

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA E CARBONO EM  
PLANTAÇÕES DE *Pinus elliottii* Eng. COM DIFERENTES IDADES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ALVARO FELIPE VALERIO**

**IRATI - PR**

**2009**

**ALVARO FELIPE VALERIO**

**QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA E CARBONO EM  
PLANTAÇÕES DE *Pinus elliottii* Eng. COM DIFERENTES IDADES**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick

Orientador

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Co-Orientador

Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Co-Orientador

IRATI - PR

2009

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO - *Campus* de Irati

V164q VALERIO, Alvaro Felipe.  
Qualificação e modelagem da biomassa e carbono em  
plantações de *Pinus elliottii* Eng. com diferentes idades /  
Alvaro Felipe Valerio. – Irati, PR : UNICENTRO, 2009.

111p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do  
Centro-Oeste, PR  
Orientador : Professor Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
Co-orientadores : Professor Dr. Afonso Figueiredo Filho  
Professor Dr. Sebastião do A. Machado

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. *Pinus elliottii*.  
3. Biomassa. 4. Carbono. I. Watzlawick, Luciano Farinha.  
II. Figueiredo Filho, Afonso. III. Machado, Sebastião do  
Amaral.

CDD 20<sup>a</sup> ed. 585.2



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

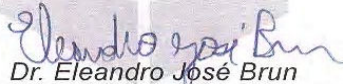
## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

Defesa Nº 08

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, *Campus* de Irati, após arguir o mestrando *Álvaro Felipe Valerio* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Quantificação e modelagem de biomassa e carbono em plantações de *Pinus elliottii* Eng. com diferentes idades", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 21 de dezembro de 2009.




Dr. Eleandro José Brun

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Primeiro Examinador



Dr. Henrique Soares Koehler

Universidade Federal do Paraná  
Segundo Examinador



Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR  
Campus CEDETEC: Rua Simão Campos Verde de Sá, 02 – Fone/FAX: (42) 3620-8100 – CEP 85.040-000 – GUARAPUAVA – PR

Ao meu pai Vanderlei Valerio e a  
minha mãe Isabel Roncatto Valerio.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida;

Ao Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick pela amizade, atenção, companheirismo e boa vontade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa;

Aos co-orientadores Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho e Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado pela confiança e orientação dedicada;

Ao Prof. Henrique S. Koehler pelo permanente apoio e consultas prontamente prestadas ao longo destes anos de estudo;

Aos amigos Engenheiros Florestais Raul Silvestre, Gerson dos Santos Lisboa, e ao técnico Welton Valerio por terem me auxiliado na coleta e organização de dados;

Aos meus pais Isabel e Vanderlei Valerio e a nossa família pelo permanente apoio e incentivo em minha formação pessoal e também profissional;

A Juliana “Ju” pela compreensão, atenção, carinho e apoio constante.

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| LISTA DE TABELAS   | vii  |
| LISTA DE FIGURAS   | viii |
| ANEXOS   | ix   |
| RESUMO   | xi   |
| ABSTRACT   | xii  |
| 1. INTRODUÇÃO  | 01   |
| 2. OBJETIVOS   | 03   |
| 2.1. Objetivos gerais  | 03   |
| 2.2. Objetivos específicos   | 03   |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO   | 04   |
| 3.1. As mudanças climáticas  | 04   |
| 3.2. A importância do gênero <i>Pinus</i>                              | 07   |
| 3.3. A biomassa florestal  | 09   |
| 3.4. Métodos diretos   | 10   |
| 3.5. Métodos indiretos   | 11   |
| 3.6. Biomassa e teores de carbono                                      | 13   |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS   | 16   |
| 4.1. Caracterização da área de estudo                                  | 16   |
| 4.1.1. Localização   | 16   |
| 4.1.2. Clima   | 16   |
| 4.1.3. Geologia  | 17   |
| 4.1.4. Solo  | 17   |
| 4.1.5. Hidrografia   | 18   |
| 4.1.6. Vegetação natural   | 18   |
| 4.2. Materiais utilizados  | 19   |
| 4.2.1. Materiais de expediente   | 19   |
| 4.2.2. Produtos de localização   | 19   |
| 4.2.3. Equipamentos de processamento e aplicativos                     | 20   |
| 4.3. Trabalho de campo   | 20   |
| 4.3.1. Inventário florestal e seleção das unidades amostrais           | 20   |
| 4.3.2. Determinação da biomassa  | 23   |
| 4.3.2.1. Determinação da biomassa acima do solo                        | 24   |
| 4.3.2.2. Determinação da biomassa de raízes                            | 24   |
| 4.3.2.3. Determinação do teor de umidade e carbono orgânico            | 25   |
| 4.3.2.4. Processamento dos dados de carbono                            | 25   |
| 4.3.2.5. Cálculos da biomassa seca e carbono orgânico                  | 26   |
| 4.4. Tratamento estatístico dos dados                                  | 26   |
| 4.4.1. Cálculo do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) | 28   |
| 4.4.2. Erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ )             | 29   |
| 4.4.3. Estatística F   | 30   |
| 4.4.4. Análise da distribuição gráfica dos resíduos                    | 31   |
| 4.4.5. Teste de comparação de médias                                   | 31   |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES   | 32   |
| 5.1. Relações quantitativas entre componentes                          | 32   |
| 5.1.1. Estatística descritiva de biomassa                              | 32   |
| 5.1.2. Evolução do estoque acumulado                                   | 33   |
| 5.1.3. Percentual de biomassa e carbono por componente                 | 35   |
| 5.1.4. Correlação das variáveis analisadas com a biomassa              | 39   |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 5.1.5.   | Correlação das variáveis analisadas com o carbono                     | 40 |
| 5.1.6.   | Comparação entre os teores de carbono dos componentes analisados      | 41 |
| 5.1.6.1. | Comparação entre os teores de carbono para árvores de 1 a 25 anos     | 43 |
| 5.1.6.2. | Comparação entre os teores de carbono para árvores entre 15 e 25 anos | 44 |
| 5.2.     | Ajuste de equações para estimativa de biomassa e carbono fixado       | 46 |
| 5.2.1.   | Peso total de biomassa e carbono                                      | 46 |
| 5.2.2.   | Peso de biomassa e carbono dos componentes acima do solo              | 49 |
| 5.2.3.   | Peso de biomassa e carbono da madeira do fuste                        | 52 |
| 5.2.4.   | Peso de biomassa e carbono das acículas                               | 55 |
| 5.2.5.   | Peso de biomassa e carbono dos galhos vivos                           | 57 |
| 5.2.6.   | Peso de biomassa e carbono de galhos mortos                           | 60 |
| 5.2.7.   | Peso de biomassa e carbono da casca do fuste                          | 63 |
| 5.2.8.   | Peso de biomassa e carbono da estrutura reprodutiva                   | 66 |
| 5.2.9.   | Peso de biomassa e carbono de raízes                                  | 68 |
| 6.       | CONCLUSÕES  | 72 |
| 7.       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS  | 74 |
| 8.       | ANEXOS  | 94 |



## LISTA DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela 1.  | Possíveis impactos decorrentes do aquecimento global e as mudanças no clima  | 05 |
| Tabela 2.  | Informações dendrométricas dos povoamentos de <i>Pinus elliottii</i> Eng. amostrados em diferentes idades, Clevelândia (PR), 2009.                           | 22 |
| Tabela 3.  | Modelos matemáticos testados para estimar a biomassa e carbono dos distintos componentes de <i>Pinus elliottii</i> Eng., em Clevelândia – Pr.                | 27 |
| Tabela 4.  | Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas e de biomassa (kg/árvore) das amostras de <i>Pinus elliottii</i> Eng. para povoamentos de 1 a 25 anos. | 32 |
| Tabela 5.  | Correlação linear simples entre as variáveis dendrométricas e a biomassa de <i>Pinus elliottii</i> Eng. em plantios de 1 a 25 anos.                          | 39 |
| Tabela 6.  | Correlação linear simples entre as variáveis dendrométricas e o carbono da árvore de <i>Pinus elliottii</i> Eng. em plantios de 1 a 25 anos.                 | 41 |
| Tabela 7.  | Análise de variância dos teores de carbono ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) entre as diferentes partes avaliadas.  | 43 |
| Tabela 8.  | Comparação entre as médias dos teores de carbono ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) nos componentes de <i>Pinus elliottii</i> Eng. comparados pelo teste de Duncan.      | 43 |
| Tabela 9.  | Análise de variância dos teores de carbono ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) entre os diferentes componentes avaliados.   | 45 |
| Tabela 10. | Comparação entre as médias dos teores de carbono ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) nos componentes de <i>Pinus elliottii</i> Eng. comparados pelo teste de Duncan.      | 45 |
| Tabela 11. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono total em povoamentos de <i>Pinus elliottii</i> Eng.                                      | 46 |
| Tabela 12. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono dos componentes acima do solo.   | 49 |
| Tabela 13. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono da madeira do fuste.   | 52 |
| Tabela 14. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono das acículas.  | 55 |
| Tabela 15. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono dos galhos vivos.  | 58 |
| Tabela 16. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono dos galhos mortos.   | 61 |
| Tabela 17. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono da casca do fuste.   | 64 |
| Tabela 18. | Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono da estrutura reprodutiva.  | 67 |
| Tabela 19. | Equações de melhor desempenho para estimativa de biomassa e carbono da raiz.   | 69 |

