005.

Orientador: Marcos Antonio de Rezende

Assunto CAPES: 50201069

1. *Pinus tecunumannii* - Densidade - Estudos experimentais 2. *Pinus caribaea* - Densidade - Estudos experimentais

CDD 634.97

Palavras-chave: Experimental; *Pinus caribaea* var. hondurensis; *Pinus tecunumannii*; Produtividade

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DA MADEIRA DO HÍBRIDO
Pinus tecunumannii x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* PELA TÉCNICA DE
ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA DO ^{241}Am "

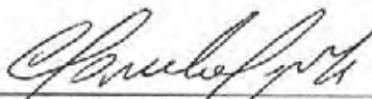
ALUNO: ANTONIO SERGIO ARONI

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS ANTONIO DE REZENDE

Aprovado pela Comissão Examinadora:



PROF. DR. MARCOS ANTONIO DE REZENDE



PROF. DR. MARCELO AGENOR PAVAN



PROF. DR. ANGELO CATANEO



PROFA. DRA. ISABEL CRISTINA BUTTIGNON



PROF. DR. JOÃO ALBERTO BORGES DE ARAUJO

Data da Realização: 15 de dezembro de 2005.

Em homenagem

*A memória de minha mãe
Elvira Rufino Aroni*

Ofereço

A minha esposa Maria Teresinha Mombelli Aroni, pelo incansável apoio, compreensão e companheirismo.

Aos meus familiares, em especial a minhas filhas Patrícia e Paula pelo amor e carinho que sempre tiveram comigo.

Aos meus irmãos, de sangue ou não, pelo apoio demonstrado durante todo desenvolvimento deste trabalho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

- *A Deus, pelo seu amor e força, que me fez superar momentos de muitas dificuldades.*
- *Ao Professor Dr. Orientador, Marcos Antonio de Rezende, pelos valiosos ensinamentos, confiança e apoio demonstrados durante todo o desenvolvimento deste trabalho.*
- *A Duratex S/A., pelo apoio técnico, em especial aos Engenheiros Raul, Chaves e Alex Passos dos Santos.*
- *A todos os funcionários do Departamento de Física e Biofísica, que me ajudaram direta e indiretamente na conclusão deste trabalho, em especial ao meu amigo, o técnico Edson Marcelo Bruder.*
- *Aos professores e colegas do curso de Pós-graduação da Faculdade de Ciências Agrônomicas e do Instituto de Biociências de Botucatu.*
- *Ao Professor Mestre Antonio Caio Bentivenha, pela oportunidade, amizade e confiança que me depositou.*
- *Aos meus colegas da Faculdade de Tecnologia- FATEC, em especial a Maria Aparecida Caminoto Geiser, Wesley Patryck Dultra de Almeida e Martha Aparecida Augusto pelo apoio demonstrado durante todo desenvolvimento deste trabalho.*
- *A todos que direta e indiretamente contribuíram para que este estudo se tornasse realidade.*

SUMÁRIO

Página

LISTAS DE TABELAS

LISTAS DE FIGURAS

1. RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	07
4.1 – REFLORESTAMENTO NO BRASIL, ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E QUALIDADE DA MADEIRA.....	07
4.2 - CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE <i>Pinus tecunumannii</i> e <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	10
4.3 – CARACTERÍSTICAS QUE AFETAM A QUALIDADE DA MADEIRA	14
4.3.1 Densidade.....	14
4.3.2 Idade da árvore.....	16
4.3.3 Produtividade da Madeira e anéis de crescimento.....	18
4.4 - POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA	19
4.5 - PODER CALORÍFICO DA MADEIRA	21
4.5.1 Poder Calorífico Superior (PCS)	21
4.5.2 Poder Calorífico Inferior (PCI).....	22
4.6 – ASPECTOS SILVICULTURAIS.....	22
4.6.1 Fertilização.....	22
4.6.2 Desbaste	24
4.6.3 Poda	25
4.6.4 Espaçamento	27
4.6.5 Resinagem.....	29
4.7 – MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL	30
4.7.1 Conceito	30
4.7.2 Métodos e seleção de indivíduos	31
4.7.3 Teste de superioridade genética.....	32

4.7.4	Produção de sementes melhoradas	32
4.7.4.1	Área de coleta de sementes (ACS)	33
4.7.4.2	Área de produção de sementes(APS)	33
4.7.4.3	Pomar de sementes clonal testado (PSCT)	33
4.7.4.4	Pomar de sementes por mudas (PSM)	34
4.7.4.5	Desenvolvimento de pomares de sementes	35
4.7.4.6	Produção de estacas	36
4.7.5	Herdabilidade	36
4.7.6	Melhoramento genético florestal versus agrícola	37
4.7.7	Tendências do melhoramento genético florestal.....	38
4.8	– MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA	39
5.	MATERIAIS e MÉTODOS.....	41
5.1	- AMOSTRAGEM E MATERIAL GENÉTICO UTILIZADOS PARA O <i>Pinu sp</i>	41
5.2	– SELEÇÃO DAS ÁRVORES.....	42
5.3	- COLETA DAS AMOSTRAS.....	42
5.4	– PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE EM LABORATÓRIO.....	43
5.5	- DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (U) DA MADEIRA	44
5.6	– DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) DO LENHO E CASCA	44
5.7	– DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA	45
5.7.1	Determinação da densidade pelo método de Atenuação da Radiação Gama	47
5.7.2	Características gerais do instrumental utilizado	48
5.7.3	Determinação da densidade pelo método da Imersão.....	49
5.7.4	Variação radial e longitudinal da densidade	50

5.8 – TRANSFORMAÇÃO DA DENSIDADE A 12% EM DENSIDADE A 0%.....	51
5.9 - CÁLCULO DA DENSIDADE MÉDIA PONDERADA DO DISCO	51
5.10 – INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE VOLUME (IMAV)	54
5.11 – INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE MASSA (IMAM).....	55
5.12 – INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE ENERGIA (IMAE)	55
6. RESULTADOS e DISCUSSÕES.....	56
6.1 – DENSIDADE DA MADEIRA	56
6.1.1 Variações da densidade entre os tratamentos de <i>Pinus sp</i>	56
6.1.2 Produtividade dos tratamentos dos <i>Pinus sp</i> (IMAV,IMAM,IMAE).....	58
6.1.3 Poder Calorífico Superior	61
6.1.4 Variação radial da densidade	63
6.1.5 Variação longitudinal da densidade.....	64
6.2 – Comparação entre métodos de determinação da densidade.....	72
7. CONCLUSÕES	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE.....	82

LISTA DE TABELAS

1	Área reflorestada no Brasil com espécies de <i>Pinus sp.</i> E <i>Eucalyptus sp</i> (em hectares)	9
2	Produtividade em incrementos médios anuais de volume (m^3 /ha.ano), para algumas espécies de <i>Pinus</i>	14
3	Valores médios ponderados por árvore para a densidade básica (ρ_b) e densidade a 12% (ρ_{12}), em kg/m^3 , para cada tratamento.....	57
4	Valores de IMAV, IMAE E IMAM para os tratamentos estudados.....	59
5	Valores individuais e médios da constante (K) e equivalentes hidrotérmicos do calorímetro a partir de pastilha de ácido benzóico (PCS=6318 cal/g).....	62
6	Valores médios do Poder Calorífico Superior (PCS) do lenho por tratamento	62
7	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 , em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 , por árvore do híbrido <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> x <i>Pinus tecunumannii</i> , (H1).....	65
8	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 , em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 , por árvore do híbrido <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> x <i>Pinus tecunumannii</i> , (H2).....	66
9	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 , em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 , por árvore do híbrido <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> x <i>Pinus tecunumannii</i> , (H3).....	67
10	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 , em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 , por árvore do híbrido <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> x <i>Pinus tecunumannii</i> , (H4).....	68
11	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 , em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 , por árvore do híbrido <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> x <i>Pinus tecunumannii</i> , (H5).....	69
12	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 , por árvore do seminal <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> . (S).....	70

13	Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 , em cada posição relativa na árvore, por tratamento	71
14	Média por tratamentos e árvore dos valores ponderados da densidade básica (ρ_b) em kg/m^3 , através do método de atenuação da radiação gama e através do método comparativo de Imersão.....	72

LISTA DE FIGURAS

1. Desenvolvimento de pomares de sementes	35
2. Seccionamento da árvore nas diferentes posições de amostragem.....	42
3. Esquema do instrumental da radiação gama usado na determinação da densidade	48
4. Instrumental de medição da densidade pelo método de Imersão.....	50
5. Média das densidades ponderada básica (ρ_b) e a 12% (ρ_{12}), em kg/m^3 por tratamento	57
6. Incremento médio anual de volume (IMAV) em $\text{m}^3/\text{ha.ano}$ entre os tratamentos.....	59
7. Incremento médio anual de massa (IMAM) em ton/ha.ano entre os tratamentos.....	60
8. Incremento médio anual de energia (IMAE) em kcal/ha.ano entre os tratamentos.....	60
9. Incremento médio anual de Volume (IMAV) em $\text{m}^3/\text{ha.ano}$, em função da densidade entre os tratamentos	61
10. Variação da densidade média ponderada a 12% nas diferentes posições de amostragem da árvore nos tratamentos.....	71
11. Média comparativa entre os métodos de Imersão e gama das densidades ponderada básica (ρ_b), em kg/m^3 por tratamentos	73
12. Valores das densidades; pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H ₁ , de <i>Pinus tecunumannii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> , com idade de 10,9 anos.....	83
13. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H ₁ , de <i>Pinus tecunumannii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> , com idade de 10,9 anos	84
14. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H ₁ , de <i>Pinus tecunumannii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> , com idade de 10,9 anos	85

15. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₁, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 86
16. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₁, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 87
17. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₁, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 88
18. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₁, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 89
19. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₁, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 90
20. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₁, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 91
21. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₂, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 92
22. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₂, de *Pinus tecunumanniii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 93

23. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 94
24. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 95
25. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 96
26. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 97
27. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 98
28. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 99
29. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 100
30. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 101

31. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 102
32. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 103
33. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 104
34. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 105
35. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 106
36. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 107
37. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 108
38. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 109

39. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 110
40. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 111
41. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 112
42. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 113
43. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 114
44. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 115
45. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 116
46. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 117

47. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 118
48. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 119
49. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 120
50. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 121
51. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 122
52. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 123
53. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 124
54. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 125

55. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 126
56. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 127
57. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 128
58. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 129
59. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 130
60. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 131
61. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 132
62. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 133

63. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 134
64. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 135
65. Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9S, de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, com idade de 10,9 anos 136

RESUMO

Os principais objetivos são: a) Estudar as variações das densidades da madeira no sentido radial e longitudinal, utilizando a técnica de Atenuação da Radiação Gama do Amerício-241 e a técnica de Imersão; b) Avaliar a densidade média ponderada por árvore e por tratamento e, para isso, utilizará as espécies Seminal de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e espécie híbrida de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*; c) Avaliar os índices de produtividade pelos Incrementos Médios Anuais de Volume (IMAV), Incrementos Médios Anuais de Massa (IMAM) e Incrementos Médios Anuais de Energia (IMAE) de cada tratamento, correlacionando-os com seus respectivos valores de densidade; d) Determinar o poder calorífico superior de cada tratamento pelo método da Bomba calorimétrica; e) Comparar os métodos Atenuação da Radiação Gama do Amerício-241 e o de Imersão. Para o estudo foram selecionadas 54 árvores da empresa DURATEX S/A., na região de Agudos-SP., entre as espécies Seminal de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e a híbrida de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*. Foram selecionados cinco tratamentos do híbrido de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii* que mais se destacaram dentre os 12 híbridos existentes no povoamento, sendo denominados como H₁, H₂, H₃, H₄, H₅ e um tratamento de material Seminal do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo denominado como S, espécie tropical de gênero *Pinus* proveniente de um ensaio vizinho equiâneo submetido às mesmas condições edafo-climáticas e submetido aos mesmos tratamentos culturais na implantação. A técnica de atenuação permite observar esses detalhes, o que não poderia ser feito com as técnicas tradicionais. Algumas árvores tiveram um comportamento mais uniforme para a

densidade, demonstrando uma menor sensibilidade aos fatores climáticos. Os métodos utilizados para obtenção de densidade básica da madeira, técnica da Radiação Gama do Amerício-241 e a técnica de Imersão, apresentaram resultados semelhantes em termos de valores médios.

Palavras-chave: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*; Experimental; Produtividade.

BIOMASS COMPARATIVE ANALYSIS OF HYBRID *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* with pure species of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Botucatu, 2005. 136p. Tese (doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANTÔNIO SÉRGIO ARONI

Adviser: Prof. Dr. Marcos Antonio de Rezende

SUMMARY

The main objectives are: a) To study the wood density variations in the radial and longitudinal directions, using the Americium-241 Gamma Radiation Attenuation technique and the immersion technique; b) To evaluate the average density measured per tree and per treatment and, for this, the Seminal species of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and the hybrid species of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii* will be used; c) To evaluate the yield rates based on the Annual Average Volume Increments (AAVI), the Annual Average Mass Increments (AAMI) and the Annual Average Energy Increment (AAEI) of each treatment, correlating them to their respective density values; d) To determine the superior calorific power of each treatment by means of the calorimetric Bomb; e) To compare the Americium-241 Gamma Radiation Attenuation method and the Immersion method. For such study, 54 trees from the company DURATEX S/A were selected, in the region of Agudos-SP, among the Seminal species of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and the hybrid of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*. Five treatments of the hybrid of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus Tecunumannii* were selected, which were the most important among the 12 ones which existed in the population, being named as H₁, H₂, H₃, H₄, H₅ and a Seminal material treatment of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, being named as S, tropical species of the family *Pinus* coming from an equianeous neighbor study which underwent the same edaphic-climatic conditions and which underwent the same cultural traits in their implantation. The attenuation technique allows the observation of such details, which could not be made with traditional techniques. Some trees had a more uniform behavior

concerning density, demonstrating a lower sensitivity to climatic factors. The used methods for the basic wood density collection, Americium-241 Gamma Radiation Attenuation technique and the Immersion technique showed similar results in terms of average values.

Keywords: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*; Experimental; Yield.

3. INTRODUÇÃO

Os primeiros reflorestamentos comerciais no Brasil tiveram o objetivo de produzir matéria-prima para a indústria de papel e celulose e para produção de energia sob a forma de carvão vegetal para a indústria metalúrgica. Segundo Mattos (2002), foi nesse período que a formação dos maciços florestais foi realizada com interesse voltado para a produção quantitativa de madeira.

Atualmente, uma grande área de florestas de *Pinus sp*, implantada para a produção de papel e celulose, está sendo explorada para a produção de madeira para serraria, laminados, painéis de madeira, como aglomerados, compensados, MDF (médium density fiberboard), OSB (oriented strand board), entre outros. Para isso, árvores plantadas para a produção de polpa e papel apresentam características próprias exigidas para essa finalidade, que não são as mesmas requeridas para produção de laminados, aglomerados e outros.

A utilização do *Pinus sp* pelas indústrias deve-se a alguns fatos: seu rápido crescimento; a grandes áreas reflorestadas no sul e no sudeste do país; sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e, principalmente às constantes pressões que tais empresas vêm sofrendo frente a exploração de florestas nativas.

Conforme Palermo (2000), apesar de muitas espécies já terem sido selecionadas, testadas e plantadas, demonstrado excelente performance sob várias condições de sítio, ainda são raros os estudos voltados para a avaliação da qualidade dessas madeiras, visando a sua utilização diversificada e principalmente como fonte de fibras vegetais e energia de biomassa.

O termo qualidade da madeira foi definido como sendo o conjunto de características físico-mecânicas e químicas exigidas para determinado uso; para determinação da qualidade da madeira, a densidade é a característica física mais utilizada, uma vez que possui ligação direta com o rendimento em peso e com as propriedades físico-mecânicas da madeira.

No estado de São Paulo, algumas espécies de *Pinus* têm se destacado pela sua alta produtividade e qualidade da madeira produzida.

Entre essas espécies podem-se citar o *Pinus tecunumannii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. A empresa Duratex S/A., em parceria com a UNESP, vem testando essas duas espécies, para diferentes tratamentos envolvendo clones híbridos de *Pinus tecunumannii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, o que será objeto deste trabalho.

Portanto, conforme se mostrará no desenvolver deste trabalho, o melhor conhecimento a respeito da madeira de *Pinus sp.*, é importante para o seu aproveitamento tecnológico racional e adequado, sendo que as empresas florestais poderão utilizá-lo como ferramenta para tomada de decisões.

Este trabalho tem como objetivo estudar as variações das densidades básicas da madeira, utilizando a técnica de atenuação da radiação gama e a técnica de Imersão, avaliar a densidade média ponderada por árvore e por tratamento e, para isso, utilizará as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*; avaliar os índices de produtividade pelos incrementos médios anuais de volume (IMAV), incrementos médios anuais de massa (IMAM) e incrementos médios anuais de Energia (IMAE) de cada tratamento, correlacionando-os com seus respectivos valores de densidade, determinar o poder calorífico superior de cada tratamento pelo método da Bomba Calorimétrica e comparar os métodos de Atenuação da radiação gama e o de Imersão.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Reflorestamento no Brasil, aspectos técnicos, econômicos e qualidade da madeira

Em virtude de seu rápido crescimento, as espécies do gênero *Pinus* são muito utilizadas em reflorestamentos no País, também usadas em construções leves ou pesadas, na produção de móveis, laminados, compensados, chapas de fibras e de partículas, na produção de celulose e papel, entre outras aplicações, entre elas, na implantação de quebra-ventos (Rezende, 1997).

Estima-se que, no cenário macroeconômico nacional, os setores de madeira, papel e celulose tenham representado, em 2000, 2% do PIB, caracterizando um montante de aproximadamente U\$\$ 12 bilhões, sendo que, deste montante, o setor madeireiro responde por aproximadamente U\$\$ 5,5 bilhões, enquanto o restante corresponde ao setor de celulose, papel e papelão.

A indústria de móveis experimentou mudanças significativas em sua base produtiva. O salto tecnológico possibilitou o crescimento expressivo das exportações que atingiram um patamar superior a U\$\$ 300 milhões a partir de 1995, alcançando U\$\$ 508 milhões em 2001.

Portanto, os produtos advindos da atividade florestal, pela exploração de madeira como matéria-prima, tornam a atividade auto-sustentável, visto que os recursos madeireiros são renováveis. O consumo de energia para elaboração de produtos de madeira é menor, quando comparado com outros produtos como aço e tijolos. Deve-se ainda levar em

conta que a atividade é ambientalmente correta, uma vez que a madeira é reciclável e biodegradável.

Com as tendências mundiais de valorização ambiental e cobranças da sociedade por alternativas menos danosas ao ambiente, a atividade industrial madeireira tenderá a consolidar-se e a fortalecer-se. Sob esta linha de pensamento, a exploração adequada dos recursos florestais torna-se obrigatória por dois motivos óbvios: o primeiro relativo à valorização ambiental dos recursos florestais e o segundo estritamente econômico, pois a viabilização de produção somente acontece com a racionalização no uso integral de matéria-prima e meios de produção.

É sabido que, historicamente, a expansão das fronteiras agrícolas gerou o processo de destruição da cobertura florestal nativa dos Estados da região sul do Brasil. O processo de ocupação de terras vinculado ao incentivo à entrada de imigrantes europeus nessa região tornou a cobertura florestal um entrave ao avanço da agricultura nessas áreas, em um processo semelhante ao que ocorre atualmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, onde a atividade madeireira não se constitui em uma atividade econômica produtiva e sustentável, mas simplesmente numa atividade extrativista.

Inicialmente, a exploração madeireira no Sul do Brasil esteve mais voltada à utilização da madeira de pinho (*Araucária angustifolia*), por causa da existência de extensas florestas dessa espécie e de sua qualidade e preferência no mercado externo, mas também porque as madeiras de lei podiam ser encontradas em outras regiões.

Com o passar dos anos, a exploração e exaustão das reservas nativas provocaram a desmobilização ou inviabilização de alguns segmentos da indústria madeireira. Alguns desses segmentos, comprometidos com o suprimento de matéria-prima, passaram a recorrer a outros Estados, buscando madeiras no Sul do País, principalmente no Centro-Oeste e Norte do Brasil.

Após 1966, com a lei de incentivos fiscais, foi permitido às empresas que aplicassem parte de seu imposto devido em reflorestamentos. O resultado desta iniciativa foi a imediata ampliação da área de florestas plantadas no País, especialmente com espécies exóticas como eucalyptus e *Pinus sp*. Os primeiros reflorestamentos incentivados foram feitos com o objetivo de produzir matéria-prima para a indústria de papel e celulose e a produção de energia, sob a forma de carvão vegetal para a metalurgia. A política de incentivos fiscais

voltou-se principalmente para as espécies exóticas, com destaque para o *Pinus*. Antes dos anos 60, o setor madeireiro se desenvolvia a partir da disponibilidade natural de matéria-prima. Mais tarde, ocorreu uma mudança de tendências, em que a indústria procurou a reconstituição de reservas florestais, recompondo sua matéria-prima.

Tabela 1 - Área reflorestada no Brasil com espécies de *Pinus sp.* E *Eucalyptus sp* (em hectares).

	<i>Pinus</i>		Eucalyptu		Total	
Paraná	609.683	36%	56.038	2%	665.721	14%
Santa Catarina	350.823	21%	41.291	1%	392.114	8%
São Paulo	204.363	12%	581.029	20%	785.392	17%
Minas Gerais	144.757	8%	1.551.377	53%	1.696.134	36%
Rio G. do Sul	137.945	8%	115.025	4%	252.970	5%
Bahia	86.854	5%	197.609	7%	284.463	6%
Outros	168.600	10%	407.015	14%	575.615	12%
Total	1.703.025	100%	2.949.384	100%	4.652.409	100%

Fonte: www.remade.com.br (2000)

Atualmente a disponibilidade de matéria-prima para as indústrias reside basicamente nos plantios provenientes da política de reflorestamento ou em plantios próprios.

Por causa das condições favoráveis de desenvolvimento encontradas no País, as árvores de florestas plantadas como exóticas atingem dimensões comercializáveis em menor idade do que em condições naturais de desenvolvimento. As propriedades da madeira cultivada são diferentes daquelas de florestas naturais e os problemas relacionados com o processamento e a utilização de florestas manejadas no Brasil estão relacionadas principalmente com as diferentes propriedades, devido ao crescimento acelerado.

Para se alcançar êxito no uso dos recursos florestais, provenientes de reflorestamentos, os conceitos tradicionais devem ser modificados e adaptados às características da matéria-prima disponível; adaptações que devem ser feitas especificamente

no que se refere aos crescentes índices percentuais de lenho juvenil existente no lenho das árvores de rápido crescimento, que foram absorvidos pela indústria de papel e celulose, mas que precisam ser analisados com certa cautela quando da produção serrada para móveis, laminados, faqueados e produtos com finalidade estrutural, para construção civil.

4.2 Caracterização das espécies de *Pinus tecunumannii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

O Brasil possui grandes áreas de plantios do gênero *Pinus*, principalmente na região Sul do país, sendo o estado do Paraná responsável por cerca de 35% do plantio nacional.

O gênero *Pinus* é o mais antigo da família *Pinaceae*, com 13.000.000 de genes e 12 pares de cromossomo, tendo surgido há aproximadamente 180 milhões de anos. Seu centro de origem é o Hemisfério Norte, ocorrendo entre latitudes de 0° a 70° e altitudes de 0 a 3500 m. Existem mais de cem espécies pertencentes a esse gênero, entre elas o *Pinus tecunumannii*, o qual tem se destacado tanto nas características de crescimento como na forma do fuste e também na massa específica da madeira em diferentes testes de espécie/procedência com *Pinus* tropicais, realizados em diversos países, como os instalados na região dos Cerrados (Wright et al, 1986; Wright, 1987; Wright et al, 1990; Wright, 1990; Birks & Barnes, 1990; e Moura & Santiago, 1991).

Em madeira de *Pinus*, o rápido crescimento faz com que atinjam uma dimensão comercial ainda jovens, apresentando uma maior quantidade de lenho juvenil e um menor comprimento de fibras, quando comparados com o lenho de madeira madura (Latorraca et al., 2000). Bendtsen (1978) aponta que o lenho juvenil apresenta uma densidade específica mais baixa, maior ângulo fibrilar, traqueóides mais curtos, menor contração transversal, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho outonal, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina, menor conteúdo de celulose e menor resistência mecânica, afetando em muito o aproveitamento da madeira.

Em decorrência do excelente crescimento do *Pinus tecunumannii* muitas companhias florestais ainda hesitam em plantá-lo em extensas áreas, pois necessitam saber se a qualidade da madeira produzida é igual ou superior à de outras espécies que já vêm

sendo plantadas em escala comercial em várias partes dos Trópicos e Sub-Trópicos, tais como *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Barr & Golf.), *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus elliottii* Engelm, *Pinus patula* (Schiede & Deppe), ou *Pinus taeda* L.

O interesse em se conhecerem melhor as propriedades físicas da madeira de *Pinus tecunumannii*, vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, fator que se deve principalmente à boa produção em volume das procedências de Belize e Nicarágua (de baixas altitudes) as quais, repetidamente, têm apresentado excelente desempenho nos testes genéticos realizados nos trópicos, o que vem despertando o interesse de muitas companhias florestais no uso dessa espécie em plantios comerciais. Procedências de altas altitudes de *Pinus tecunumannii* também estão apresentando resultados promissores nos locais onde estão sendo testadas (Moura et al., 1996 e Moura & Dvorak, 1998).

Os estudos sobre densidade da madeira nos testes realizados no Cerrado são também poucos e foram efetuados somente em procedências de baixa altitude ((Moura & Santiago, 1991; Moura et al, 1996 e Lima et al., 1990)), principalmente com as procedências de Mount Pine Ridge e Yucul. Em 1983, foram instalados pela Central América and México and Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), testes de procedências e progênies de *Pinus tecunumannii* da América Central e México, nas dependências da Embrapa Cerrados CPAC, em Planaltina, no Distrito Federal, tendo como objetivo estudar as variações genéticas entre procedências/progênies e também fazer seleção dos melhores indivíduos para produção de sementes melhoradas geneticamente. Os estudos realizados se referem principalmente ao crescimento e forma das árvores.

Genericamente, o conceito atual é de que a madeira de *Pinus*, oriunda de reflorestamentos, principalmente do Sul do Brasil, é de qualidade muito pobre, em se tratando de resistência. Os fatores que afetam as propriedades mecânicas da madeira ainda não estão suficientemente estudados para espécies oriundas de reflorestamentos. Essas características dependem das práticas silviculturais e de manejo adotadas, voltadas para os aumentos de rendimento e redução de custos, em detrimento das propriedades de resistência.

O uso efetivo da madeira de *Pinus* ocorre na forma de madeira serrada, na forma de laminados e faqueados compondo chapas compensadas, na forma de fibras para produção de polpa e papel e constituindo os painéis MDF (médiun density

fiberboard), na forma de madeira particulada na composição de chapas aglomeradas e, mais recentemente, como partículas orientadas na composição das chapas de OSB (oriented strand board).

Sob a forma maciça, o uso da madeira tem como principal problema herdar os defeitos inerentes da madeira que foi obtida em programas de manejo voltados eminentemente para produção de celulose. Programas de podas e desbastes visando à produção de “madeira limpa” foram desconsiderados nesses projetos, raríssimas exceções. Com o aumento da demanda por matéria-prima em substituição às madeiras nativas, a indústria de laminação, tendo como requisitos básicos toras de grande diâmetro e isentas de nós, foi a primeira a enfrentar problemas de obtenção de toras de qualidade. A indústria moveleira, tendo nos pólos de Bento Gonçalves-RS e São Bento do Sul-RS os maiores produtores e exportadores de móveis de madeira maciça, também sente os reflexos da compra de madeiras de plantios de *Pinus* manejados nas mais diversas formas. O uso da madeira na forma de partículas ou fibras não requer qualidade dos plantios, nos moldes exigidos pelos demais segmentos do setor moveleiro.

Dois aspectos devem ser considerados no uso da madeira de *Pinus*: o primeiro relativo à matéria prima, especialmente a presença de nós, a susceptibilidade ao ataque de insetos e fungos e a baixa resistência devido ao rápido crescimento das árvores, e o segundo relativo aos problemas de processamento, especialmente a secagem, colabilidade e usinabilidade. Esses problemas tecnológicos podem ser controlados diretamente na floresta, através de planos de manejo florestal voltado para produção de madeira maciça ou laminada, no melhoramento genético e em práticas silviculturais como a desrama. Industrialmente, o uso adequado de programas de secagem e técnicas e equipamentos adequados para processamento da madeira pode resultar em maior rendimento e qualidade. O aspecto relacionado com a alta capacidade produtiva da espécie também deve ser explorado como uma vantagem pelos diversos segmentos do setor industrial madeireiro na busca de aumento de exportações de produtos com qualidade.

Também são importantes aspectos a serem considerados na seleção de madeiras de *Pinus* para móveis: o custo, a disponibilidade, a aparência, as propriedades e a durabilidade.

O custo da madeira está relacionado diretamente com a disponibilidade desta matéria-prima uma vez que as projeções de escassez nos próximos anos preocupam os empresários do setor.

Na aparência, como a madeira de *Pinus* é uma madeira clara, pode ser tratada com produtos químicos que lhe conferem aspectos dos mais diversificados e possui uma grande aceitação no mercado americano e europeu.

Por isso, na seleção de madeira de *Pinus* para uso na construção civil, existem dois caminhos: a seleção criteriosa de peças através de aspectos visuais ou métodos não destrutivos, ou a reconstituição em produtos estruturais, como vigas laminadas coladas, painéis compensados estruturais, painéis de lâminas paralelas ou LVL (*laminated veneer lumber*) e ainda os painéis OSB e as vigas em I, portanto a geração desses produtos permite um maior controle de qualidade dos elementos estruturais a serem usados em situações críticas e tratamentos preservantes em autoclave conferem durabilidade à madeira e resistência a agentes patogênicos.

As propriedades básicas requeridas da madeira serrada para móveis, obedecendo um alto grau de importância, levam em conta um grande diâmetro, retidão do tronco, densidade adequada e uniformidade da densidade, coloração adequada, ausência de resinas, resistência a rigidez e estabilidade dimensional (www.remade.com.br).

Através de seu crescimento favorecido pelas condições encontradas no Brasil, a madeira de *Pinus* apresenta uma alta capacidade produtiva, que confere uma vantagem competitiva ao setor que procura expandir-se com qualidade.

Atualmente, em decorrência das exigências mundiais de certificação de procedência de plantios manejados, a tendência é de expansão das áreas reflorestadas e uma maior aceitação no mercado mundial de produtos oriundos dessa espécie, observando-se uma redução da pressão sobre as florestas nativas, fato que repercute nos mercados externos, até mesmo pela atribuição de um “selo ecológico”.

A Tabela 2 mostra a produtividade de algumas espécies de *Pinus* no Brasil. Nota-se nesse quadro uma alta produtividade para o *Pinus tecunumannii*, cujo valor pode chegar a 35 m³/ha.ano

Tabela 2 - Produtividade em incrementos médios anuais de volume ($\text{m}^3/\text{ha.ano}$) , para algumas espécies de *Pinus* .

País	Espécie	Produtividade em, $\text{m}^3/\text{ha.ano}$
Brasil	<i>P. taeda</i>	20 – 25
Brasil	<i>P. tecunumannii</i>	20 - 35
EUA	<i>P. taeda</i>	12 – 20
África do Sul	<i>P. patula</i>	19 – 30
Chile	<i>P. radiata</i>	20 – 25

Fonte: www.remade.com.br (2000)

4.3 Qualidade da madeira

4.3.1 Densidade

Conforme mostram Bendtsen, 1978; Zobel, 1984; Senft et al, 1985; Rowell et al., 2000, a madeira juvenil, de uma forma geral, caracteriza-se por menor densidade, maior ângulo das microfibras na camada S2 da parede celular, traqueóides mais curtos, contração transversal menor, maior concentração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemicelulose, menor conteúdo de celulose e menor resistência, em relação à madeira mais adulta.

Um dos principais parâmetros de qualidade da madeira é a sua densidade, principalmente quando se visa à sua utilização como matéria prima industrial ou energética, sendo objeto de estudo justamente esse parâmetro, de onde se obtém uma simples determinação além da sua correlação com outras propriedades da madeira. A densidade básica média da madeira do *Pinus oocarpa* na idade em que é explorada, é igual a $0,446 \text{ g/cm}^3$ e a densidade básica do *Pinus oocarpa* decresce uniformemente com a altura.

A densidade da madeira varia entre espécies, indivíduos e procedências da mesma espécie e dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal, ou seja, da

base para o topo (Barrichelo et al, 1983)., ou no sentido radial da medula para a casca (Brasil et al., 1977).

Os autores Panshin e De Zeew (1970) apresentam uma síntese dos padrões de variação longitudinal:

1. Decresce uniformemente com a altura;
2. Decresce até certo ponto e cresce deste até o topo da árvore. Também pode decrescer levemente nas partes superiores;
3. Crescente da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

A literatura mostra que o gênero *Pinus* tem o comportamento do primeiro padrão (Barrichelo et al, 1983, Panshin e De Zeew, 1970, Lima et al., 1992, Rezende, 1987, Rezende 1997).

Segundo esses autores, essas variações ocorrem e proporcionam dificuldades para se determinar qual a melhor posição da árvore a ser amostrada, quando ocorre o abate da árvore, havendo a necessidade da retirada de discos em diversas posições na árvore.

A densidade da madeira é uma propriedade resultante de fatores como dimensões das células, espessura e composição química da parede celular e percentuais de ocupação dos variados tipos de células (Panshin e De Zeew, 1970). Segundo Foelkel et al. (1983) as dimensões dos elementos celulares variam em função da idade do vegetal, sendo provável que a tendência de variação da densidade encontrada, aos 14 anos para o *Pinus oocarpa*, seja alterada com o desenvolvimento e maturação da árvore.

A qualidade da madeira é afetada pela idade da árvore, sendo necessário definir a época de corte, não apenas em função de critérios que avaliam a produção de volume ou de matéria seca lenhosa, mas também através de uma análise da heterogeneidade dos parâmetros que expressam a qualidade, embora seja importante correlacionar cada um dos parâmetros com o uso a que se deseja destinar a madeira, para que os mesmos se mostrem de maior ou de menor importância (Lima et al., 1992).

4.3.2 Idade da árvore

Através da literatura existente, é sabido que as características da madeira próxima à medula diferem das características daquela próxima à casca, fenômeno que se torna mais visível nas coníferas que nas folhosas.

Como antigamente a maior parte da madeira provinha de árvores adultas de florestas naturais, pouca importância se dava à madeira central das árvores. No entanto, atualmente, com o decréscimo constante do suprimento das árvores adultas com grandes diâmetros, vindas de florestas naturais, tornou-se comum a produção de madeira em ciclos curtos, através da adoção de espécies de rápido crescimento.

No Brasil, a utilização de *Pinus* de reflorestamentos na indústria madeireira tem sido crescente nos últimos anos, sendo que as estimativas indicam que, do volume de madeira serrada produzida no País, estima-se em 18 milhões de m³, mais de 35% são formados de madeira de *Pinus*, quer como produto para usos nobres ou como produto de menor valor agregado.

Segundo Tomaselli (1998), existem no Brasil atualmente 1,80 milhões de hectares de plantações constituídas por espécies de *Pinus*, das quais 46% são de *Pinus taeda*, portanto, trata-se de uma espécie importante para o fornecimento de matéria-prima, especialmente na região Sul e Sudeste do País.

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, formando parte do albúrnio ou do cerne no tronco, caso este último esteja presente na árvore (Kramer, 1986; Zobel e Buijtene, 1989; Cown, 1992; Evans et al., 2000).

Para Ramsay e Briggs (1986), a madeira juvenil é o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore, que são os estágios iniciais da vida da árvore e esse período varia conforme a espécie, sendo afetado pelas condições ambientais. A madeira caracteriza-se anatomicamente por um progressivo acréscimo nas dimensões das células e correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento. No entanto, observam Krahmer, 1986; Zobel e Buijtenen, 1989 e Evans et al., 2000 que, comparando-se coníferas com folhosas, a formação de madeira juvenil é mais acentuada nas coníferas.

A maioria da literatura existente a respeito de madeira juvenil aponta que o crescimento rápido nas plantações origina a formação de madeira de qualidade inferior e que, nos tempos atuais, é grande a proporção de madeira juvenil comercializada nos mercados, trazendo como resultado problemas de qualidade nos produtos obtidos desse tipo de matéria-prima (Brown e Mcwillians, 1989).

Conforme Zobel (1979) e Zobel e Kellison (1984), a madeira de *Pinus* nas regiões tropicais e sub-tropicais tem rendimento e qualidade inferior à madeira produzida nas regiões temperadas, devido ao crescimento muito rápido das árvores, atingindo tamanhos comerciais com pouca idade, portanto, com grande proporção de madeira juvenil.

Segundo Zobel (1981) e McAlister et al. (1997), nas florestas naturais de climas temperados, a madeira juvenil normalmente fica restrita a uma pequena região do volume total da árvore, e nas plantações a quantidade de madeira juvenil é maior, especialmente naquelas árvores provenientes dos primeiros desbastes ou de plantações cortadas mais cedo, fenômeno observado com maior acentuação nas regiões tropicais.

Zobel (1980) ressaltou que não há uma mudança absoluta da madeira juvenil para a madeira adulta em um ano, mas em vários anos, pois grande parte das propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona juvenil, é muito variável e constante na madeira adulta.

Conforme Zobel (1980) e Krahmer (1986), o comprimento dos traqueóides ou fibras constitui a principal variável na definição do limite entre a madeira adulta e juvenil. Os traqueóides são mais curtos na região de madeira juvenil que na madeira adulta. Na zona de madeira juvenil são muito mais curtos perto da medula, aumentando rapidamente na zona de madeira juvenil em direção à casca. Mudanças no comprimento dos traqueóides da zona adulta da árvore são muito pequenas.

Para Zobel e Buijtenen (1989), a mudança de madeira juvenil para madeira adulta não se processa da mesma forma para as diferentes características e propriedades da madeira. Bendtsen e Senft (1985) apontam que a demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara, devido às mudanças graduais nas células. De fato, o número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente, por exemplo, o comprimento dos traqueóides pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede celular.

Loo et al (1985) reportam que a idade de transição da madeira juvenil para adulta, mensurada através das variações de densidade ou do comprimento das fibras, é diferente de acordo com as espécies, como, por exemplo, essa transição, avaliada pela variação de densidade, ocorre entre cinco e seis anos em *Pinus elliottii*, *Pinus caribae* var. *hondurensis* e *Pinus radiata*, com cerca de dez anos em *Pinus taeda* e de vinte anos em *Pinus ponderosa*.

Também Zobel (1971) e Kramher (1986) caracterizam a madeira juvenil e adulta baseados na evolução dos elementos anatômicos que as constituem; assim a madeira adulta refere-se ao lenho que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para o *Pinus taeda* com trinta anos de idade, essa estabilização foi encontrada a partir do 11^o. ao 13^o. anel de crescimento.

A produção de um tipo de madeira juvenil é resultado do processo de crescimento fisiológico normal da árvore, portanto, não há muitas alternativas para os silvicultores possam fazer. A quantidade de madeira juvenil, que pode ser reduzida pela mudança no modelo de crescimento das árvores, é muito pequena.

Zobel e Buijtenen (1989) notam que quase todas as alternativas para conseguir um maior crescimento nas árvores resultam em maiores quantidades de madeira juvenil, como, por exemplo, quando fertilizadas com nitrogênio, as árvores de *Pinus resinosa* têm um aumento de madeira juvenil em seu tronco.

4.3.3 Produtividade da Madeira e anéis de crescimento

A taxa de crescimento pode ser definida pela largura de um anel de crescimento, uma vez que a largura do anel de crescimento freqüentemente retrata o crescimento radial de um anel por polegada. (Bendtsen e Senft 1985).

Os anéis de crescimento são camadas de células de madeira que se formam no xilema do tronco e das raízes, pela diferenciação das células do câmbio (Trovati, 1982).

Os autores Bendtsen e Senft (1985) atestam que a largura do anel de crescimento, por si só, não indica a real evidência da qualidade da madeira. Quando uma

amostra é retirada no nível do DAP, a largura do anel geralmente aumenta radialmente por um número de anos, para depois decrescer a cada ano subsequente. Em árvores livres de competição, ou submetidas a tratos culturais como desbaste ou fertilização, os anéis de crescimento são mais largos quando comparados aos de árvores que não sofreram competição. No entanto, independentemente de como as árvores estão crescendo, a largura dos anéis de crescimento poderá declinar.

A largura dos anéis poderá diminuir, no nível do DAP, aumentando a outras alturas do tronco. A largura de um determinado anel no topo das árvores é maior que na sua base e, por isso, um número de anéis encontrado a uma determinada posição poderá ter acima desta sua largura aumentada e a quantidade de anéis observados naquela posição decrescerá no caule (Larson et al., 2001).

As condições de crescimento influenciam muito na largura dos anéis e mudanças muito abruptas poderão contribuir para uma não uniformidade radial da taxa de crescimento. Conforme Larson et al., (2001) a não uniformidade da taxa de crescimento durante o período juvenil, mesmo que não influencie diretamente na qualidade da madeira, está associada com as demais características que contribuem para a qualidade de produtos sólidos de madeira.

4.4 Potencial energético da madeira

Ao longo de seu desenvolvimento, um povoamento florestal mediante as condições edafoclimáticas do sítio e demais fatores, produzirá Incrementos Correntes Anuais em Volume, massa e energia que variam de acordo com a idade do povoamento.

Rezende et al. (1997), trabalhando com árvores de *Eucalyptus grandis* com idade de 13 anos, determinaram os incrementos correntes anuais em volume, massa e energia, para um povoamento florestal localizado no centro oeste do Estado de São Paulo.

Os resultados mostraram que a idade de culminação máxima do Incremento Corrente Anual de Volume ficou próxima ao quarto ano, enquanto que os Incrementos Correntes Anuais de Massa e Energia estabeleceram-se no oitavo ano de povoamento, confirmando que uma árvore em certa idade não possui crescimento significativo em volume, mas poderá tê-lo em massa e energia.

Para Vale (2000) a energia da biomassa, entre as alternativas renováveis existentes em relação aos combustíveis fósseis, é a que tem despertado maior interesse do ponto de vista da sustentabilidade. O Ministério de Minas e Energia (1999) registrou que, do total dos energéticos primários consumidos internamente em 1998, a madeira contribuiu com 9,06%.

Segundo Duboc (2002), as necessidades energéticas atendidas pela biomassa florestal distribuem-se sob a forma de:

1. Combustão direta da madeira para a produção de calor;
2. Produção de carvão vegetal para uso posterior como combustível ou fins siderúrgicos;
3. Gaseificação da madeira ou carvão vegetal para fins combustíveis (gasogênio);
4. Gaseificação da madeira ou carvão vegetal para a produção de gás de síntese de metanol;
5. Digestão anaeróbica para a produção de metano.

Existe um certo impasse com relação ao consumo energético mundial. Alguns pesquisadores consideram sendo de importância vital para a preservação dos recursos naturais o incentivo ao uso de fontes energéticas renováveis, importante para preservação de recursos naturais pois possibilitam a redução da concentração do gás carbônico na atmosfera, responsável pelo efeito estufa.

Conforme Duboc (2002), existe uma tendência para a geração de energia a partir dos recursos florestais, bem como outras fontes de biomassa energética. Vem daí a necessidade de aperfeiçoamento no que se refere aos aspectos silviculturais e programas de melhoramento genético, assim como a procura por outras espécies atrativas, que possam atender essa demanda, reduzindo a exploração indiscriminada de florestas naturais.

4.5 Poder calorífico da madeira

O poder calorífico da madeira pode ser definido como o calor desprendido na combustão completa do combustível por unidade de massa. Geralmente ele é expresso em Kcal /Kg ou cal /g.

O poder calorífico de um combustível sólido pode ser caracterizado pelo Poder Calorífico Superior quando se trata de um combustível seco ou também pelo Poder Calorífico Inferior, quando ele é queimado com um certo teor de umidade.