## LISTA DE FIGURAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1.  | Croqui de localização da região de estudo, Clevelândia (PR)   | 16 |
| Figura 2.  | Localização dos povoamentos de <i>Pinus elliottii</i> Eng. amostrados em Clevelândia (PR)   | 21 |
| Figura 3.  | Teoria baseada na curva de distribuição normal para seleção diamétrica das árvores utilizadas na quantificação da biomassa                        | 23 |
| Figura 4.  | Evolução do acumulado de biomassa e carbono nos componentes de <i>Pinus elliottii</i> Eng.  | 34 |
| Figura 5.  | Participação percentual dos componentes acima do solo na biomassa e no carbono de <i>Pinus elliottii</i> Eng. para 1 a 25 anos.                   | 36 |
| Figura 6.  | Participação percentual das partes componentes da biomassa e do carbono total de <i>Pinus elliottii</i> Eng. para 1 a 25 anos.                    | 38 |
| Figura 7.  | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa total de <i>Pinus elliottii</i> Eng.                    | 47 |
| Figura 8.  | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono total de <i>Pinus elliottii</i> Eng.                     | 48 |
| Figura 9.  | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa acima do solo de <i>Pinus elliottii</i> Eng.            | 50 |
| Figura 10. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono acima do solo de <i>Pinus elliottii</i> Eng.             | 51 |
| Figura 11. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa da madeira do fuste de <i>Pinus elliottii</i> Eng.      | 53 |
| Figura 12. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono da madeira do fuste de <i>Pinus elliottii</i> Eng.       | 54 |
| Figura 13. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa das acículas de <i>Pinus elliottii</i> Eng.             | 56 |
| Figura 14. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono das acículas de <i>Pinus elliottii</i> Eng.              | 57 |
| Figura 15. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa dos galhos vivos de <i>Pinus elliottii</i> Eng.         | 59 |
| Figura 16. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono dos galhos vivos de <i>Pinus elliottii</i> Eng.          | 60 |
| Figura 17. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa dos galhos mortos de <i>Pinus elliottii</i> Eng.        | 62 |
| Figura 18. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono dos galhos mortos de <i>Pinus elliottii</i> Eng.         | 63 |
| Figura 19. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa na casca do fuste de <i>Pinus elliottii</i> Eng.        | 65 |
| Figura 20. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono da casca do fuste de <i>Pinus elliottii</i> Eng.         | 66 |
| Figura 21. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa da estrutura reprodutiva de <i>Pinus elliottii</i> Eng. | 67 |
| Figura 22. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono da estrutura reprodutiva de <i>Pinus elliottii</i> Eng.  | 68 |
| Figura 23. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa das raízes de <i>Pinus elliottii</i> Eng.               | 70 |
| Figura 24. | Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono das raízes de <i>Pinus elliottii</i> Eng.                | 71 |

## ANEXOS

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Anexo 1.  | Resultados do ajuste dos modelos que estimam a biomassa total (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.                                    | 94  |
| Anexo 2.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa acima do solo (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.              | 95  |
| Anexo 3.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa do fuste, em kg, em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.                        | 96  |
| Anexo 4.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa das acículas (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.               | 97  |
| Anexo 5.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa dos galhos vivos (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.           | 98  |
| Anexo 6.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa de galhos mortos (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.           | 99  |
| Anexo 7.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa da casca (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.                   | 100 |
| Anexo 8.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa da casca (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.                   | 101 |
| Anexo 9.  | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa das raízes (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.                 | 102 |
| Anexo 10. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono total da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.             | 103 |
| Anexo 11. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono aéreo da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.             | 104 |
| Anexo 12. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono do fuste da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.          | 105 |
| Anexo 13. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono das acículas da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.      | 106 |
| Anexo 14. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono dos galhos vivos da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.  | 107 |
| Anexo 15. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono dos galhos mortos da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F. | 108 |
| Anexo 16. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono da   | 109 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
|           | casca da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.   |     |
| Anexo 17. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono da estrutura reprodutiva (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F. | 110 |
| Anexo 18. | Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono da raiz (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas $R^2$ aj., $S_{yx}\%$ e F.                  | 111 |

## RESUMO

Alvaro Felipe Valerio. Quantificação e Modelagem da Biomassa e Carbono em Plantações de *Pinus elliottii* Eng. com Diferentes Idades.

Este trabalho teve como objetivo quantificar e modelar a biomassa e o carbono em plantações de *Pinus elliottii* Eng. com diferentes idades no município de Clevelândia, estado do Paraná. Os dados para realização deste estudo são provenientes de 25 povoamentos com idades de 1 a 25 anos, totalizando 125 árvores, sendo 5 para cada idade. As árvores foram derrubadas e seccionadas nos compartimentos: acículas, galhos vivos, galhos mortos, raízes, estrutura reprodutiva, madeira do fuste e casca do fuste. Em seguida, uma amostra de cada componente foi tomada para a obtenção de matéria seca. Posteriormente, procedeu-se com uma amostra composta por idade a realização da análise química, determinando as concentrações de carbono para cada componente da árvore. Para avaliar a diferenças dos teores de carbono dos distintos compartimentos da biomassa, foram utilizados a análise de variância e o teste de Duncan. A distribuição da biomassa e do carbono acumulados nos distintos componentes se distribuiu na ordem: madeira do fuste > raiz > casca > galhos vivos > acículas (estrutura fotossintética) > galhos mortos e estrutura reprodutiva. Portanto, estudos sobre a avaliação do potencial de fixação de carbono em reflorestamentos não devem desprezar a determinação do sistema radicular da árvore, visto que sua contribuição para o total é bastante expressiva. O maior teor de carbono foi obtido pelos componentes casca ( $0,456\text{g.kg}^{-1}$ ) e acículas ( $0,455\text{g.kg}^{-1}$ ) e o menor para os galhos mortos ( $0,427\text{g.kg}^{-1}$ ). Constatou-se diferenças estatisticamente significativas do teor de carbono entre os componentes analisados, não sendo adequada a utilização de um fator médio de conversão de peso seco para peso de carbono para os componentes analisados. Visando a obtenção de estimativas do peso de biomassa e carbono nos diferentes compartimentos da árvore por meio de variáveis dendrométricas, foram ajustados vários modelos matemáticos, dentre eles, modelos tradicionalmente encontrados na literatura florestal. De uma maneira geral, a quantidade de biomassa e carbono apresentaram boas relações com as variáveis dendrométricas, resultando em equações satisfatórias, exceto para os componentes galhos mortos e estrutura reprodutiva. As equações geradas para estimativa de peso total e dos componentes arbóreos da biomassa e do carbono fixado pelas árvores de *Pinus elliottii* Eng., são importantes ferramentas para análises técnicas, planejamento de projetos e estudos de viabilidade visando participar do mercado de créditos de carbono.

Palavras-chave: *Pinus elliottii*, biomassa, carbono, equações.

## ABSTRACT

Alvaro Felipe Valerio. Quantification and Modeling of Biomass and Carbon *Pinus elliottii* Eng. at Different Ages.

The aims of this dissertation were to quantify and to modelling the biomass and carbon for *Pinus elliottii* Eng. at different ages. The data for this came from 125 trees sampled from plantations in the city of Cleveland, State of Paraná, Brazil. The trees were cut down and their components were separated in: leaves, live branches, dead branches, root, reproductive structure, stem wood and bark. Then, a composite sample of each component was taken to obtain dry matter. Later on, chemical analysis was proceeded to determine carbon concentrations for each tree component. To evaluate concentrations and carbono a completely random experimental design was used, where the statistical analysis was constituted by Bartlett's test, analysis of variance and Duncan's test. The distribution of biomass and carbon accumulation in different components was distributed in the order: stem Wood > root > bark > live branches > needles (structure photosynthetic) > dead branches and reproductive structures. Therefore, studies assessing the potential for carbon sequestration in reforestation should not overlook the determination root of the tree, since its contribution to the total is quite impressive. The higher carbon content was obtained by the shell components (45.60%) and needles (45.48%) and lowest for the dead branches (42.74%). We found statistically significant differences in carbon content among the components analyzed, it is not appropriate to use an average conversion factor of dry weight to carbon weight for the components analyzed. Several mathematical models were fitted intending to obtain biomass and carbon estimates for different tree components using tree dimensions, being them traditional volume models found in the literature. In general, the amount of biomass and carbon had good relations with the variables dendrometrical, resulting in equations satisfactory, except for the components of dead branches and reproductive structures. The generated equations to estimate the total weight of components and tree biomass and carbon fixed by trees of *Pinus elliottii* Eng, are important tools for technical analysis, project planning and feasibility studies in order to participate in the market for carbon credits.

Key Words: *Pinus elliottii*, biomass, carbon, equation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os grandes investimentos para o crescimento econômico dos Países após a Segunda Guerra Mundial promoveu o desenvolvimento das atividades agrícolas, comerciais e industriais, com base em práticas imediatistas e não sustentáveis, tais como, queimadas, conversão do uso original da terra e a consolidação do petróleo como principal matriz energética.

Em conjunto a estes fenômenos, observou-se, em paralelo, a emissão de grandes quantidades de gás carbônico, resultando no aumento significativo de sua concentração na atmosfera, o que vem causando preocupações na seara ambiental, científica, política e social, sendo tratado como tema diplomático e de interesse mútuo entre as nações. Algumas perspectivas apontam que o aumento da concentração do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera pode apresentar como consequência, a elevação da temperatura média global entre 1,5° C a 4,5° C até o ano de 2050, o que ocasionaria transtornos de grandes proporções procedentes da mudança do clima no planeta.

Diante dos problemas preditos com relação às alterações do clima, constituiu-se em 1992 a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (Convenção do Clima) tendo por objetivo a proposição de medidas para que Países desenvolvidos reduzam suas emissões. Sucedendo a este evento, no ano de 1997, a 3ª Conferência da Partes realizada na cidade de Quioto (Japão) destacou-se pela elaboração do Protocolo de Quioto, estabelecendo a meta de redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) entre os anos de 2008 a 2012 em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990.

Definidas as metas de reduções de emissões, convencionou-se mecanismos de flexibilização para seu alcance, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que durante a 7ª Conferência da Partes realizada em Marrakesh em 2001, teve suas regras operacionais determinadas, possibilitando a inclusão de projetos florestais como uma alternativa mitigatória para compensação de emissões. Tal iniciativa encontra amparo científico e fundamentação técnica na composição da biomassa florestal, constituída por parte significativa de carbono, resultante de sua absorção da

atmosfera e posterior armazenamento em seus distintos componentes durante a atividade fotossintética.

Diante desta possibilidade, o interesse em relação às florestas plantadas com rápido crescimento como fixadoras de carbono tornou-se evidente, havendo a necessidade do desenvolvimento de metodologias e técnicas adequadas para determinação e correto entendimento do volume de biomassa e carbono acumulados.

São poucos os estudos de quantificação de biomassa e carbono, pois os mesmos demandam trabalho, tempo e recursos financeiros. No entanto, sua determinação pode ser obtida por meio de métodos diretos e indiretos, onde o primeiro exige o corte das árvores e a pesagem de seus componentes separadamente e o segundo utiliza-se de dados precisos obtidos pelo método direto, para aplicação de técnicas de modelagem matemática ou de análise de imagens orbitais para realização de estimativas.

A estimativa de biomassa é imprescindível aos estudos do balanço global de carbono (KETTERINGS et al., 2001). Assim, a avaliação acurada da biomassa florestal e seu padrão de mudança no tempo é um pré-requisito para ajudar a entender a função das florestas no ciclo do carbono (SEDJO, 1992; FAN et al., 1998; BROWN et al., 1999).

Desta forma, o método indireto constituído pela modelagem matemática possibilita, de forma objetiva, a obtenção de estimativas confiáveis, com maior rapidez e menor custo, tendo como fundamento a associação de dados de difícil obtenção como, o conteúdo de biomassa e carbono, com dados de fácil obtenção, como diâmetro e altura total das árvores, provenientes de inventários florestais.

Portanto, é de extrema importância o conhecimento da biomassa e do carbono estocado nos povoamentos florestais, bem como em seus distintos componentes. Para tanto, torna-se necessário o aperfeiçoamento de métodos de estimativas indiretas, buscando-se chegar a resultado confiável, por meio do desenvolvimento e uso de equações matemáticas apropriadas, utilizando dados originários de inventários florestais e assim, permitir o monitoramento e o entendimento das mudanças mais significativas nestas plantações, obtendo-se a quantidade de biomassa e carbono retidos nas mesmas para uma determinada espécie.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

O objetivo geral consistiu na quantificação de biomassa e carbono estocado em árvores de *Pinus elliottii* Eng. em diferentes idades em seus distintos componentes, bem como, o ajuste de modelos matemáticos para estimativas, em Clevelândia – Pr.

### 2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Quantificar e descrever as relações alométricas para biomassa e o carbono estocado em árvores de *Pinus elliottii* Eng. de 1 a 25 anos, nos componentes: acículas, madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos mortos, estrutura reprodutiva e raízes;
- Realizar análises estatísticas das variáveis de inventário florestal (DAP, h), verificando sua correlação com os dados de biomassa e carbono;
- Ajustar modelos matemáticos para gerar estimativas confiáveis de biomassa e carbono total e de seus compartimentos em função de variáveis provenientes de inventário florestal para todas as idades;
- Testar a real existência de diferenças no teor de carbono entre os componentes: acículas, madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos mortos, estrutura reprodutiva e raiz.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. As mudanças climáticas

O Efeito Estufa (EE) é um fenômeno natural que mantém a atmosfera da Terra em torno de 30º C mais quente do que ela seria com sua ausência, permitindo a existência de água em estado líquido na superfície terrestre e tornando-se a base para a evolução biológica e possibilitando a manutenção da vida no planeta (PACIORNIK e MACHADO FILHO, 2000; IPCC, 1995).

Os Gases do Efeito Estufa (GEE) ocorrem naturalmente na atmosfera terrestre, e de acordo com a UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2003) os principais responsáveis por tal fenômeno, são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbono (HFCs), perfluorcarbono (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

Entretanto, a utilização de combustíveis fósseis, operações de desmatamentos seguidos por queimadas e a conversão do uso original da terra resultam em substancial aumento das emissões, e conseqüentemente em maior concentração destes elementos na atmosfera terrestre, tornando-a mais espessa e impedindo que a energia luminosa emitida pelo sol e refletida pela superfície da terra na forma de energia calorífica seja liberada para o espaço, promovendo o aumento da temperatura global média e as mudanças no clima.

As mudanças climáticas se constituem em uma das mais graves ameaças para os ecossistemas e para a humanidade (RENNER, 2004). Esta alteração afeta, de maneira direta e indireta, os ciclos biogeoquímicos, que são a base do funcionamento dos sistemas naturais do planeta. O ciclo que está diretamente relacionado a esse processo é o ciclo do carbono (MARTINS, 2004).

Dados de uma série de indicadores ambientais têm demonstrado que, em linhas gerais, há uma forte correlação entre o aumento das concentrações de gases de efeito estufa e a temperatura média junto à superfície da Terra, com impactos em

escala global já detectados pelos cientistas (SANTOS, 2000). Algumas previsões apontam para um aumento da intensidade de tempestades, períodos mais prolongados de secas, mudanças na circulação das correntes oceânicas, levando a aceleração do ciclo hidrológico e culminando em cenários catastróficos (SCHWARTZ e RANDALL, 2003).

Todos os países serão afetados em decorrência do aquecimento global, com impactos ambientais, econômicos e sociais, no entanto, estes eventos serão sentidos de maneira diferenciada, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Possíveis impactos decorrentes do aquecimento global e as mudanças no clima.

| Região | Prováveis Impactos  |
|--------|---|
| África | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Diminuição da produção agrícola e comprometimento do acesso a comida.</li> <li>b) Diminuição da disponibilidade de água na região do Mediterrâneo e países do sul.</li> <li>c) Aumento de vetores de doenças.</li> <li>d) Aumento do nível do mar e deslocamento de pessoas, com custos estimados entre 5 a 10% do PIB.</li> <li>e) Aumento no processo de desertificação.</li> <li>f) Extinção de animais e plantas.</li> <li>g) Redução do turismo e da pesca.</li> </ul> |
| Ásia   | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Diminuição da produção agrícola em até 30% na região centro sul e aumento em até 20% no leste e sudoeste.</li> <li>b) Diminuição da disponibilidade de água doce nas regiões centrais, sul, leste e sudoeste.</li> <li>c) Derretimento das geleiras do Himalaia e aumento da incidência de inundações e avalanches.</li> </ul>  |

|                           |  |
|---------------------------|--|
|                           | <p>d) Regiões densamente povoadas (sul, leste e sudoeste) sob risco de inundações.</p> <p>e) Aumento do nível do mar e deslocamento de pessoas.</p>  |
| Austrália e Nova Zelândia | <p>a) Dificuldades de abastecimento de água e diminuição da disponibilidade.</p> <p>b) Significativa perda de biodiversidade com a extinção de animais e plantas até 2020.</p> <p>c) Aumento da intensidade e frequência de tempestades e inundações costeiras.</p> <p>d) Aumento de secas e queimadas resultando na redução da produção florestal e agrícola até 2030.</p> <p>e) Diminuição de geadas e aumento nos índices de chuva, resultando na ampliação do período de plantio e benefícios iniciais na produção florestal e agrícola para a região sul e oeste da Nova Zelândia</p> |
| Europa                    | <p>a) Retração das geleiras em áreas montanhosas.</p> <p>b) Aumento de diferenças regionais e acentuação de contrastes sociais.</p> <p>c) Impactos na saúde devido às ondas de calor com magnitudes sem precedentes.</p> <p>d) Aumento da produção agrícola em algumas regiões.</p> <p>e) Redução da disponibilidade de água e do potencial elétrico.</p> <p>f) Declínio da produção florestal e aumento de incêndios.</p> <p>g) Redução do turismo.</p>   |
| América Latina            | <p>a) Diminuição da produtividade agrícola.</p> <p>b) Substituição gradual da floresta tropical do leste da Amazônia pela savana.</p>  |

- c) Perda de biodiversidade por meio de extinção de espécies.
- d) Em regiões mais secas, projeta-se a salinização e a desertificação de áreas destinadas a agricultura.
- e) Mudanças nos padrões de precipitação.
- f) Desaparecimento das geleiras e comprometimento da oferta de água para o consumo humano, agricultura e geração de energia.
- g) Nas zonas temperadas as plantações de soja tendem a aumentar.
- h) Aumento de vetores de doenças.
- i) Extinção de animais e plantas.

---

|                  |  |
|------------------|--|
|                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Aumento da produção agrícola de algumas regiões.</li> <li>b) Aumento de vetores de doenças e disseminação de pestes.</li> </ul>  |
| América do Norte | <ul style="list-style-type: none"> <li>c) Diminuição da calota polar e aumento das rotas navegáveis nos mares do norte.</li> <li>d) Extinção de animais e plantas.</li> <li>e) Aumento da intensidade de tempestades tropicais.</li> </ul>                     |
| Pequenas Ilhas   | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Aumento do nível do mar, deslocamento de pessoas.</li> <li>b) Redução da disponibilidade de água para o consumo humano.</li> <li>c) Diminuição da atividade pesqueira.</li> <li>d) Diminuição do turismo.</li> </ul> |

---

Fonte: IPCC, 2007.