4.5.1 Poder Calorífico Superior (PCS)

O Poder Calorífico Superior geralmente é determinado pelo método da Bomba Calorimétrica. Neste método uma certa quantidade de combustível é queimada em um sistema fechado, não havendo perda de calor na mudança de fase, pois mesmo se houver água no combustível esta é evaporada, e novamente condensada no sistema.

O PCS é então determinado pela seguinte relação:

$$PCS = \left(\frac{k + M}{M_s} \right) \Delta T \quad (1)$$

Sendo:

PCS = Poder Calorífico Superior(cal/g)

K = Constante do calorímetro utilizado (g)

M = Massa de água utilizada no calorímetro (g)

M_s = Massa seca do combustível(g)

ΔT = Variação da temperatura antes e após a combustão.(⁰C)

4.5.2 Poder Calorífico Inferior (PCI)

Geralmente, quando se queima uma certa quantidade de combustível com certa umidade em um sistema aberto tem-se uma perda de energia na forma de calor devido à mudança de fase líquida para vapor da água contida no combustível, pois nesse caso o vapor d'água escapa do sistema.

Além disso, deve-se descontar também a fração da massa de água do combustível, já que esta não é aproveitada na combustão, pois a água não é queimada e não fornece calor neste caso (Rezende, 1997).

A energia líquida na forma de calor obtida na combustão de um combustível sólido úmido é denominada Poder Calorífico Inferior, o qual decresce com a umidade do combustível.

O Poder Calorífico Inferior (PCI) é dado por:

$$\text{PCI} = \text{PCS} \cdot (1 - \text{Ubu}/100) - (\text{Ubu}/100) \cdot L_v \quad (2)$$

Sendo:

Ubu – Umidade na base úmida (%)

L_v – Calor latente de vaporização da água (Cal/g).

4.6 Aspectos Silviculturais

4.6.1 Fertilização

As sementes de *Pinus* podem ser obtidas nas árvores existentes na região ou compradas em locais especializados. Em sua semeadura podem ser empregados três tipos de semeadura:

1. Em sementeiras, em que as sementes são espalhadas em sementeiras e, após a germinação, as plântulas sofrerão uma repicagem, sendo

transferidas para os recipientes onde continuarão seus processos de formação;

2. Em canteiros de mudas embaladas: neste caso, as sementes são semeadas diretamente em recipientes, tais como tubetes especiais, sacos plásticos, taquara, entre outros;
3. Em canteiros de muda de raiz nua: a semeadura acontece nos canteiros e suas mudas permanecem no local até o plantio definitivo. O método de raiz nua é indicado para locais onde ocorre boa distribuição pluviométrica e temperaturas pouco elevadas, no Sul do Brasil e quando o plantio é mecanizado.

Conforme Jacob e Balloni (1978) a meta da silvicultura moderna é aumentar o rendimento volumétrico, a fim de atender à demanda de madeira do mercado. Por isso, tem lançado mão de fertilizantes e sementes melhoradas.

Larson (2001) afirma que é difícil generalizar o efeito da fertilização sobre a qualidade da madeira, em decorrência de variáveis influenciáveis.

A Revista Madeira (2001) ilustrou que as alterações nas condições de crescimento devido à aplicação de fertilizantes ou qualquer outro tratamento silvicultural estão associadas a alterações na qualidade de madeira e a aplicação de fertilizantes em povoamentos florestais pode acarretar alterações na densidade da madeira, nas suas propriedades físico-mecânicas.

Baker (1973) realizou estudos sobre a influência das práticas silviculturais no aumento do crescimento de *Pinus elliottii* e esses estudos indicaram que tanto o conteúdo de umidade do solo, quanto a quantidade de nutrientes limitaram o crescimento, durante várias vezes ao ano.

Também foi concluído por Brito et al., (1986) que a adubação mineral induziu a uma maior produção volumétrica no lenho inicial até o sexto ano de vida da árvore e não foi observado nenhum efeito sobre o volume de lenho tardio.

Brazier (1976), relata que um plantio de *Pinus radiata* de seis anos, num sítio deficiente em nutrientes, respondeu ao tratamento com potássio, com ganhos de produtividade de até 50% por seis anos consecutivos, mas a madeira tinha uma densidade média 11% abaixo das parcelas não tratadas, por causa de um aumento no total de lenho

inicial. Os mesmos autores, em outro trabalho com *Pinus radiata* de sete anos, encontraram um aumento na taxa de crescimento, após a aplicação de fosfatos, que resultou numa redução percentual de lenho tardio e menor densidade do lenho inicial.

Linnartz et al. (1970), citados por Jacob e Balloni (1978), indicam que o uso isolado de nitrogênio diminui a densidade da madeira de *Pinus pinaster* e o uso também isolado de fósforo e de potássio não acarretam nenhuma alteração; mas o uso combinado de nitrogênio e fósforo promove acréscimo na densidade da madeira. Dillner (1968), citado pelos mesmos autores, não verifica nenhum efeito significativo da aplicação de fertilizantes NPK sobre a densidade média de *Pinus elliottii*.

Os autores Willians e Hamilton (1961), citados por Fernandes (s/d), também apontam que a fertilização influencia as propriedades da madeira. As árvores adubadas têm um incremento diametral anual 26% maior do que as não tratadas num mesmo período de tempo e esse incremento da taxa de crescimento é acompanhado por uma redução de 3 a 7% tanto na densidade como na porcentagem de lenho tardio.

Também foi analisado por Karth (1968) o aspecto prático da fertilização. O autor concluiu que a taxa de aumento da produção de madeira por unidade de área em sítios pobres tem um baixo custo por unidade de volume, compensando uma diferença na porcentagem de celulose, uma baixa densidade da madeira e um maior custo de processamento, no caso de a madeira ser utilizada na produção de polpa.

4.6.2 Desbaste

Para Castro e Silva (2001), desbastes são cortes parciais feitos em povoamentos imaturos, com o objetivo de estimular o crescimento das árvores remanescentes e aumentar a produção de madeira de melhor qualidade. Nessa operação, removem-se as árvores excedentes, para que se possa concentrar o potencial produtivo do povoamento num número limitado de árvores selecionadas.

Scheineder (1993) diz que, através do desbaste, eliminam-se as árvores com forma inadequada, melhorando a qualidade do povoamento. Segundo esse autor, vários pesquisadores têm demonstrado que através do desbaste obtêm-se árvores com maiores diâmetros, que poderão ser utilizadas para serraria e laminação, agregando um maior valor ao

produto final. Para ele, uma árvore com diâmetro elevado tem maior valor por m³ do que uma árvore com diâmetro pequeno, uma vez que a serraria corta uma determinada quantidade de tábuas ou pranchas com menos custo e menor perda, além do que os custos de corte e transporte são menores se determinado volume de madeira estiver concentrado em poucas árvores.

Ainda a respeito de relatos de Scheinader (1993), estudos feitos na África do Sul e nos EUA constataram que a densidade não está correlacionada com a largura dos anéis de crescimento e, sim, com a idade em que o anel é formado. A explicação para a existência de correlação densidade-idade e não densidade-largura, é que a densidade da madeira depende da porcentagem de lenho inicial e lenho tardio. Quanto maior a porcentagem de lenho tardio, maior é a densidade da madeira, pois anéis largos formados aos dez anos de idade, em consequência de um desbaste pesado, têm a mesma densidade que anéis formados também aos dez anos de idade, num povoamento não desbastado. Segundo o autor, a medida adequada para produzir madeira com alta densidade não é desbaste leve, mas rotação longa.

Ainda de acordo com o mesmo autor, pesquisas recentes com *Pinus elliottii* nos EUA não constataram nenhuma influência do desbaste sobre a densidade, com relação às coníferas, pois nas folhosas as condições são diferentes. Apesar da densidade ser uma das mais importantes qualidades tecnológicas da madeira, ela não é a única.

Ahrens (1985) propõe regimes de desbastes alternativos para o manejo de plantações de *Pinus sp.*, com base nos diferentes objetivos de produção, quer se a produção de madeira é destinada para processamento de fibras, ou utilizada para processamento mecânico ou para a obtenção de fibras ou de toras. Caso a produção preveja o uso múltiplo, adotam-se regimes de desbaste bem definidos, que resultem em produtos para ambos os usos, embora com exigência de obtenção de madeira de boa qualidade para o processamento mecânico.

4.6.3 Poda

Esta operação visa a melhorar a qualidade da madeira pela obtenção de toras desprovidas de nós. O controle do crescimento dos galhos, bem como sua eliminação, é uma prática aplicada às principais espécies de madeira e os nós dos galhos vivos causam

menores prejuízos que os deixados por galhos mortos, que se constituem em sérios defeitos na madeira serrada.

Esporadicamente as árvores são podadas também a fim de prevenir a ocorrência de incêndios florestais, a fim de favorecer acesso aos povoamentos durante as operações de desbaste, inventário e combate à formiga.

Conforme Scheineder (1993) a poda ou desrama consiste na remoção de ramos nos fustes das árvores, cujo objetivo é produzir madeira livre de nós, dar acesso as marcações e desbastes, reduzir os riscos causados pelo fogo e diminuir os custos da exploração. De acordo com o referido autor, muitas espécies têm aptidão para a desrama natural, como no caso do gênero *Pinus*, os galhos inferiores secam em consequência do sombreamento causado pelo fechamento do dossel do povoamento no tronco por vários anos, incrustando-se no lenho à medida que o diâmetro aumenta de tamanho, transformando-se em nós cada vez mais compridos e soltos, prejudicando a qualidade da madeira.

Qualquer tipo de alteração no padrão de crescimento de uma árvore resulta em variações na qualidade da madeira. A poda verde ou poda de galhos vivos é responsável pela diminuição do crescimento, principalmente diâmetro, devido à área fotossintética da planta. Para Cown (1973) o efeito de vários níveis de desrama, combinados ou não com a realização de desbaste em *Pinus radiata*, encontrou para todos os tratamentos de desrama uma redução inicial na largura dos anéis de crescimento em relação à testemunha. O mesmo autor atesta que a única mudança evidenciada nas propriedades da madeira após o desbaste foi a redução no comprimento dos traqueídeos, no entanto, a poda não interferiu nessa característica, evidenciando-se um aumento na densidade da madeira após a poda.

Para Schilling et al. (1997) que estudaram a densidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii*, a densidade aparente da mesma diminui com a intensidade da poda e as parcelas que não sofreram desrama apresentaram densidade média aparente de $0,44 \text{ g/cm}^3$, enquanto que as parcelas que sofreram desrama de 60% da altura total apresentaram a menor densidade, cerca de $0,40 \text{ g/cm}^3$. As demais parcelas que sofreram desrama seca, desrama de 40% e 50% da altura total, apresentaram densidade média aparente em torno de $0,42 \text{ g/cm}^3$.

Portanto, há de se concluir, segundo Castro e Silva (2001), que a definição da frequência e intensidade da desrama segue premissas básicas como: a) a desrama

é uma operação de altos custos e vem acompanhada de desbaste; b) deve ser verde e realizado mais prematuramente possível; c) a primeira poda é feita com 5,0 a 5,5 m de altura; em madeira para uso nobre pode ser realizada a 2,5 m de altura; d) deve-se interligar a poda com a finalidade da madeira, por exemplo, lambris necessitam de 2,5 m de altura, pois as paredes têm cerca de 2,3 m de altura de pé direito; e) a segunda poda se deve realizar após o primeiro desbaste e somente em árvores selecionadas para o corte final; f) o quanto podar depende da indústria e finalidade da madeira (para serraria, 5 m a 7,5 m, tábuas e para laminadora, 6,2 m); g) a intensidade da desrama não deve ultrapassar os 6,5 m de altura; h) as operações de desrama devem ser feitas na primavera com o intuito de promover a rápida cicatrização das feridas.

4.6.4 Espaçamento

A escolha do espaçamento de plantio, na maioria dos planejamentos florestais, tem sido fundamentada principalmente no uso final da madeira. O espaçamento possui uma série de implicações sob o olhar silvicultural, tecnológico e econômico, influenciando as taxas de crescimento do povoamento florestal, a qualidade das madeiras, a idade de corte, as práticas de exploração e manejos florestais, afetando os custos de produção.

A idade do corte e o espaçamento encontram-se intimamente relacionados, quer dizer, os plantios em espaçamentos menores normalmente exigem desbastes ou ciclos mais curtos de corte, uma vez que a competição entre plantas ocorre mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento.

A percentagem de árvores dominadas e mortas cresce com o avanço da idade, causando um aumento da percentagem de falhas, fato que ocorre com mais intensidade e mais precocemente nos espaçamentos mais apertados. Um número elevado de árvores dominadas reflete negativamente no volume da madeira, estabilizando e reduzindo o incremento médio anual de volume.

Por outro lado, obviamente espaçamentos longos reduzem o número de árvores por unidade de área e diminuem o Incremento Médio Anual de Volume. Assim torna-se importante buscar um espaçamento ideal para o plantio, a fim de se obter uma maior produtividade, aliada aos fatores de qualidade da madeira.

Nos plantios de *Pinus* sp, costumam ser utilizados os espaçamentos de 3m x 2 m e 2,5 m x 2,5 m.

Fernandes (s/d) aponta que se pode modificar o espaçamento de uma floresta por dois meios, sendo o primeiro por desbastes e o segundo por prévio estabelecimento do espaçamento no plantio. O espaçamento do plantio afeta a produtividade e caráter da madeira juvenil, assim como influencia o período no qual a árvore tem crescimento livre de competição. Em espaçamentos menores reduz-se a quantidade de madeira juvenil e reduz-se a porção de madeira com menor densidade.

Conforme Scolforo (1997) sob o ponto de vista de retabilidade do tronco, os espaçamentos muito amplos apresentam efeito negativo, uma vez que acarretam o surgimento de árvores tortas, com ramificações grossas. Já em relação ao tamanho dos nós, verifica-se que, no caso de coníferas, em espaçamentos menores os galhos perdem sua função mais rapidamente e produzem nós menores.

Quanto à forma do tronco, verifica-se que, nos espaçamentos menores, as árvores tendem a ser mais cilíndrica. Larson (1992) citado por Scolforo (1997), aponta que a maior conicidade nos espaçamentos maiores deve-se à manutenção de uma maior altura da copa e um maior crescimento do diâmetro na base copa. Nos espaçamentos menores, ocorre uma diminuição gradativa da altura da copa, em função da desrama ou morte dos galhos inferiores; deduz-se que, a base da copa, onde se concentra o crescimento, altera o seu crescimento em diâmetro de forma mais distribuída ao longo do tronco.

O mesmo autor também atesta que o efeito do espaçamento sobre a densidade básica da madeira não é bem definido, sendo que a densidade da madeira pode diminuir com o aumento do espaçamento, em função de uma maior proporção de madeira juvenil; no entanto, em outros trabalhos essa diminuição não foi encontrada.

Conforme Yang e Hazenberg (1993) estudos realizados para examinar o efeito do espaçamento sobre a densidade da madeira apresentam resultados contraditórios, pois enquanto alguns pesquisadores concluíram que a densidade da madeira decresce com o aumento do espaçamento, outros estudos elaborados por outros pesquisadores mostraram nenhum efeito do espaçamento sobre essa propriedade.

Castro e Silva (2001) estudando a influência do espaçamento na qualidade e na produção em peso da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*,

verificaram que o espaçamento não afetou a densidade da madeira. Resultados similares foram encontrados por Echols (1959), para *Pinus resinosa* e *Pinus banksiana* e Jayne (1958), para *Pinus resinosa*.

4.6.5 Resinagem

Conforme Sjöström (1993) os extrativos fazem parte dos constituintes da madeira e são solúveis em solventes orgânicos neutros ou água, compreendendo um grande número de compostos individuais dos tipos lipofílicos e hidrofílicos. Os extrativos são considerados constituintes monoestruturais da madeira, formados praticamente por compostos extracelulares de baixo peso molecular. Os ácidos resinóicos, extrativos presentes nos chamados exudados, são formados pela árvore, através do metabolismo secundário após ferimento mecânico ou ataque de fungos e insetos e têm a função de proteção da madeira contra injúrias provocadas pelos mesmos.

Foelkel (1977) atesta que os ácidos resinóicos são produzidos pelas células epiteliais parenquimatosas que circundam o canal de resina, presentes em espécies de coníferas, principalmente em espécies de *Pinus*, em especial *P. elliotii*.

A resinagem surgiu com a crise econômica no Brasil, como uma opção de antecipação de receitas, sendo utilizada como técnica de manejo desde meados de 1970 (Rincoski, 1994).

Apesar desse tipo de exploração ser altamente lucrativo, existem dúvidas no que tange ao aproveitamento da madeira de árvores que são resinadas, já que estas sofrem alterações fisiológicas e na aparência da madeira serrada, pois dificultam sua colocação no mercado (Tomaselli et al. 1981).

Estudando a madeira de *Pinus elliotii* Eng. Var. *elliotii*, Gonzalez et al. (1986), concluem que a região da madeira resinada e proximidade apresentam uma forte descoloração e um aumento de resina, dificultando seu desdobro e aceitação de vernizes e tintas. As propriedades físicas testadas da madeira resinada, comparada à não resinada e testemunha, não sofreram alterações significativas. A densidade básica média da madeira de árvores resinadas foi $0,495\text{g/cm}^3$, enquanto que as não resinadas e a testemunha foram $0,488\text{g/cm}^3$ e $0,480\text{g/cm}^3$, respectivamente.

Tomaselli et al. (1981) apontam em seu estudo sobre a influência da resinagem na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* que a resinagem não afetou a resistência a flexão estática e à compressão paralela. Os autores dizem que não foi verificada nenhuma alteração no peso específico aparente, mas que, na área do painel em que ocorreu a resinagem e proximidades, observaram-se manchas acentuadas na madeira e dificuldades na aceitação de tintas e vernizes, limitando desta forma a destinação da matéria prima nessa porção do tronco, principalmente no que se refere à aparência de sua superfície. Nas árvores resinadas a massa específica aparente a 12% e a 0% de umidade foi de 0,544 g/cm³ e 0,526 g/cm³, respectivamente, enquanto que nas árvores não resinadas a massa específica a 12% foi 0,537 g/cm³ e a 0% foi 0,510 g/cm³.

4.7 Melhoramento genético florestal

4.7.1 Conceito

O melhoramento genético é uma ciência utilizada em plantas e animais para a obtenção de indivíduos ou populações com características desejáveis, a partir do conhecimento do controle genético dessas características e de sua variabilidade.

O início do melhoramento genético no Brasil se deu em 1903, com a introdução do gênero *Eucalyptus*, por Navarro de Andrade, para a produção de dormentes para estradas de ferro.

Em sua forma mais comum, o melhoramento genético florestal se dá através da seleção de indivíduos superiores, identificados em plantações comerciais, os quais podem ser vegetativamente multiplicados, ou restabelecidos em um delineamento adequado para a comprovação de sua superioridade genética, para a produção de sementes ou para a propagação comercial.

Essa comprovação de que os indivíduos selecionados, que formarão os futuros plantios comerciais ou produzirão sementes para esse fim, são geneticamente

superiores pode ser realizada através da implantação de testes de progênies ou de testes clonais¹.

4.7.2 Métodos e seleção de indivíduos

Na área florestal, existem três importantes formas de multiplicação vegetativa dos indivíduos selecionados:

- Estaquia (método de propagação vegetativa por enraizamento de estacas);
- Enxertia (união de partes de indivíduos através de seus tecidos, de modo que a união seja seguida de crescimento vegetativo);
- Micropropagação (cultura de tecidos).

A escolha do método depende da finalidade da multiplicação e da fisiologia da espécie com a qual se está trabalhando.

A seleção de indivíduos (árvores) se faz pela escolha de indivíduos ou populações que apresentam caracteres desejáveis para o melhoramento. Para uma maior garantia dos resultados, a seleção dos indivíduos pode ser realizada através de:

- Seleção dentro de famílias, através de cálculos que utilizam o desvio do valor individual em relação à média da família no bloco;
- Seleção entre famílias que utilizam o desvio da média de famílias em relação à média geral do teste;
- Seleção combinada ou que utiliza ambos os desvios;
- Seleção multi-efeito, que propicia a correção dos efeitos ambientais, maximizando o ganho genético.

Com relação à seleção entre famílias e dentro das famílias, observou-se o problema da existência de indivíduos excepcionais, em famílias não selecionadas, e de indivíduos selecionados com valor inferior até mesmo ao pior indivíduo de outra família. Portanto, a seleção será baseada em medidas genéticas e não fenotípicas, ou seja, que sofrem ação do ambiente.

¹ Melhoramento genético florestal. Disponível em: < <http://www.ambientebrasil.com.br> > Acesso em: 04.2005

4.7.3 Teste de superioridade genética

Grande atenção deve ser dada ao objetivo final da seleção e, por isso, são realizados os seguintes testes:

- Testes de Progênie, que fornecem dados sobre valores genéticos (apenas a variância aditiva é considerada). O teste de progênie avalia os pais pela comparação do desempenho das suas descendências.
- Testes Clonais, que fornecem dados sobre valores genotípicos (a variância dominante também é considerada). O teste clonal é a avaliação de um indivíduo ou clone através da comparação de clones.

A importância desses conceitos está no fato de que pode haver grandes erros no resultado esperado, se indivíduos selecionados para a reprodução sexuada forem utilizados para a clonagem, ou vice-versa.

A produtividade, a qualidade da madeira, a forma do fuste, a resistência a pragas e doenças, bem como outras inúmeras características que podem alterar o valor de uma floresta plantada, estão definidas já nas sementes, nos cromossomos, tornando a produção de sementes a partir de pomares testados uma ferramenta essencial.

4.7.4 Produção de sementes melhoradas

A propagação dos resultados obtidos com o melhoramento genético florestal pode ocorrer através de sementes, ou através de estacas (clonagem) a partir do material selecionado.

As sementes melhoradas podem ser obtidas das seguintes formas: área de coleta de sementes (ACS), área de produção de sementes (APS), pomar de semente clonal

testado (PSCT), pomar de semente por mudas (PSM), desenvolvimento dos pomares e produção de estacas(*Seed Stand*)².

4.7.4.1 Área de coleta de sementes (ACS)

O povoamento comercial onde se coletam sementes dos melhores indivíduos para utilização massal é caracterizado por ser a mais simples forma de produção de sementes melhoradas, implica em baixa intensidade de seleção (cerca de 1:10) e seleção fenotípica no lado feminino.

4.7.4.2 Área de produção de sementes (APS)

A forma mais utilizada é o povoamento onde houve seleção e desbaste, removendo-se as árvores com características de qualidade inferior, deixando-se apenas os melhores indivíduos para o cruzamento. A intensidade de seleção também é baixa (1:10) e a seleção fenotípica ocorre dos dois lados (feminino e masculino).

4.7.4.3 Pomar de sementes clonal testado (PSCT)

É uma plantação de árvores com genótipo selecionado através de um teste clonal, estabelecido através da propagação vegetativa, recebendo um manejo diferenciado para o florescimento e produção abundante de sementes, através de tratamentos culturais específicos.

Apresenta melhor resultado devido à maior intensidade de seleção (cerca de 1:5000) e porque trabalha com a seleção genética, no lugar da fenotípica, e nos dois lados (feminino e masculino). A dificuldade desta forma de produção para algumas espécies é a enxertia.

Suas vantagens são:

² Fonte: : < <http://www.ambientebrasil.com.br>

- Os genótipos das árvores produtoras de semente são conhecidos e somente são utilizados os superiores;
- O florescimento se inicia mais rapidamente em função da idade fisiológica;
- O pomar pode ser implantado em local mais conveniente, mais econômico e mais produtivo.

E suas desvantagens são:

- Apenas um ciclo de seleção é obtido na operação;
- Há restrição da base genética;
- Existem possíveis dificuldades na propagação.

Contudo, a possibilidade de cruzamentos entre indivíduos aparentados é mínima e os genótipos superiores podem ser repetidos diversas vezes.

4.7.4.4 Pomar de sementes por muda (PSM)

É uma plantação de árvores selecionadas geneticamente através de um teste de progênie, estabelecida através de mudas oriundas de sementes, recebendo um manejo diferenciado para o florescimento e produção abundante de sementes, através de tratamentos culturais específicos. Assim como o PSCT, resulta em sementes de melhor qualidade que as ACS's e APS's, porque a seleção também é genética em vez de fenotípica. Esse tipo de pomar requer a existência de teste de progênie. Há vantagens:

- Quando as características de interesse se manifestam em idade jovem;
- Quando a espécie floresce precocemente;
- Quando a propagação vegetativa é difícil.

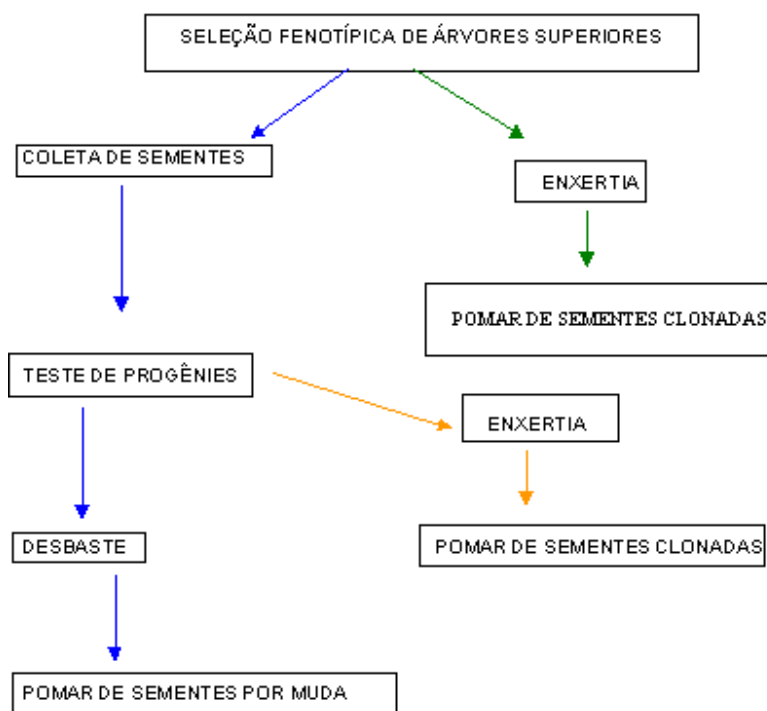
Nesse caso existem dois ciclos de seleção em uma operação e é possível manter uma base genética mais ampla, a partir de um maior número inicial de pais.

Como o PSM surge a partir de desbastes em testes de progênie, torna-se desvantajoso quando a avaliação das progênie (teste) e a produção de sementes são dificilmente obtidas no mesmo local e, como os testes de progênie são feitos para as seleções

originais e não para os indivíduos que constituem o pomar, os genótipos dentro do pomar de produção não são conhecidos.

Em função do delineamento do teste e dos desbastes realizados, existe o problema de cruzamento entre parentes, principalmente quando se utiliza semente de polinização aberta. Ocorre ainda que, se a espécie apresenta floração demorada, este processo não pode ser acelerado como ocorre na enxertia e, ao contrário do que ocorre na produção de sementes através de clones, um genótipo superior é representado por somente uma árvore.

4.7.4.5 Desenvolvimento de pomares de sementes



Fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br>

Figura 1 - Desenvolvimento de pomares de sementes.

4.7.4.6 Produção de estacas

Estacas (*cuttings*) são segmentos de folhas, ramos, secções do caule ou raiz, tratadas com a finalidade de promover o enraizamento.

Muito comum no caso dos gêneros *Eucalyptus*, a propagação na forma de estacas apresenta a vantagem de obtenção de maiores ganhos em pouco tempo. Nesse caso trabalha-se com a herdabilidade no sentido amplo, ou seja, sem cruzamentos. Plantios comerciais estabelecidos a partir de estacas apresentam maior homogeneidade, maior sobrevivência e maior produtividade.

4.7.5 Herdabilidade

Herdabilidade é a porção da variação fenotípica observada que ocorre em função dos efeitos genético. A estratégia de melhoramento pode ser definida em função:

- Da herdabilidade, a qual não é apenas uma propriedade do caráter;
- Da população;
- Das condições ambientais a que foram submetidos os indivíduos.

O valor da herdabilidade pode ser aumentado não somente pela introdução de mais variação genética na população, mas melhorando as condições experimentais, de modo a reduzir a contribuição da variação ambiental para a variação fenotípica total.

Um fator relevante quando se fala em melhoramento florestal é a interação “genótipo x ambiente”. Um mesmo genótipo como, por exemplo, estacas de uma mesma matriz, pode apresentar comportamento inverso em dois ou mais ambientes. Esse fenômeno é conhecido como interação genótipo x ambiente e é indesejável em um programa de melhoramento envolvendo mais de um local.

A consequência negativa desse fenômeno é justamente o erro que pode estar embutido na indicação de um determinado material para ambientes diferentes.

4.7.6 Melhoramento genético florestal versus agrícola

O melhoramento genético é uma atividade já consagrada na agricultura, que permitiu a obtenção de resultados fantásticos em culturas anuais como o milho, a soja e a cana-de-açúcar.

Entre esses resultados estão os aumentos da produtividade, a resistência a doenças e o aumento do Brix. Tal sucesso se deve aos esforços para o conhecimento e definição das melhores técnicas de melhoramento em função da cultura com a qual se está trabalhando, e de condições favoráveis, como a floração anual, o porte das plantas e facilidades na polinização, diferentemente do que se encontra em espécies arbóreas.

Apesar das diferenças encontradas para as condições citadas na área florestal, o melhoramento genético também é possível e vem sendo realizado desde o início do século XX, em diferentes países e com diferentes espécies. Mas, mesmo com as dificuldades inerentes às espécies arbóreas, como o tempo para a maturidade fisiológica e a conseqüente floração, a distribuição das árvores nas populações naturais e a dificuldade de coleta de sementes representativa da variação existente, a altura das árvores, a variedade de agentes polinizantes, dificuldades na propagação vegetativa, etc., o melhoramento vem sendo realizado e os resultados já são visíveis.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos no melhoramento genético florestal visa ao aumento volumétrico das árvores e à melhoria da retidão do fuste, e diversas outras características, principalmente voltadas à tecnologia da madeira.

Em espécies utilizadas comercialmente, a determinação da variabilidade genética para uso no melhoramento em características relacionadas à produção de celulose, painéis de madeira e carvão se tornam interessantes devido à possibilidade de ganhos em qualidade e quantidade significativos no produto final, trazendo bons resultados econômicos e compensando o custo envolvido com a pesquisa e a tecnologia aplicadas. Como exemplo, o teor de lignina e o rendimento em celulose, a densidade da madeira e seu poder calorífico, a presença de tiloses, o teor de cinzas, o teor de extrativos e muitas outras variáveis mostram a importância da condução de pesquisas em anatomia e tecnologia da madeira paralelamente a programas de melhoramento genético, otimizando o tempo e incrementando os resultados obtidos.

O melhoramento genético agrícola utiliza técnicas avançadas de biotecnologia, em função do amplo conhecimento genético das principais culturas utilizadas, facilitadas pelas curtas rotações e pela possibilidade de obtenção de vários ciclos de seleção em curto espaço de tempo.

O melhoramento genético florestal é feito através da seleção de famílias, procedências e indivíduos, procurando explorar a variabilidade natural das espécies, ainda pouco conhecidas em função da amplitude de variação em que ocorrem.

O eucalyptu, por exemplo, ocorre naturalmente na Austrália entre latitudes de 13° a 43°, altitudes que vão do nível do mar até 4.000 m, em regiões sem problemas de déficit hídrico e outras onde este déficit chega a 300 mm³.

Basicamente, o resultado do melhoramento genético ocorre em função:

- Da variabilidade genética existente;
- Da intensidade de seleção a ser praticada (manuseada pelo homem);
- Da herdabilidade do caráter de interesse na espécie e condições disponíveis.

As principais espécies às quais o melhoramento genético florestal vem se dedicando no mundo são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus saligna*, *Pinus taeda*, *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, *Pinus radiata*, *Criptomeria japonica*. Inclui-se ainda a *Acacia mearnsii*, que vem sendo melhorada na África do Sul desde 1920, e o *Pinus tecunumanni*, que tem sido melhorado no Brasil, principalmente pela empresa Duratex S/A.

4.7.7 Tendências do melhoramento genético florestal

As tendências de melhoramento genético florestal são várias, entre elas: a continuidade dos programas de melhoramento visando a explorar a variabilidade existente, através da recombinação dentro da espécie; a produção de árvores híbridas visando a atender exigências industriais; a identificação ou caracterização de árvores selecionadas através de técnicas de marcadores moleculares; maior utilização da clonagem como alternativa

³ Dados retirados de “Melhoramento genético florestal”. Disponível em: < <http://www.ambientebrasil.com.br> >
Acesso em: 04.2005

para plantações altamente produtivas, combinada a cuidados ambientais necessários a tal prática; a utilização intensa da seleção precoce, visando a minimizar o fator tempo e as pesquisas na área de transgênicos x impactos ambientais⁴.

4.8 Método de determinação da densidade da Madeira.

Alguns métodos nucleares são utilizados para determinação das propriedades físicas de materiais diversos como solo, madeiras ligas metálicas, etc..Dentre eles destacam-se os métodos nucleares que utilizam um feixe de radiação gama, partícula β ou raio-x.

No caso da madeira, os métodos tradicionais mais simples são utilizados quando se deseja obter valores médios por amostra. Entretanto, quando se buscam informações pontuais da densidade, faz-se necessário o uso de métodos nucleares.

Os métodos de determinação da densidade da madeira, pelo uso de raio-x ou partículas β , apesar de boa precisão, tem sua aplicação limitada pela espessura da amostra. Determinando-se sensibilidades nas determinações, a espessura média das amostras não deve exceder a 0,5 cm para raios-x e 2,0 cm para partículas β .

Portanto, conforme mostram Ferraz e Filho (1979), em diversas situações, é preciso trabalhar com amostras mais espessas e, nesses casos, o uso da radiação gama tem-se mostrado adequado, permitindo trabalhar com amostras variando de 1 a 40 cm de espessura. Se o objetivo é estudar a qualidade da madeira ponto a ponto, o método de atenuação da radiação gama pode fornecer detalhes não alcançados por outros métodos.

O método de Imersão é um dos métodos mais utilizados em pesquisas desenvolvidas na área florestal. Nele, a massa é determinada com o auxílio de uma balança, com precisão de 0,001g e o volume é determinado pela variação de peso ocasionada quando a madeira é submersa em um líquido. A determinação do volume baseia-se no princípio de Arquimedes: a perda aparente do peso de um corpo em um líquido é igual ao peso do líquido deslocado. Essa é uma das maneiras mais precisas para determinação do volume e pode ser

⁴ Dados retirados de “Melhoramento genético florestal”. Disponível em: < <http://www.ambientebrasil.com.br> >
Acesso em: 04.2005

usada para amostra com formato irregular. A água e o mercúrio são os líquidos mais freqüentemente utilizados (VITAL, 1984).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Amostragem e material genético do *Pinus* sp

As árvores amostradas são provenientes de um povoamento florestal de um ensaio combinado entre híbridos de *Pinus caribaea* var.*hondurensis* x *Pinus tecunumannii* e material Seminal de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, na região de Agudos-SP, sobre a área da empresa Duratex S/A.. O local possui um solo tipo latossolo vermelho escuro fase arenosa, altitude local de 550 m, longitude 48° 52'W e latitude 22° 22' S. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cfa, quente de inverno seco.

O material híbrido do *Pinus caribaea* var.*hondurensis* x *Pinus tecunumannii* foi sintetizado na Austrália, no Queensland For Research Institute, e o material Seminal *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, são procedente da região de Agudos- SP, totalizando 5 híbrido e 1 Seminal.

A área onde foi implantado o ensaio em 1992 era anteriormente ocupada por um povoamento de *Pinus caribaea* var.*hondurensis*, tendo o preparo do solo sido feito apenas com a passagem do rolo faca para quebrar a galhada existente no local, demarcação de linha de plantio e utilização de uma plantadeira manual (vulgarmente “chucho”).

O delineamento experimental no plantio foi o de blocos casualizados com 12 tratamentos com espaçamento 2,70m x 1,85m entre plantas.

5.2 Seleção das árvores

Foram tomados para a seleção cinco tratamentos do híbrido de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii* que mais se destacaram dentre os 12 tratamentos existentes no povoamento, sendo denominados como H₁, H₂, H₃, H₄ e H₅.

Também foi selecionado 1 tratamento de material Seminal de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo denominado como S, espécie tropical de gênero *Pinus*, proveniente de um ensaio vizinho equiâneo submetido às mesmas condições edafoclimáticas, tendo sofrido os mesmos tratamentos culturais na implantação.

Para a realização do presente trabalho foram selecionadas 54 árvores no total. Ressalta-se que a derrubada das árvores e a coleta dos discos foram realizadas no início de setembro de 2004, sendo, portanto, a idade das árvores de, 10.9 anos aproximadamente.

5.3 Coleta das amostras

Foram utilizadas nove árvores por tratamento e retiradas seis amostras por árvore, com disco de aproximadamente 6,0 cm de espessura, extraído das seguintes posições da árvore de acordo com a altura comercial: A - da base (0,30m), B - DAP (1,30cm do solo), C - 12,5% da altura comercial, D - 37,5 % da altura comercial, E - 62,5 % da altura comercial e F - 87,5 % da altura comercial, conforme mostra a Figura abaixo:

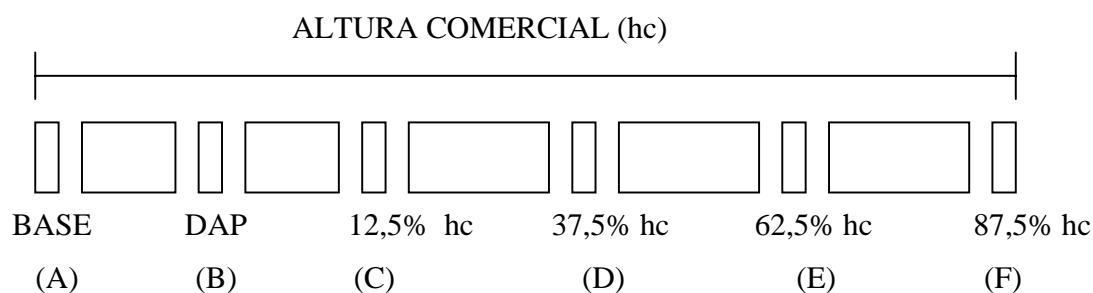


Figura 2 - Seccionamento da árvore nas diferentes posições de amostragem.

As Amostras foram identificadas da seguinte forma:

NH_xA ou NSA

Onde:

N = Número da árvore no tratamento;

H_x = Tratamento híbrido utilizado - como há cinco híbridos, os valores de x serão de 1,2,3,4 e 5;

S = Tratamento Seminal utilizado;

A = Posição da retirada da amostra na árvore.

Como exemplo, considere-se a amostra identificada como $2H_1A$, sendo a árvore 2, do tratamento 1, na posição A (base).

5.4 Preparo das amostras para análise em laboratório.

Segundo Rezende (1987) os discos utilizados para determinação da densidade pelos dois métodos, radiação gama e Imersão, foram levados à marcenaria, para aplainamento e lixamento até adquirirem uma espessura uniforme em torno de 2,5 cm. Após isto, foram levados ao laboratório e permaneceram por aproximadamente 40 dias, até adquirirem uma umidade de equilíbrio com o ambiente de aproximadamente 12 %, antes de ser efetuada a leitura da densidade pelo método de radiação gama.

Em seguida foi determinada a espessura média da amostra, com o auxílio do paquímetro e efetuada a leitura da densidade através do método de radiação gama. Essas mesmas amostras foram posteriormente utilizadas para se determinar a densidade básica, pelo método de Imersão em água.

Essas amostras foram utilizadas para realizar as seguintes análises:

- Determinação da variação da densidade da madeira no sentido radial, utilizando-se o método de atenuação da radiação gama;

- Determinação da densidade ponderada e média da madeira, utilizando-se os métodos de Imersão, de medição direta e de atenuação da radiação gama.

5.5 Determinação do teor de umidade (U) da madeira

Para a obtenção da umidade, foram retiradas amostras com volume aproximado de 27 cm³, sendo estas levadas à estufa para secagem, em uma temperatura de 103 ± 2° C.

A umidade da amostra com base em massa seca foi determinada pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{M_U - M_S}{M_S} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo:

U = Umidade com base massa seca (%);

M_U = Massa úmida da amostra (g);

M_S = Massa seca da amostra (g).

5.6 Determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) do lenho e da casca

O Poder Calorífico Superior foi determinado pelo método da bomba calorimétrica, e suas determinações foram realizadas no laboratório de física aplicada do Departamento de Física e Biofísica, do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu – SP.

O PCS do lenho e da casca das espécies estudadas foi determinado segundo a norma ABNT NBR 8693, e pelo manual de operações do calorímetro PARR 1201.

Para o cálculo do PCS, foram retiradas amostras de serragem nas diferentes alturas, e foram preparadas amostras compostas por árvore, sendo a quantidade de serragem tomada em cada disco proporcional à massa do próprio disco.

Para o cálculo do PCS, utilizou-se a fórmula:

$$PCS = \frac{(K + Ma)}{Ms} \cdot \Delta t \quad (4)$$

Sendo:

PCS = Poder Calorífico Superior (cal/g);

Ma = Massa de água utilizada no Calorímetro (g);

Δt = Gradiente de temperatura antes e após a combustão ($^{\circ}\text{C}$);

K = Constante do Calorímetro(g);

Ms = Massa seca da amostra (g).

A massa de água (Ma) utilizada no Calorímetro é de 2500g e os valores da constante do Calorímetro(K) foram previamente determinados na calibração do Calorímetro, sendo de 488,9 gramas.

5.7 Determinação da densidade da madeira

Existem vários métodos para determinação da densidade da madeira, sendo que todos eles baseiam-se no conceito físico de que a densidade é a quantidade de massa contida em uma unidade de volume.

A determinação da massa pode ser feita facilmente por meio de uma balança, com precisão de 0,001 g., porém, a determinação do volume é mais difícil, tendo a possibilidade de ser efetuada de diversas formas. De acordo com Vital (1984), o volume pode ser obtido através do paquímetro, por deslocamento de água ou mercúrio, ou ainda por meio de volunômetros (VITAL, 1984).

Para a determinação da densidade foram utilizados dois métodos: método de atenuação da radiação gama e o método de Imersão. Como a madeira é um material higroscópico, a sua umidade de equilíbrio está sempre sofrendo alterações em função das variações climáticas do local onde ela está armazenada.

A densidade da madeira por sua vez varia com a sua umidade, o que se faz necessário sempre indicar a umidade em que ela foi determinada (REZENDE, 2003). Portanto, genericamente a densidade aparente da madeira é determinada pela relação:

$$\rho_u = \frac{M_u}{V_u} \quad (5)$$

Sendo u uma umidade genérica.

A densidade da madeira pode ser estabelecida em função de uma umidade conhecida, por exemplo, pelas 3 maneiras apresentadas a seguir, as quais foram utilizadas no presente trabalho.

$$\rho_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (6)$$

$$\rho_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (7)$$

$$\rho_b = \frac{M_0}{V_V} \quad (8)$$

Sendo:

ρ_{12} = Densidade da madeira na umidade 12%;

ρ_0 = Densidade da madeira na umidade 0%;

ρ_b = Densidade básica da madeira (g/cm^3);

V_V = Volume verde ou saturado da amostra da madeira (cm^3);

V_0 = Volume da amostra da madeira na umidade 0%;

V_{12} = Volume da amostra da madeira na umidade 12%;

M_0 = Massa seca da amostra da madeira na umidade 0%;

M_{12} = Massa da amostra da madeira na umidade 12%.

5.7.1 Determinação da densidade pelo método de Atenuação da Radiação Gama

Conforme Parrish (1961) e Ferraz & Mansel (1979), a densidade se determina pela absorção diferenciada da radiação, ou seja, quanto maior a densidade, maior é a absorção e tanto menor a quantidade de radiação que atravessará o meio absorvedor.