Diante dos inúmeros problemas preditos com relação às alterações do clima e do Efeito Estufa, constituiu-se em 1992 a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (Convenção do Clima) tendo por objetivo a proposição de medidas para que Países desenvolvidos reduzam suas emissões.

Sucedendo a esta manifestação, no ano de 1997, a 3ª Conferência da Partes realizada na cidade de Quioto (Japão) destacou-se pela elaboração do Protocolo de Quioto, estabelecendo a meta de redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) entre os anos de 2008 a 2012 em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990.

Definidas as metas de reduções de emissões, convencionou-se mecanismos de flexibilização para seu alcance, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que durante a 7ª Conferência da Partes realizada em Marrakesh em 2001, teve suas regras operacionais determinadas, possibilitando a inclusão de projetos florestais como uma alternativa mitigatória para compensação de emissões.

Estas regras operacionais também flexibilizaram a possibilidade de empresas em países que não conseguirem/quiserem reduzir suas emissões, poderão comprar Reduções Certificadas de Emissões (RCE) de países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações, embora o uso deste mecanismo esteja limitado apenas a uma parcela de seus compromissos de redução (ROCHA, 2004).

A iniciativa de investimento em projetos de reflorestamentos como alternativa de mitigação do Efeito Estufa encontra amparo científico e fundamentação técnica na composição e estrutura da biomassa florestal, constituída por parte significativa de carbono, resultante de sua absorção da atmosfera e posterior armazenamento em seus distintos componentes durante a atividade fotossintética. Assim, pesquisas têm demonstrado que as florestas são verdadeiros sumidouros de carbono, pois, por meio do processo fotossintético acoplado à produção de celulose durante o crescimento e manutenção das plantas, as florestas acumulam carbono (RENNER, 2004).

### 3.2. A importância do gênero *Pinus*

O gênero *Pinus* engloba mais de 100 espécies e a maioria delas representa importante fonte de matéria-prima para a indústria de transformação de madeira, constituem-se também, nas principais coníferas utilizadas mundialmente para fabricação de celulose, sendo um recurso facilmente renovável (FOELKEL e BARRICHELO, 1975).

A opção prioritária do Brasil com relação à floresta plantada baseou-se principalmente em dois gêneros de espécies florestais: *Pinus* e *Eucalyptus*. O advento dos incentivos fiscais, por iniciativa do governo federal em 1966, que permitia que uma parcela do imposto de renda devido pelas empresas fosse aplicada em reflorestamento, trouxe reflexos imediatos na área plantada, sobretudo com espécies exóticas, constituindo-se na base florestal para atividades industriais (SUASSUNA, 1977; SHIMIZU, 1997; FERREIRA et al., 2001).

Kronka et al. (2005) também destacam que uma das razões mais importantes para a introdução do *Pinus* spp. no Brasil foi a demanda de madeira para o abastecimento industrial, objetivando o processamento mecânico e a produção de madeira serrada, madeira laminada, confecções de painéis e produção de celulose e papel.

Além disso, para Caser (1984) o gênero *Pinus*, por suas características de ocorrência em solos de baixa fertilidade em suas áreas de distribuição natural, desponta como promissor para essas situações onde o solo foi totalmente degradado e também em solos de baixa fertilidade natural.

De acordo com Siqueira (2003), as florestas plantadas no Brasil atingem 4,9 milhões de hectares, o que corresponde a 0,9% de sua cobertura florestal total. Na região Sul, a área plantada com o gênero *Pinus* é de 1.060.050 ha, correspondendo a 57,6% da área total, desse gênero, plantada no país. É digno de ressalva que a área total plantada com *Pinus* spp. representa 1,74% da superfície territorial da região Sul (VASQUES et al., 2007).

Assim, o cultivo florestal do *Pinus* no Brasil é uma atividade econômica importante e com grande impacto no campo social, visto que, as plantações deste gênero representam 30,2% dos plantios florestais, sendo que, a maior concentração destas áreas encontra-se na região Sul, a qual possui 1.432 mil hectares, o que representa 79,2% dos povoamentos desta espécie no País, com destaque ao estado do Paraná, que participa com 42,25% (ABRAF, 2009; ABIMCI, 2008). O uso e aplicação da madeira do gênero *Pinus* nas últimas três décadas cresceu substancialmente transformando-a em matéria-prima fundamental para movimentar um setor produtivo de relevante importância para a economia brasileira (VASQUES et al., 2007).

De acordo com Loro e Hiramatsu (2004), as florestas, tanto naturais como plantadas, proporcionam um significativo benefício social, ambiental e econômico para uma região. Neste sentido, segundo Murara Junior et al. (2005), ao longo das últimas décadas, o perfil de consumo de madeiras oriundas de reflorestamento mudou substancialmente em função das restrições de exploração e da disponibilidade de espécies florestais nativas. A cadeia produtiva estendeu-se para as essências de rápido crescimento, plantadas e manejadas, ocorrendo uma grande concentração de plantios de *Pinus* spp. na região Sul do Brasil, especificamente nos estados do Paraná e Santa Catarina, onde as espécies mais plantadas são *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

### **3.3. A biomassa florestal**

Por meio da fotossíntese, as plantas capturam a energia do sol, transformando-a em energia química. Esta energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor. As fontes orgânicas que são usadas para produzir energia usando este processo são chamadas de biomassa (BROWN, 1997)

De acordo com a aceção de Odum (1986), biomassa é o peso de matéria orgânica seca por unidade de área. Para Alemdag (1980) e Wendling (1998), o termo biomassa florestal refere-se à quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa, e Martinelli et al. (1994), definiram-na como a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta. Assim,



para Sanquetta (2002) a rigor, biomassa quer dizer massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal.

Os ecossistemas florestais contêm cerca de 90% da biomassa da terra, cobrindo aproximadamente 40% da superfície da mesma (GARDNER e MANKIN, 1981). Portanto, em função da grande proporção existente de biomassa, para Campos (1991), torna-se importante e útil realizar avaliações nos diferentes ecossistemas.

Campos (1991) detalhou que a medição da biomassa é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas devido a sua aplicação na avaliação da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenamento de energia solar, possibilitando também, conclusões para exploração racional dos mesmos, bem como, para Sedjo (1992) e Dixon et al. (1994), o volume de biomassa florestal e sua distribuição são fatores controladores do estoque de carbono global.

Higuchi e Carvalho (1994) apontam que os métodos para a obtenção de estimativas de biomassa podem tanto ser diretos como indiretos. Os primeiros consistem na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em unidades amostrais de área fixa, enquanto o último, são aqueles que baseiam-se normalmente em dados de inventário florestal. Portanto, Sanquetta (2002) orienta quanto a importância de se observar a distinção conceitual entre determinação e estimativa, pois métodos diretos implicam em determinações, enquanto métodos indiretos geram estimativas. Por este motivo, a literatura distingue métodos diretos e indiretos (SALATI, 1994; SOUZA, 2000).

Para Martinelli et al. (1994), ao abordar a coleta de dados em unidades amostrais ou em extensas áreas, ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens, dependendo da natureza do estudo que esteja sendo conduzido. Seguindo por este entendimento, inventários realizados em áreas com grandes dimensões têm vantagem de serem mais representativos para uma determinada região. Por outro lado, as unidades amostrais nem sempre são escolhidas ao acaso, mas, muitas vezes, pela sensibilidade humana, e, portanto podem ser tendenciosas favorecendo a uma determinada qualidade. De qualquer modo, estudos desenvolvidos em unidades amostrais são necessários em casos onde o interesse está no conhecimento de processos, tais como, o ciclo de nutrientes e a validação dos resultados de inventários extensos.

### 3.4. Métodos diretos

Na maioria dos casos é necessária uma amostragem destrutiva para determinação correta de biomassa. Normalmente, a biomassa arbórea é medida a partir de seus componentes, sendo que a separação e especificação desses componentes variam de acordo com o tipo de povoamento ou floresta e os objetivos a serem alcançados. Esta variação pode incluir ou excluir alguns componentes específicos, tais como flores, frutos ou detalhar outros como raízes e galhos, subdividindo em raízes finas e grossas ou galhos com idades e espessuras diferentes (CAMPOS, 1991).

Segundo Sanquetta e Balbinot (2004), os métodos diretos de amostragem de biomassa podem ser divididos em: a) Método da árvore individual, onde são escolhidas árvores a serem avaliadas quanto à biomassa. Este método possui algumas variações, podendo ser escolhida a árvore média (com diâmetro, altura ou área basal média) do local a ser analisado, ou árvores representativas de cada classe diamétrica, abrangendo toda a distribuição de classes existentes na floresta, é indicado para povoamentos monoespecíficos; e b) método da parcela, que consiste em determinar toda a biomassa da floresta pelo corte e pesagem de todas as frações envolvidas, dentro de uma determinada área, procedimento este determinado de “corte total”.

O método da árvore individual, utilizando a árvore média do povoamento, começou a ser desenvolvido durante as décadas de 60 e 70, selecionando a árvore com área basal média do local de estudo, pois esta tende a ter uma boa correlação com a biomassa. Sua principal vantagem é a facilidade de uso, além de poder fornecer boas estimativas (MACDICKEN, 1997; FINGER, 1992).

Em estudos para estimar a quantidade de carbono orgânico na biomassa arbórea de um povoamento de *Pinus taeda* com 20 anos de idade, localizado no município de Cambará do Sul – RS, Schumacher (2002), utilizando-se de 3 parcelas de 15 m x 30 m, mediu todos os diâmetros na altura do peito (DAP) e após calculada a área basal média, a mesma foi abatida em cada parcela, pesando-a na totalidade, amostrando as acículas, os galhos, a casca do tronco e a madeira.

Em determinação de biomassa, Carmo et al. (2004) estudaram diferentes clones de seringueira (*Hevea* spp.) com 21 anos, realizando a medição dos diâmetros e a determinação da circunferência média representativa da população, procedendo em seguida, o abate individual de três árvores para análise de cada clone. Foram analisados os seguintes compartimentos: caule, galho grosso, galho fino e folhas.

Santana et al. (2008) estabeleceram um modelo para estimar a produção de biomassa do gênero *Eucalyptus* em diferentes idades e regiões do Brasil, utilizando o método da árvore média em cada povoamento, onde foram inventariadas algumas parcelas, sendo a espécie analisada quanto à biomassa em seus diversos compartimentos.

Utilizando-se do método destrutivo, Valerio et al. (2007) por meio de amostragem aleatória, abateram 30 árvores individuais de *Hovenia dulcis* Thunb., sendo selecionadas cinco árvores por classe diamétrica para avaliação de biomassa, objetivando o ajuste de modelos matemáticos para estimativas confiáveis dos distintos componentes desta espécie.

### **3.5. Métodos indiretos**

Segundo Salati (1994), os métodos indiretos são utilizados para estimar a biomassa de áreas florestais de grande extensão e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e algumas outras variáveis, determinando-se assim o valor da biomassa seca por hectare, para então ser feita uma extrapolação para a área total considerada.

Young (1973) destaca que todos os sistemas de inventário, instrumentos e técnicas utilizados para estimativas volumétricas podem ser usados em estudos de biomassa, pois utilizam as mesmas dimensões da árvore (diâmetro e altura) como variáveis independentes.

Neste sentido, Silva (1996) corrobora, destacando que a variável diâmetro e altura total são altamente correlacionadas com a biomassa, possibilitando a obtenção

de bons ajustes utilizando-se de apenas o DAP como variável independente nas estimativas de volume, peso do tronco, peso da copa e seus respectivos componentes.

Brown et al. (1989) acreditam que estimativas de biomassa baseadas em inventários florestais volumétricos propiciam uma ótima oportunidade de melhorar as estimativas de biomassa acima do solo, porque as informações de volumes oriundas de inventários florestais são abundantes e geralmente coletadas em grandes áreas, usando métodos planejados para representar a população de interesse.

No que tange métodos de estimativas indiretas, Watzlawick (2003) aborda que a utilização de imagens de satélite também pode ser importante para obter estimativas de biomassa e carbono, permitindo a caracterização das diferentes estruturas florestais, associando o conteúdo de biomassa e carbono a essas imagens. Tal fundamento consiste num método indireto e não destrutivo, que permite estimar parâmetros biofísicos pelas propriedades espectrais da vegetação, conciliando-se inventários de campo com dados espectrais das imagens.

Desta forma, a modelagem matemática vem prestando importante contribuição no desenvolvimento das ciências florestais, onde a técnica de modelagem é empregada para projeção da produção, simulações, análise de regimes de manejo, estimativas volumétricas, de biomassa e carbono, reduzindo custos, tempo e a grande demanda de trabalho, propiciando a obtenção de resultados e informações confiáveis que fundamentam o planejamento da gestão de florestas.

Jeffers (1991) explicou que um modelo é uma expressão formal das relações entre as entidades, definidas em bases matemáticas ou físicas. Sendo que para Morton (1990), os modelos consistem de simples ou múltiplas expressões matemáticas, capazes de representar os processos de um sistema físico. De acordo com Bazzo e Pereira (1990) modelo também pode ser entendido como uma representação idealizada do sistema físico real que auxilia na análise do problema, estabelecendo sempre, uma correlação entre esta e a realidade correspondente.

Diversos estudos na área florestal observam que o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (h), quando empregados como variáveis independentes em modelos para estimativas de biomassa e carbono dos distintos componentes em árvores de diversas espécies, tem possibilitado a obtenção de bons resultados (SOARES e HOSOKAWA, 1984; BRITO et al. (1984); PINHEIRO, 1980).

A estimativa de biomassa é imprescindível aos estudos do balanço global de carbono (KETTERINGS et al., 2001). Assim, a avaliação acurada da biomassa florestal e seu padrão de mudança no tempo é um pré-requisito para ajudar a entender algumas controvérsias sobre a função das florestas no ciclo do carbono (SEDJO, 1992; FAN et al., 1998; BROWN et al., 1999; SCHROEDER e KERN, 1999).

Trabalhos abrangendo estimativas precisas dos diversos compartimentos da floresta ainda são escassos, porém começam a ser executados (SCHUMACHER et al. 2002b; WALTZLAWICK et al. 2002; REZENDE et al., 2001; CALDEIRA et al. 2002; BRUN, 2004). Esta afirmação orienta-se diante do atual interesse em relação às florestas plantadas como fixadoras de carbono, destacado nos estudos desenvolvidos por Paixão et al. (2006) com *Eucalyptus grandis*, Watzlawick et al. (2003) em povoamento de *Araucaria angustifolia*; Balbinot et al. (2003) com *Pinus taeda*; Schumacher et al. (2001) com povoamentos de *Acacia mearnsii* em diferentes idades; Rochadelli (2001) em reflorestamentos de *Mimosa scabrella* e Valerio et al. (2007) com *Hovenia dulcis* Thunb.

### **3.6. Biomassa e teores de carbono**

Em análise do percentual de biomassa de copa e raízes em *Eucalyptus saligna*, aos 4 anos, Schumacher (1995) obteve em seus resultados o volume de biomassa distribuídos percentualmente na seguinte proporção: 60% de madeira, 16% de raízes, 9% de folhas, 8% de casca e 7% de ramos. Aos 7 anos a produção de biomassa encontrava-se distribuída em: 74% de madeira, 11% de raízes, 7% de casca, 5% de ramos e 3% de folhas, comprovando assim que, com o passar do tempo, a percentagem de biomassa em certos compartimentos tende a diminuir, e em outros aumentam.

Em povoamentos de acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) com idades de 3,5 a 7,5 anos, Schneider et al. (2005) determinaram o estoque de biomassa e carbono e

concluíram que o valor médio da proporção de biomassa e carbono, independente da idade dos povoamentos, é 0,59 e 400 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em avaliação da variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de povoamentos com *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Marcene et al. (2006) identificaram que a média dos teores de carbono no fuste para esta espécie é de 404,7 g.kg<sup>-1</sup> constatando não haver variação expressiva entre as diferentes idades das árvores analisadas, entretanto observaram diferenças estatisticamente significativas entre as árvores, onde ressaltam a importância do desenvolvimento de um modelo completo de crescimento e produção em volume, biomassa e carbono para a espécie em estudo.

Em estudo de quantificação do carbono total estocado em *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira, após modelagem matemática dos dados obtidos, Fernandes et al. (2007) verificaram que o modelo proposto para estimar a quantidade de carbono expressou alto grau de ajuste para carbono total, obtendo como coeficiente de determinação e coeficiente de variação 90,37% e 9,53%, respectivamente, bem como confirmaram o DAP como variável mais importante nos modelos, significativa a 95% de probabilidade em todas as equações ajustadas.

Schumacher (2002) realizou trabalho para estimar a quantidade de carbono orgânico na biomassa arbórea de um povoamento de *Pinus taeda* com 10, 15 e 20 anos de idade, localizado no município de Cambará do Sul – RS. O trabalho foi desenvolvido em uma área com condições de sítio semelhante, utilizando-se 3 parcelas de 15 m x 30 m, medindo-se todos os DAP e após calculada a árvore de área basal média para cada parcela. A árvore de área basal média em cada uma das parcelas foi abatida, pesando-a na totalidade e foram amostradas as acículas, os galhos, a casca do tronco e a madeira.

Analisando a dinâmica do estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. Balbinot et al. (2008) observaram que o fuste representou o maior percentual de biomassa e carbono, com tendência a aumentar na medida que a árvore cresce, representando cerca de 70% de todo carbono fixado. Outro resultado marcante foi a importância das raízes no total do carbono fixado, chegando a representar, no caso das plantações com menos de 5 anos, 35% do carbono fixado, 21 % para plantações entre 5 e 15 anos e 13% nos plantios com mais de 15 anos. Estes resultados de

biomassa e carbono encontrados nas raízes de plantações florestais mostram que a quantificação do carbono presente no sistema radicial é imprescindível, principalmente, se o objetivo for apresentar estimativas corretas sobre a capacidade das florestas de fixar carbono atmosférico e, conseqüentemente, gerar créditos comerciáveis.

Rochadelli (2001), ao estudar a estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos de bracinga (*Mimosa scabrella* Bentham), concluiu que diferentes posições sociológicas apresentam diferentes concentrações dos constituintes fundamentais e acidentais da biomassa tanto da madeira quanto da casca na espécie estudada, sendo que a concentração de carbono varia em torno de 400 a 450 g.kg<sup>-1</sup> da biomassa total. Também conclui que as árvores dominadas apresentam maior eficiência na fixação atômica do carbono em detrimento das árvores dominantes.

Na concepção de Kozlowski e Pallardy (1996), o acúmulo de biomassa é afetado por todos aqueles fatores relacionados com a fotossíntese e a respiração. Campos (1991) e Caldeira (1998) acrescentam que este acúmulo (produção) é diferente de local para local onde é medida, refletindo a variação dos diversos fatores ambientais e fatores inerentes à própria planta, existindo uma relação entre biomassa e a produtividade primária, relação esta conhecida como acúmulo de biomassa. Esta relação é normalmente baixa em povoamentos jovens de rápido crescimento e é maior onde a maior parte da energia é utilizada para manter o alto estoque de biomassa existente. Desta forma, a quantidade de biomassa produzida em um povoamento florestal é resultante da combinação de diferentes fatores, principalmente idade, localização geográfica, condições climáticas, variação genética, qualidade do sítio, densidade, técnicas silviculturais e época de amostragem (POPE e GRANEY, 1979; CASTRO et al., 1980; MADGWICK e KREN, 1980; HEPP e BRISTER, 1982).