Para o cálculo da densidade foi utilizada a equação 6, uma adaptação feita à lei de Beer-Lambert, com correções previstas devido ao tempo morto do sistema eletrônico através das equações 10 e 11.

$$\rho_{12} = \frac{\ln(I_{oc} - BG) - \ln(I_c - BG)}{\mu_m \cdot \chi_m} \quad (9)$$

$$I_{oc} = \frac{I_o}{1 - \tau I_o} \quad (10)$$

$$I_c = \frac{I}{1 - \tau I} \quad (11)$$

Sendo:

- ρ_{12} : Densidade da madeira na umidade de equilíbrio em 12%;
- μ_m : Coeficiente de atenuação de massa da madeira na umidade 12% em cm^2/g (0,183);
- χ_m : Espessura da madeira em cm, na umidade de 12%;
- BG: Radiação de fundo em contagens por minuto;
- I_o : Taxa de contagem (contagens/minuto), obtida experimentalmente sem material absorvedor;
- I: Taxa de contagem (contagens por minuto), obtida experimentalmente após passagem através do absorvedor ou da madeira;
- I_{oc} : Valor de I_o corrigido devido ao tempo morto do sistema eletrônico através da equação 10;
- I_c : Valor de I corrigido devido ao tempo morto do sistema eletrônico através da equação 11;
- τ : Tempo morto do sistema eletrônico ($1,0 \times 10^{-7}$ minutos).

5.7.2 Características gerais do instrumental utilizado

O radioisótopo utilizado como fonte de radiação gama foi ^{241}Am ($7,4 \cdot 10^9$ Bq), com meia vida de 458 anos, que decai por meio de partícula alfa. Associadas à emissão de partícula alfa, tem-se subsequentemente emissões de fótons, entre os quais o mais abundante tem energia de 59,6 KeV e Intensidade de emissão de 35,9%. Esse radioisótopo apresenta uma região livre de interferência de outras radiações gama, numa faixa de 40 a 80 KeV de energia.

Para detecção da radiação gama realizada no Laboratório de Física e Biofísica da UNESP de Botucatu-SP foi utilizado um sistema de colimação feito com chumbo, revestido com aço inox, permitindo uma abertura de 6,0mm por 0,5 mm na saída da fonte e também na entrada do detector; entre eles, existe um sistema móvel, com dois posicionadores x e y, acoplados a um motor e uma fonte reguladora de voltagem, permitindo que as amostras de madeiras sejam deslocadas horizontalmente e verticalmente.

A detecção da radiação gama foi feita através de um cintilador sólido de duas polegadas na forma cilíndrica de NaI (TI). O cintilador fica acoplado a uma fotomultiplicadora e os impulsos produzidos são analisados por um multicanal. A Figura 3 mostra o esquema do instrumental da Radiação Gama.

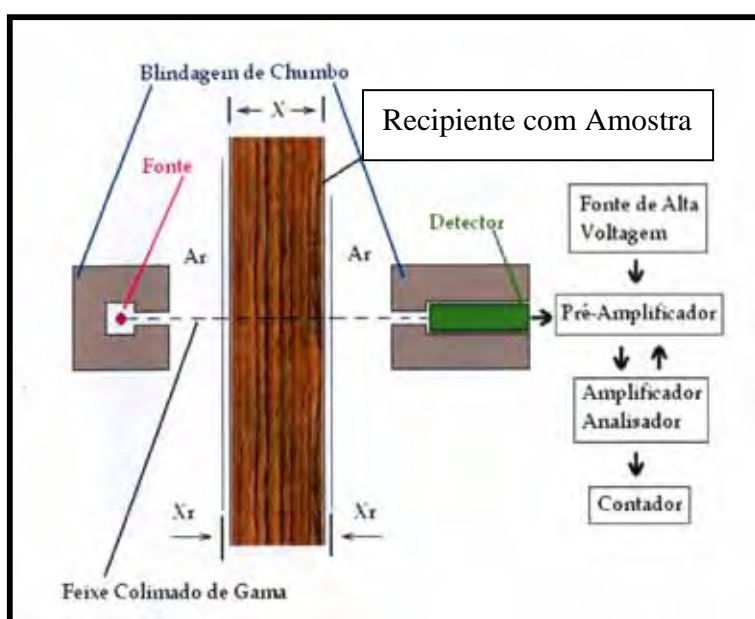


Figura 3 - Esquema do instrumental da radiação gama usado na determinação da densidade.

5.7.3 Determinação da densidade pelo Método de Imersão

A densidade básica foi então obtida pela relação entre massa seca em estufa e volume saturado em água, sendo utilizadas as mesmas amostras, porém estas foram colocadas em água para saturação, por um período de aproximadamente quinze dias, até atingir o seu volume máximo, ou seja, volume saturado (VITAL,1984) e ASTM, D-2395(1999).

Com auxílio de um instrumental de medição dotado de um suporte com trava, que permitiu que as amostras não flutuassem, uma cuba com água e uma balança, obteve-se o volume das amostras. A Figura 4 mostra o instrumental de medição de densidade pelo método de Imersão. O valor numérico do empuxo é obtido pela balança após a imersão da amostra em água.

O empuxo é dado por:

$$E = \rho_f * V_a * g \quad (12)$$

Sendo:

ρ_f = Densidade da água (g/cm^3);

V_a = Volume da amostra (cm^3);

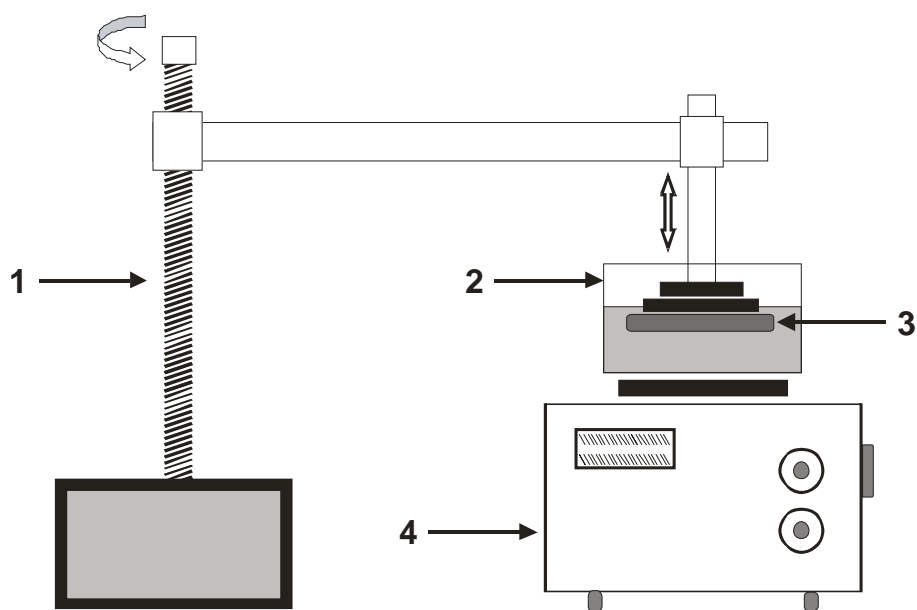
g = Aceleração da gravidade.

No sistema CGC* temos:

$$E = V_a \quad (13)$$

O valor numérico do empuxo em gramas é igual ao volume em cm^3 .

A massa seca foi determinada após completa secagem dessas amostras, iniciada naturalmente e em seguida pela estufa a $100\text{ }^\circ\text{C}$, por um tempo suficiente para essas atingirem massas constantes.



1 = Suporte; 2 = Cuba com água; 3 = Madeira; 4 Balança

Figura 4 - Instrumental de medição da densidade pelo método de Imersão.

5.7.4 Variação radial e longitudinal da densidade

Para determinação da variação radial da densidade, foi utilizado o valor de densidade a 12% obtida pelo método de atenuação da radiação gama.

No entanto, a determinação da variação longitudinal (sentido base-topo) foi feita com base nos resultados de densidade a 12%, densidade a 0% e densidade básica, obtidos pelos métodos de determinação.

5.8 Transformação da densidade a 12% em densidade a 0%

Segundo Rezende (1997), para a conversão da densidade a 12% em densidade a 0% de umidade na base seca (U) e em densidade básica, utilizaram-se as equações 14 e 15:

$$\rho_0 = \frac{1 - \sqrt{1 - 0,2208 \times \rho_{12}}}{0,1218} \quad (14)$$

$$\rho_b = \frac{0,98 * \rho_0}{1 + 0,24 * \rho_0} \quad (15)$$

Sendo:

ρ_0 = densidade da madeira a 0% de umidade em g/cm^3 ;

ρ_{12} = densidade da madeira a 12% em g/cm^3 ;

ρ_b = densidade básica da madeira em g/cm^3 .

5.9 Cálculo da densidade média ponderada do disco

Partindo-se dos valores obtidos da densidade pontual no sentido radial, determina-se a densidade média ponderada de cada disco, dividindo-se inicialmente o disco em anéis concêntricos com largura de um centímetro cada.

A área de cada anel concêntrico, $A_1, A_2, A_3 \dots \dots \dots A_N$ é dada por:

$$A_1 = \pi R_1^2 = \pi(1)^2 = \pi$$

$$A_2 = \pi R_2^2 - A_1 = 4\pi - \pi = 3\pi$$

$$A_3 = \pi R_3^2 - A_1 - A_2 = 9\pi - \pi - 3\pi = 5\pi$$

$A_n = n\pi$, sendo n um número inteiro ímpar.

Portanto, os valores de A_1, A_2, A_3 e A_n podem ser denominados de A_i e agrupados na seguinte série:

$$A_i = (2i - 1)\pi \quad (16)$$

sendo: $i = 1, 2, 3, 4, 5 \dots \text{etc.}$

Como os valores das áreas A_1, A_2, A_3 até A_i foram obtidos de centímetro em centímetro, tornou-se necessário fracionar esses valores. Essas frações foram determinadas a partir das condições impostas experimentalmente na varredura da amostra, sendo dependentes do tempo de medição e do raio de amostra.

O fator fracionamento (f) foi determinado pela relação:

$$f = \frac{R}{N_p} \quad (17)$$

Sendo:

R = Raio da Amostra a ser analisada em centímetros;

N_p = Número de pontos obtidos para densidade no processo de varredura da amostra ao longo do feixe de radiação gama.

Portanto:

$$A_i = (2i - 1) \cdot \pi \cdot f^2 \quad (18)$$

$$V_i = (2i - 1) \cdot \pi \cdot f^2 \cdot \chi \quad (19)$$

$$M_i = (2i - 1)\pi f^2 \cdot \chi \cdot \rho_i \quad (20)$$

Sendo:

V_i = Volume do anel em cm^3 ;

χ = Espessura em centímetro do disco;

M_i = massa do anel i em gramas.

O volume acumulado V_{ac} será:

$$V_{ac(1)} = v_1$$

$$V_{ac(2)} = v_1 + v_2$$

$$Vac_{(3)} = v_1 + v_2 + v_3$$

·

·

·

$$Vac_{(n)} = v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + \dots + v_n$$

Sendo:

$Vac_{(1)}$, $Vac_{(2)}$, $Vac_{(3)}$, $Vac_{(4)}$, $Vac_{(n)}$ o volume acumulado dos anéis fracionados: 1, 1+2, 1+2+3, 1+2+3+4+.....+n, respectivamente.

Portanto:

$$Vac_{(4)} = Vac_{(3)} + V_4. \quad (21)$$

A massa acumulada Mac será:

$$Mac_{(1)} = m_1$$

$$Mac_{(2)} = m_1 + m_2$$

$$Mac_{(3)} = m_1 + m_2 + m_3$$

·

·

·

$$Mac_{(n)} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n$$

Sendo:

$Mac_{(1)}$, $Mac_{(2)}$, $Mac_{(3)}$, $Mac_{(n)}$ massa acumulada dos anéis fracionados: 1, 1+2, 1+2+3, 1+2+3+4+.....+n, respectivamente.

Assim:

$$Ma_{(4)} = Mac_{(3)} + M_4 \quad (22)$$

A densidade média ponderada radial será dada por:

$$\rho_M = \frac{M_{ac(i)}}{V_{ac(i)}} \quad (23)$$

Utilizando-se os programas Origin 6.0 e a Planilha Eletrônica do Office da Microsoft, os valores da densidade pontual e densidade ponderada foram Tabelados e plotados em função da distância radial em centímetros.

Partindo-se dos valores médios de densidade dos discos referentes a cada posição, foram determinadas as densidades médias das árvores, efetuando-se médias ponderadas a partir das massas de cada disco.

5.10 Incremento Médio Anual de Volume (IMAV)

O incremento Médio Anual de Volume foi fornecido a partir dos dados obtidos por espécie coletados no campo pela empresa Duratex S/A., em m³ por hectare ano. O cálculo do IMAV foi feito através das equações 24 e 25:

$$\text{VSH} = ((0,016303616 * (\text{DAP}^{**} 1,959562598) * (\text{hc}^{**} 1,23683477))/2000) + ((0,010345979 * (\text{DAP}^{**} 1,79239604) * (\text{hc}^{**} 1,50954030))/2000); \quad (24)$$

$$\text{Volume Sólido do Seminal em m}^3 = (0,016303616 * (\text{DAP}^{**} 1,959562598) * (\text{hc}^{**} 1,236834776))/1000 \quad (25)$$

Sendo:

DAP = Diâmetro à altura do peito (1,30 cm);

hc = Altura comercial da árvore(m);

VSH = Volume Sólido do Híbrido em m³;

VSS = Volume Sólido do Seminal em m³.

5.11 Incremento Médio Anual de Massa (IMAM)

Conforme o procedimento adotado por Rezende (1987), o Incremento Médio Anual de Massa foi determinado a partir dos dados obtidos do Incremento Médio Anual de Volume (IMAV) por espécie coletados no campo pela empresa. O cálculo do IMAM foi feito através da equação 27:

$$IMAM = IMAV * (\rho_b) \quad (26)$$

Sendo:

ρ_b - Densidade básica obtida em laboratório após leitura dos discos;

IMAM - Incremento Médio Anual de Massa(Ton/ha.ano);

IMAV – Incremento Médio Anual de Volume(m³/ha.ano).

Esse procedimento fornecerá a quantidade em massa de madeira existente no povoamento, cujos resultados foram importantes para avaliação quantitativa em termos de massa.

5.12 Incremento Médio Anual de Energia (IMAE)

Também baseando-se no procedimento de Rezende (1987), partindo-se dos valores obtidos para IMAM, determinou-se o Incremento Médio Anual de Energia por espécie, fornecendo os valores de energia produzida pelos povoamentos por unidade de massa seca anual:

$$IMAE = IMAM * (PCS) \quad (27)$$

Sendo:

PCS = Poder Calorífico Superior(Kcal/Kg);

IMAM = Incremento Médio Anual de Massa(Ton/ha.ano);

IMAE = Incremento Médio Anual de Energia(Kcal/ha.ano).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Densidade da madeira

6.1.1 Variações da densidade entre os Tratamentos de *Pinus*

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para densidade básica e densidade a 12% em cada tratamento realizado. A partir dessa Tabela construiu-se o gráfico da Figura 5.

Com base nos resultados na Tabela 3 e Figura 5 verifica-se que os valores médios para a densidade básica e densidade a 12% para o gênero *Pinus* estão concordantes com a literatura (REZENDE, 1987).

Verifica-se pela Figura 5 que os tratamentos H2 e S apresentam maiores valores de densidades. Esses dois tratamentos possuem baixa produtividade, conforme pode-se verificar pela Tabela 4 e Figura 6. Esse resultado é esperado. A literatura mostra que a densidade está inversamente correlacionada com a produtividade (REZENDE, 1987).

Tabela 3 - Valores médios ponderados por árvore para a densidade básica (ρ_b) e densidade a 12% (ρ_{12}), em kg/m^3 para cada tratamento.

Tratamento		Valores de (ρ_b) (ρ_{12}).									Média Aritimética
		Árvore									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
H1	Dens. Básica	423	369	342	381	464	348	409	431	394	396
	Dens. 12%	516	445	411	425	571	419	485	527	477	475
H2	Dens. Básica	485	427	460	429	394	414	412	428	399	428
	Dens. 12%	599	522	565	525	478	505	501	523	485	522
H3	Dens. Básica	438	376	377	391	414	360	366	337	357	379
	Dens. 12%	536	455	456	473	504	433	442	405	430	459
H4	Dens. Básica	378	416	465	403	308	334	378	402	383	385
	Dens. 12%	458	507	573	489	368	413	458	488	463	469
H5	Dens. Básica	349	316	426	390	394	320	347	293	379	357
	Dens. 12%	421	378	520	474	471	383	418	349	459	430
S	Dens. Básica	438	418	411	407	411	398	458	377	412	415
	Dens. 12%	537	510	500	495	501	483	563	456	502	505

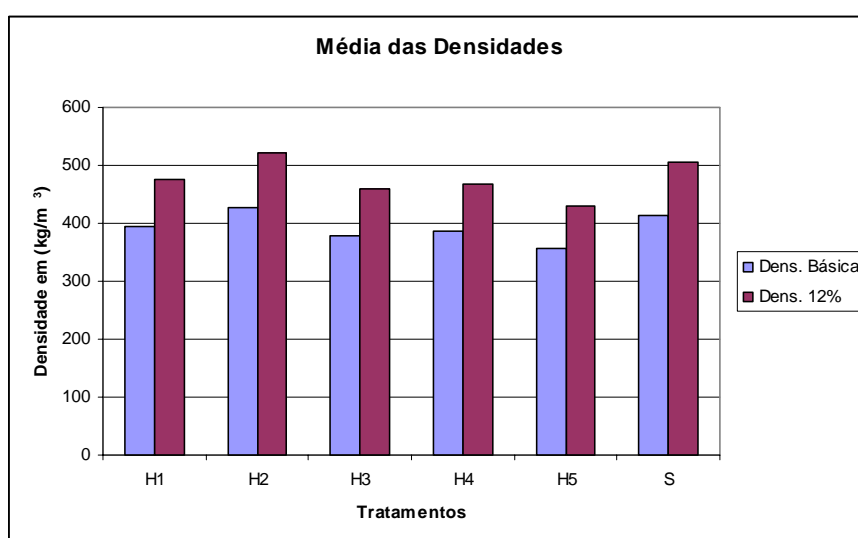


Figura 5 - Média das densidades ponderada básica (ρ_b) e a 12% (ρ_{12}), em kg/m^3 por tratamento.

6.1.2 Produtividade do tratamento dos *Pinus* (IMAV,IMAM e IMAE)

A Tabela 4 apresenta os valores dos Incrementos Médios Anual de Volume (IMAV), Incremento Médio Anual de Massa (IMAM) e Incremento Médio Anual de Energia (IMAE), para cada tratamento.

O Tratamento H4 teve uma produtividade de 38,5 (m³/ha.ano), sendo o mais produtivo dos tratamentos, com 23 % superior ao Seminal (S) em termos de IMAV. Porém mostra-se inferior com relação à densidade.

O Tratamento H1 apresentou uma produtividade relativamente alta de 37,0 (m³/ha.ano), sendo apenas um pouco inferior ao tratamento H4, porém possui uma densidade maior comparada com esse tratamento. Os gráficos das Figuras 6, 7 e 8 ilustram esses resultados.

A Figura 9, mostra a tendência de diminuição da densidade em função da produtividade, estando estas inversamente correlacionadas e de acordo com a literatura (REZENDE, 1987a, 1998b).

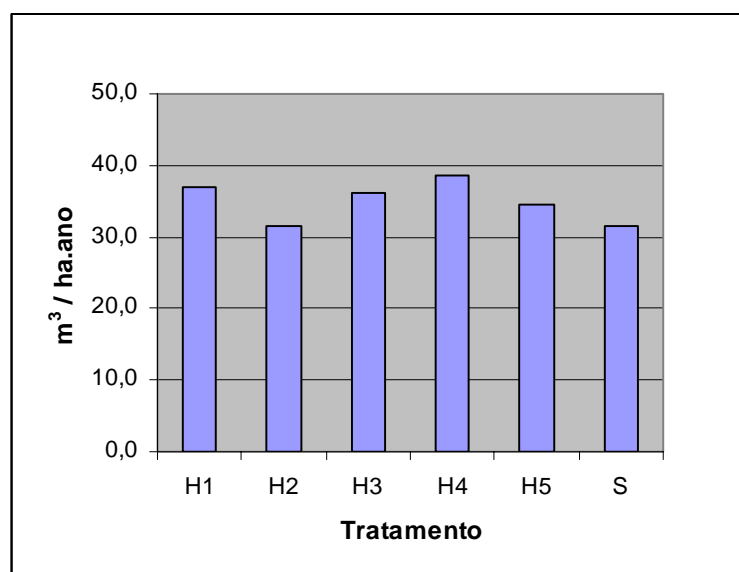
Assim os resultados podem mostrar que para um ganho de 23 % na produtividade pode-se gerar uma perda de aproximadamente 10 % na densidade.

Quando se analisa o IMAM para os tratamentos mais produtivos H1 e H4 em relação ao Seminal, nota-se uma diferença percentual menor, sendo de 13,8 % para o H4 e 13,1 % para o H1. Essa diferença foi menor que no caso do IMAV, devido a perda de densidade com a produtividade, conforme já mencionado anteriormente.

Com relação ao IMAE, a Figura 8 mostra a mesma tendência do IMAM (Figura 7), já que o poder calorífico não variou significativamente com o tratamento realizado, o que já era esperado.

Tabela 4 - Valores de IMAV, IMAE E IMAM para os tratamentos estudados.

tratamentos	IMAV (m ³ /ha.ano)	IMAM (ton /ha.ano)	IMAE (kcal/ha.ano)
H1	37,0	14,7	7,15x10 ⁷
H2	31,5	13,5	6,42x10 ⁷
H3	36,2	13,7	6,56x10 ⁷
H4	38,5	14,8	7,06x10 ⁷
H5	34,6	12,4	5,94x10 ⁷
S	31,4	13,0	6,22x10 ⁷

Figura 6 - Incremento Médio Anual de Volume (IMAV) em m³/ha.ano entre os tratamentos.

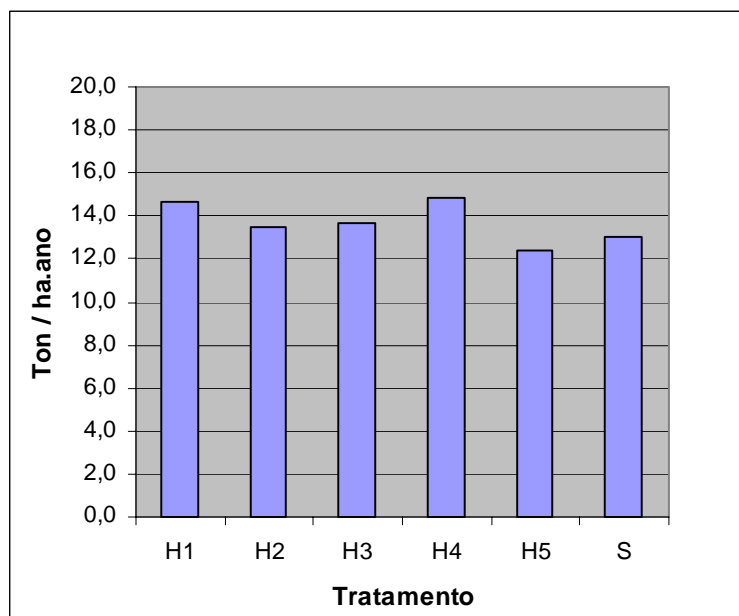


Figura 7 - Incremento médio anual de massa (IMAM) em ton/ha.ano entre os tratamentos.

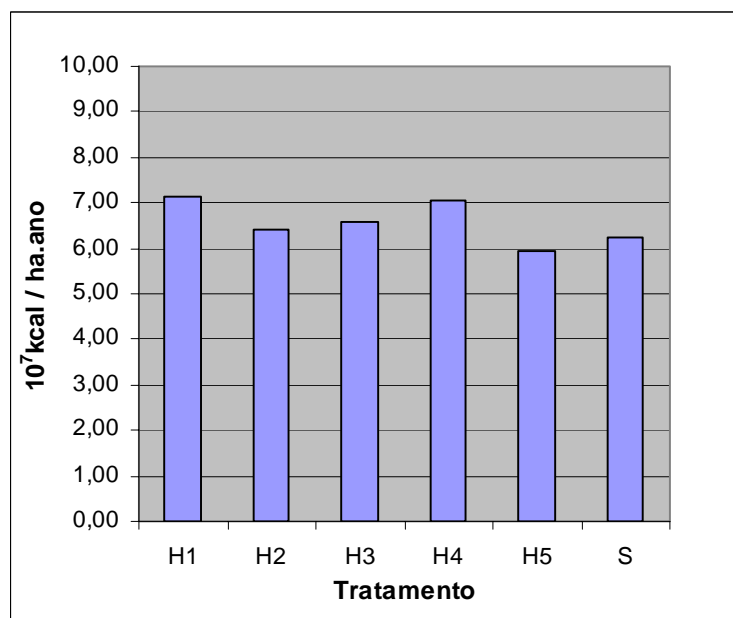


Figura 8 - Incremento médio anual de energia (IMAE) em kcal/ha.ano entre os tratamentos.

Finalmente analisaram-se os tratamentos híbridos em relação ao Seminal. Verifica-se que houve ganhos bastante significativos de produtividades em termos de volume (IMAV). Já em termos de massa seca e energia os ganhos em produtividades são menores (IMAM e IMAE), visto que a densidade da madeira decresce com a produtividade do tratamento.

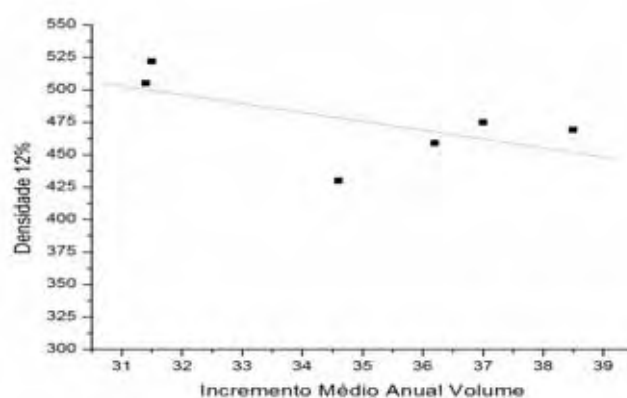


Figura 9 – Densidade em Kg/m^3 , em função dos Incrementos Médios Anuais de Volume (IMAV) em $\text{m}^3/\text{ha.ano}$, para cada tratamentos.

6.1.3 Poder Calorífico Superior (PCS)

Para determinação do PCS, foi realizada calibração do aparelho utilizado, Calorímetro PARR 1201. É bom ressaltar que o processo de calibração é recomendável no estudo do PCS dos diferentes materiais, sendo feito a partir do PCS de materiais de referência na literatura. Para o presente estudo, utilizou-se pastilhas de ácido benzóico, que possui $\text{PCS} = 6318 \text{ cal/g}$. A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados para a constante (K) e equivalente hidrotérmico do calorímetro usado.

Tabela 5 - Valores individuais e médios da constante (K) e equivalentes hidrotérmicos do Calorímetro a partir de pastilha de ácido benzóico (PCS=6318 cal/g).

Pastilhas de ácido benzóico	Massa Seca (g)	(k) Constante do Calorímetro (g)	Equivalente hidrotérmico Do calorímetro (g)
1	0,700	424	2924
2	0,700	447	2947
3	0,700	523	3023
4	0,700	591	3091
5	0,700	464	2964
6	0,700	418	2918
7	0,700	555	3055
Médias	-	488,9	2988,9

Após a calibração, foram realizadas as determinações do PCS para os tratamentos, analisando-se os valores para o lenho. A Tabela 6 apresenta os valores totais encontrados para o PCS.

Tabela 6 - Valores médio do Poder Calorífico Superior (PCS) do lenho por tratamento.

Tratamentos	PCS (cal/g)
H1	4866,0
H2	4753,3
H3	4792,7
H4	4769,0
H5	4790,5
S	4791,0
Média aritmética	4794,0

Os valores apresentados na Tabela 6 mostram primeiramente que o PCS do Seminal *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanni* apresentaram um valor médio de 4794 Kcal/Kg, concordante com a literatura.

Valle (2000), analisando várias espécies de madeiras no Brasil encontrou um valor médio de 4763 Kcal/Kg, próximo ao valor encontrado neste trabalho.

Os valores entre os tratamentos estiveram bastante próximos, o que já era esperado, visto que o PCS da madeira não varia significativamente dentro de uma mesma espécie.

6.1.4 Variação Radial da Densidade

Nos anexos são mostrados os gráficos das Figuras 12 a 65 relativo à densidade a 12%, em função da distância radial, para todas as amostras analisadas no trabalho, conforme mencionado anteriormente nas posições A - da base (0,30m), B - DAP (1,30cm do solo), C - 12,5% da altura comercial, D - 37,5 % da altura comercial, E - 62,5 % da altura comercial e F - 87,5 % da altura comercial.

De uma forma geral, a densidade em função da distância radial cresceu no sentido medula-casca em todas as posições analisadas, porém, algumas árvores tiveram comportamentos diferenciados.

As Figuras evidenciam os picos de alta densidade correspondente ao lenho inicial. Os altos picos de densidade mostrados nessas Figuras evidenciam a baixa adaptação do gênero *Pinus* aos fatores climáticos. O *Pinus* é bastante sensível às variações climáticas, sofrendo alterações na sua composição química e física na época de baixas temperaturas e baixa umidade do solo. A técnica de atenuação permite justamente observar esses detalhes que não podem ser observados com as técnicas tradicionais.

Algumas árvores tiveram um comportamento mais uniforme para a densidade demonstrando uma menor sensibilidade aos fatores climáticos, como mostram as Figuras 39,44,48,49 e 53.

As Figuras 12 a 65 correspondem às árvores dos tratamentos H1,H2,H3, H4, H5 e S, que mostram os resultados obtidos para a variação da massa específica com a distância radial, evidenciando a sensibilidade do *Pinus* às variações climáticas anuais.

Nota-se ainda uma grande variabilidade entre árvores dentro do mesmo tratamento. Por exemplo, as árvores das Figuras 17, 20 e 44 demonstram não ter sofrido tanto as variações climáticas quanto as outras, principalmente comparadas com as das

Figuras 30, 33, 34. Pode-se verificar também um crescimento da densidade no sentido radial para a maioria das árvores. Essa característica fica bastante evidente nas Figuras 41, 42 e 45.

A explicação para esse fato pode estar relacionada com a localização da árvore no povoamento, estando algumas mais favorecida em termos de fatores climáticos e edáficos, ou seja, de maior luminosidade, menor competição e fatores de solo favorável.

A homogeneidade da densidade da madeira pode ser um fator de qualidade dessa matéria prima, além de sua densidade média.

Grandes variações de densidade são geralmente indesejáveis do ponto de vista de qualidade, pois favorecem os defeitos de secagem como por exemplo empenamento, rachaduras, etc..

6.1.5 Variação longitudinal da densidade

As Tabelas 7 a 12 mostram os resultados obtidos para a densidade do híbrido *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e da espécie pura do Seminal do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em função da posição na árvore. Pode se verificar uma diminuição da densidade no sentido longitudinal da base para o topo. A partir dos resultados dessas Tabelas, construíram-se a Tabela 13 e a Figura 10. Essa tendência está de acordo com observações feitas por BARRICHELO et al. (1983), PANSHIM & DE ZEEW (1970). A partir dessas Tabelas foram construídas a Tabela 13 e a Figura 10.

O aumento da densidade na região da base da árvore pode ser atribuído à grande quantidade de resina presente na madeira ou à necessidade de uma maior resistência da árvore nessa região, já que uma maneira encontrada para suportar uma maior quantidade de peso, originária do crescimento em diâmetro, é aumentando o espaçamento de suas células e conseqüentemente a densidade da madeira (VALLE, 2000).

Tabela 7 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por árvore do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, (H1).

Identificação		Dados de localização de Campo		Posições Densidade ρ_{12}						Densidade Média por Árvore			
Tratamento	Árvore	Bloco	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética	ρ_{12} Ponderada	ρ_b Ponderada	ρ_0 Ponderada
H1	1	B1	04	519	506	499	525	527	518	516	509	433	474
H1	2	B1	04	433	446	437	445	467	443	445	439	377	407
H1	3	B3	04	449	414	407	423	429	345	411	415	358	384
H1	4	B3	04	528	508	485	398	275	359	425	478	408	444
H1	5	B4	04	599	574	594	611	520	525	571	581	490	544
H1	6	B6	04	429	425	479	396	407	376	419	426	367	395
H1	7	B6	04	463	488	475	515	499	471	485	498	425	464
H1	8	B5	04	572	533	528	509	482	535	527	531	450	495
H1	9	B12	04	510	481	477	451	442	503	477	478	408	444
<i>Médias aritméticas</i>				500	486	487	475	450	453	475	485	413	450

Tabela 8 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por árvore do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanni*, (H2).

Identificação		Dados de localização de Campo		Posições Densidade ρ_{12}						Densidade Média por Árvore			
Tratamento	Árvore	Bloco	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética	ρ_{12} Ponderada	ρ_b Ponderada	ρ_0 Ponderada
H2	1	B2	07	635	619	558	595	600	585	599	600	504	562
H2	2	B2	07	559	532	542	511	472	516	522	527	447	491
H2	3	B2	07	610	557	552	553	538	577	565	566	478	529
H2	4	B1	07	564	535	574	530	509	437	525	541	458	505
H2	5	B1	07	536	490	437	449	470	489	478	477	408	443
H2	6	B3	07	509	494	462	518	508	536	505	494	422	460
H2	7	B4	07	525	502	484	503	476	518	501	505	430	470
H2	8	B6	07	515	526	530	528	510	528	523	519	441	484
H2	9	B6	07	512	491	490	427	457	530	485	484	413	450
Médias aritméticas				552	527	514	513	504	524	527	529	445	488

Tabela 9 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por árvore do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, (H3).

Identificação		Dados de localização de Campo		Posições Densidade ρ_{12}						Densidade Média por Árvore (kg/m^3)			
Tratamento	Árvore	Bloco	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética	ρ_{12} Ponderada	ρ_b Ponderada	ρ_0 Ponderada
H3	1	B2	08	548	533	568	527	512	528	536	542	459	506
H3	2	B2	08	455	462	429	445	497	442	455	456	391	423
H3	3	B1	08	460	446	448	455	451	473	456	456	391	423
H3	4	B1	08	510	486	478	468	434	461	473	483	412	449
H3	5	B3	08	561	605	372	508	469	511	504	519	440	483
H3	6	B3	08	465	427	432	416	421	438	433	437	376	405
H3	7	B4	08	500	424	460	429	422	415	442	451	387	418
H3	8	B4	08	472	462	403	402	361	332	405	428	368	396
H3	9	B6	08	479	423	414	472	383	409	430	440	378	408
Médias aritméticas				494	474	445	458	439	445	463	472	400	435

Tabela 10 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por árvore do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, (H4).

Identificação		Dados de localização de Campo		Posições Densidade ρ_{12}						Densidade Média por Árvore (Kg/m^3)			
Tratamento	Árvore	Bloco	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética	ρ_{12} Ponderada	ρ_b Ponderada	ρ_0 Ponderada
H4	1	B1	09	513	468	423	477	447	418	458	468	401	435
H4	2	B2	09	561	576	510	477	483	435	507	527	447	491
H4	3	B2	09	599	647	597	540	515	537	573	587	494	549
H4	4	B2	09	599	647	597	540	515	537	573	497	423	462
H4	5	B3	09	414	356	368	363	360	345	368	373	323	344
H4	6	B3	09	415	405	405	375	386	494	413	401	347	371
H4	7	B4	09	511	471	470	446	419	430	458	473	404	439
H4	8	B4	09	524	514	494	471	462	463	488	498	424	463
H4	9	B4	09	475	460	442	432	463	509	463	457	392	424
Médias aritméticas				512	505	478	458	450	463	480	478	406	442

Tabela 11 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por árvore do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, (H5).

Identificação		Dados de localização de Campo		Posições Densidade ρ_{12}						Densidade Média por Árvore (kg/m^3)			
Tratamento	Árvore	Bloco	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética	ρ_{12} Ponderada	ρ_b Ponderada	ρ_0 Ponderada
H5	1	B2	10	421	411	442	428	416	405	421	421	363	390
H5	2	B2	10	365	356	383	365	413	383	378	369	337	360
H5	3	B3	10	544	530	547	493	506	500	520	522	443	486
H5	4	B3	10	499	418	484	483	453	504	474	468	401	435
H5	5	B3	10	453	496	481	465	452	481	471	479	409	445
H5	6	B4	10	391	356	393	395	373	389	383	380	330	351
H5	7	B5	10	397	387	383	410	489	439	418	403	349	373
H5	8	B5	10	364	343	332	366	346	343	349	347	303	320
H5	9	B7	10	498	442	458	445	461	447	459	457	392	424
Médias aritméticas				429	412	431	426	431	431	427	424	370	398

Tabela 12 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e valores médios ponderados das densidades média ponderada ρ_{12} , ρ_b , ρ_0 e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por árvore do Seminal *Pinus caribaea var. hondurensis*. (S).

Identificação		Dados de localização de Campo		Posições Densidade ρ_{12}						Densidade Média por Árvore (kg/m^3)			
Tratamento	Árvore	Bloco	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética	ρ_{12} Ponderada	ρ_b Ponderada	ρ_0 Ponderada
S1	1	S	01	562	545	568	511	521	507	536	546	462	509
S1	2	S	01	612	531	496	479	474	491	514	530	450	494
S1	3	S	01	577	499	413	518	511	533	508	505	430	470
S1	4	S	01	550	508	484	509	520	508	513	516	439	481
S1	5	S	01	553	550	535	526	485	468	519	534	453	498
S1	6	S	01	548	486	496	467	476	494	494	502	427	467
S1	7	S	01	604	603	596	559	532	543	573	586	493	548
S1	8	S	01	468	450	447	463	488	474	465	460	394	427
S1	9	S	01	566	537	505	494	474	463	507	523	444	487
Médias aritméticas				559	522	504	504	501	502	515	522	443	486

Tabela 13 - Valores da densidade média ponderada ρ_{12} em Kg/m^3 em cada posição relativa na árvore, e média aritmética ρ_b em Kg/m^3 por tratamento.

Posições Densidade ρ_{12}								
Tratamento	Lote	A	B	C	D	E	F	ρ_{12} Aritmética
H1	04	500	486	487	475	450	453	475
H2	07	552	527	514	513	504	524	522
H3	08	494	474	445	458	439	445	459
H4	09	512	505	478	458	450	463	478
H5	10	437	415	434	428	434	432	430
S	S	560	523	504	503	498	498	514

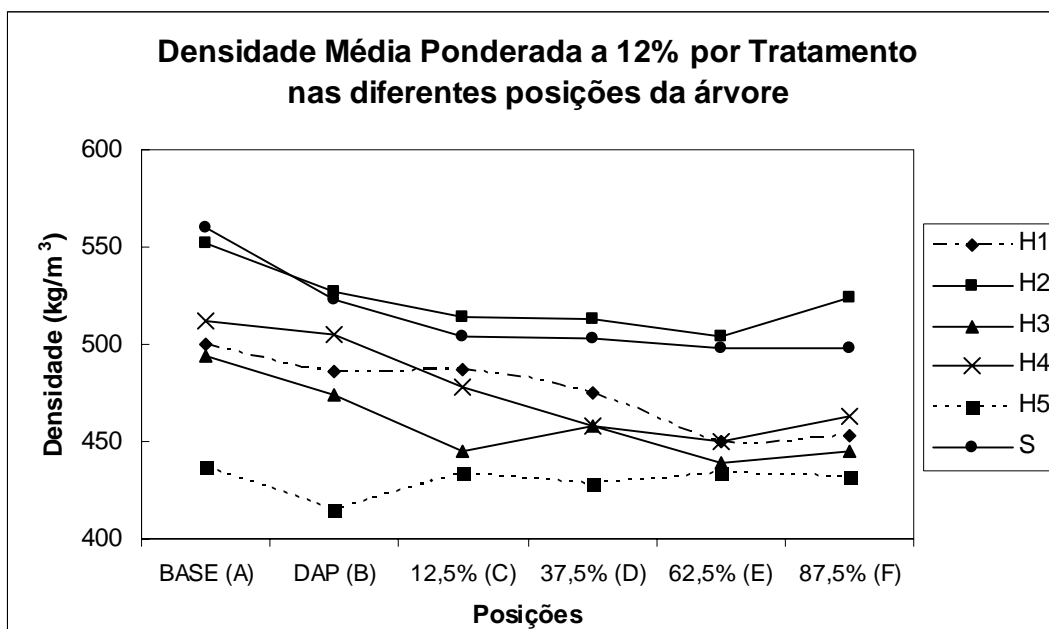


Figura 10 - Variação da densidade média ponderada a 12% nas diferentes posições de amostragem da árvore nos tratamentos no sentido longitudinal.

6.2 Comparação entre métodos de determinação da densidade

Com o objetivo de comparar os resultados e de fazer um estudo da precisão dos resultados obtidos pelo método gama, procurou-se compará-lo com outro método denominado por método da Imersão.

O método da Imersão foi utilizado para essa comparação pelo fato de ser um método tradicional e por utilizar a amostra inteira.

Tabela 14 – Média por tratamentos e árvore dos valores ponderados da densidade básica (ρ_β) em kg/m^3 através do método de Atenuação da Radiação Gama e através do método comparativo de Imersão.

		Densidade Ponderada básica									
Tratamento		Árvore									Média
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aritimética
H1	Método Imersão	453	378	460	499	381	456	480	414	404	436
	Método Gama	433	377	358	408	490	367	425	450	408	412
H2	Método Imersão	534	450	423	484	419	426	449	446	422	458
	Método Gama	504	447	478	458	408	422	430	441	413	444
H3	Método Imersão	466	403	402	457	405	396	373	372	420	410
	Método Gama	459	391	391	412	440	376	387	368	378	400
H4	Método Imersão	478	498	420	321	351	407	430	411	456	419
	Método Gama	401	447	494	423	323	347	404	424	392	406
H5	Método Imersão	373	335	444	423	425	343	382	310	405	382
	Método Gama	363	337	443	401	409	330	349	303	392	369
S	Método Imersão	452	443	432	433	433	418	474	412	429	436
	Método Gama	462	450	430	439	453	427	493	394	444	443

Pelos valores apresentados na Tabela 14, conclui-se que os resultados obtidos pelo método de Atenuação Gama mostraram-se muito próximos dos valores obtidos pelo método da Imersão.

É importante ressaltar aqui que a vantagem de aplicação de um ou outro método depende do nível de informação desejada, rapidez na aquisição dos resultados e também da viabilidade de aplicação de cada um.

Quando o interesse for apenas a obtenção do valor médio da densidade da amostra, não há necessidade de se utilizar o método da Atenuação Gama, podendo-se utilizar o método da Imersão. Porém deve-se ressaltar que o método de Imersão exige saturação da amostra.

O método de Atenuação da Radiação Gama apresenta a vantagem de ser mais informativo, por fornecer valores pontuais para a densidade ao longo da amostra. Outra vantagem do método de Atenuação da Radiação Gama é sua rapidez na obtenção dos resultados e sua aplicabilidade sem destruir as amostras, o que facilita a realização das repetições, dispensando saturação de amostras em água.

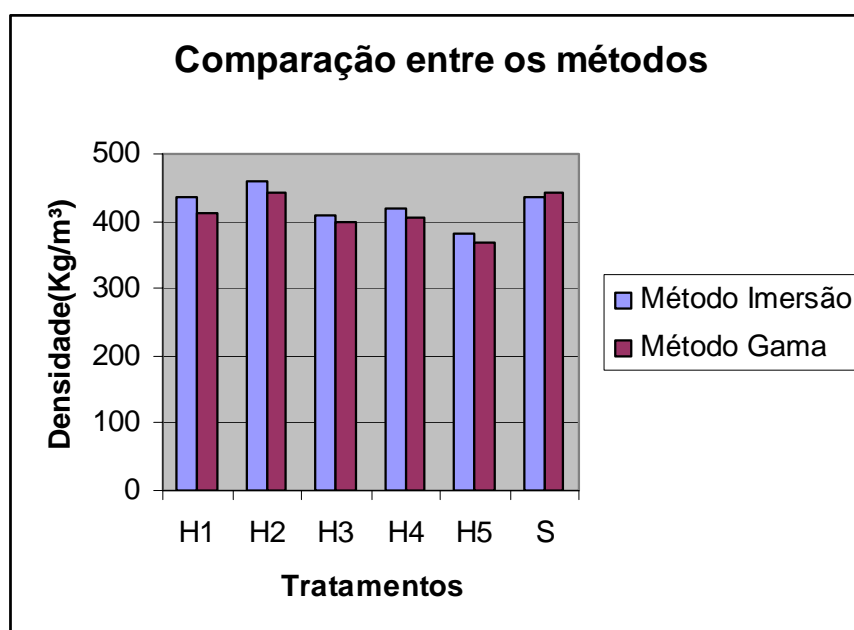


Figura 11 - Média comparativa entre os métodos de Imersão e gama da densidade ponderada básica (ρ_b), em kg/m^3 por tratamentos.

7 CONCLUSÕES

A densidade em função da distância radial cresceu no sentido medula casca, e diminuiu no sentido base-topo, confirmando o padrão de variação para a espécie do gênero *Pinus*.

O Tratamento H4 teve uma produtividade de 38,5 (m³/ha.ano), sendo o mais produtivo dos tratamentos com 23 % superior ao Seminal (S) em termos de Incremento Médio Anual de Volume. Porém mostrou-se inferior com relação à sua densidade média.

O Tratamento H1 teve uma produtividade relativamente alta de 37,0 (m³/ha.ano), sendo apenas um pouco inferior ao tratamento H4, porém apresentou uma densidade maior comparada com esse tratamento.

Conforme o esperado, houve uma tendência de diminuição da densidade em função da produtividade, estando esses parâmetros inversamente correlacionados e concordantes com a literatura .

Os resultados mostraram que para um ganho de 23% na produtividade houve uma perda de aproximadamente 10 % na densidade.

A análise do Incremento Médio Anual de Massa para os tratamentos mais produtivos H1 e H4 em relação ao Seminal mostrou uma diferença percentual menor, sendo de 13,8 % para o H4 e 13,1 % para o H1. Essa diferença foi menor que no caso do Incremento Médio Anual de Volume, devido à perda de densidade com a produtividade.

O Incremento Médio Anual de Energia, mostrou a mesma tendência do Incremento Médio Anual de Massa, já que o poder calorífico não variou significativamente com o tratamento realizado.

Foram marcantes os picos de alta densidade correspondente ao lenho tardio, evidenciando a baixa adaptação do gênero *Pinus* aos fatores climáticos. O *Pinus* mostrou-se sensível às variações climáticas, sofrendo alterações nas suas propriedades físicas na época de baixas temperaturas e baixa umidade do solo. A técnica de atenuação permitiu observar esses detalhes, o que não poderia ocorrer com as técnicas tradicionais.

Os métodos utilizados para obtenção de densidade básica da madeira, técnica de Atenuação da Radiação Gama do Amerício-241 e a técnica de Imersão, apresentaram resultados semelhantes em termos de valores médios, mostrando que os dois métodos são eficientes, sendo que a utilização opcional de cada um dependerá do nível de informação desejada e das características das amostras.

Finalmente, a análise geral dos resultados permite concluir que o híbrido de *Pinus tecunumanni* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* representou ganhos em massa e volume, em relação à espécie Seminal de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, mesmo havendo um pequeno decréscimo na sua densidade média.

Para o aproveitamento geral da madeira o Incremento Médio Anual de Massa (IMAM) é o índice mais adequado por quantificar de forma real as partículas da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR (8693). Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

AHRENS, S. A. A concepção de regimes de manejo para plantações de *Pinus* spp. No Brasil. **Space Florestal**, v. 1, n. 2, p. 37-43, 1983.

BAKER, J.B. intensive cultural practices increase growth of juvenile slash pine in Florida Sand hills. **Forest Science**, v. 19, n. 3, p. 197-202, 1973.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação da densidade básica em *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4º Belo horizonte, 1982. **Anais...**São Paulo: SBS, 1983, p. 726-731.

BENDTSEN, B. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 21-38, 1986.

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

BIRKS, J. S.; BARNES, R. D. **Provenance variation in *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* ssp, *tecunumannii***, *Tropical Forestry Papers* 21, Oxford Forestry Institute, department of Plant Sciences, University of Oxford, England, p. 40, 1990.

BRASIL, M.A.M.; VEIGA, R. A.A. e FERREIRA, M. **Variação da densidade básica da madeira nas secções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalyptus**. IPEF, Piracicaba (15): p. 73-82, dez. 1977.

BRAZIER, J. D. The effect of forest practices on quality of the harvested crop. In: **IUFRO**, p. 83-89, 1976.

BRITO, J. O.; FERRAZ, E. S. B.; BARRICHELO, L. E. G.; COUTO, H. T. Z. A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. **IPEF**. Piracicaba, v. 32, p. 1-17, 1986.

BROWN, M. J.; McWILLIAMS, W. H. Pine Stands Across the South – Trends and Projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, Athens. **Proceedings**...Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, p. 1-15, 1989.

CASTRO e SILVA, J. A. A influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, Ano 10, n. 55, p. 62-65, 2001.

COWN, D. J. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned? **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 22, n.1, p. 87-95, 1992.

DUBOC, E. Biomassa florestal e energia – Aspectos gerais da produção de carvão. Seminário apresentado ao Programa de Pós-graduação – Energia na Agricultura (FCA/UNESP). Botucatu, SP, 2002.

ECHOLS, R. M. Effects of growing space on wood specific gravity in loblolly pine. In: **Proceedings**, Society of American Forestry, p. 140-143, 1959.

EVANS II, H. W.; SENFT j. F.; GREEN, D. W. juvenile wood effect in red dalder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Prod. J.**, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.

FERNANDES, P. S. Qualidade da madeira e os fatores do meio. In: Seminário apresentado na disciplina “Tecnologia de Celulose e Papel” do curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal de Piracicaba, p. 1-12, S/D.

FERRAZ, E. S. B.; FILHO, M. T. Uso de métodos nucleares no estudo da qualidade da madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DE MADEIRA, I, 1978. **Anais**. São Paulo: IPEF-AVCP, v. 6, b. 2 0, 30 p., 1978.

FERRAZ, E.S.B.; MANSEL, R. S. Determining water content and bulk density of soil gamma Ray attenuations method. **IFAS Tech bull**. Florida, n. 807, 51 p., 1979.

FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; DIAS, C.; SCHIMIDT, C.; SILVA, S. M.; VESZ, J. B. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIROA, 4, belo Horizonte/MG, 1982, **Anais**, São Paulo: SBS, p 782-791, 1983.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da Madeira**: teoria. Belo Oriente, s. ed., 1977.

GONÇALEZ, J. Q.; SOUZA, M.R.;MARTINS, V. A.; CORADIN, V. R.; FEDALTO, L. C.; MELO, J. E.; MENDES, J.C. Estudos tecnológicos da madeira de *Pinus elliottii* Eng.

Var. *elliottii*, considerado o aspecto resinagem. **In:** Anais do II Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, USP, São Carlos – SP, p. 153-169, 1986.

JAYNE, B. A. Effect of site on spacing on the specific quantity of wood of plantation grown red pine. **Tappi**. V. 41, p. 162-166, 1958.

JACOB, W. S.; BALLONI, E. A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **In:** I Congresso Brasileiro Sobre a Qualidade da Madeira. IPEF, ABCP, 12 p. 1978.

KART, S. W. Factors affecting wood quality and quantity and consequently pulp manufacture. **Journal South African Forestry**. V. 63, p. 17-24, 1968.

KRAHMER, R. Fundamental Anatomy of Juvenile and Mature Wood. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS. Washington. Proceedings....Madison: Forest Products Research Society, p. 12-16, 1986.

LARSON, p.R.; RETSCHMANM, D.E.; CLARKIII, A; ISEBRANDS, J. G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines**. A synopsis Gen. Tech. Rep. FPL – GTR – 129. Madison, WI; U.S. Department of Agriculture, Forest, service Forest products Laboratory, 2001, 42 p.

LATORRACA, J.V.F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**. V. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LIMA, R. T.; JETT, B. D. And DVORAK, W. S. **Family stability of wood specific gravity in *Pinus tecunumannii* established on three sites in south America**. New forest, p. 311-316, 1990.

LIMA, J. T.; ROSADO, S.C.S. e OLIVEIRA, AD. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. Lavras, MG: **Revista Ciência e Prática**, 16 91): p. 123-127, 1992.

LOO, J. A.; TAUER, C.C.; McNEW, R. N. **Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda*)**. *Silvae genet*, n. 34, p. 14-19, 1985.

MATOS, J.L.M. Qualidade da madeira de pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR. Edição especial, p. 104-108, 2002.

McALISTER, R.; CLARK, A. ; SAUCIER, J. **Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40**. *Forest Prod. J.* Madison, v. 47, n. 7/8, p. 107-109, 1997.

MOURA, V.P.G.; SANTIAGO, J. Densidade básica da **madeira de espécies de *Pinus* tropicais determinada através de métodos não destrutivos**. **Bol. Pesq.** N. 33, maio 1991.

MOURA, V. P. G.; OLIVEIRA, J.B.; REZEK JUNIOR, J. Variabilidade e ganho genético em progênies de meio-irmãos de *Pinus patula* ssp, *tecunumannii*, em Planaltina – DF. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4. Belo Horizonte. **Anais...**Sociedade Brasileira para a Valorização do Meio-Ambiente – Biosfera, p. 230-233, 1996.

MOURA, V.P.; DVORAK, W. S. **Provenance and family variation of families of *Pinus tecunumannii*, grown in the Brazilian Cerrado.** Forest genetic, v. 5, n. 3, p. 137-145, 1998.

PALERMO, G. P. M. **Qualidade da Madeira de Árvore resinadas de *Pinus Elliottii* Engelm. Seropédica.** Tese (Mestrado). Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 137 p., 2000.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology.** New York, Mc Graw-Hill Book, 1970, 705 p.

PARRISH, W. B. Detecting defects in wood by the attenuation of gamma rays. For. Sei., Laurence, v. 2, p. 136-143, 1961.

REVISTA DA MADEIRA. Qualidade da Madeira de Eucalyptus. **Revista da Madeira**, n. 59, Ano 11, p. 32-37, 2001.

REZENDE, M. A. **Estudo dos anéis de crescimento de duas variedades de *Pinus caribaea* cultivadas na Bahia para avaliação da produtividade, massa específica e nutrição mineral.** Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 144 p., 1987.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama.** Tese (Livre Docência) – Botucatu: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 138 p. 1997.

REZENDE, M. A., SAGLIETTI J. R C.; CHAVES, R. Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* os 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**, nº 53 (6), p. 71 – 78, 1998.

REZENDE, M. A. Retratabilidade da madeira de *Pinus caribaea* var.*hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, nº 64 (12), p.120 – 127, 2003.

RINCOSKI, C.R. **Efeito da resinagem nas características da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*.** Dissertação de mestrado em Ciências Florestais, no curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do setor de Ciências Agrárias. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 112 p., 1994.

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

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFMS, 1993 348p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras, MG: UFLN FAEPE, 1997, 438 p.

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

SHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C.; FINGER, C. A. G. Influência da desrama sobre a densidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 77-89, 1997.

SJÖSTRON, E. **Wood Chemistry**. Fundamentals and applications. Second edition. Academic press. San Diego, New York, 293p. 1993.

TOMASELLI, I. ; MORESCHI, J. C; CASTRO, N. S. Influência da resinagem na qualidade da Madeira de *Pinus elliottii*. **Brasil Madeira**, p. 18-21, 1981.

TOMASELLI, I. Planted forests in Brazil. In: PLANTED FORESTS IN SARAWAK: an international conference, 1998. Kuching. Papers...Kuching: Forest Department Sarawak p. 2-35, 1998.

VALE, A T.; Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para o uso energético. Tese (Doutorado). Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA/UNESP, 110 p., 2000.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da Madeira**. SIF – Sociedade de Investigações Florestais. Boletim Técnico n. 01. 21 p. Viçosa – MG, 1984.

WRIGHT, J. A.; GIBSON, G.L.; BARNES, R. D. Provenance variation in stem volume and wood density of *Pinus Caribaea*, *P. oocarpa*, and *P. patula* ssp. *Tecunumannii* in Zambia. **Commonwealth Forestry Review**, 65 (1), p. 33-41, 1986.

WRIGHT, J. A. Results of micro pulping wood samples of *Pinus caribaea*, *P. elliottii*, *P. oocarpa* and *P. patula* ssp. *Tecunumannii* in the Eastern Transvaal and Zululand. In: **SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO DE ESPECIES FORESTALES**. Tomo IV. CIEF. Buenos Aires, Argentina, p. 247-256, Abril, 1987.

WRIGHT, J. A. Variation in wood properties of *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* ssp. *Tecunumannii* at six sites. **Silvae Genetica**, v. 39, n. 1, p. 1-5, 1990.

WRIGHT, J. A.; GIBSON, G.L. & BARNES, r. D. Variation in volume and wood density of eight provenances of *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* ssp. *Tecunumannii* in Conocotto. São Paulo: Brasil. **IPEF**. Piracicaba, v. 1., p. 55-57, 1990.

YANG, K. C.; HAZENBERG, G. Impact of spacing on tracheid length, relative density, and growth rate of juvenile wood and mature wood in *Picea mariana* Can. J. **For. Res.** V. 24, p. 996-1007, 1993.

ZOBEL, B. J. genetic manipulation of wood of the southern pines including chemical characteristics, **Wood Sci Technol**, n. 54, p. 255-271, 1971.

ZOBEL, B.J. The southeast timber supply, how will it be affected by changing forestry in South America, Canada and the Northeast? . **South For**, n. 3, p. 37-42, 1979.

ZOBEL, B. J. Inherent differences affecting wood quality in fast-grown plantations. In: IUFRO CONFERENCE, Oxford. **Proceedings**...Oxford: IUFRO Div. 50, p. 169-188, 1980.

ZOBEL, B. **Wood quality from fast-frown plantations**, Tappi, v. 64, n. 1, p. 71-74, 1981.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Sci Technol**, n. 18, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J.; KELLISON, R. C. Wood – Where will it come from, where will it go? (A comparison of the Southern Unites States with South America). Utiliz. Changing Wood Res. South U. S. Raleigh, North Carolina, 12 p., 1984.

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

APÊNDICE

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

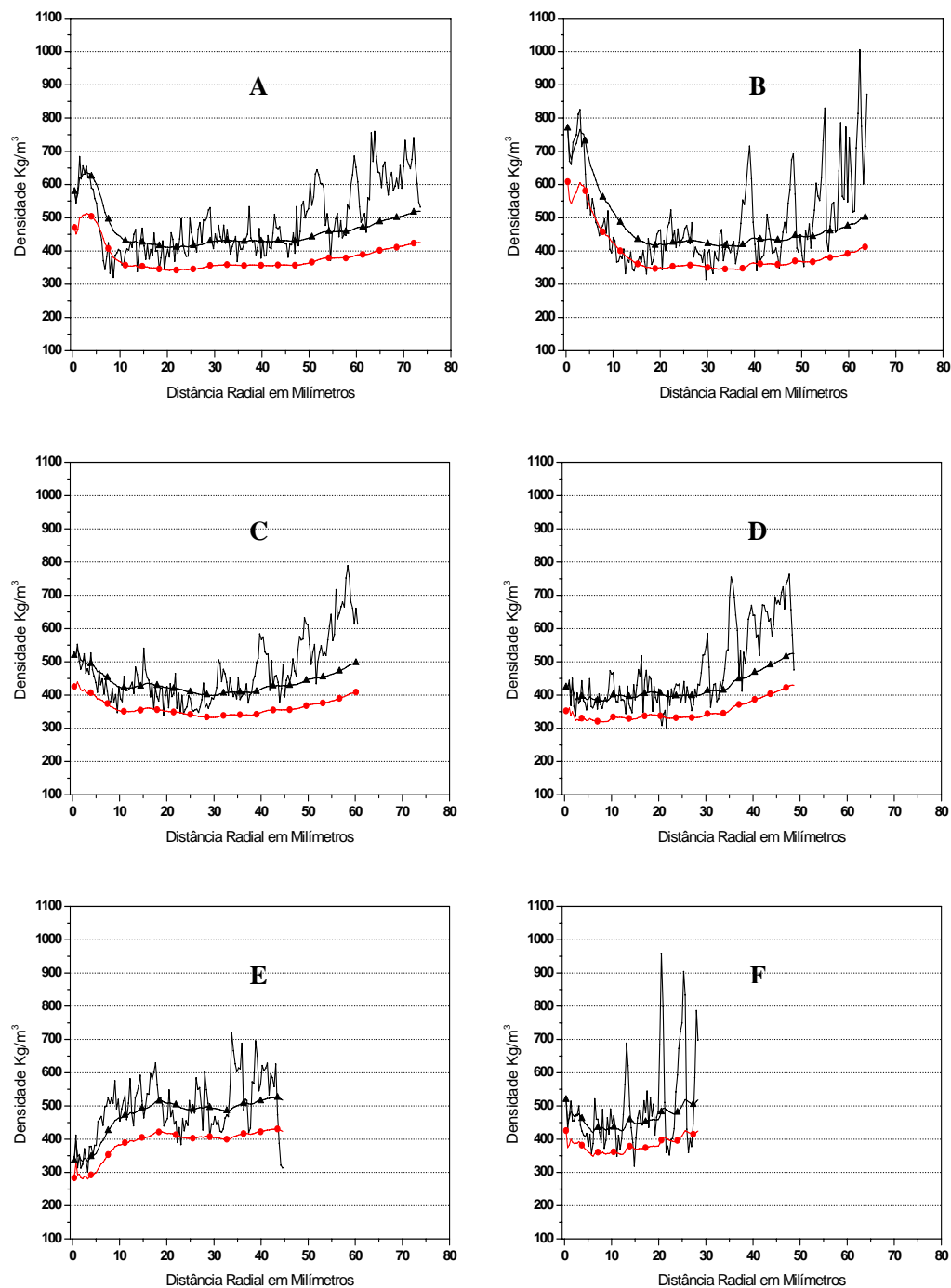


Figura 12 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

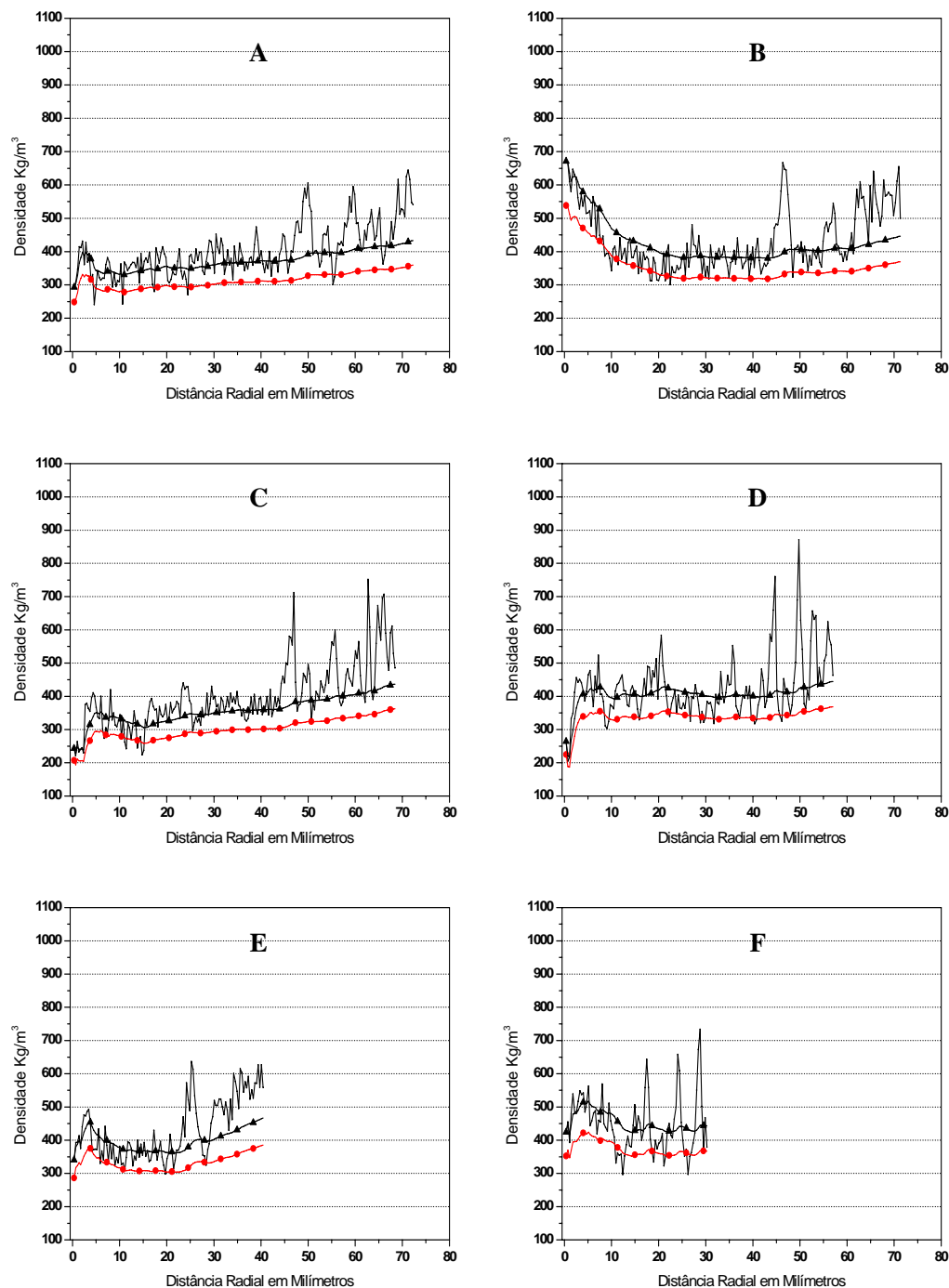


Figura 13 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

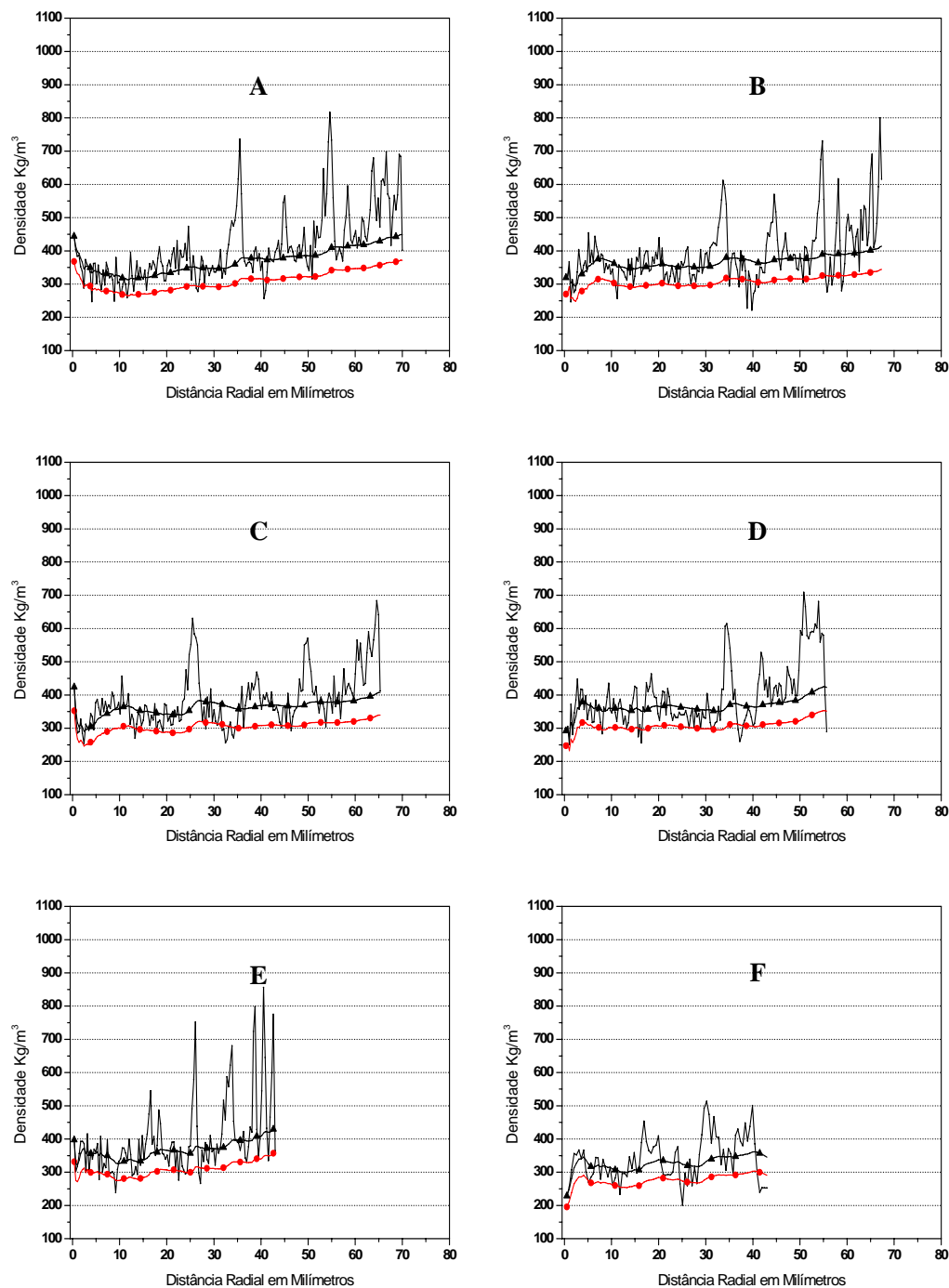


Figura 14 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

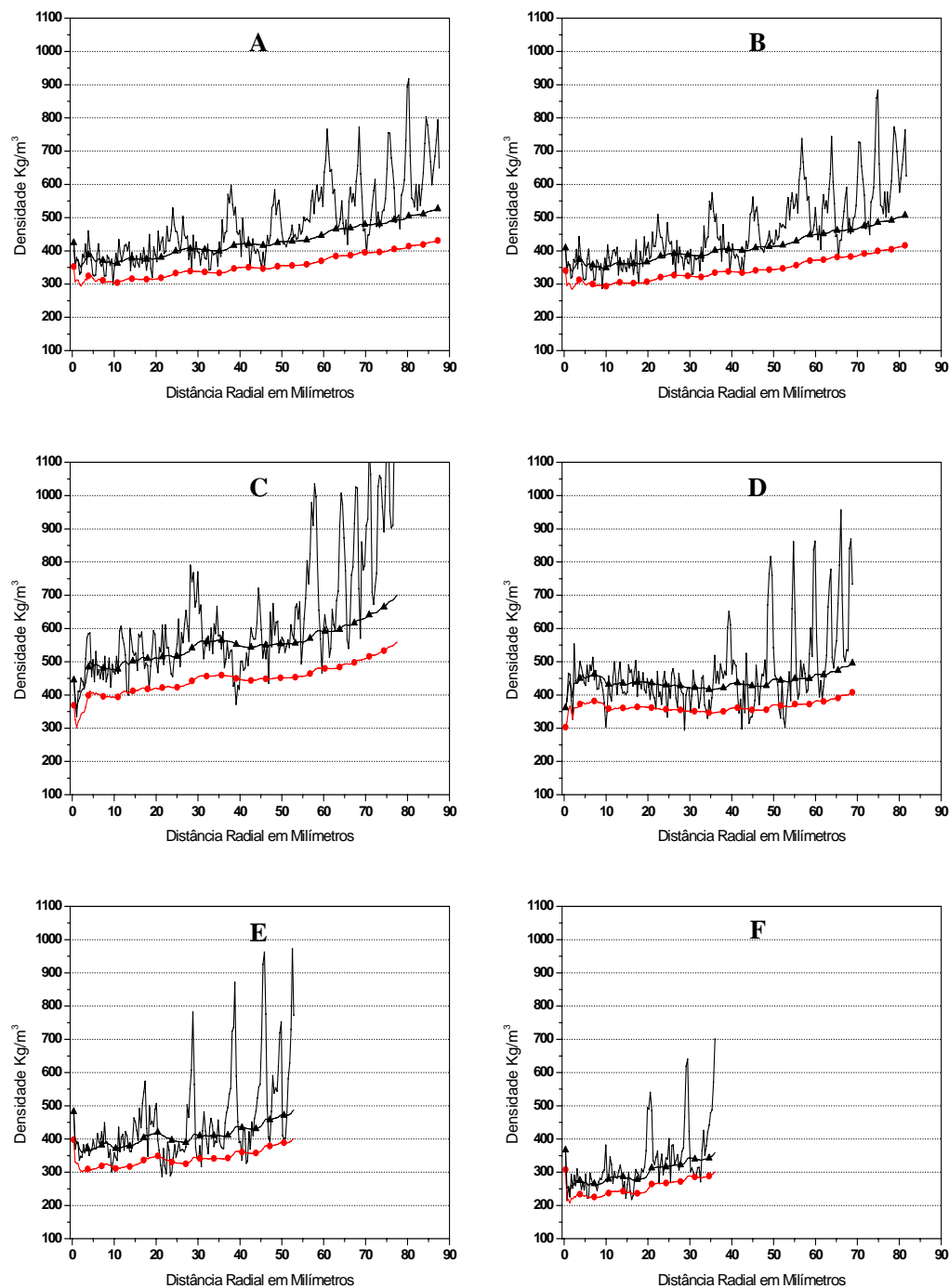


Figura 15 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

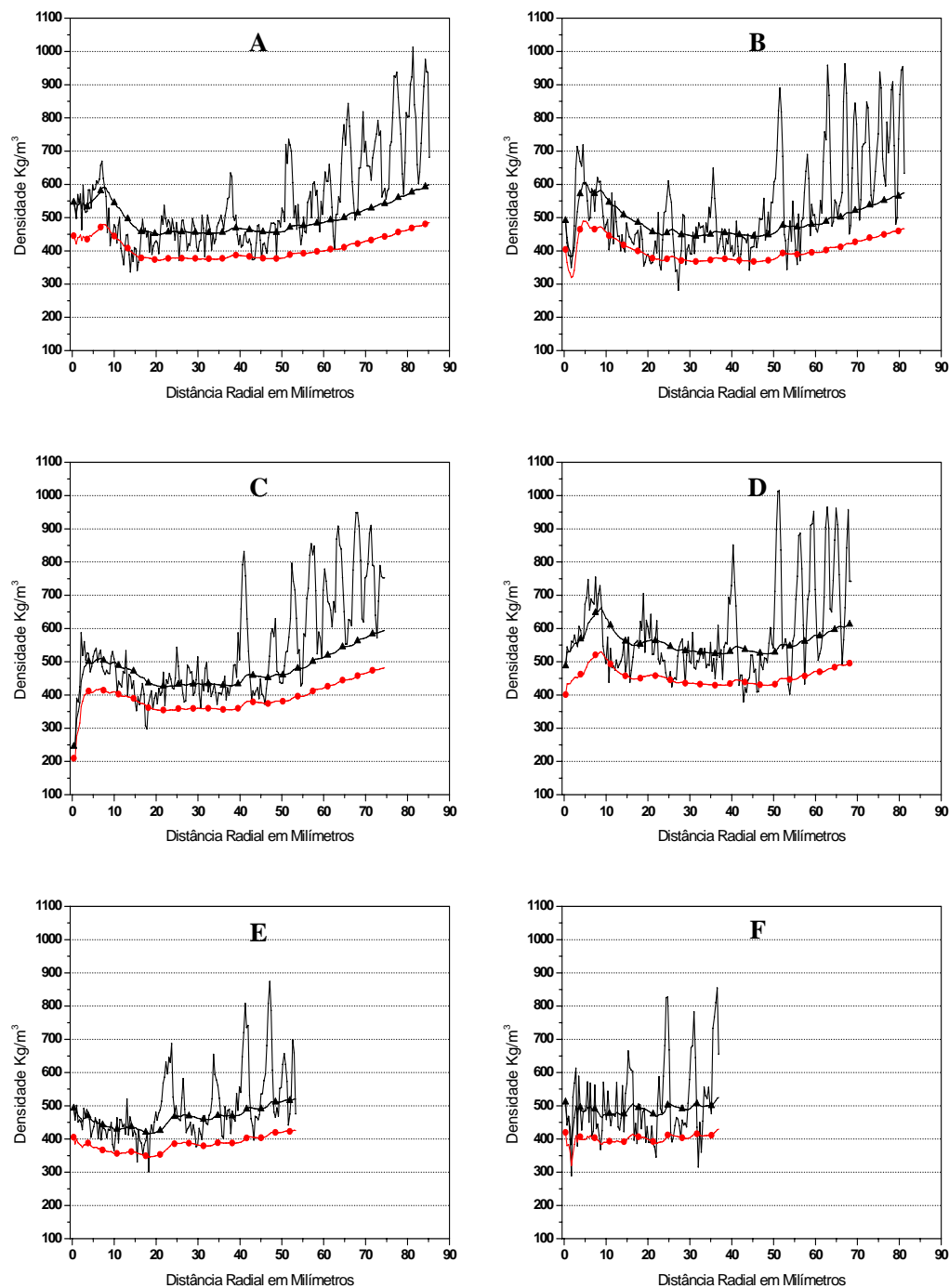


Figura 16 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

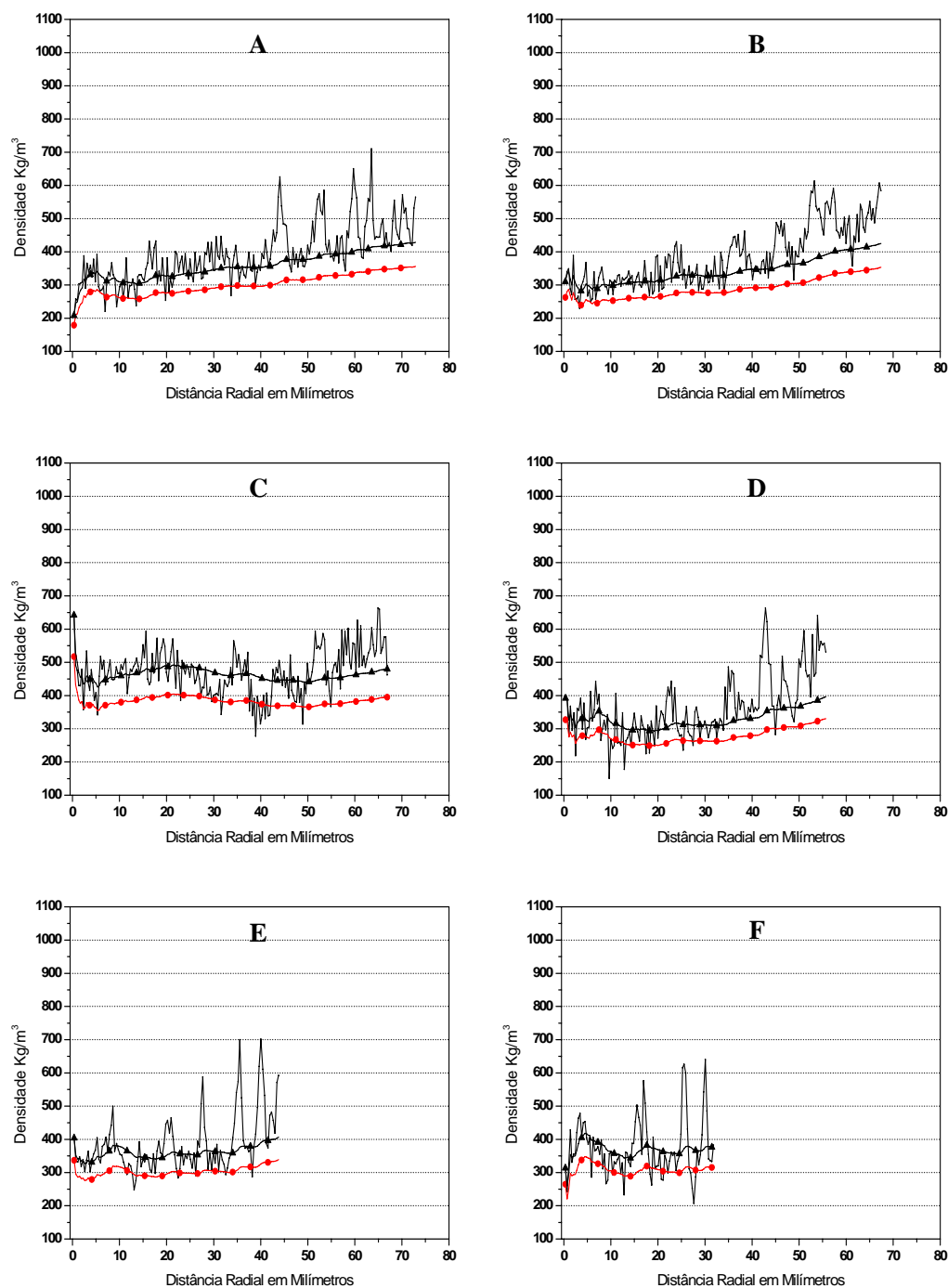


Figura 17 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

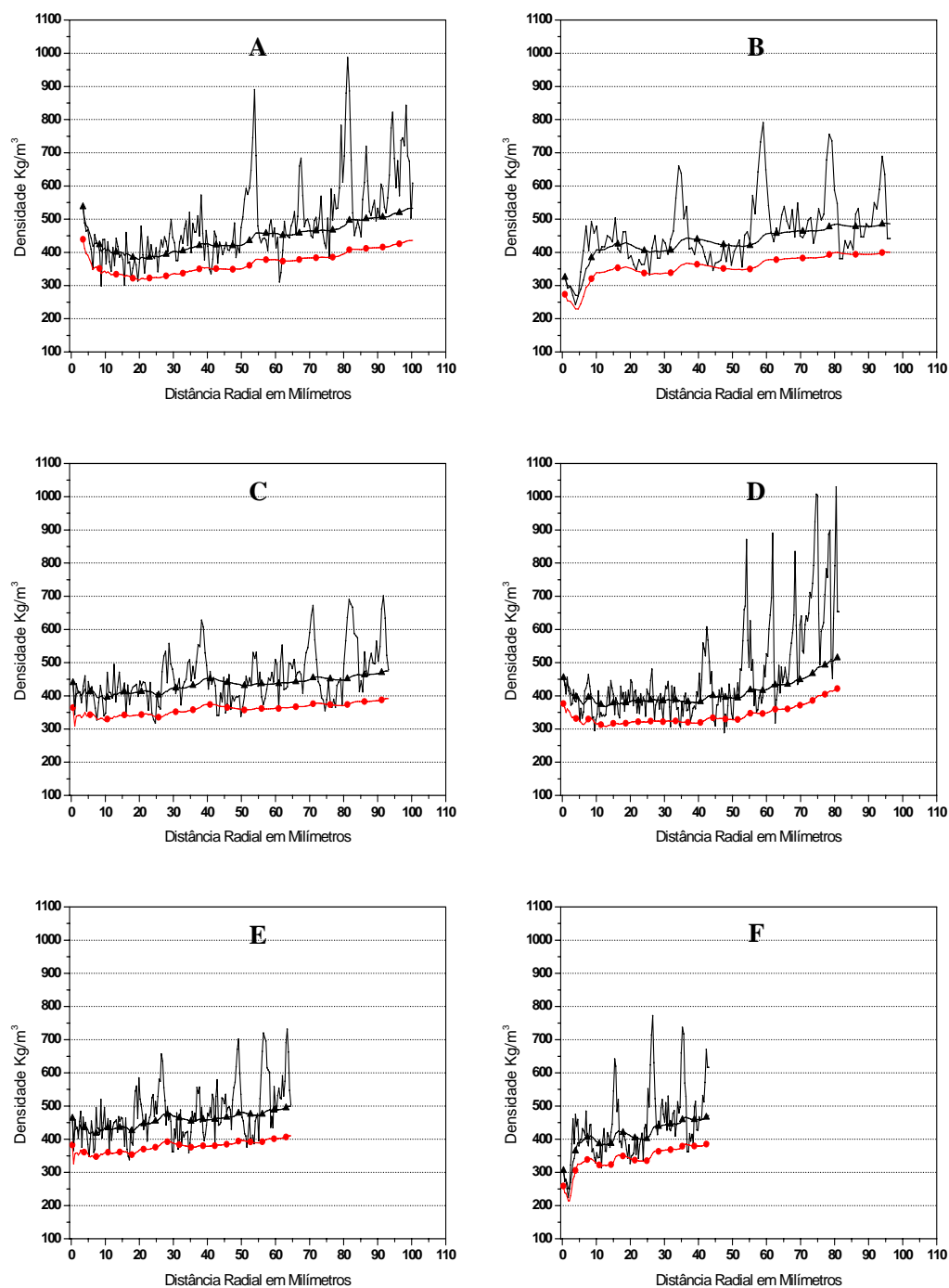


Figura 18 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

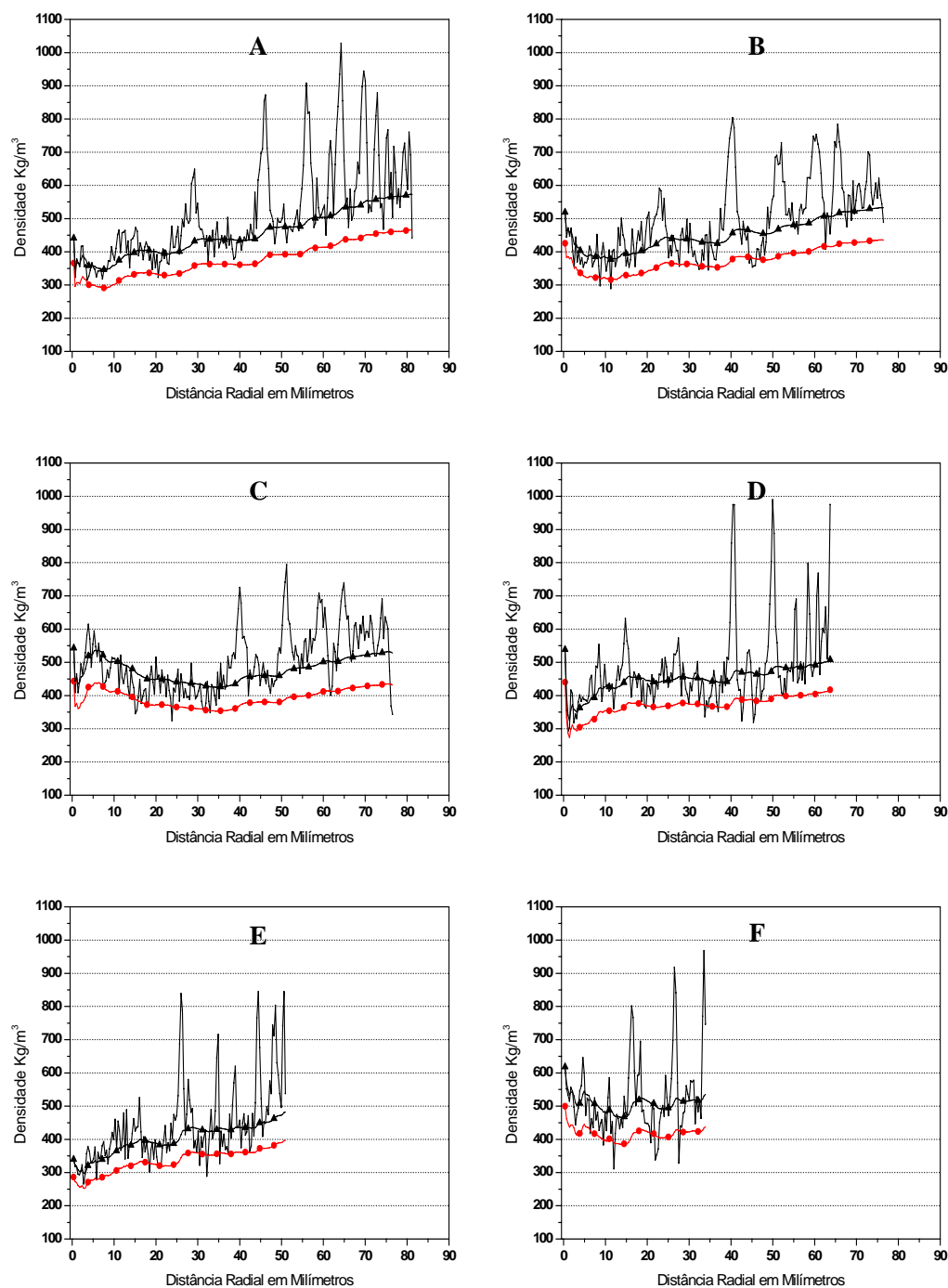


Figura 19 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

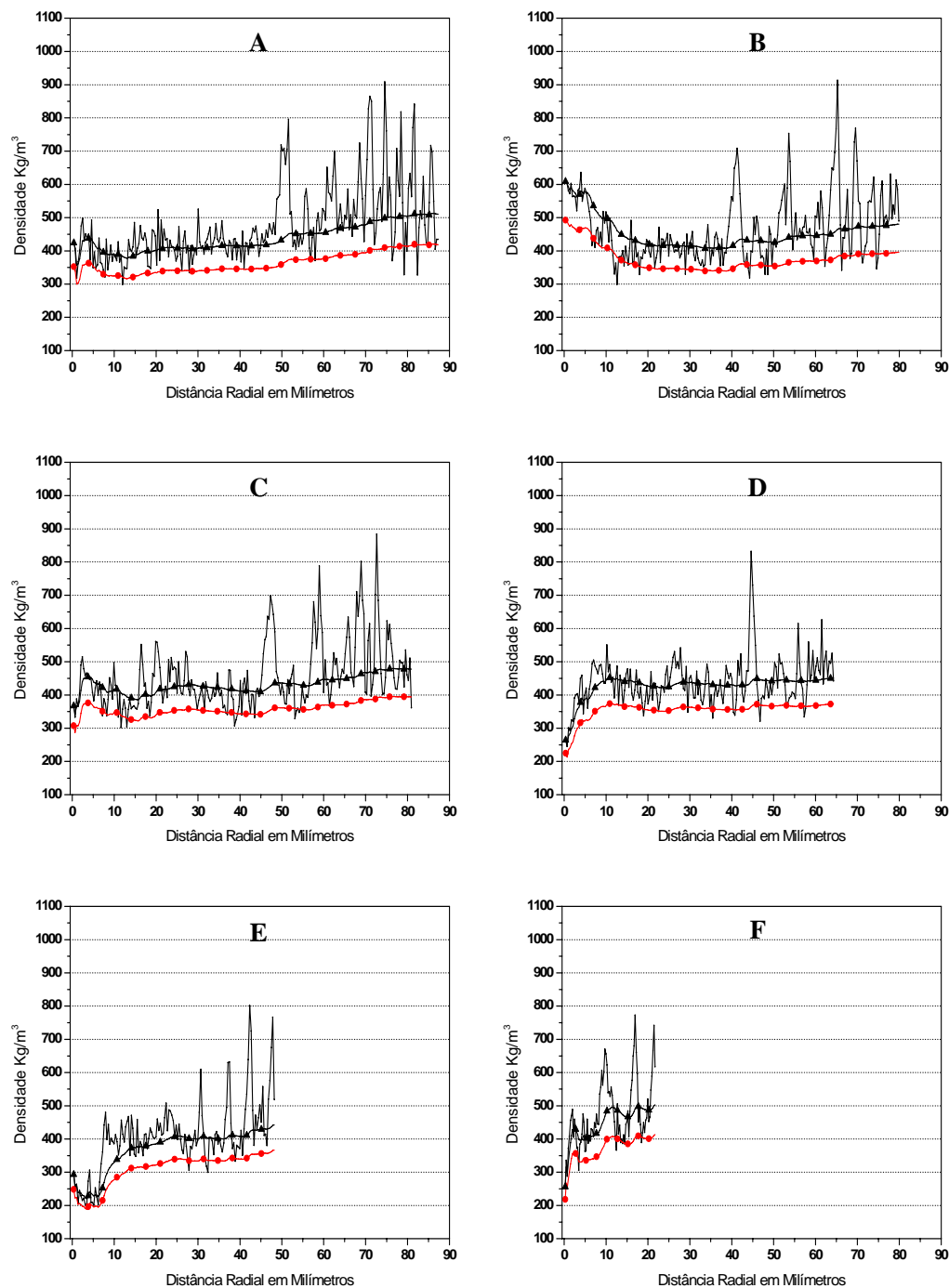


Figura 20 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₁, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