Assim, Koehler et al. (2005), consideram que a utilização de uma equação ajustada para outras condições leva a valores consideravelmente diferentes dos medidos. Neste sentido, Watzlawick et al. (2002) orientam que estudos de biomassa e carbono devem considerar a distinção das tipologias, atentando para que as estimativas sejam realizadas nas diferentes partes componentes de uma árvore. Deve-se, assim, buscar metodologias adequadas para que todos os componentes sejam

quantificados e incorporados nas estimativas do balanço geral de biomassa e de carbono fixado.

Os autores ainda descrevem que na utilização de diferentes metodologias deve-se compatibilizar o uso de métodos destrutivos e não destrutivos. Sanquetta (2002) complementa, corroborando com esta afirmativa, concluindo que os métodos indiretos não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações, devendo ser empregados conjuntamente com os métodos diretos.



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

#### 4.1.1 Localização

A região do estudo encontra-se no município de Clevelândia - Pr, com área total de 706 km<sup>2</sup>, no domínio do Terceiro Planalto, a uma altitude média de 930 metros acima do nível do mar, na região Sudoeste do Estado do Paraná (Figura 1).

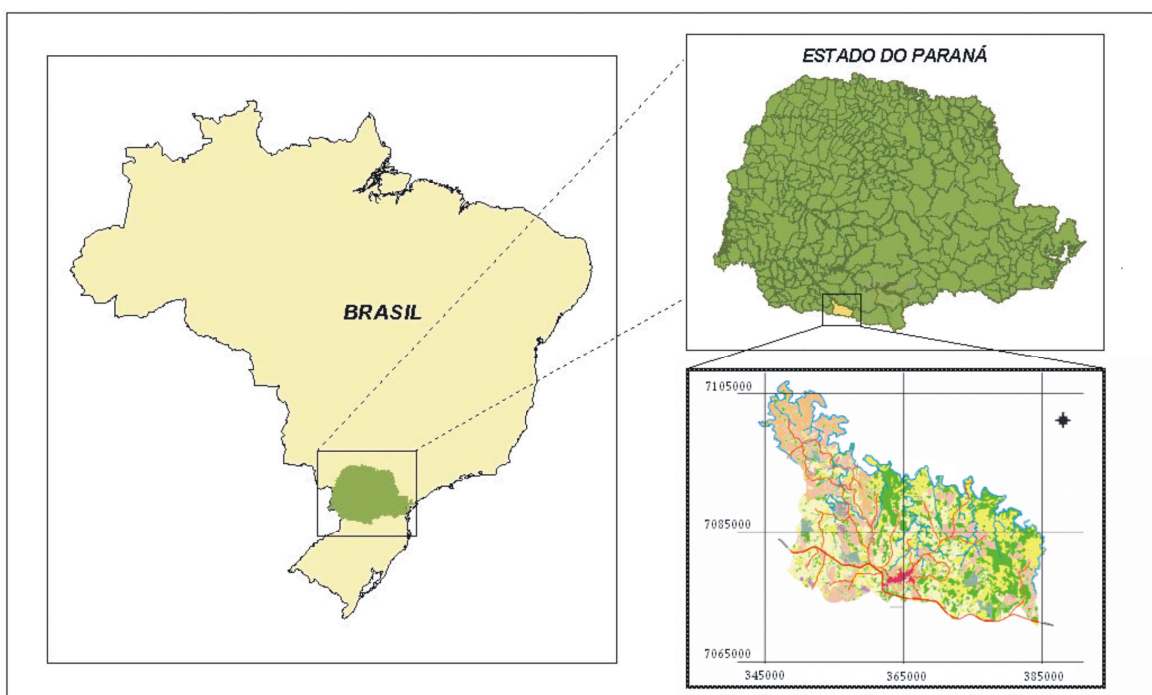


Figura 1 – Croqui de localização da região de estudo, Clevelândia (PR).

#### 4.1.2 Clima

O clima da região, conforme classificação de Köppen, é caracterizado como Subtropical Úmido Mesotérmico (*Cfb*), tendo os verões frescos e os invernos com a ocorrência de severas geadas, sendo a temperatura média do mês mais quente acima de 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, não possuindo estação seca definida (PARANÁ, 1994).

Os níveis de precipitação anual média variam de 1980 a 2100 mm. A taxa de evaporação real, medida pelo modelo de Morton apresenta um valor médio de 1288 mm anuais, e a Evapotranspiração Real é de 1048 mm.ano<sup>-1</sup>. Com relação às observações de vento medidas a uma altura de 10 metros, as médias anuais variam de 2,8 m.s<sup>-1</sup> a 4,1 m.s<sup>-1</sup>, e a umidade relativa do ar apresenta os valores entre 68,7% a 82,1%, sendo o valor médio de insolação de 6,6 horas diárias (PARANÁ, 2001a).

#### 4.1.3 Geologia

Segundo Machado (2006), o Mapa Geológico do Brasil mostra que a geologia da região sudoeste do Estado do Paraná enquadra-se como rochas basálticas do Grupo São Bento, compreendendo a unidade geológica de Formação da Serra Geral, onde os basaltos são do tipo toleítico, com intercalação de arenito, ou são vulcânicas ácidas, ambas intercaladas por diques e sills de diabásio, onde em termos de minerais que o compõem, foram citados os feldspatos alcalicálcicos e os piroxênios, totalizando 70 a 80% do volume da rocha.

Sua formação remonta a era Mesozóica (MINEROPAR, 2000). Conforme Fulfaro e Landim (1988), Peate e Hawkesport (1988) e Piccirilo e Melfi (1988), a deposição pré-vulcânica atingiu uma espessura máxima de 4.000 metros, sendo que para a região sudoeste do estado, especificamente, foi encontrada uma variação de 2.200 metros no extremo sudeste até 3.400 metros a noroeste.

#### **4.1.4 Solo**

O substrato geológico da região é formado pelo derrame de Trapp da formação da Serra Geral. As classes de solos predominantes são os Latossolos Roxos e a Terra Roxa Estruturada, bem desenvolvidos fisicamente de elevada fertilidade natural (EMBRAPA,1999).

Com relação aos Latossolos, esta classe é constituída por minerais, não hidromórficos, com horizonte B Latossólico, formados a partir de rochas eruptivas básicas. Profundos com mais de 3 metros, não sendo rara a ocorrência de solos entre 5 e 10 metros. Possuem cor bastante uniforme ao longo do perfil, especialmente em áreas de clima mais quente, onde a cor está compreendida entre o vermelho-escuro acinzentando e o bruno-avermelhado-escuro (PRADO, 2001).

Como a região caracteriza-se por clima frio (*Cfb*), precipitações abundantes e bem distribuídas, essas condições favorecem o acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, imprimindo à mesma uma tonalidade escura. À medida que o clima se torna mais úmido e frio, a cor do horizonte superficial passa a ser mais escura, cuja profundidade varia de 1,30 a 2,50 metros (EMBRAPA, 1999).

#### **4.1.5 Hidrografia**

Em termos hidrográficos, observa-se no Estado do Paraná a divisão fundamentalmente em duas bacias, consistindo nos rios que compõem o complexo do rio Paraná e o sistema de afluentes que compreendem a bacia do Atlântico.

A região do estudo pertence ao complexo do rio Paraná, onde está inserida a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu e sub-bacia do Rio Chopim, que apresenta um sistema hidrográfico com grande potencial energético, composta no município de Clevelândia, fundamentalmente pelas micro-bacias do rio São Francisco, Moraes, Banho, Lontras e Lageado Grande.

De acordo com levantamentos técnicos procedidos por PARANÁ (2001b) na Bacia Hidrográfica do Rio Chopim para implantação da Usina Hidrelétrica São João, se constatou que a densidade de drenagem da bacia corresponde a 0,3 km/km<sup>2</sup>, caracterizando uma drenagem pobre, bem como, de acordo com o coeficiente de capacidade se identificou uma bacia regular, pouco susceptível a enchentes.

#### 4.1.6 Vegetação natural

A vegetação natural é a Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária (IBGE, 1992), a qual cobria originalmente cerca de 200.000 km<sup>2</sup> em todo o Brasil, ocorrendo no Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul do Estado de São Paulo (3%), adentrando até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

Na Floresta Ombrófila Mista, a *Araucaria angustifolia*, constitui o dossel superior dessa tipologia florestal. É uma espécie que apresenta um caráter dominante na vegetação, representando uma grande porcentagem dos indivíduos do estrato superior e ocorrendo como espécie emergente, atingindo grandes alturas e diâmetros (LONGHI, 1980; LEITE e KLEIN, 1990)

Essa formação florestal apresenta estrutura extremamente variável, ora apresentando agrupamentos densos com abundância de Lauraceae, ora apresentando agrupamentos pouco desenvolvidos com um predomínio dos gêneros *Podocarpus* e *Drymis* e espécies da família Aquifoliaceae (LEITE e KLEIN, 1990). Na região de Clevelândia, a Floresta Ombrófila Mista apresenta uma estrutura complexa, onde destacam-se, na vegetação, espécies das famílias Sapindaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Aquifoliaceae e Euphorbiaceae (VALERIO e SILVA, 2008).

Em estudo florístico e estrutural, Valerio et al. (2008) identificaram e descreveram no estrato arbóreo da Floresta Ombrófila Mista Montana no município de Clevelândia como espécies mais características da comunidade em análise *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze, *Cupania vernalis* Cambess., *Ilex*

*paraguariensis* A. St.-Hil., *Lamanonia ternata* Vell. e *Myrceugenia euosma* (O. Berg) D. Legrand.