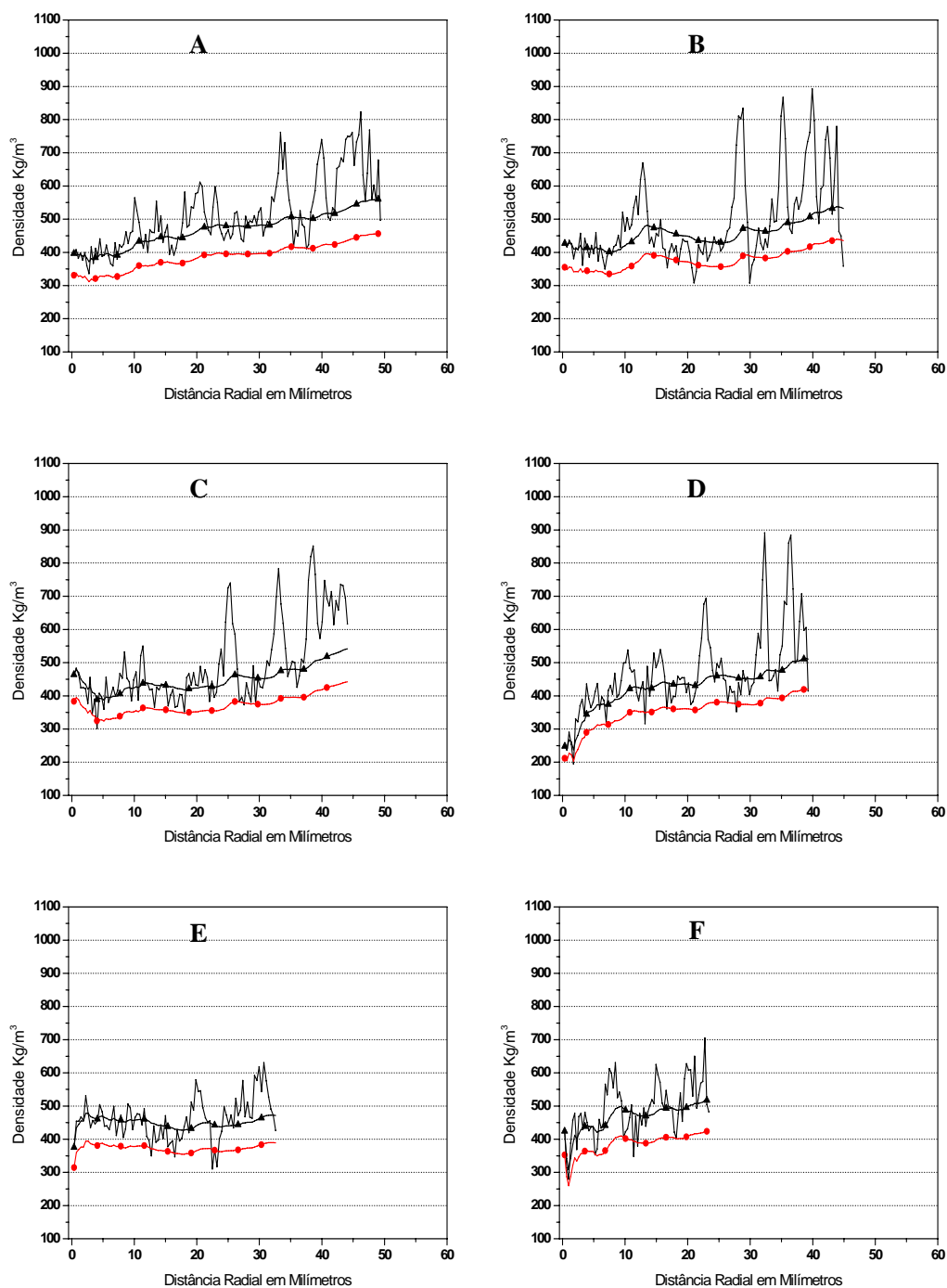


Figura 21 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

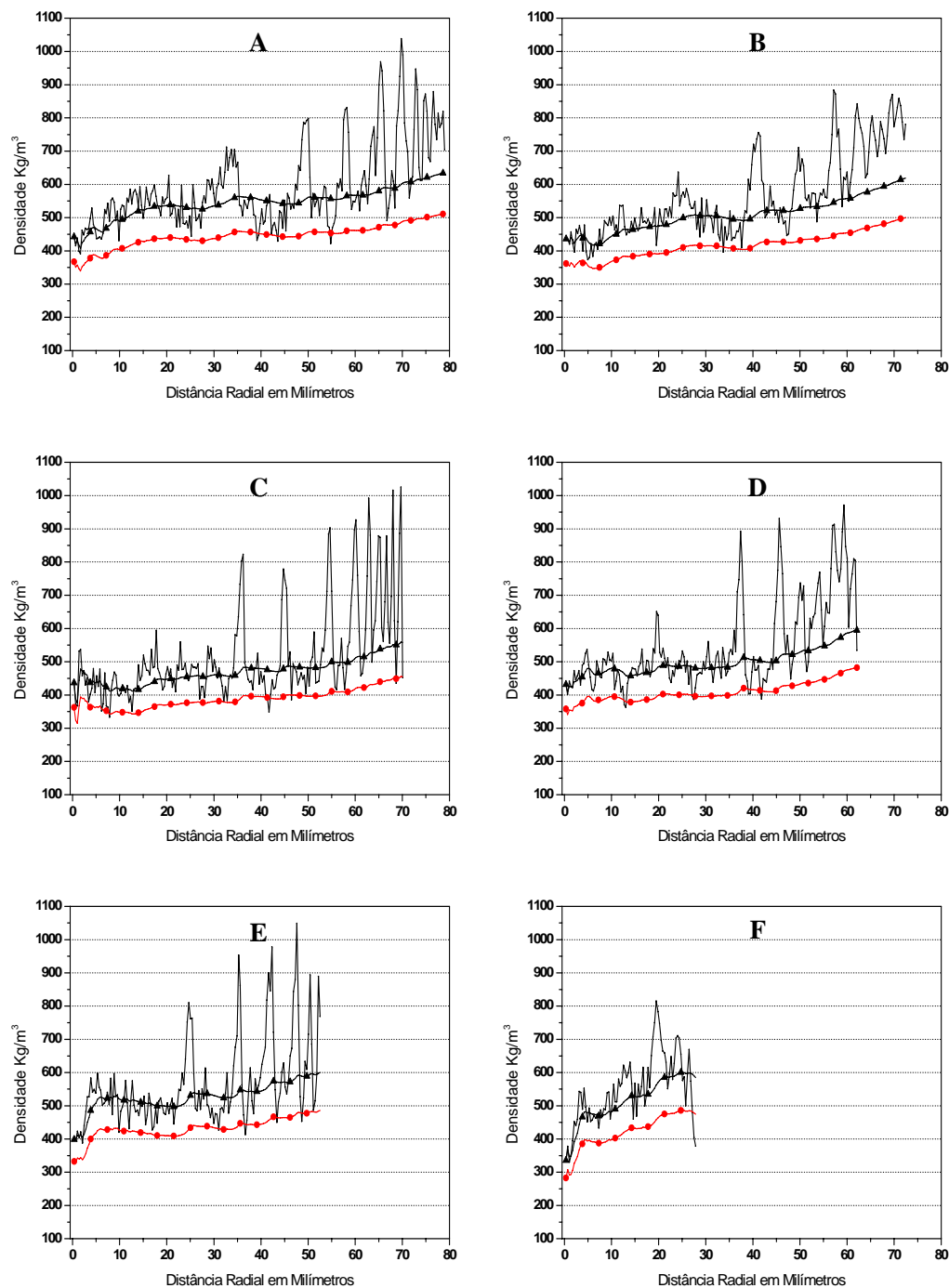


Figura 22 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

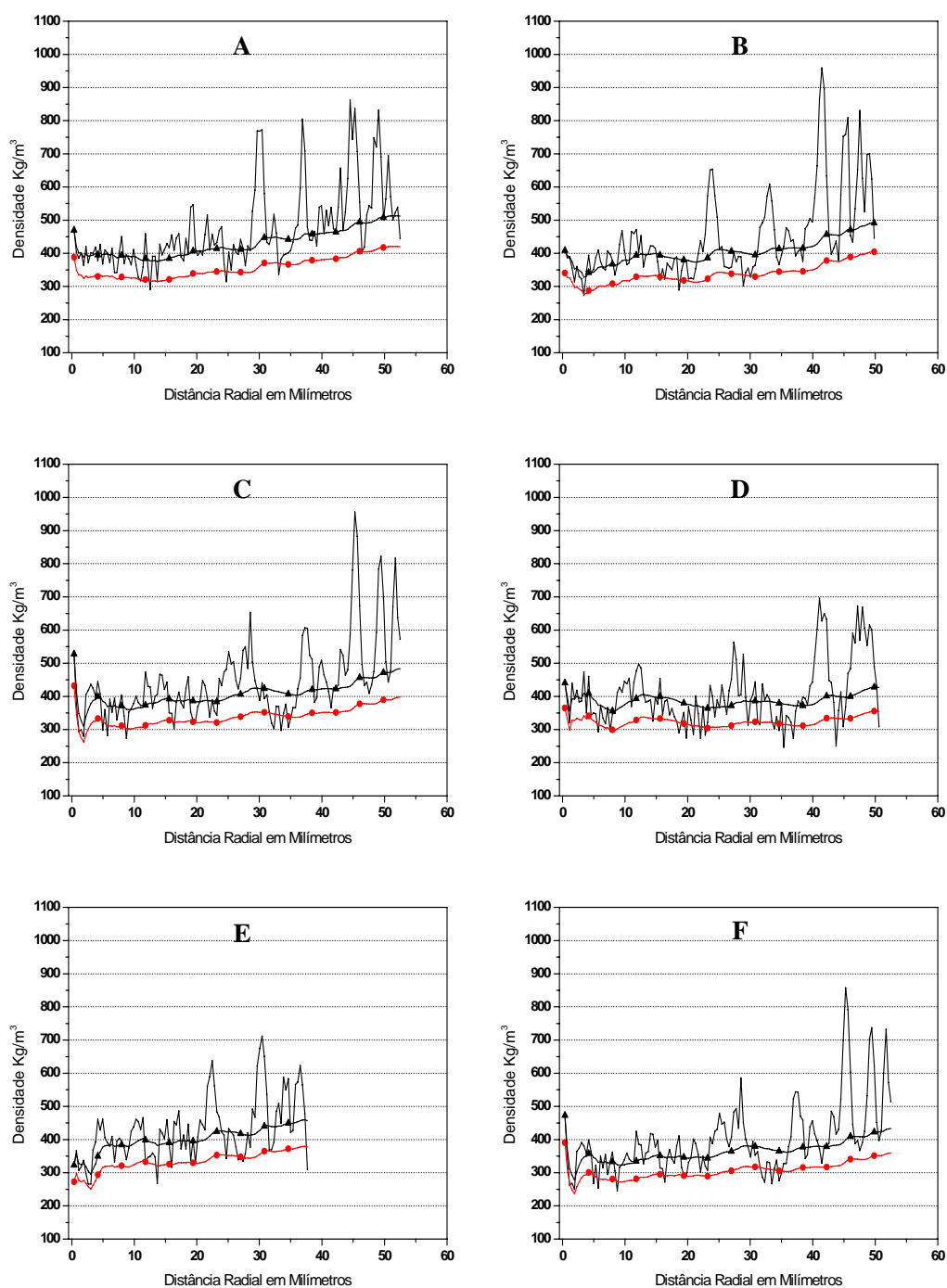


Figura 23 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

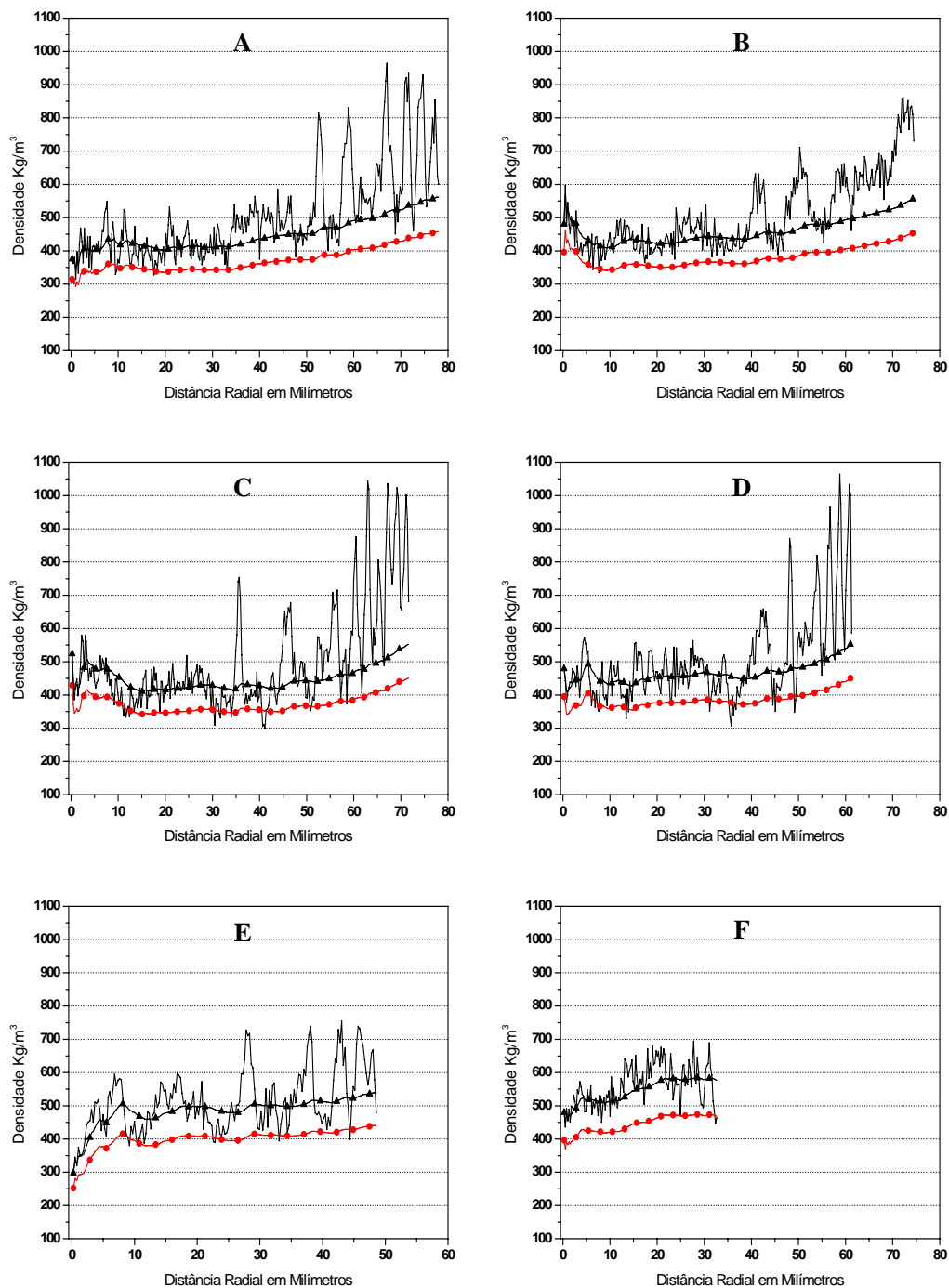


Figura 24 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₂, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

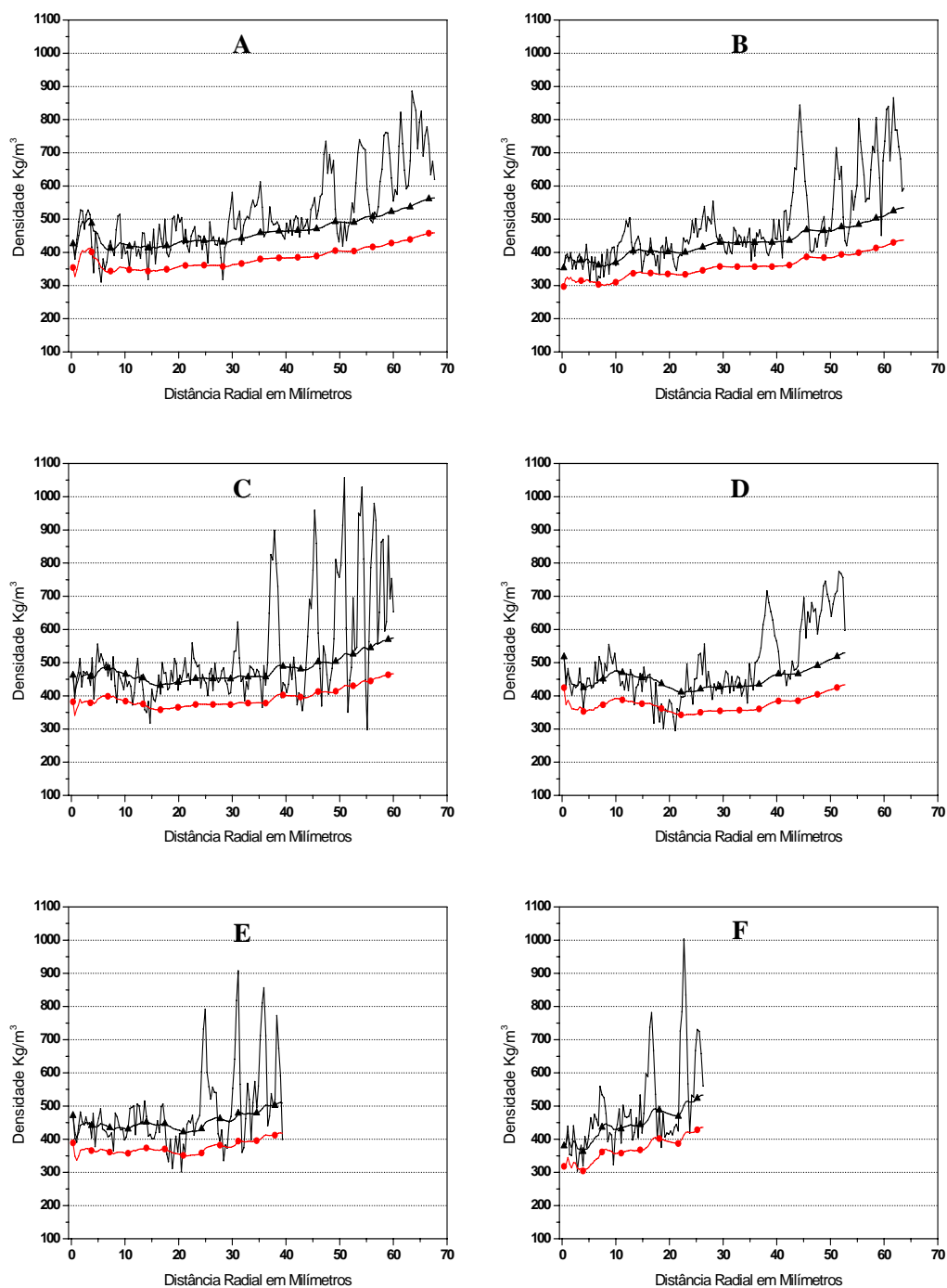


Figura 25 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₂, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

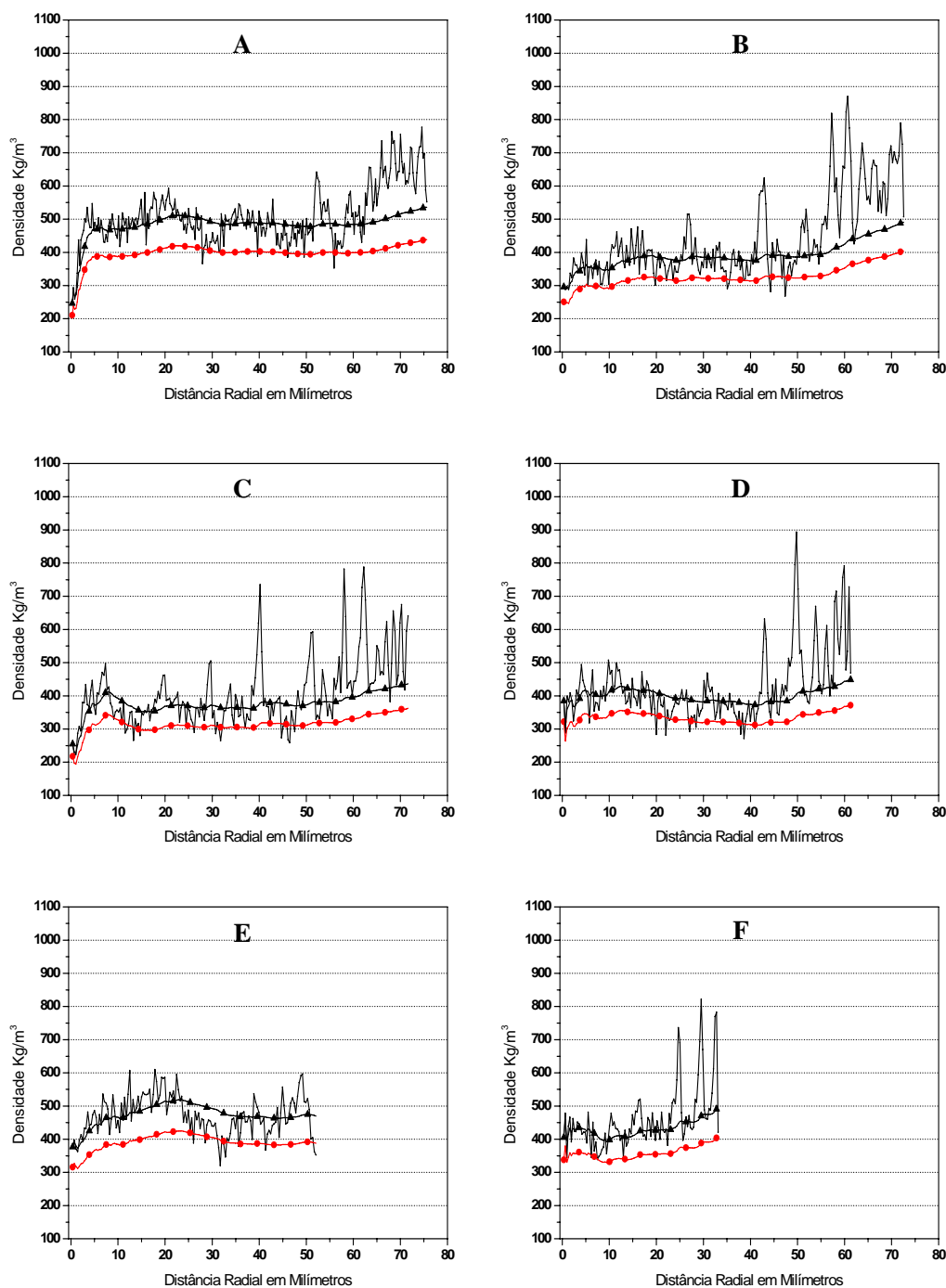


Figura 26 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

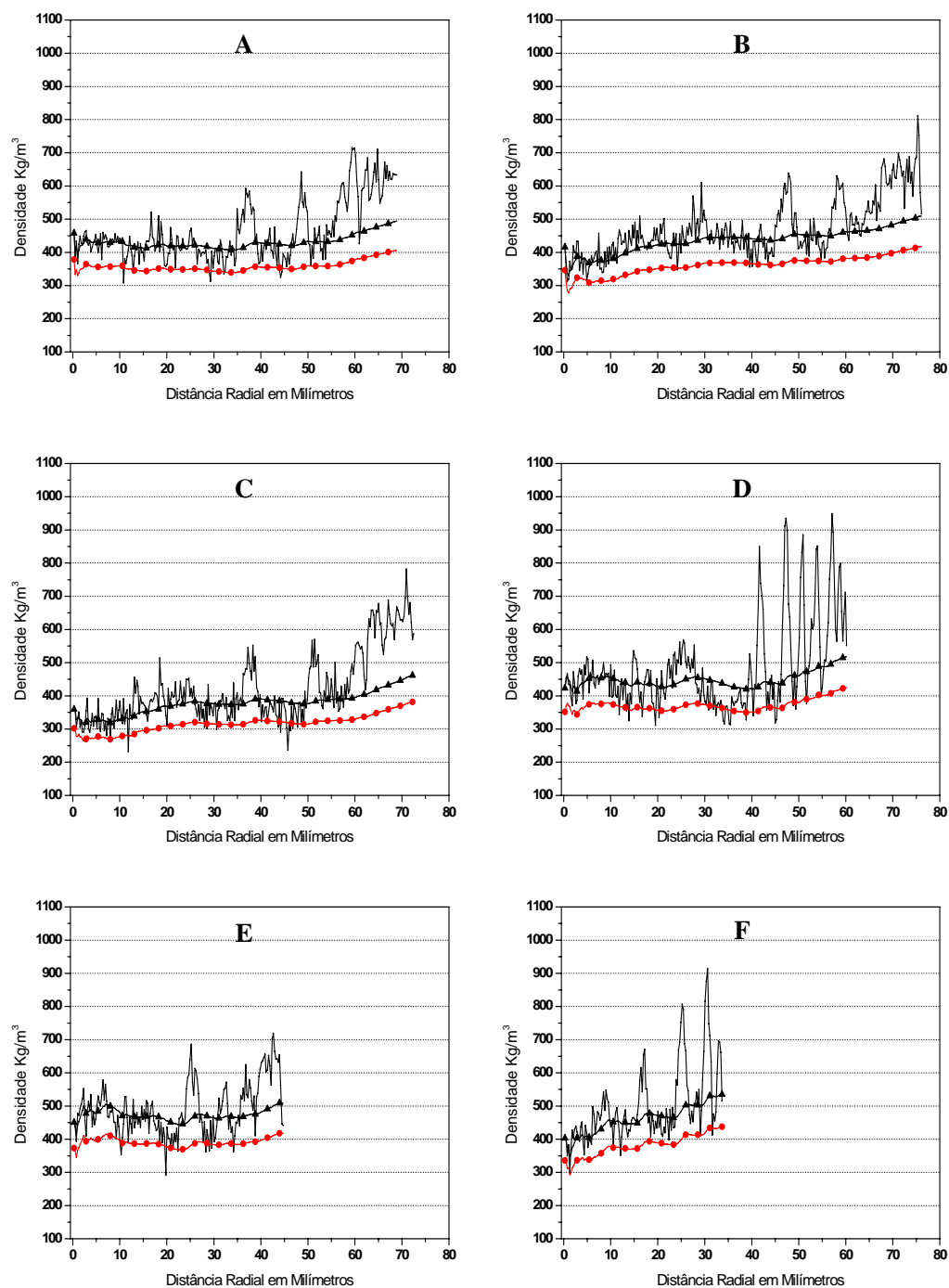


Figura 27 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

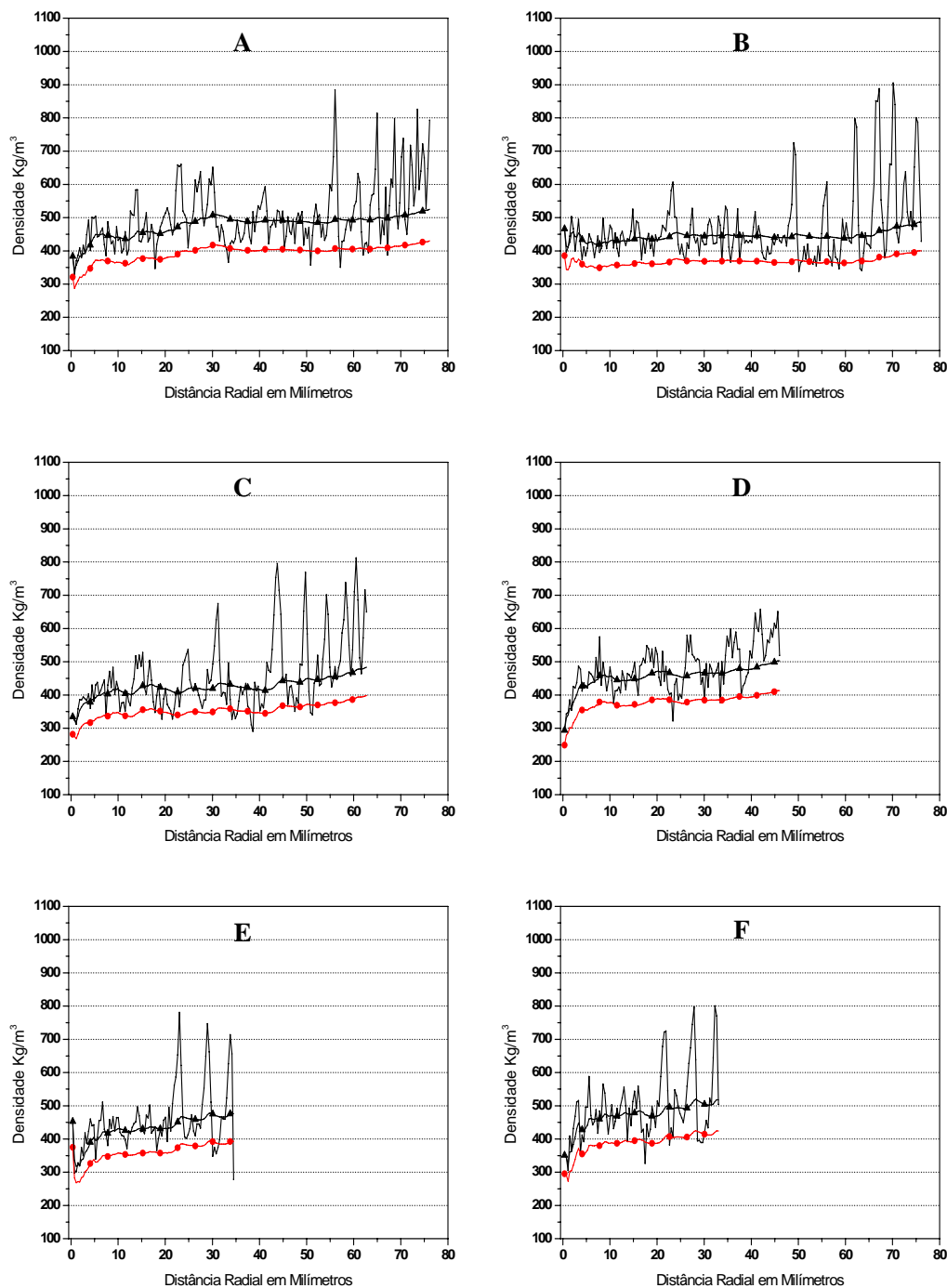


Figura 28 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

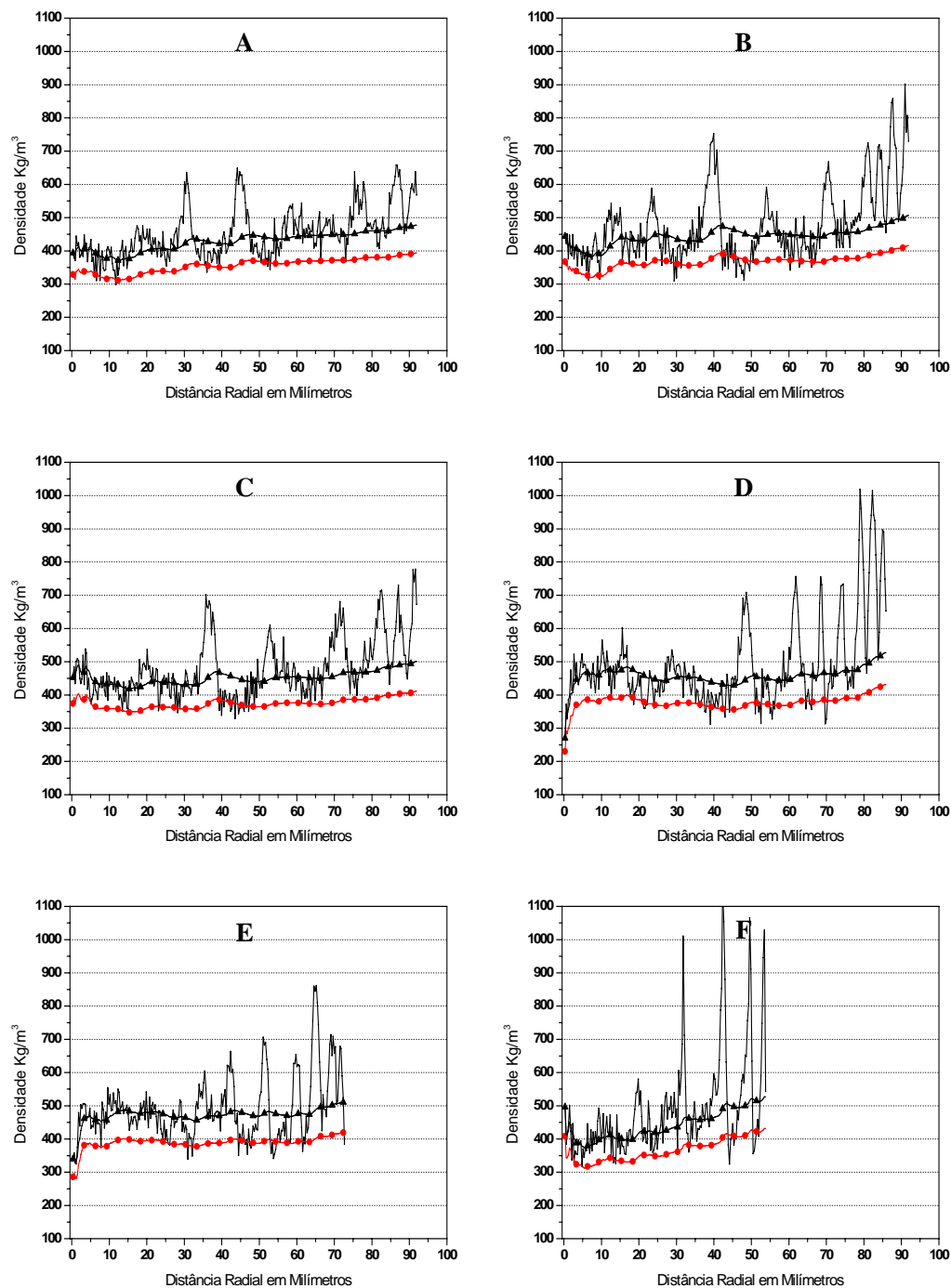


Figura 29 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₂, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

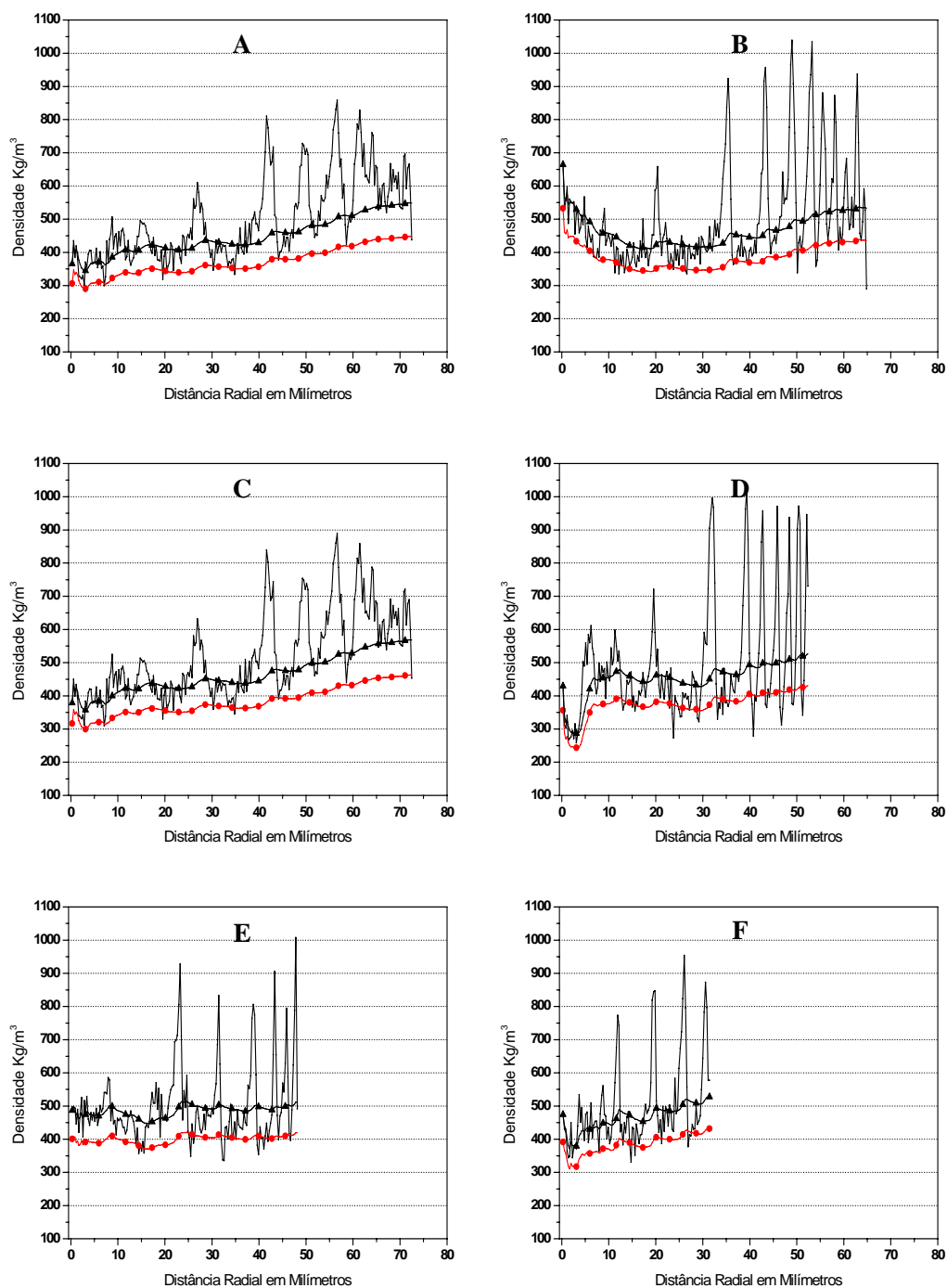


Figura 30 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

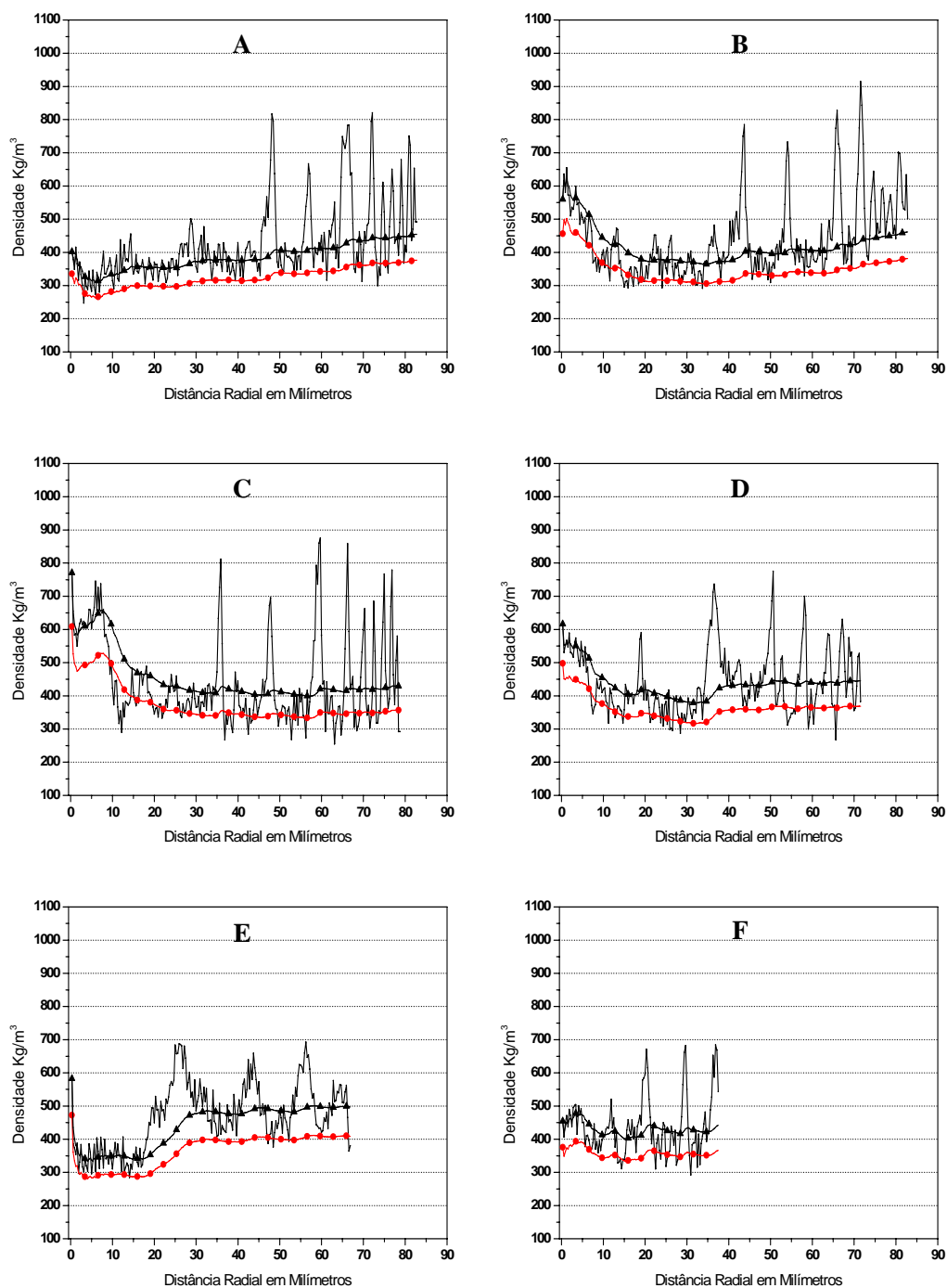


Figura 31 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

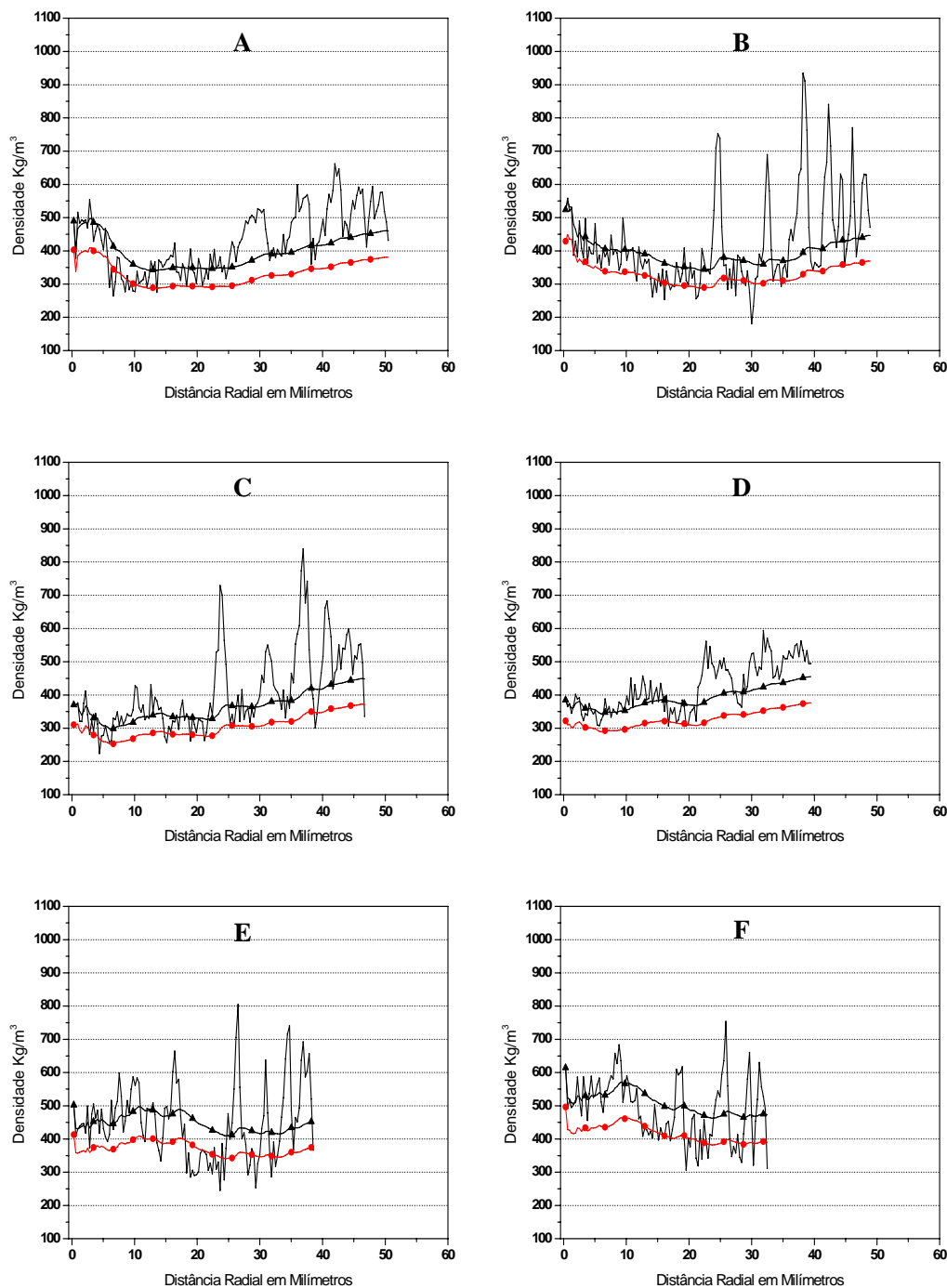


Figura 32 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

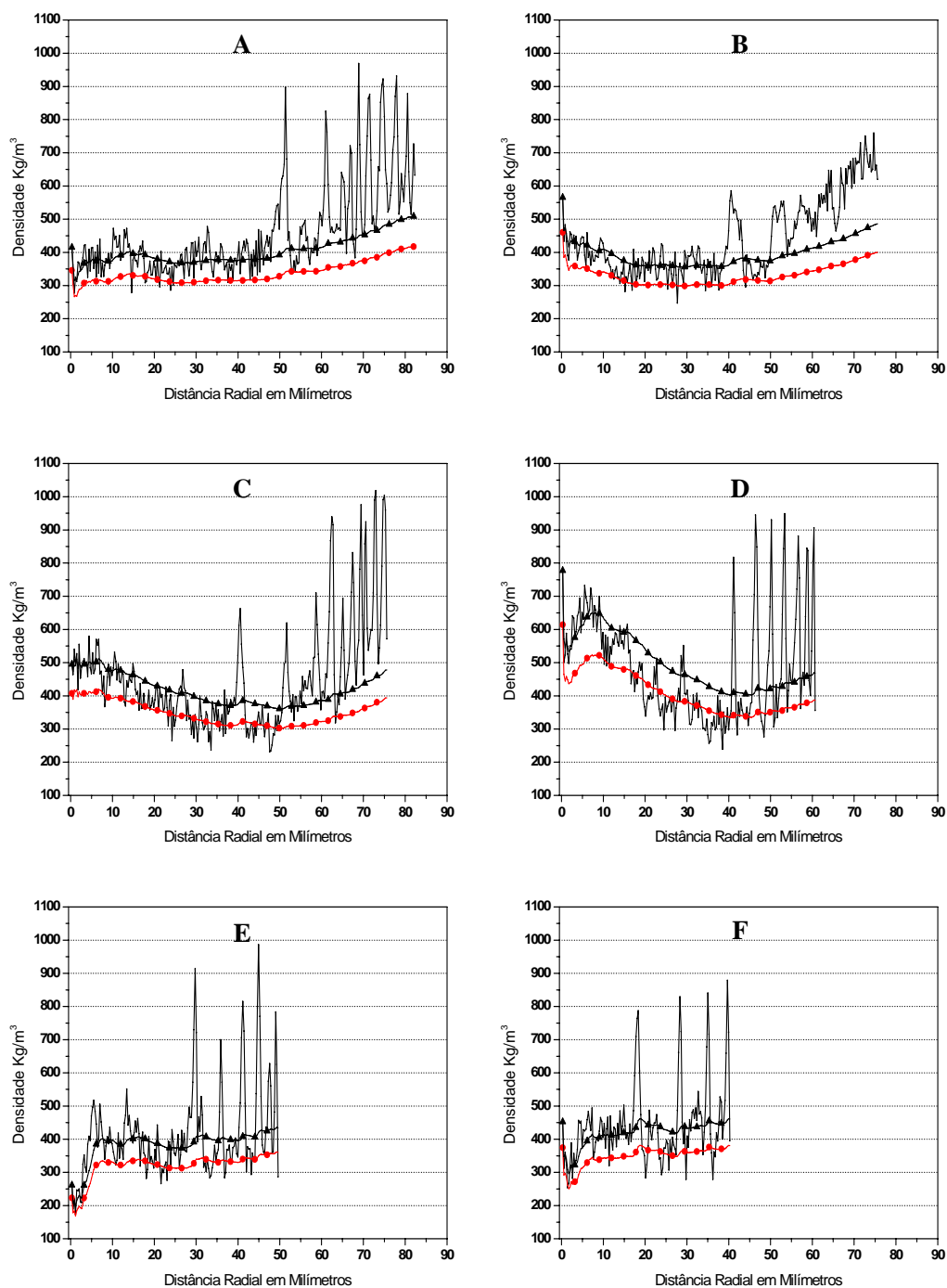


Figura 33 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

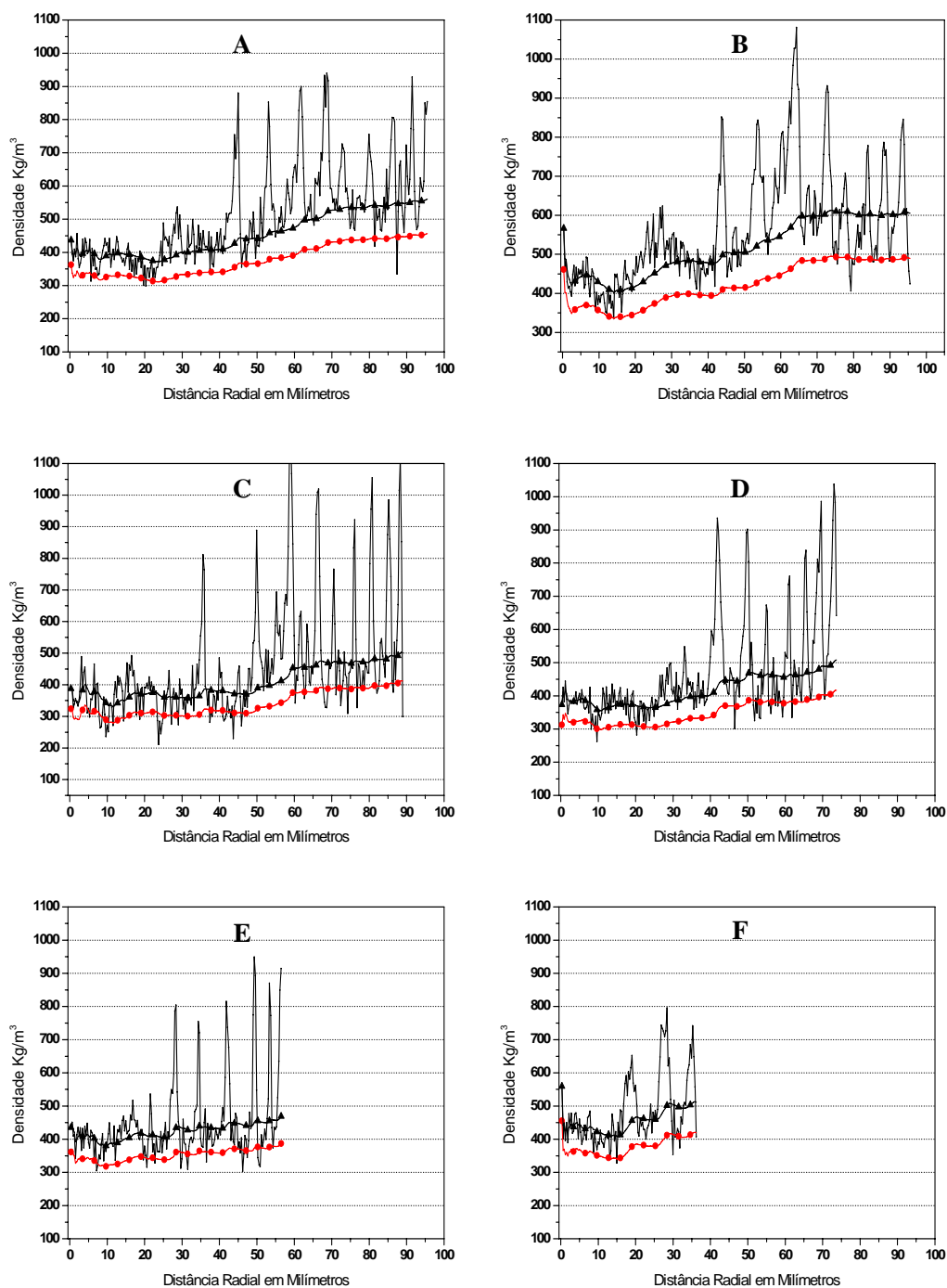


Figura 34 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

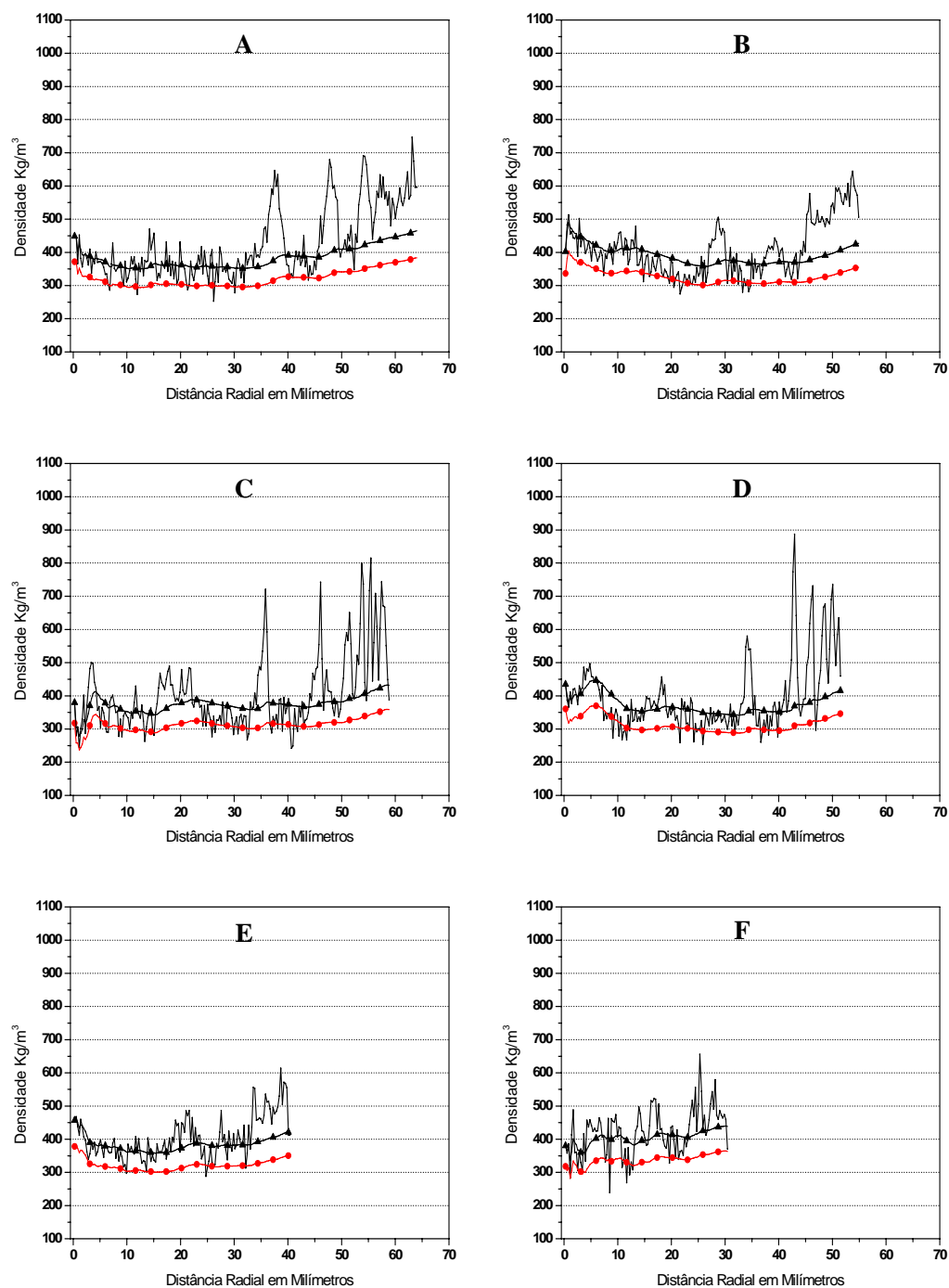


Figura 35 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

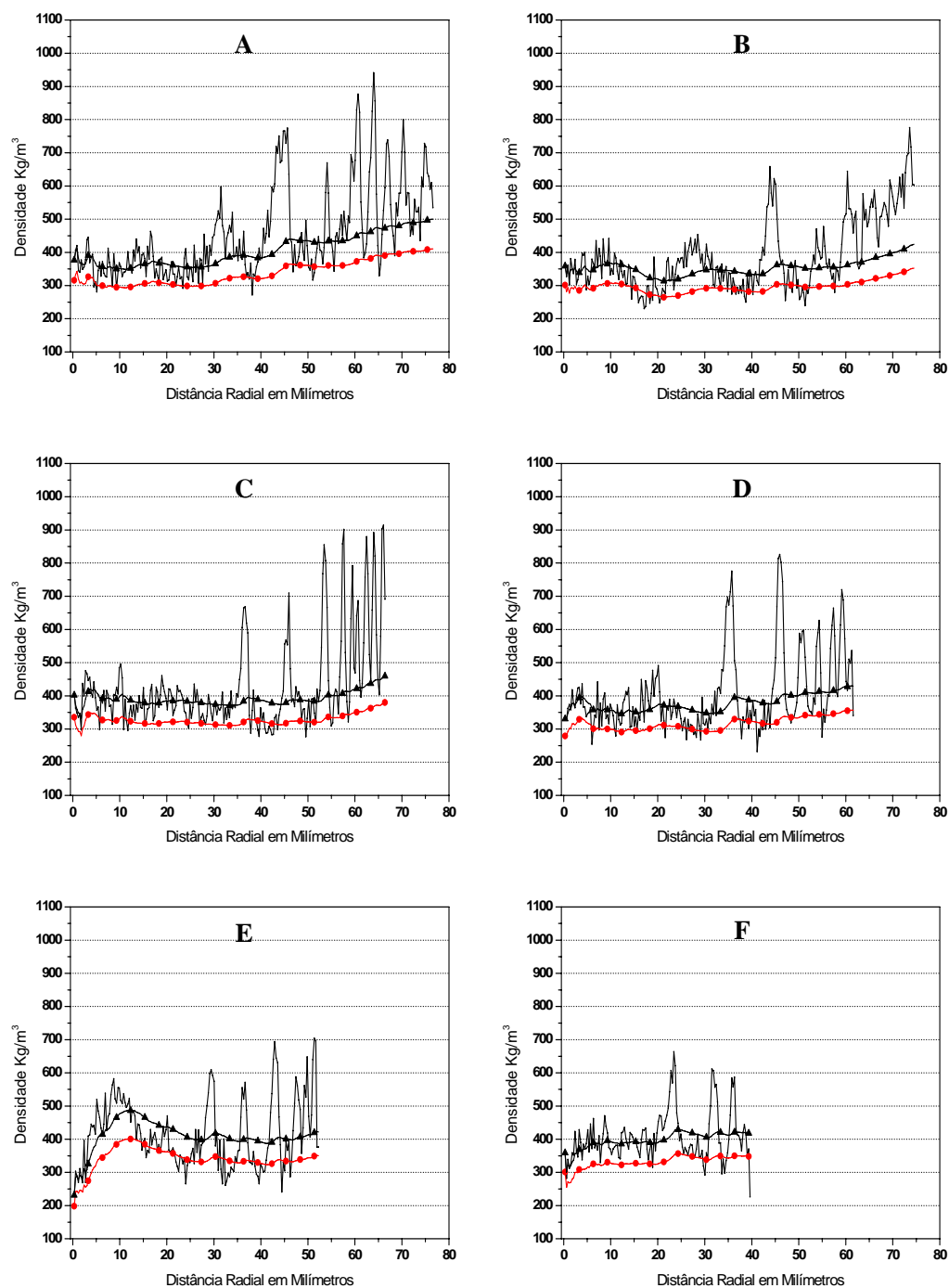


Figura 36 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

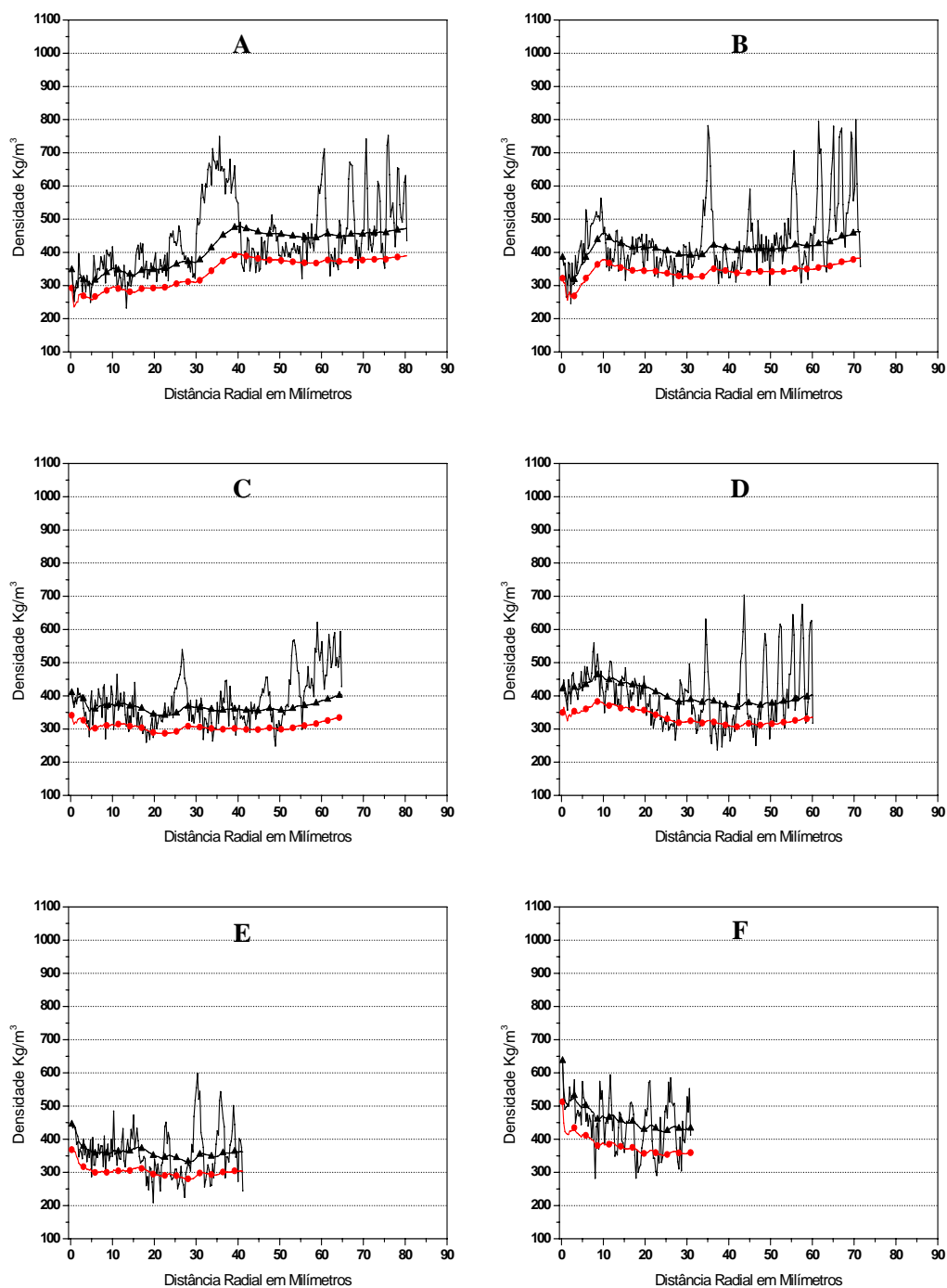


Figura 37 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

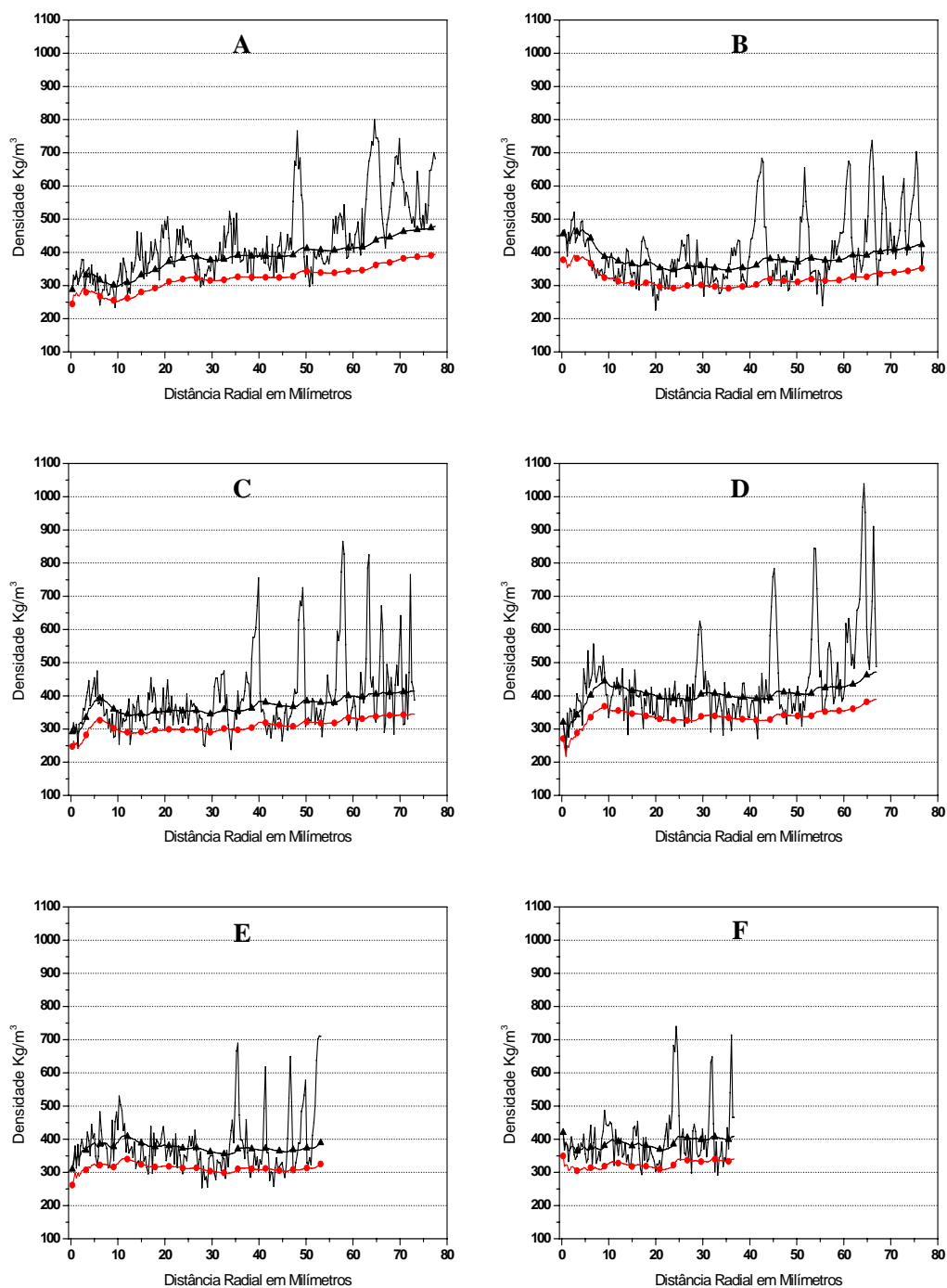


Figura 38 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₃, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

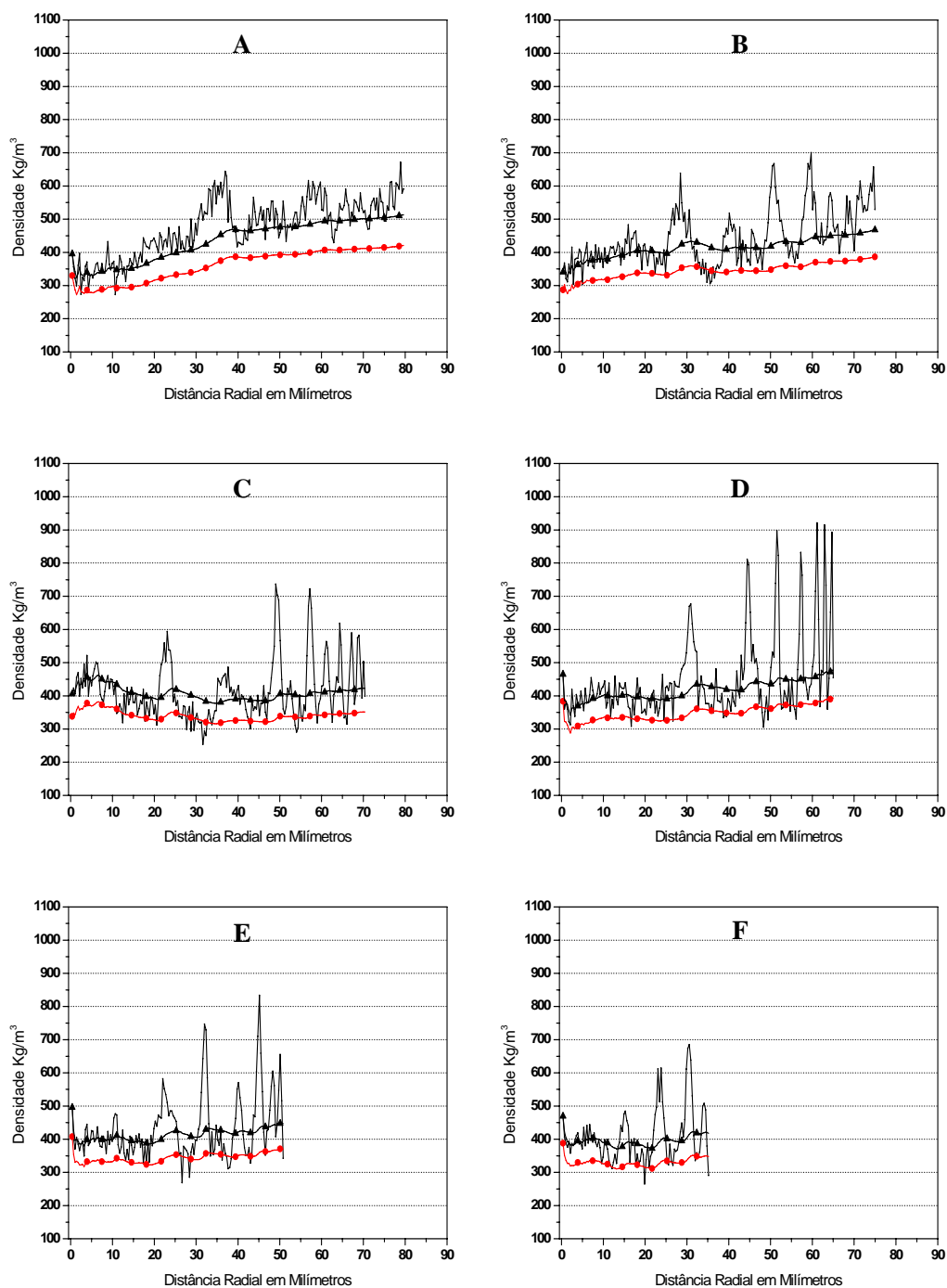


Figura 39 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

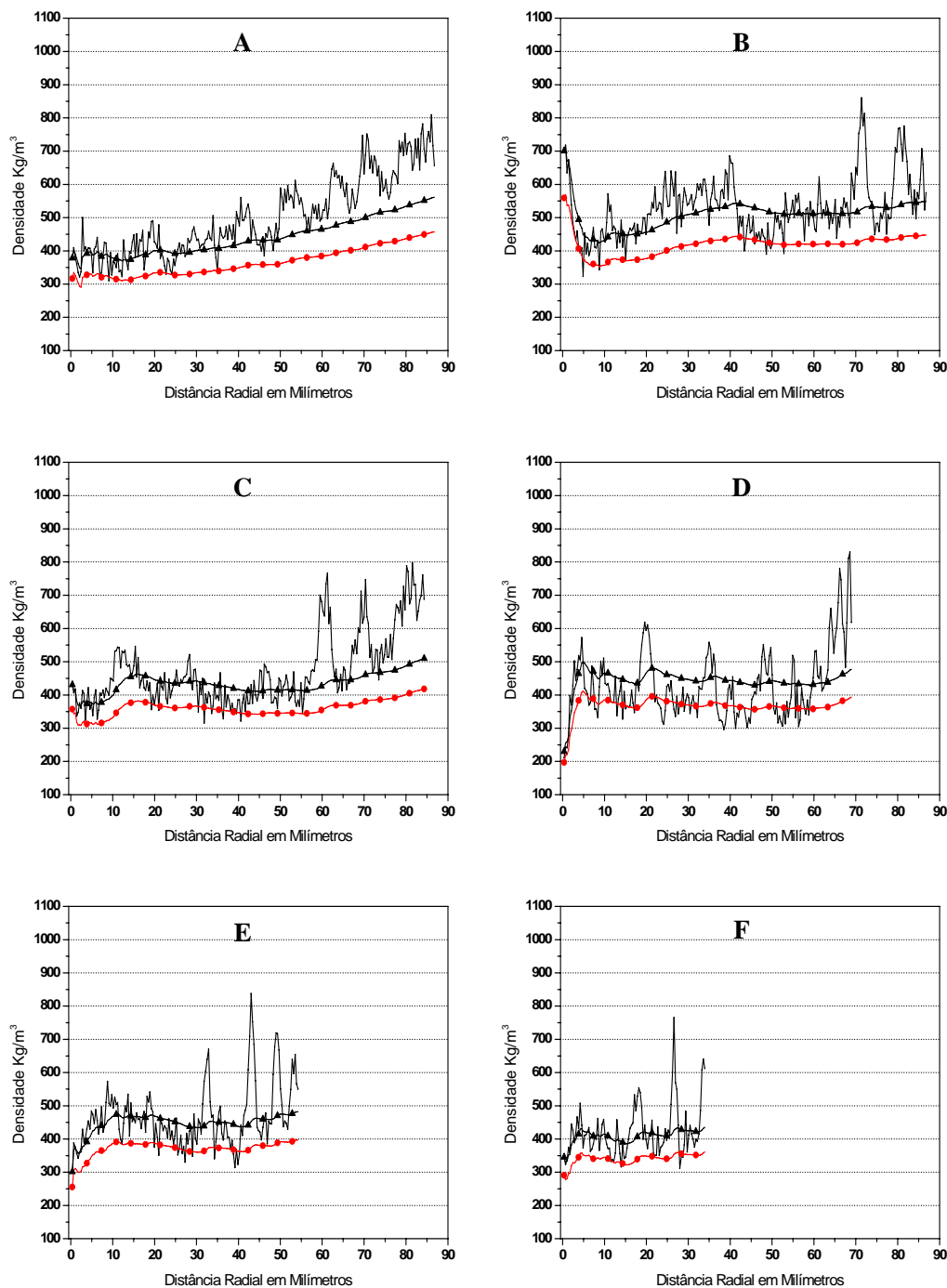


Figura 40 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₄, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

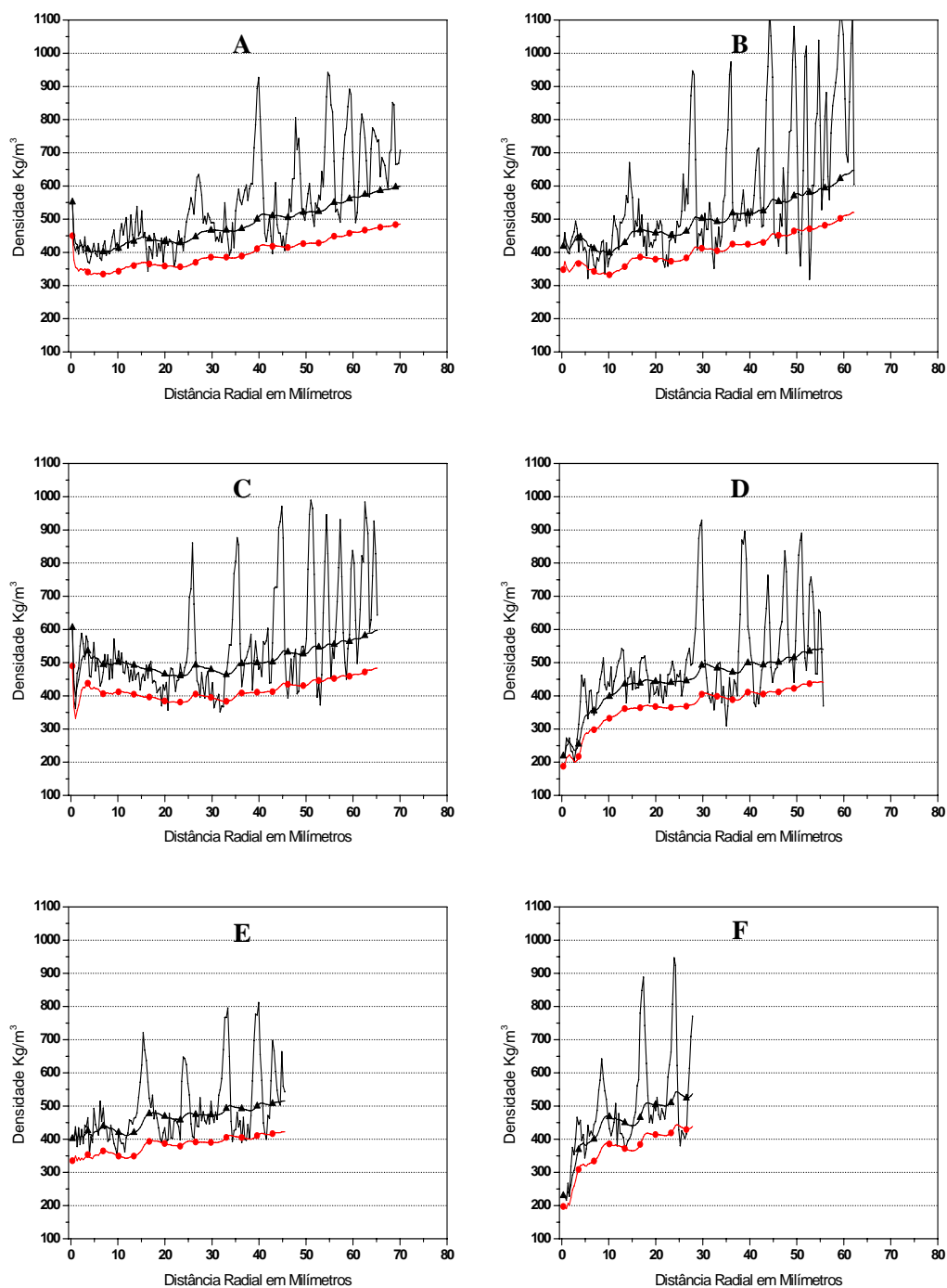


Figura 41 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₄, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