## **4.2. Materiais utilizados**

### **4.2.1 Materiais de expediente**

Foram considerados materiais de expediente todo o material necessário para os levantamentos de campo e registro de dados, sendo: prancheta de anotação, câmara fotográfica digital, caneta, lápis, borracha, balanças (500 kg, 15 kg e 1,5 kg), sacos de papel, caixas de arquivo, materiais cortantes (picareta, facão, enxada, pá de corte), sacos de rafia, rotulador, etiquetas (fitas rotuladas de metal, papel), grampeador, fita métrica (1,5 m), trenas (50 m) e motosserra.

### **4.2.2 Produtos de localização**

Foi utilizado um receptor de G.P.S. (Global Position System) Garmim 12XL para mapeamento das áreas, localização das unidades amostrais dispostas sistematicamente no inventário de campo e navegação até a unidade amostral selecionada para abate das árvores representativas do povoamento. Segundo Seeber (2003), este aparelho de navegação tem erro de posicionamento absoluto numa média global maior que 13 metros em 95% das apurações na horizontal, todavia, não acarretando no comprometimento dos levantamentos procedidos neste estudo.

### **4.2.3 Equipamentos de processamento e aplicativos**

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados os softwares Word, Excel, GPS Track Maker - PRO, Corel Draw 12, Assisat 7.5 Beta, microcomputadores, impressora e diversos periféricos.

### **4.3. Trabalho de Campo**

#### **4.3.1 Inventário Florestal e seleção das unidades amostrais**

Os levantamentos foram realizados em 25 povoamentos de *Pinus elliottii* Eng., com idades de 1 a 25 anos, no município de Clevelândia (Figura 2), em propriedades pertencentes às empresas AFV Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. e Camifra S/A Madeiras, Agricultura e Pecuária.

Utilizando-se do processo de amostragem sistemático, projetou-se uma rede de amostragem para o inventário florestal, sendo posteriormente por meio do método de área fixa, instaladas em cada povoamento, unidades amostrais de 20 x 20 m (400 m<sup>2</sup>), nas quais os indivíduos com idade superior a dois anos tiveram a circunferência a altura do peito (CAP) medidos, enquanto que para as árvores com um ano a medida do CAC (circunferência a altura do colo).

Foram consideradas para escolha das áreas selecionadas os tratos culturais e espaçamentos serem os mais semelhantes possíveis, bem como, os inventários realizados para cada idade contemplaram uma amostragem superior a 1% da população, considerando um erro admissível de 10% a nível de probabilidade de 95%.

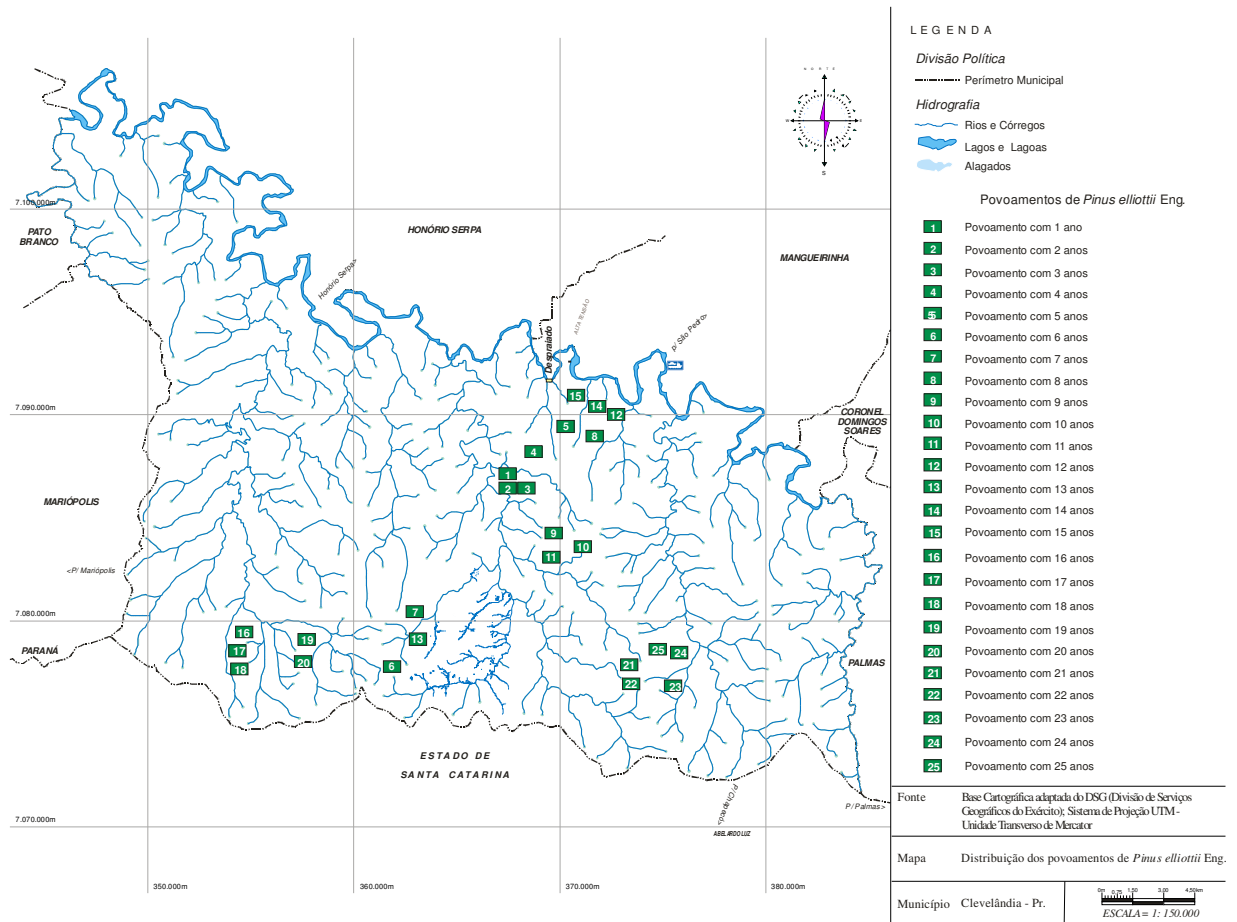


Figura 2 – Localização dos povoamentos de *Pinus elliottii* Eng.. amostrados em Clevelândia (PR).

A Tabela 2 apresenta as informações dendrométricas dos povoamentos de *Pinus elliottii* Eng. amostrados em diferentes idades.

Tabela 2 – Informações dendrométricas dos povoamentos de *Pinus elliottii* Eng. amostrados em diferentes idades, Clevelândia (PR), 2009.

| Idade<br>(anos) | $d_g$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | S<br>(cm) | v<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|---------------|------------------|-----------|------------------------|
| 1               | 2,10*         | 0,87             | 0,31      | -                      |
| 2               | 2,61          | 2,53             | 0,50      | 0,001                  |
| 3               | 5,92          | 3,15             | 0,57      | 0,007                  |
| 4               | 8,23          | 3,78             | 0,76      | 0,018                  |
| 5               | 10,88         | 5,66             | 0,62      | 0,041                  |
| 6               | 13,26         | 7,49             | 0,59      | 0,066                  |
| 7               | 16,13         | 9,15             | 0,88      | 0,128                  |
| 8               | 17,16         | 10,31            | 0,68      | 0,150                  |
| 9               | 19,33         | 15,77            | 1,17      | 0,311                  |
| 10              | 21,54         | 13,68            | 1,08      | 0,284                  |
| 11              | 23,12         | 16,66            | 1,29      | 0,415                  |
| 12              | 24,95         | 17,43            | 1,35      | 0,512                  |
| 13              | 25,72         | 18,70            | 1,08      | 0,537                  |
| 14              | 27,20         | 19,66            | 1,12      | 0,573                  |
| 15              | 29,45         | 20,55            | 1,23      | 0,730                  |
| 16              | 31,58         | 23,32            | 1,12      | 0,852                  |
| 17              | 32,13         | 24,14            | 1,18      | 0,975                  |
| 18              | 35,12         | 22,19            | 1,21      | 1,016                  |
| 19              | 35,88         | 24,83            | 1,25      | 1,176                  |
| 20              | 36,47         | 24,87            | 1,27      | 1,461                  |
| 21              | 38,88         | 25,88            | 1,35      | 1,689                  |



|    |       |       |      |       |
|----|-------|-------|------|-------|
| 22 | 39,31 | 26,45 | 1,40 | 2,005 |
| 23 | 40,55 | 25,31 | 1,45 | 2,181 |
| 24 | 42,23 | 29,12 | 1,51 | 2,318 |
| 25 | 45,65 | 30,42 | 1,66 | 2,379 |

---

$d_g$  = diâmetro da árvore de área basal média;  $\bar{h}$  = altura média do povoamento;  $s$  = desvio padrão do diâmetro;  $v$  = volume médio do fuste; \* = diâmetro na base.

Foram realizadas desramas nos povoamentos com idades de 2 a 17 anos, sendo a primeira aos 2, a segunda aos 4, e a última aos 6 anos. Nos povoamentos com idades superiores a 17 anos não foram realizadas desramas, apenas desbastes em épocas distintas.

#### 4.3.2 Determinação da biomassa

Em cada idade abateu-se 5 árvores, totalizando uma amostragem de 125 indivíduos, os quais tiveram seus componentes arbóreos separados em: acículas, madeira do fuste, galhos vivos, galhos mortos, casca do fuste e estrutura reprodutiva, sendo posteriormente pesados em campo para a obtenção da massa de matéria fresca. Para a determinação da biomassa de raízes, foram quantificadas somente as árvores de área basal média do povoamento ( $d_g$ ) em cada idade, compondo para este segmento a amostragem de raízes de 25 árvores.