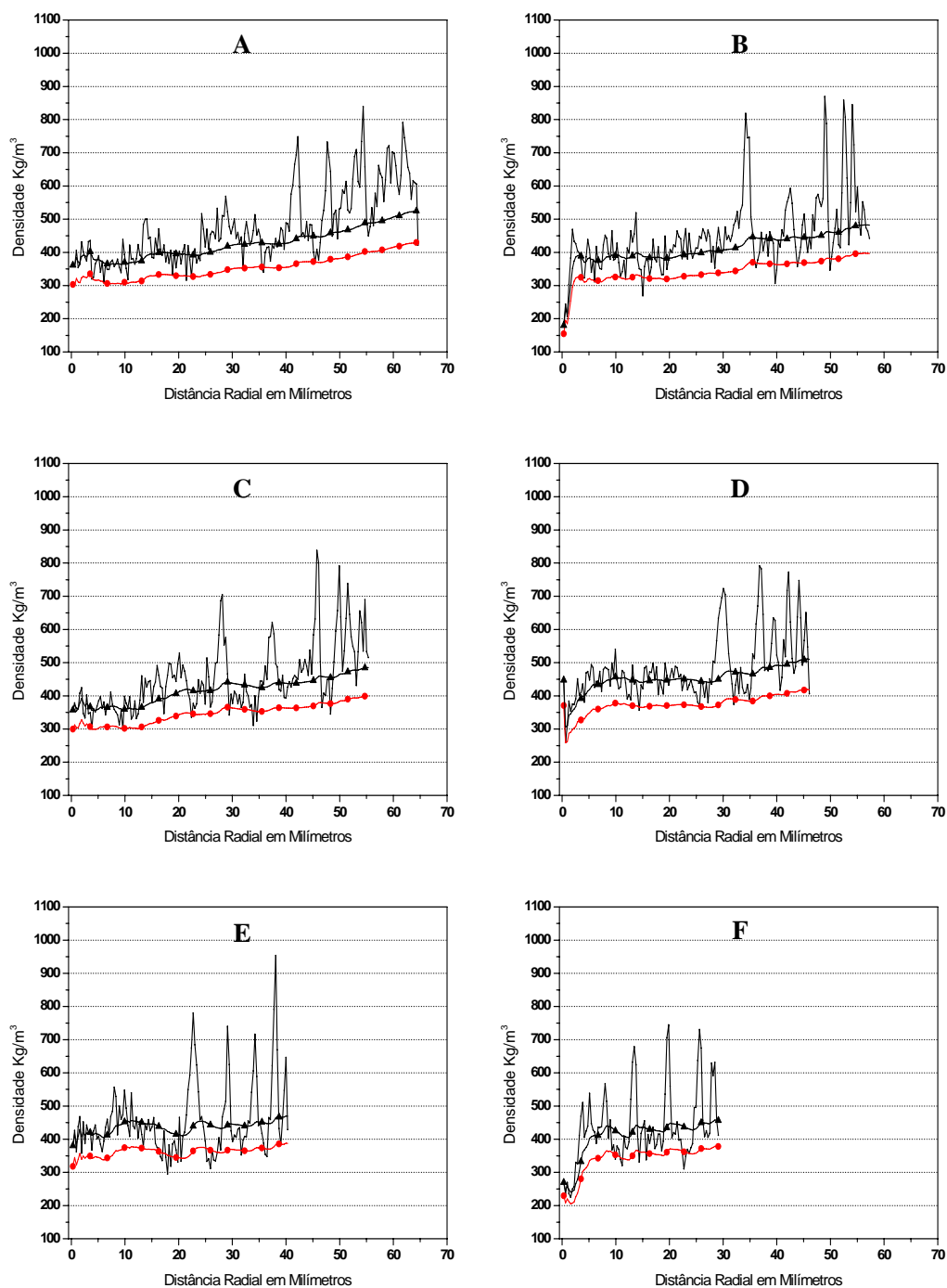


Figura 42 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

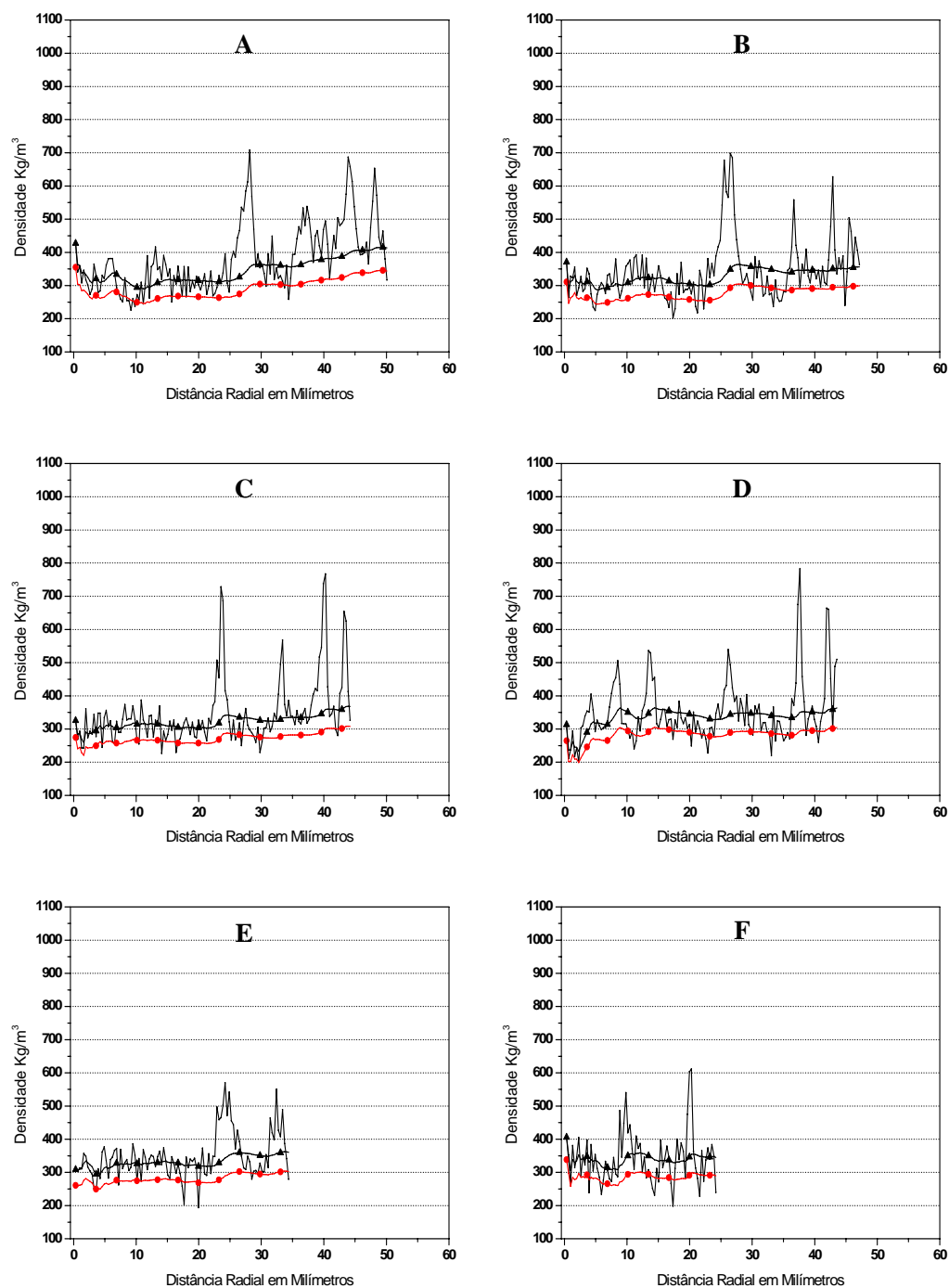


Figura 43 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

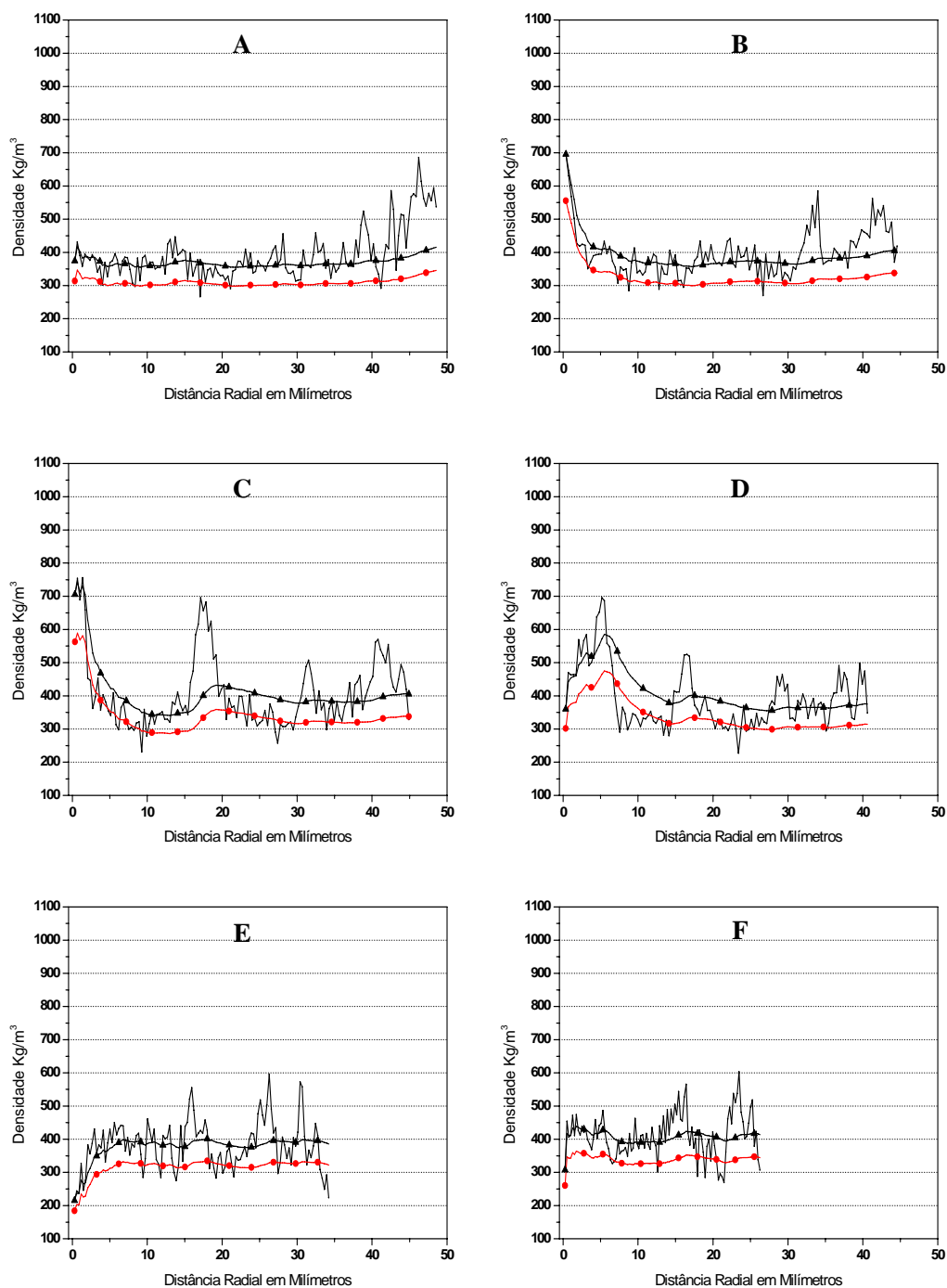


Figura 44 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

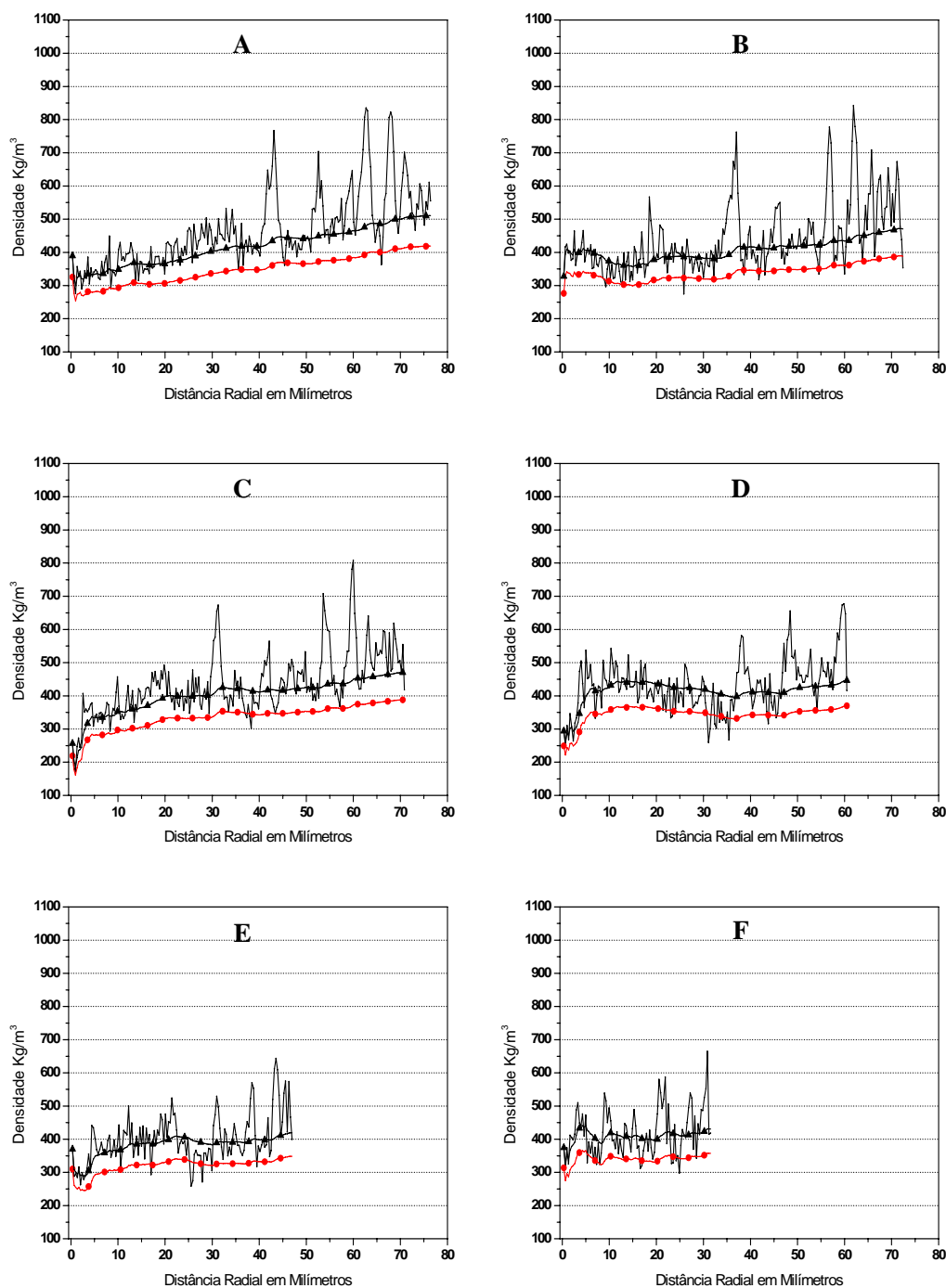


Figura 45 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

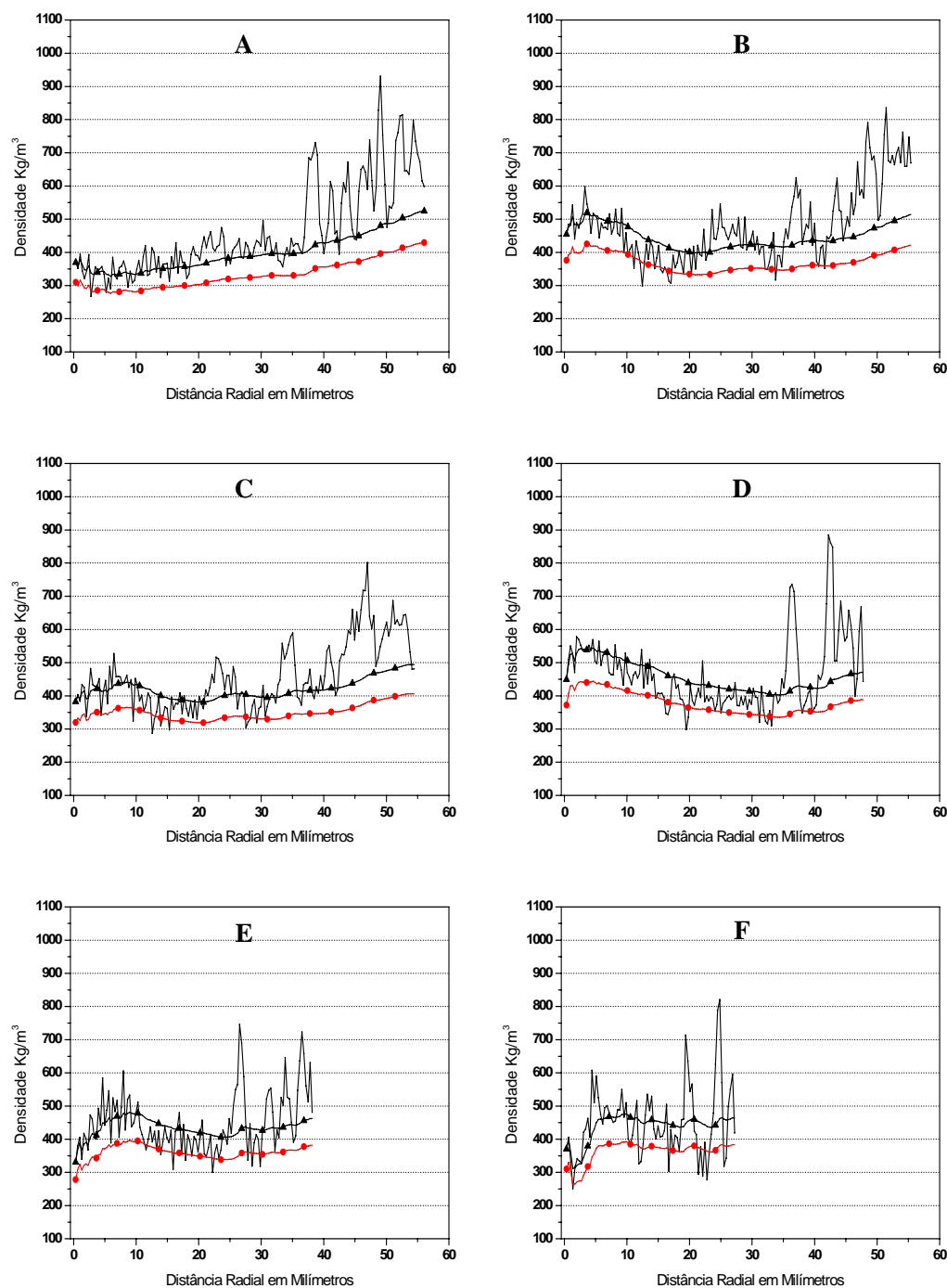


Figura 46 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₄, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

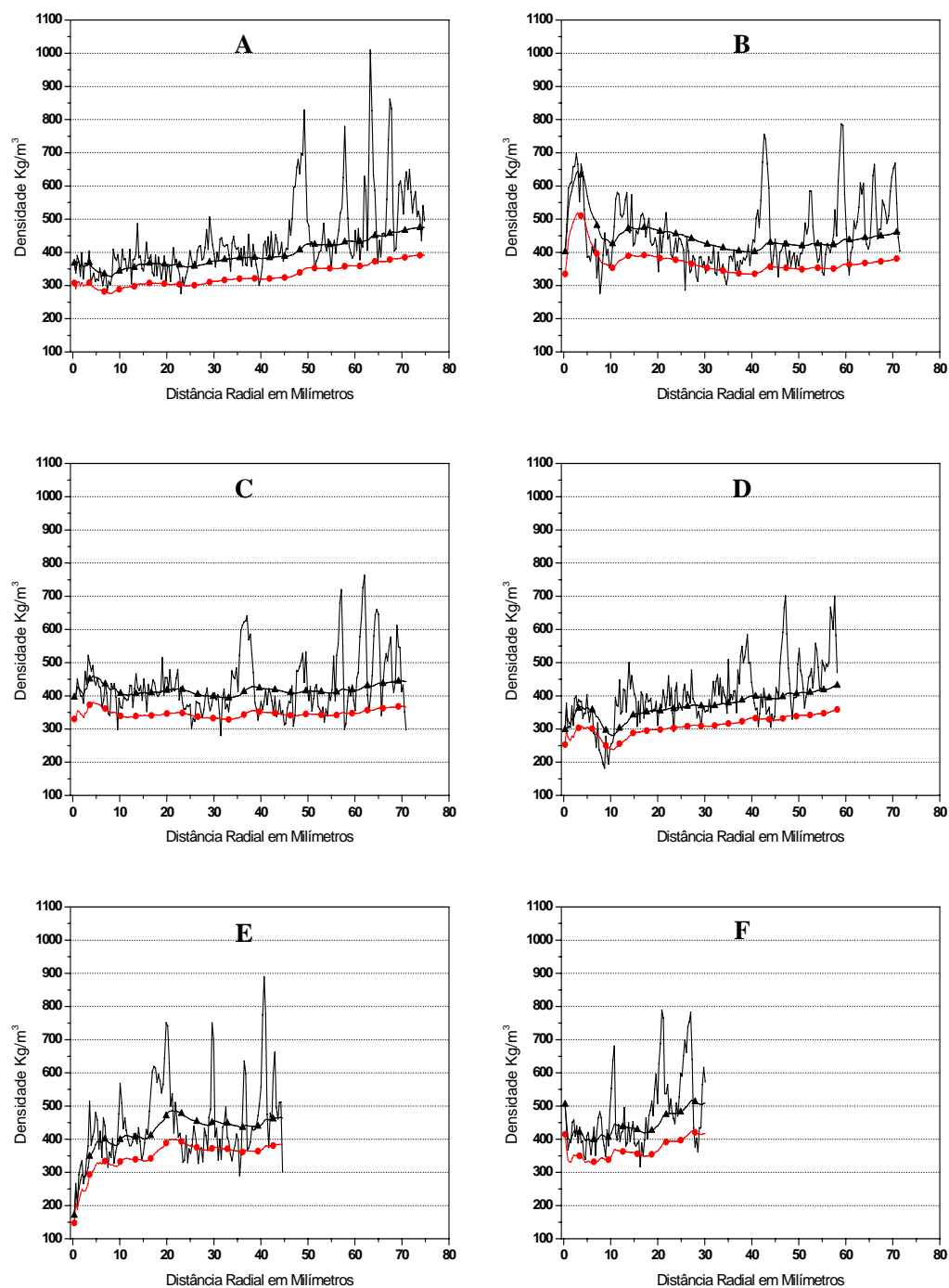


Figura 47 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₄, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

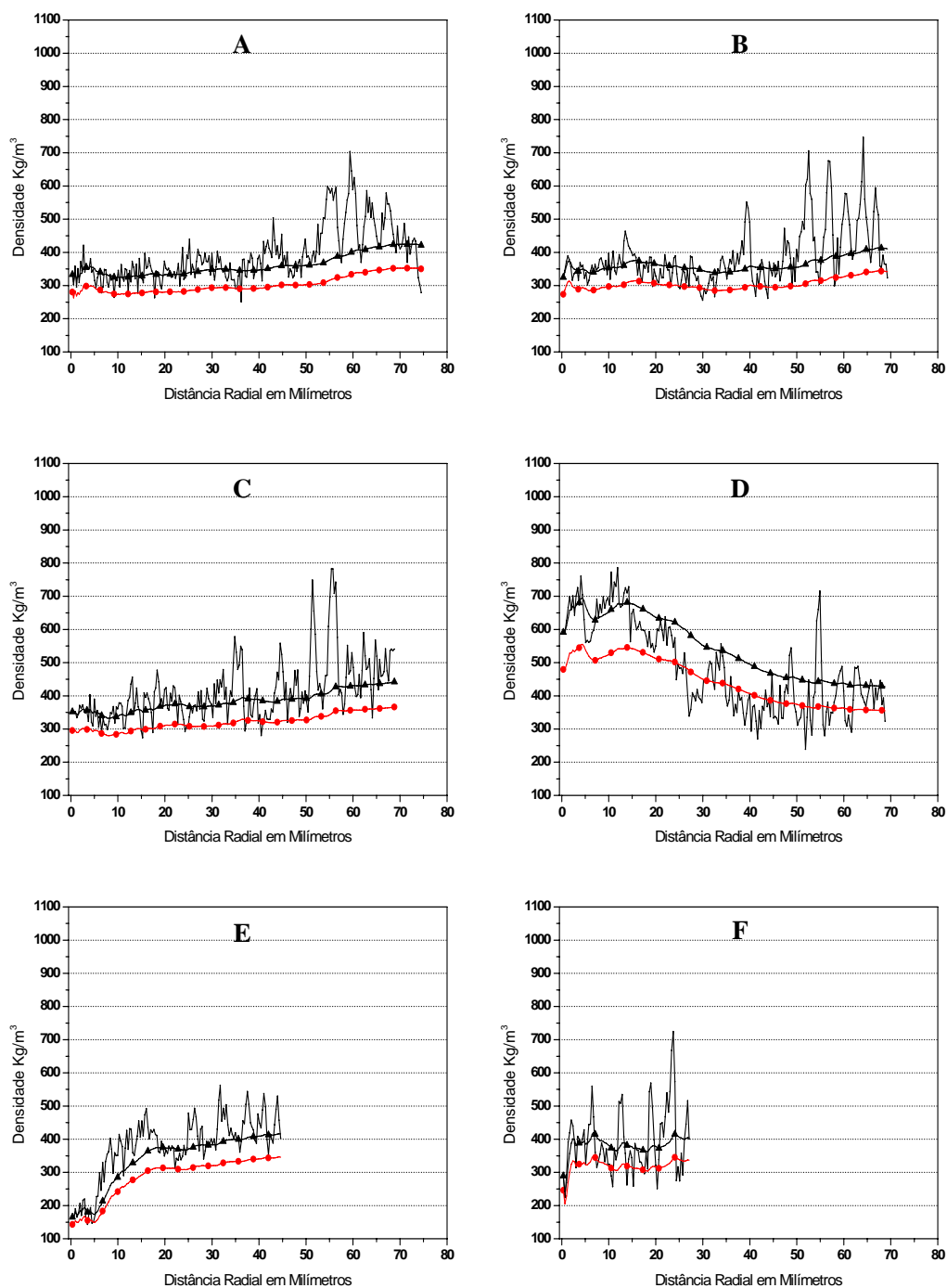


Figura 48 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

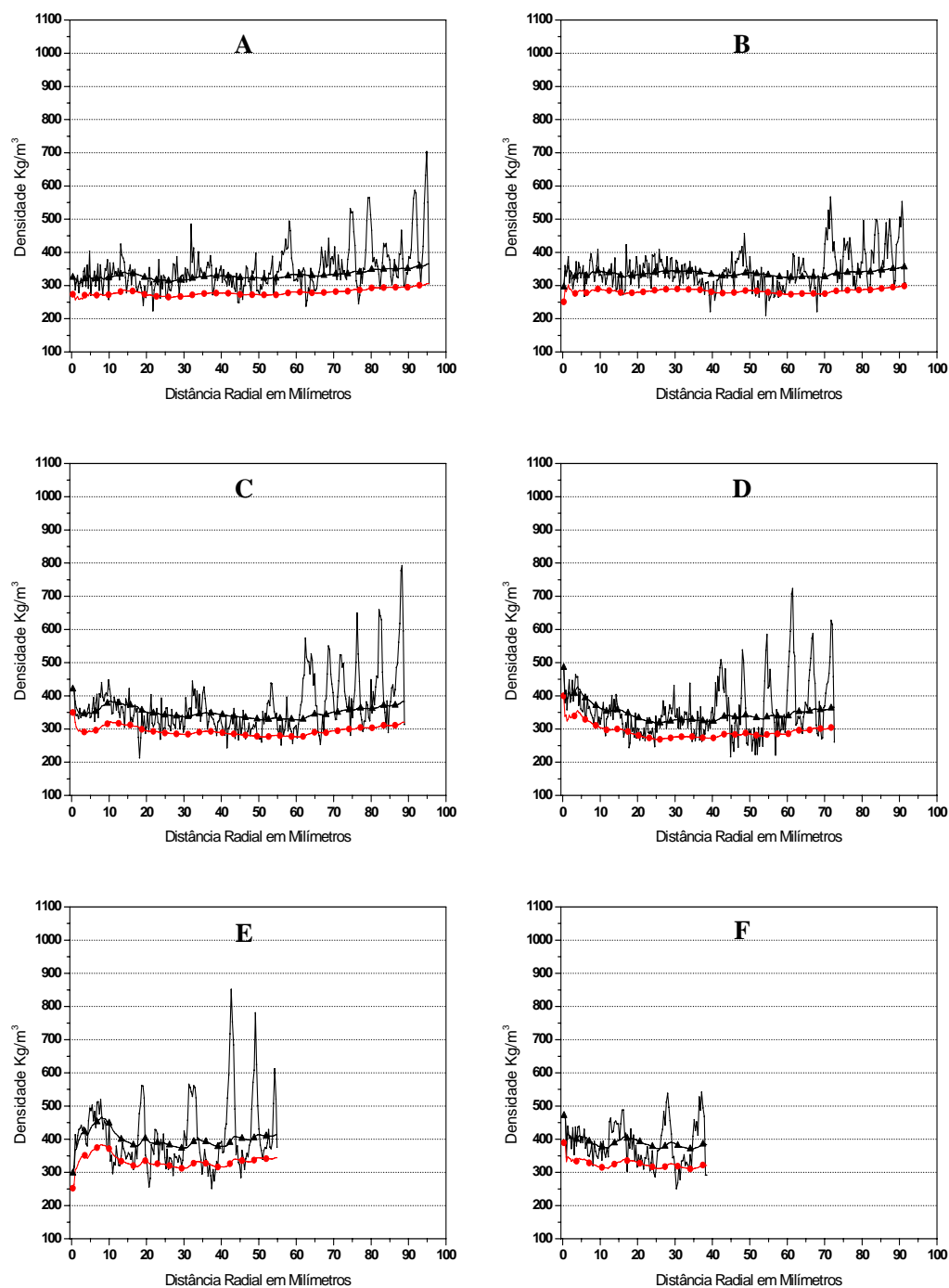


Figura 49 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

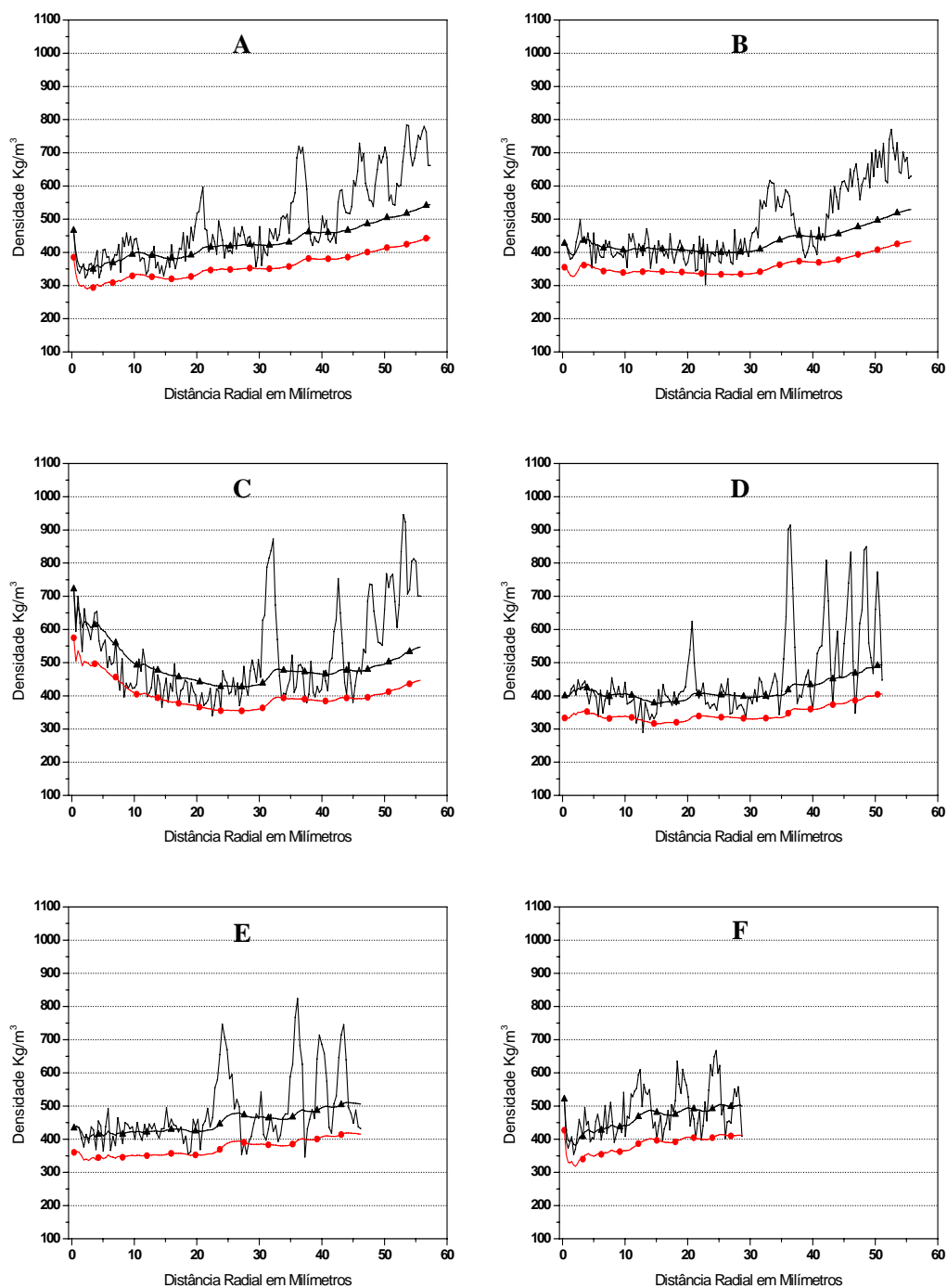


Figura 50 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3H₅, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

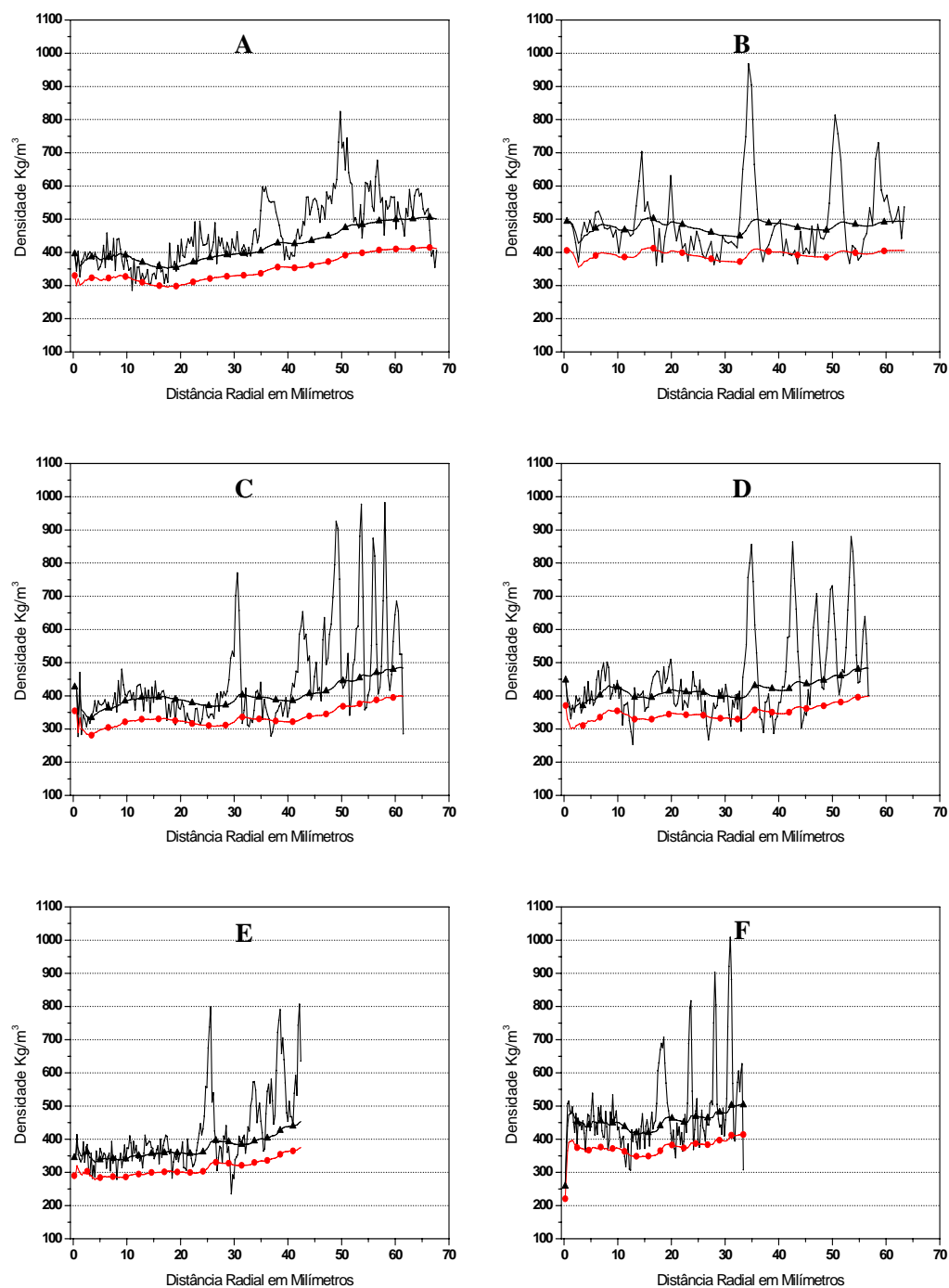


Figura 51 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

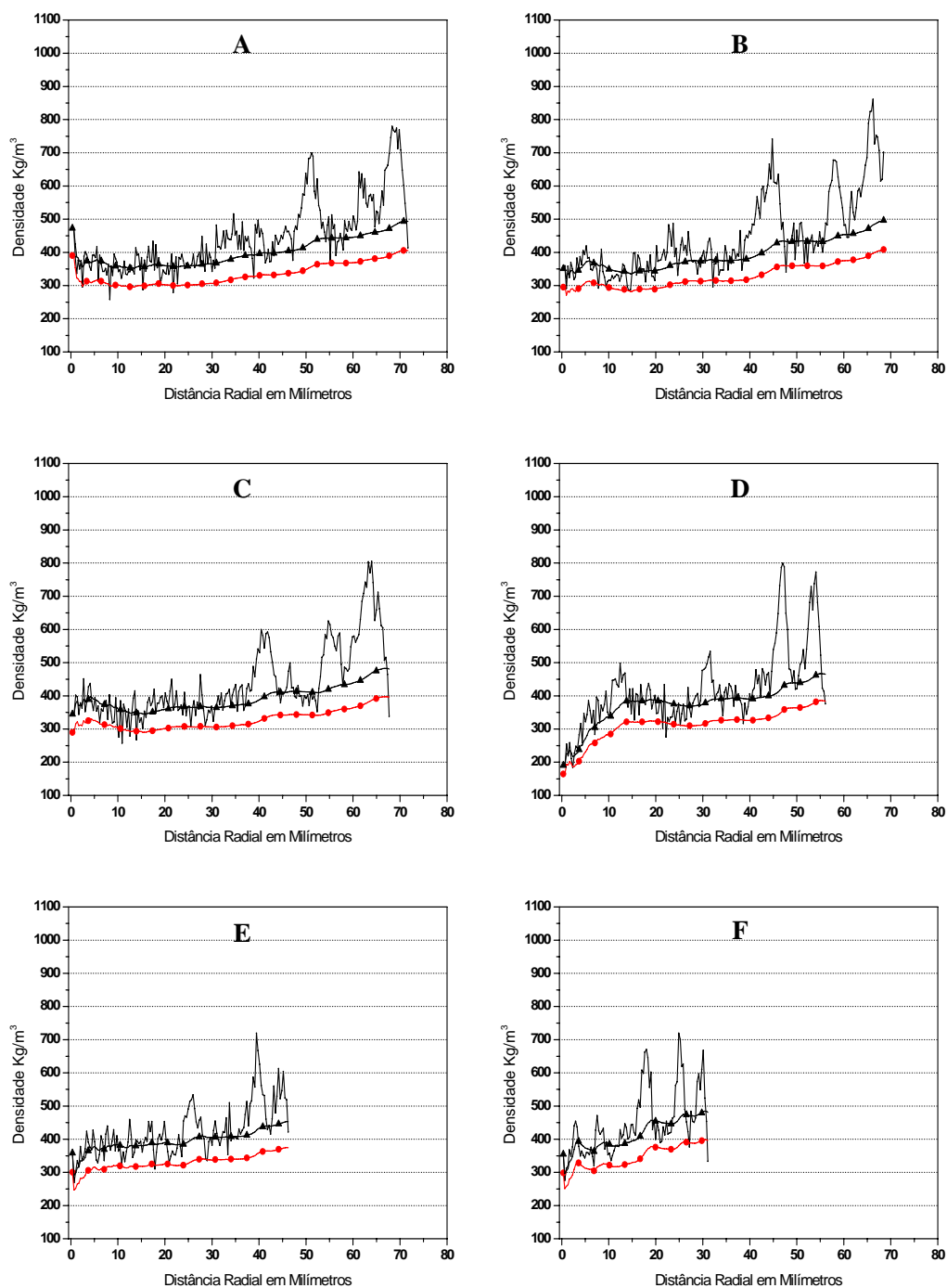


Figura 52 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5H₅, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

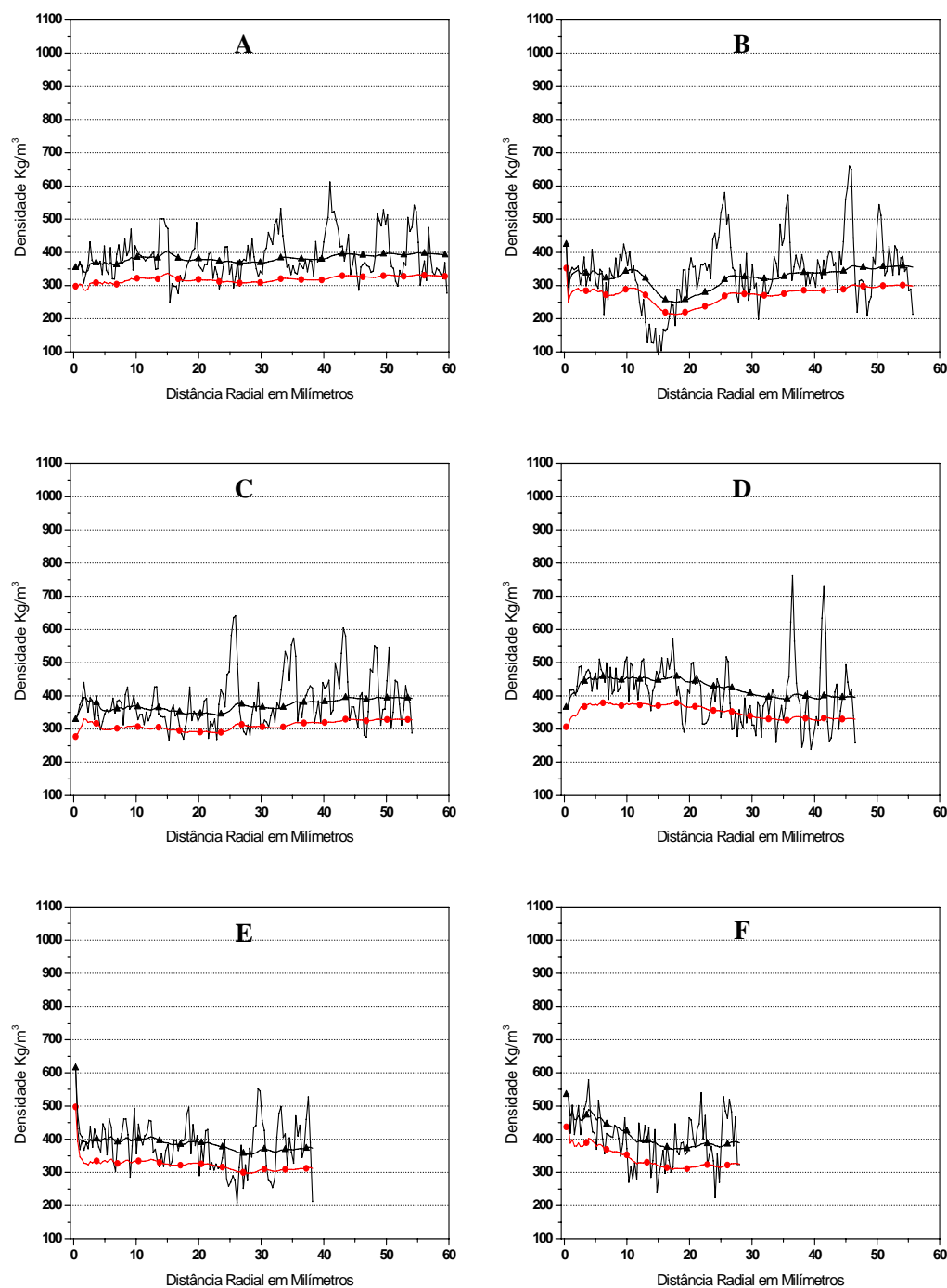


Figura 53 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6H₅, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

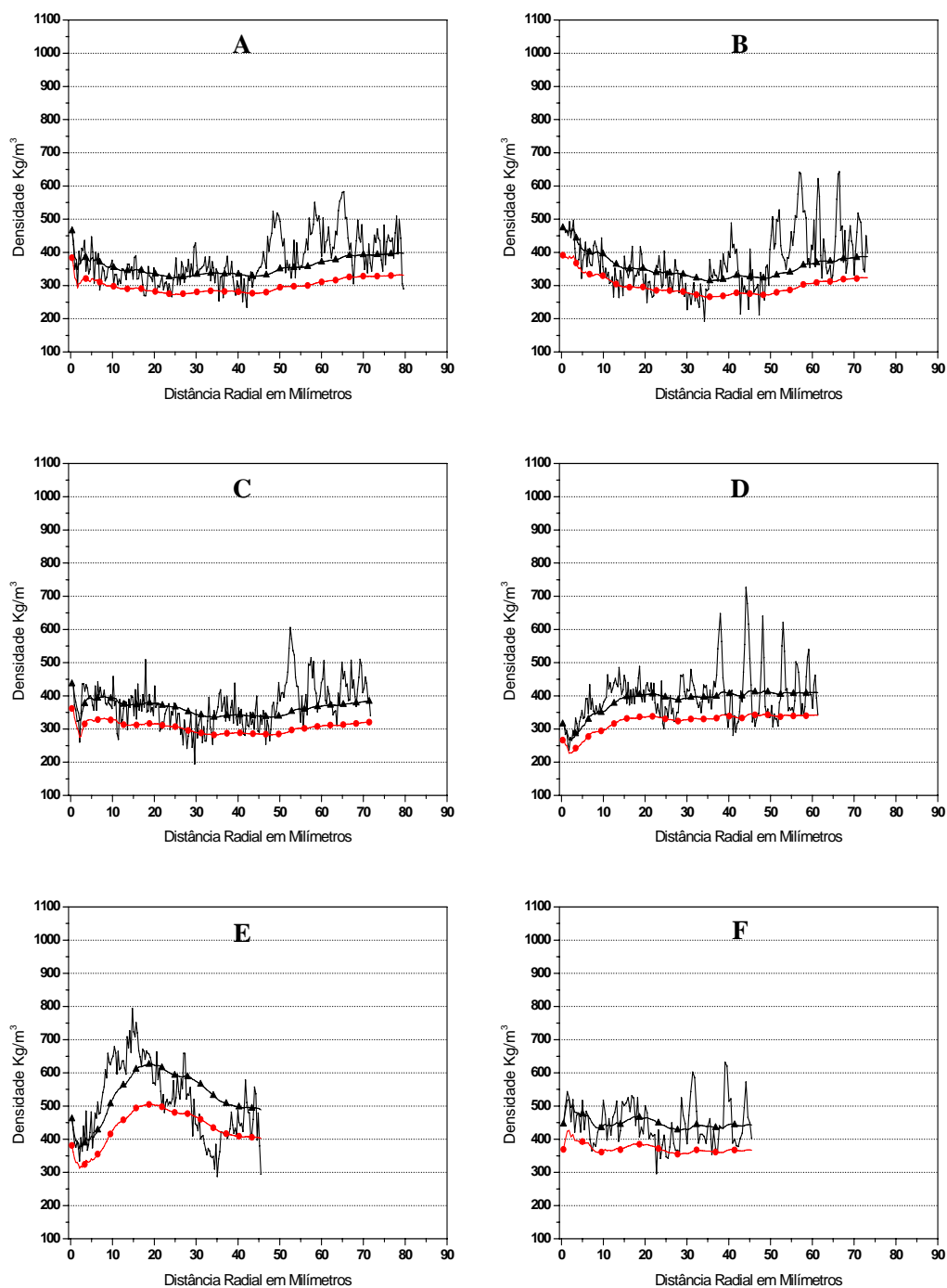


Figura 54 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

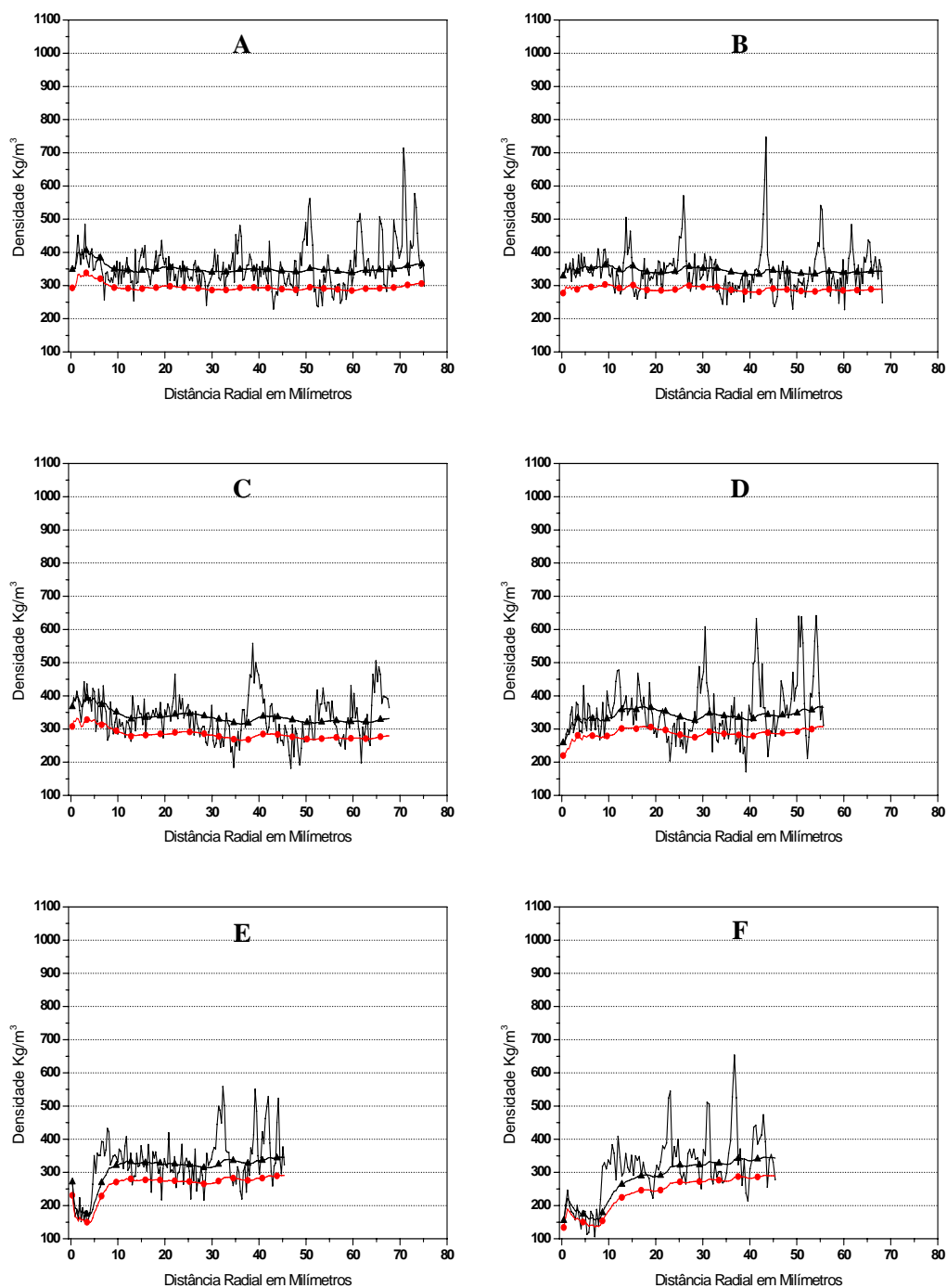


Figura 55 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8H₅, de *Pinus tecunmannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

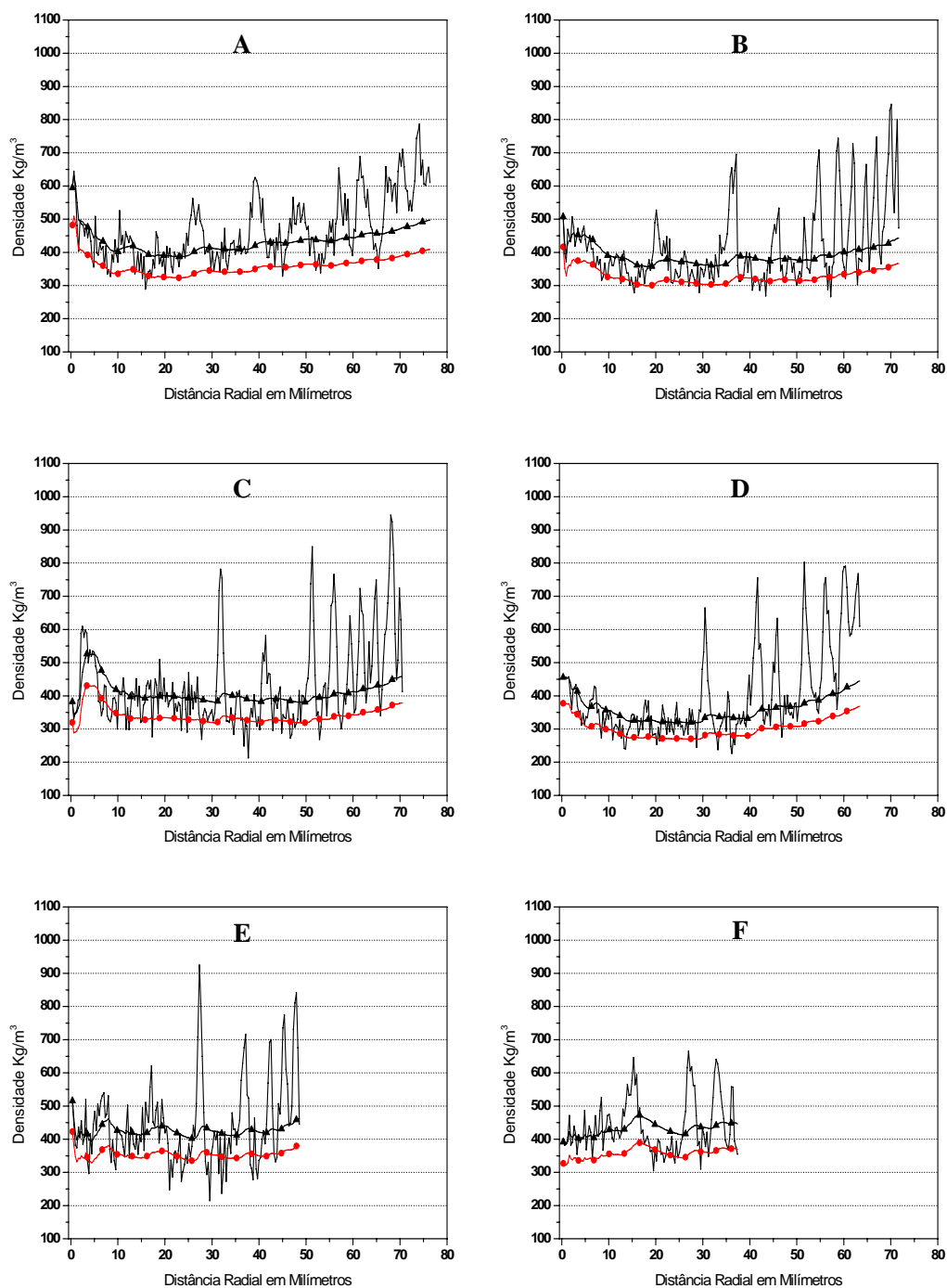


Figura 56 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9H₅, de *Pinus tecunumannii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

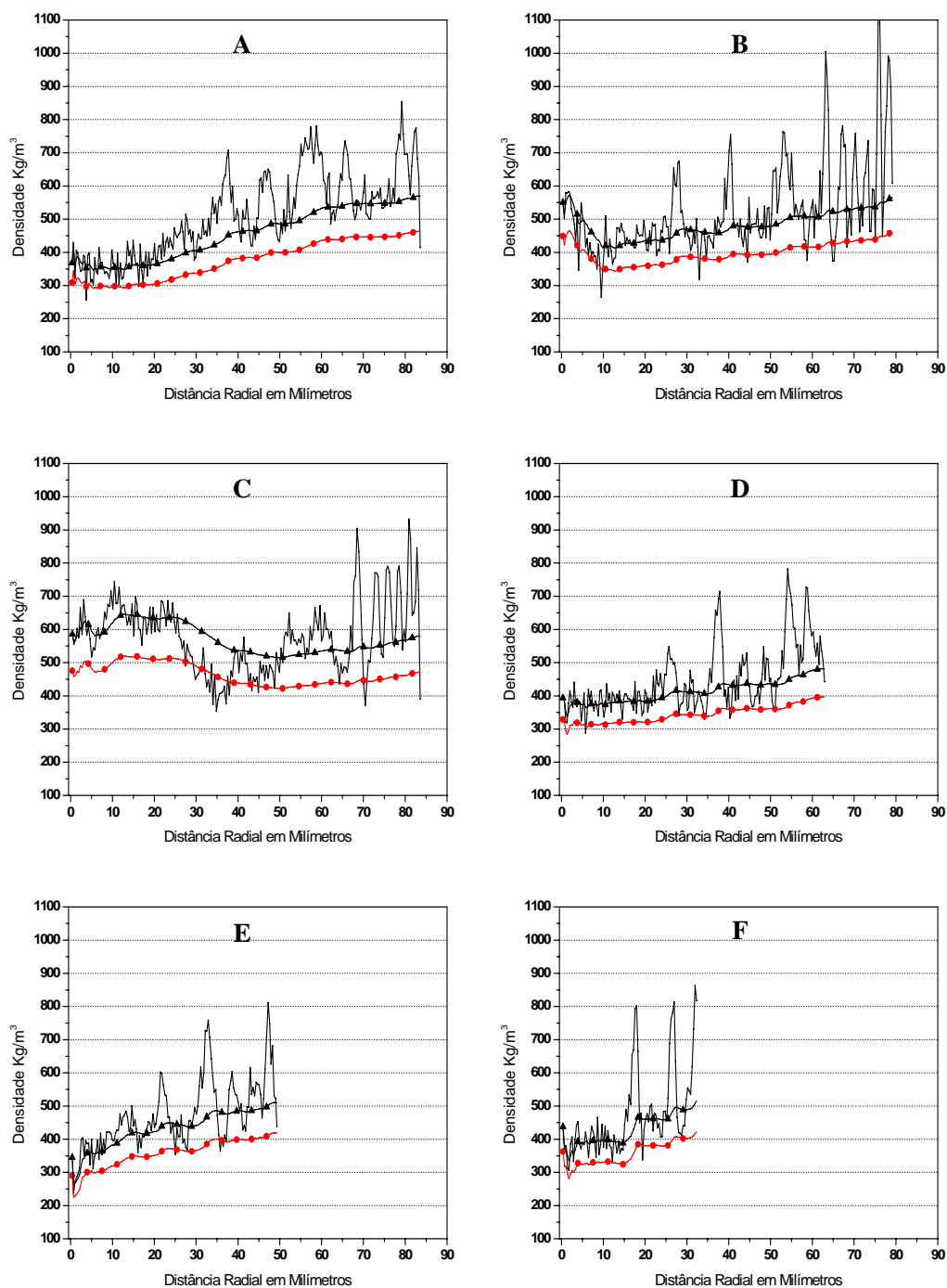


Figura 57 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 1S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

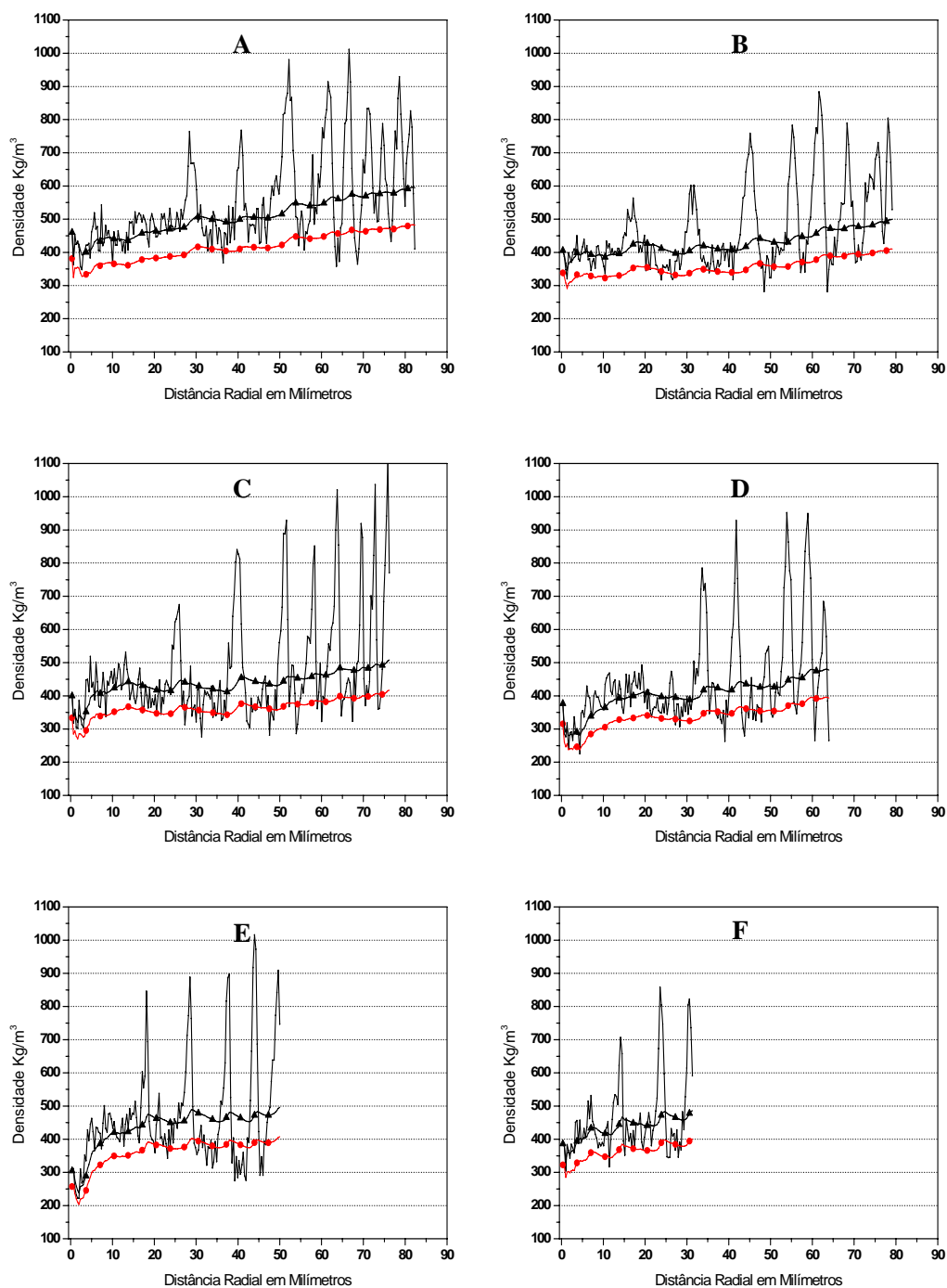


Figura 58 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 2S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

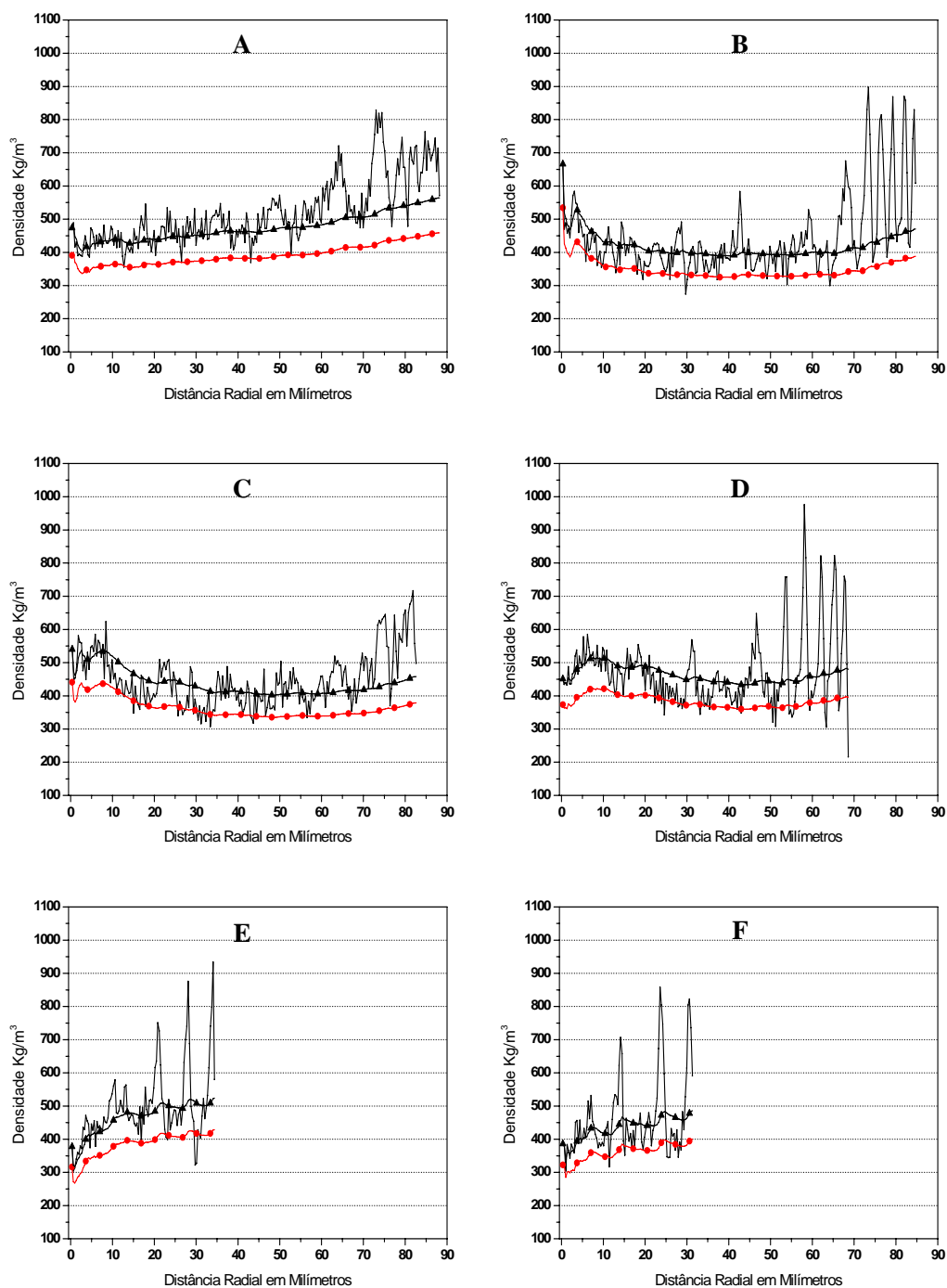


Figura 59 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 3S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

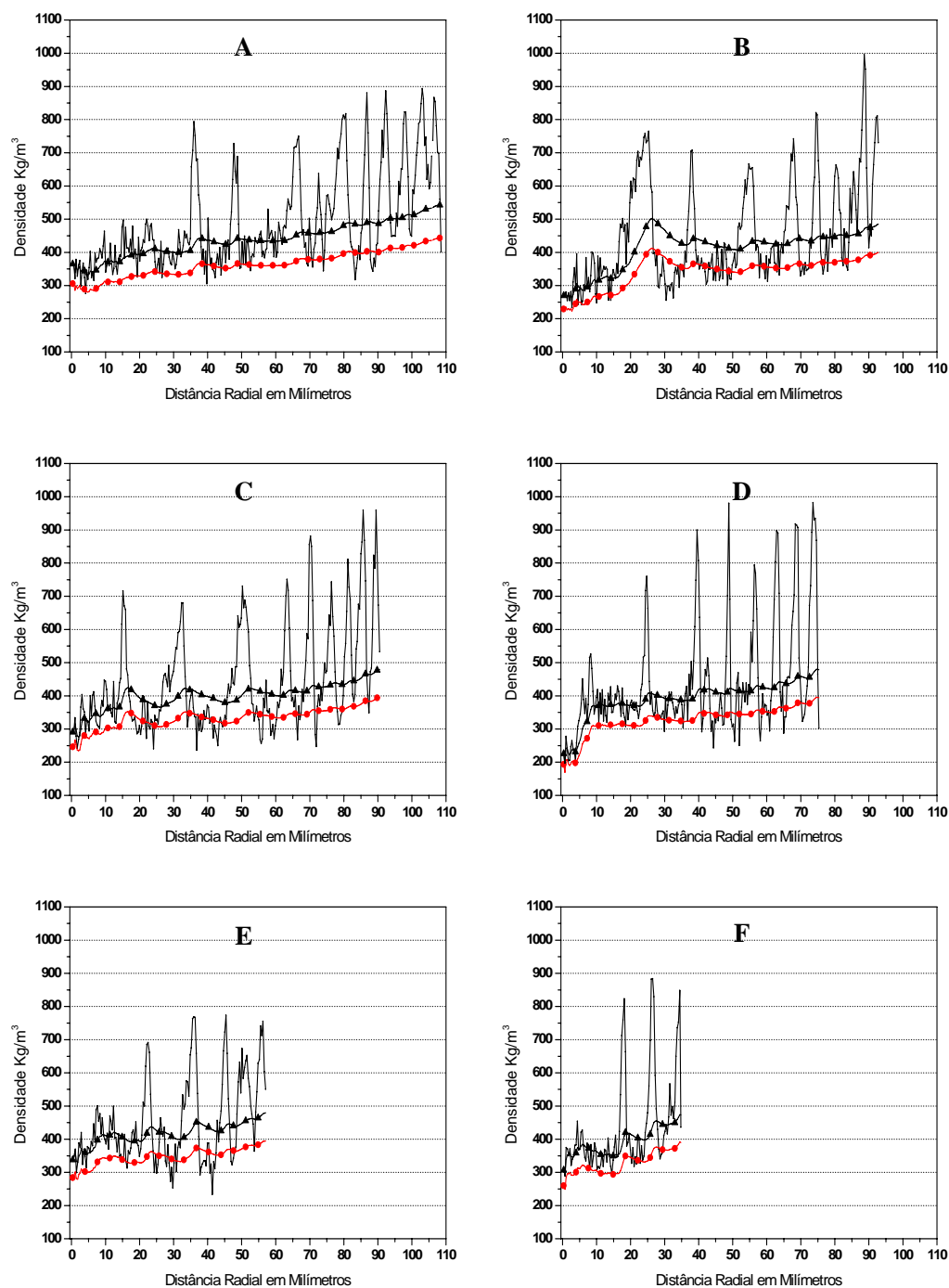


Figura 60 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 4S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

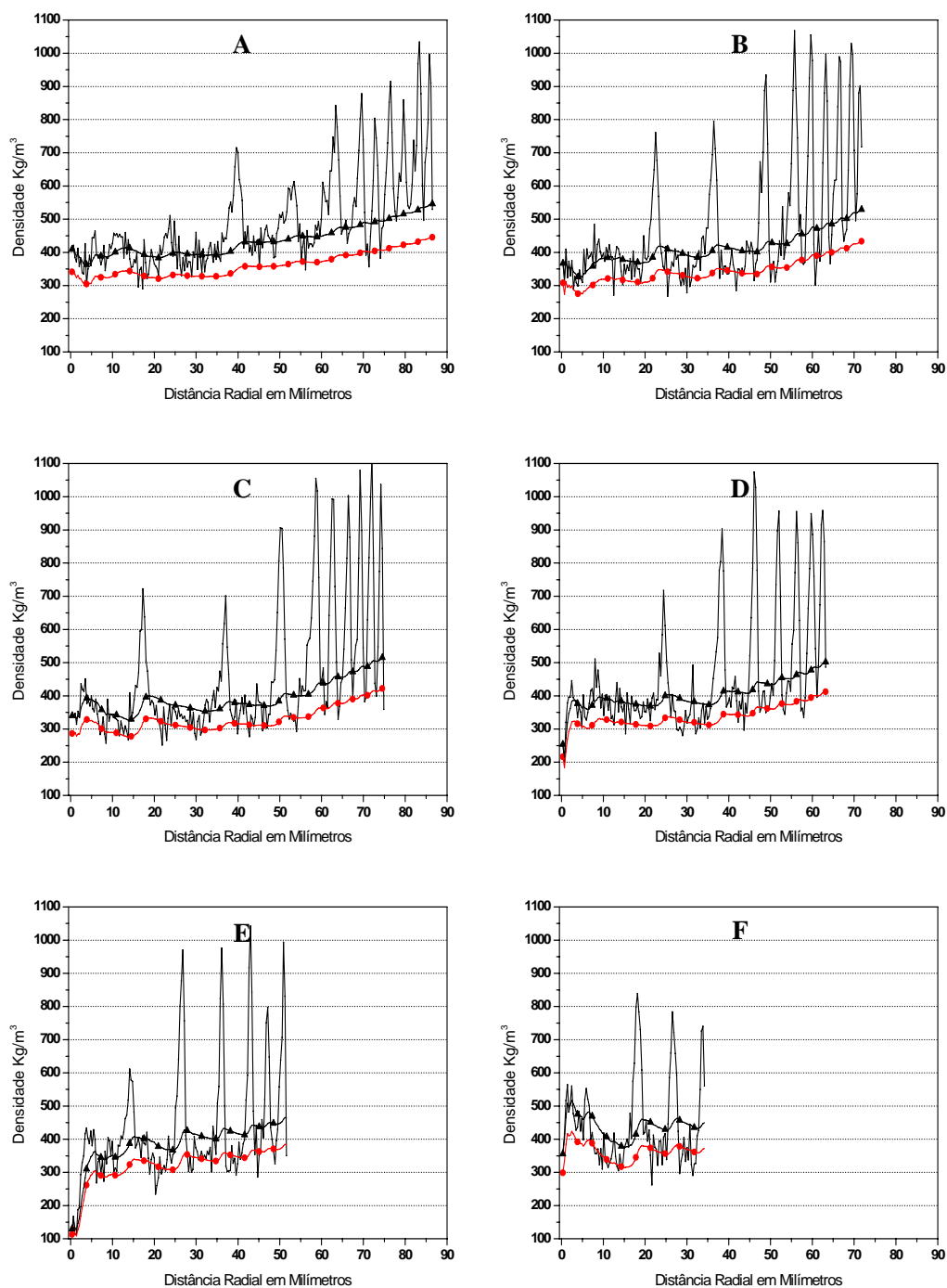


Figura 61 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 5S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

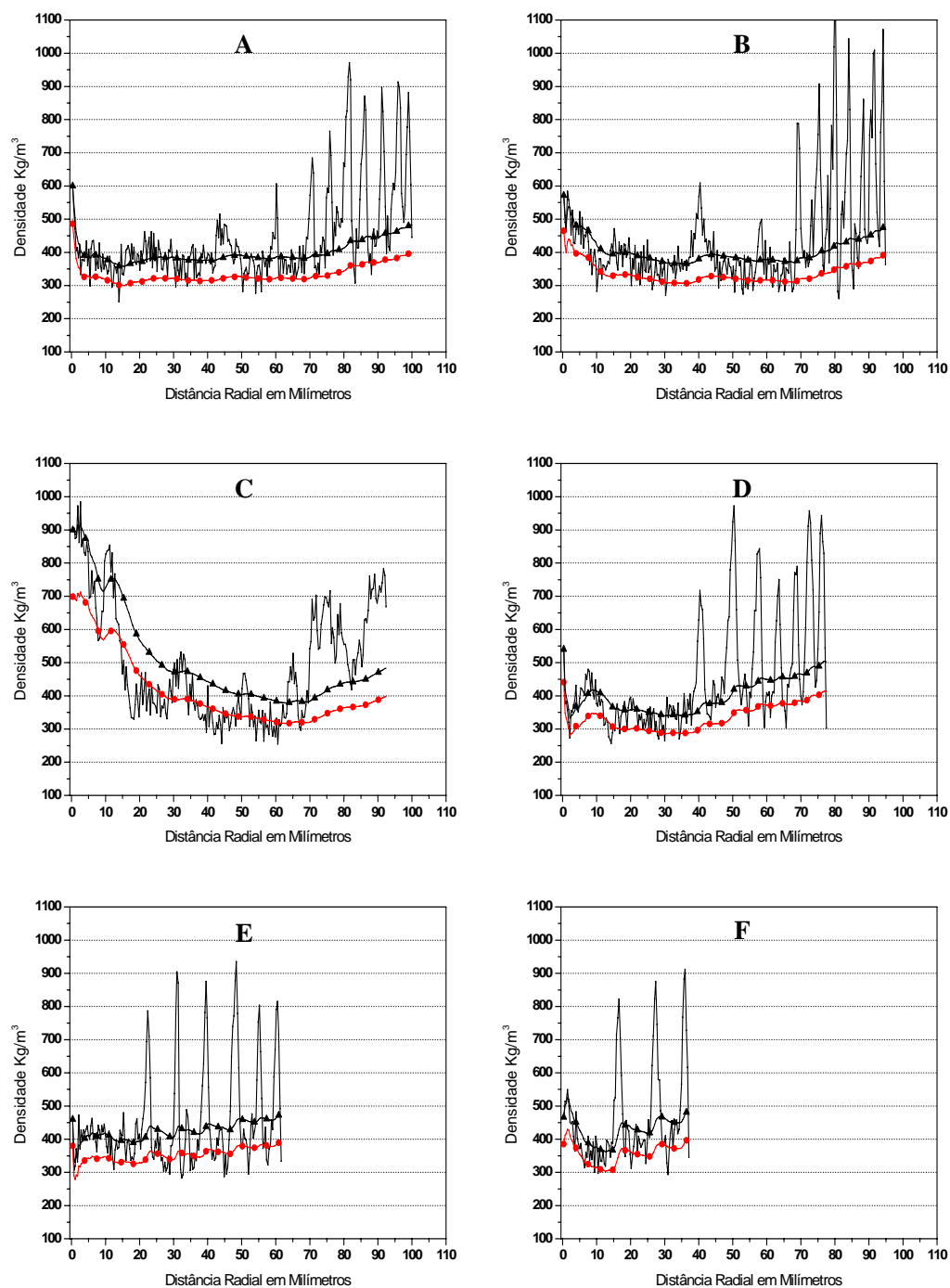


Figura 62 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 6S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---) Densidade Básica 12% (-▲-) Densidade Ponderada

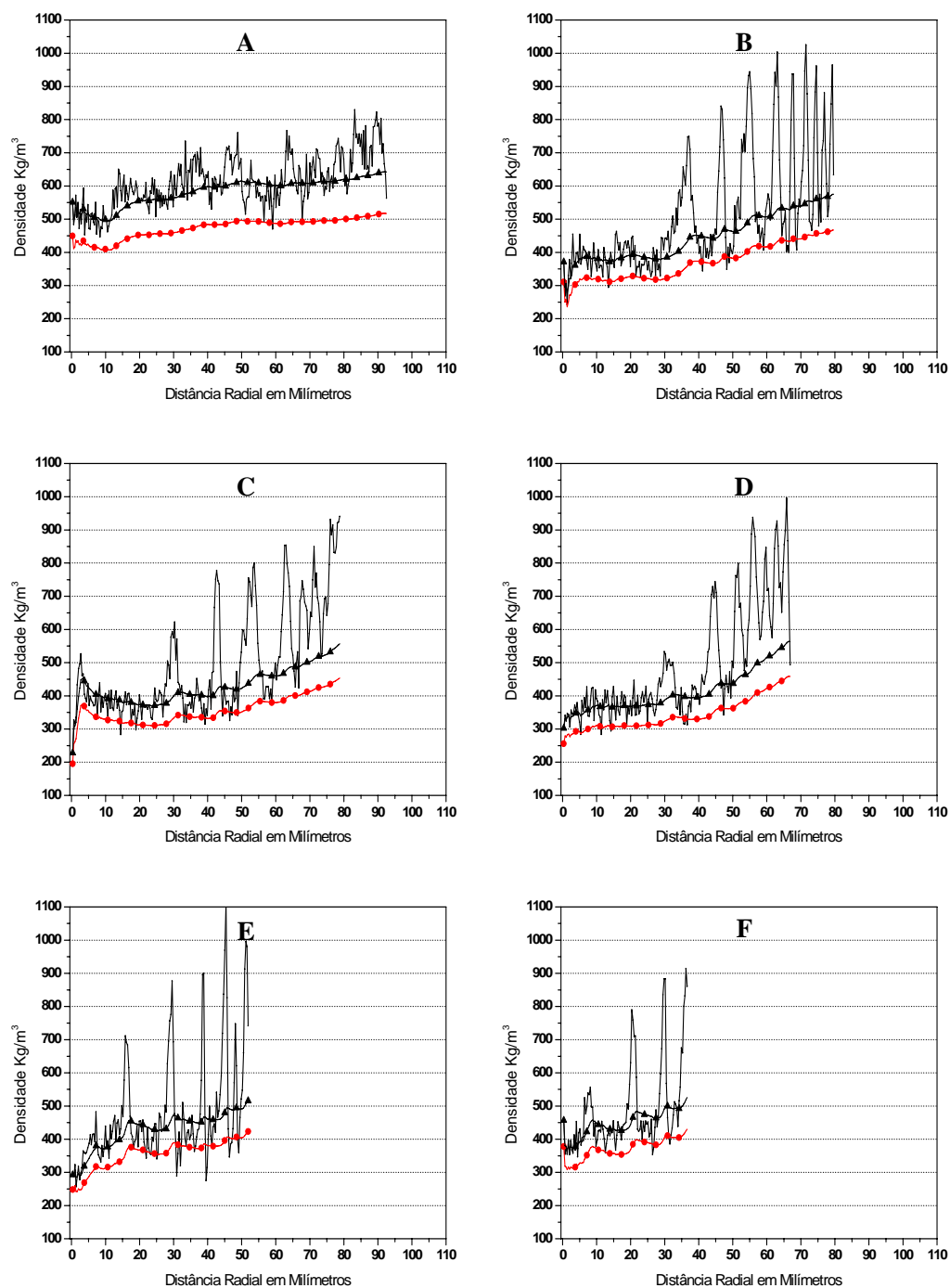


Figura 63 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 7S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

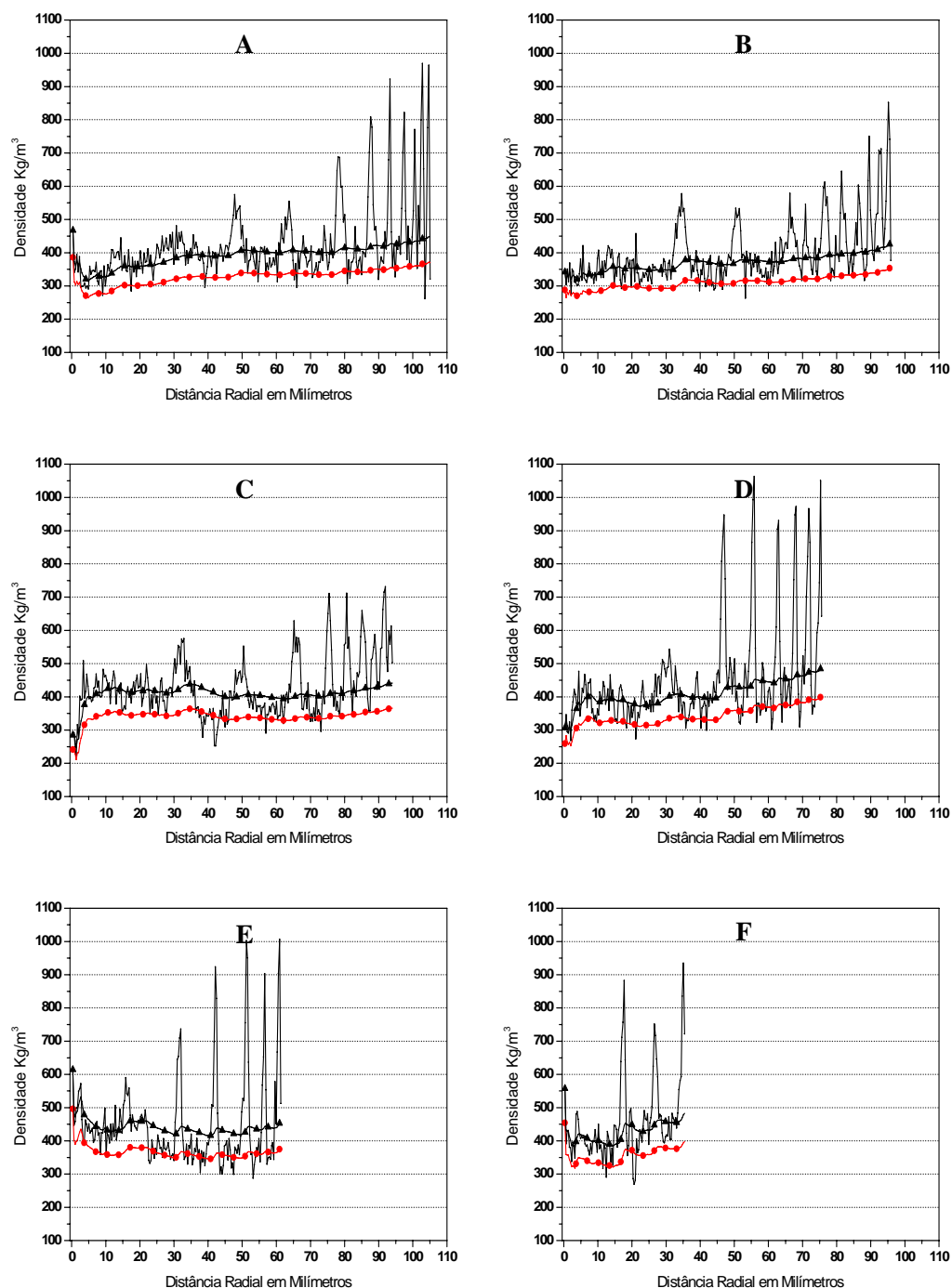


Figura 64 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 8S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.

(—) Densidade Pontual 12% (---●---) Densidade Básica 12% (---▲---) Densidade Ponderada

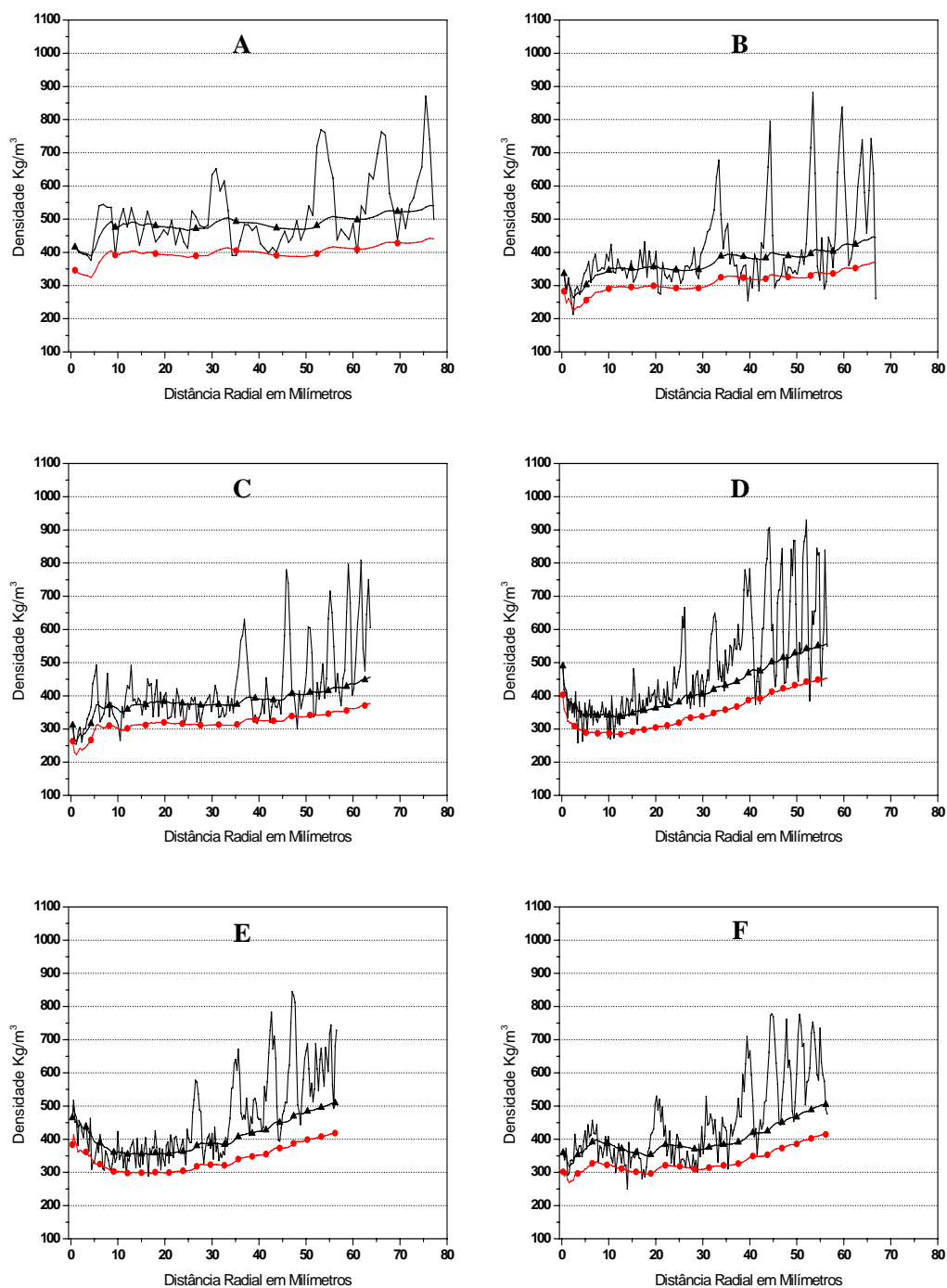


Figura 65 - Valores das densidades pontual a 12%, ponderada a 12% e básica ponderada, em função da distância radial, para os discos nas posições relativas; Base (A), DAP (B), 12,5% de hc (C), 37,5% de hc (D), 62,5% de hc (E), 87,5% de hc (F), na árvore de número 9S, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade de 10,9 anos.