Os dados de biomassa foram coletados no campo no período de julho a dezembro de 2008, utilizando-se do método destrutivo. Em cada povoamento, realizou-se o sorteio de uma das unidades amostrais utilizadas no inventário florestal do povoamento, onde foram abatidas cinco árvores que se encontravam dentro dessa unidade, sendo estas: a árvore mais próxima a  $d_g$  do povoamento, árvore  $d_g$  mais um

desvio, árvore dg mais dois desvios, árvore dg menos um desvio e árvore dg menos dois desvios (Figura 3).

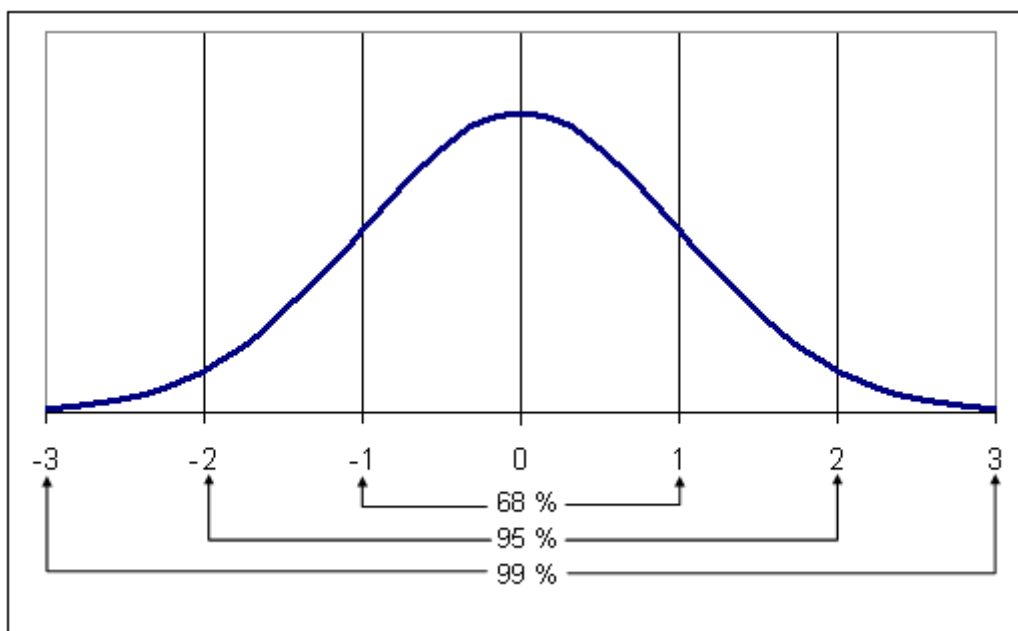


Figura 3 – Teoria baseada na curva de distribuição normal para seleção diamétrica das árvores utilizadas na quantificação da biomassa.

Em todos os indivíduos abatidos, obtiveram-se as seguintes informações: altura total (m), diâmetro (cm) e espessura de casca em posições relativas ao longo do fuste (mm), diâmetro a altura do peito (DAP) a 1,30 m (cm) para árvores com idade superior a dois anos e circunferência a altura do colo (CAC) para árvores de um ano (mm).

#### 4.3.2.1 Determinação da biomassa acima do solo

Depois de abater cada árvore, os componentes da biomassa acima do solo foram segmentados em fuste com casca, galhos mortos, galhos vivos, acículas e estrutura reprodutiva. Estes foram pesados separadamente, utilizando-se balança com capacidade para 500 kg, obtendo-se o peso verde de biomassa para cada componente,

os quais foram em seguida amostrados. Posteriormente, procedeu-se à determinação do teor de umidade em cada componente separadamente, conforme procedimentos a seguir descritos.

Para a amostragem do fuste (madeira do fuste + casca) foram retirados três discos, o primeiro disco a 0,50 cm acima do solo, o segundo disco na metade da altura total da árvore e o terceiro disco a 0,50 cm abaixo da altura total. Nos discos amostrados do fuste, separou-se a casca da madeira, obtendo-se assim o peso de cada componente separadamente. A quantificação do peso total da casca foi realizada por relações de fator de casca.

Nas amostragens de galhos vivos e galhos mortos, foram retiradas amostras em todos os diâmetros e a todas as alturas da copa. Para a estrutura reprodutiva e acículas foram retiradas amostras na ponta, meio e base da copa.

Todas estas amostras eram pesadas no campo em balança mecânica com precisão de 0,1 g para posterior determinação em laboratório do teor de umidade e carbono.

#### **4.3.2.2 Determinação da biomassa de raízes**

A amostragem para a raiz foi realizada nas árvores de área basal média (árvores dg) em cada idade de plantio, totalizando uma amostragem de 25 árvores para este compartimento. As escavações foram realizadas na área útil de plantio ocupada pelo indivíduo (em função do espaçamento, por exemplo: espaçamento de plantio com 2,5 x 2,5 m, unidade de 6,25 m<sup>2</sup>), onde, utilizando-se a árvore de diâmetro de área transversal média (dg) como referência, procedeu-se em seu entorno a abertura de trincheira, com área especificada e 0,5 m de profundidade, coletando-se todas as raízes com diâmetro superior a 1 cm. Em povoamentos em que não se dispunha exatamente do espaçamento praticado, utilizou-se a área de amostragem de 6,25 m<sup>2</sup>. Também foram retiradas amostras das raízes com a finalidade de determinação do teor de umidade e carbono.

#### **4.3.2.3 Determinação do teor de umidade e carbono orgânico**

Todo o material amostrado dos diversos componentes analisados foi acondicionado em sacos de papel, devidamente identificados e enviados ao Laboratório de Ciências Florestais e Plantas Forrageiras do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, coordenado pelos Professores Dr. Luciano Farinha Watzlawick e Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa, onde foram secas em estufa de renovação e circulação de ar a uma temperatura de 75° C até atingir o peso constante, para posterior determinação de peso seco. As amostras foram moídas em um moinho de facas com peneira Mach 30, embaladas em recipientes plásticos e organizadas para análise química do teor de carbono orgânico.

Para determinação do teor de carbono as amostras foram preparadas, onde para cada idade a amostra de cada árvore representou 20% do volume submetido a análise de cada componente. Portanto, para determinação do teor de carbono dos componentes analisados, utilizou-se uma amostra composta pelas cinco árvores abatidas em cada idade.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Inventário Florestal (LIF) do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (UFPR) onde foram submetidas às análises de carbono total, utilizando-se o método de combustão no aparelho analisador de carbono da marca Leco, modelo C144. A análise consiste em introduzir uma pequena amostra no reator do aparelho, onde todo o carbono é convertido em dióxido de carbono, medido diretamente no detector infravermelho que relaciona com a quantidade de carbono existente na amostra, em porcentagem.

#### **4.3.2.4 Processamento dos dados de campo**

A etapa de processamento dos dados de campo envolveu o cálculo da biomassa seca e carbono para cada árvore amostrada. Foram utilizados softwares disponíveis no

laboratório de Ciências Florestais e Plantas Forrageiras do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO).

#### **4.3.2.5. Cálculos da biomassa seca e carbono orgânico**

Com os dados provenientes da biomassa verde e os teores de umidade para cada componente de cada árvore abatida, realizou-se os cálculos da biomassa seca, utilizando-se a seguinte formulação:

$$B_s = B_v \times (1 - U_m)$$

onde:

$B_s$  = biomassa seca (kg);

$B_v$  = biomassa verde (kg);

$U_m$  = teor de umidade (%).

Após os cálculos da biomassa seca, procedeu-se os cálculos relativos à quantidade de carbono existente em cada componente, utilizando-se para tanto a expressão:

$$C_{arb} = B_s \times T_c$$

onde:

$C_{arb}$  = carbono (kg);

$B_s$  = biomassa seca (kg);

$T_c$  = teores médios de carbono para idade ( $g \cdot kg^{-1}$ ).

#### 4.4. Tratamento estatístico dos dados

Procederam-se as análises estatísticas descritivas e experimentais, que foram processadas por meio do programa Assistat 7.5 Beta. O tratamento estatístico dos dados foi realizado com o uso de uma Matriz de Correlação, o conjunto de informações obtidas das 125 árvores foi analisado, realizando-se diversas composições e variações dos dados iniciais. Em decorrência, um total de 13 variáveis foram correlacionadas, onde em seguida tais variáveis foram estudadas e utilizadas na composição e ajuste dos modelos.

Para determinar quais as variáveis eram mais importantes para estimar o estoque de biomassa e do carbono orgânico fixado, utilizou-se análise de regressão, que leva em consideração a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas ligadas a um modelo matemático para que se possa fazer a previsão de uma variável com base em outra (s).

A biomassa e o carbono orgânico foram consideradas variáveis dependentes e os valores provenientes das medições de diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (h), bem como, a combinação destas duas variáveis, foram consideradas variáveis independentes.

Foram testados 17 modelos matemáticos (13 aritméticos e 4 logarítmicos) para estimar a biomassa e o carbono estocado, considerando cada um dos componentes da árvore, bem como para a árvore inteira. Para Campos e Valente (1993) os modelos de regressão mais utilizados para estimar a biomassa dos diversos componentes das árvores são os modelos logarítmicos cujas variáveis independentes freqüentemente utilizadas são diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total das árvores. Os modelos utilizados neste estudo (Tabela 3) são encontrados em diversos trabalhos da área florestal (URBANO, 2007; VALERIO et al., 2007; SCHENEIDER et al., 2009a; SCHNEIDER e OESTEN, 1999; SOARES et al., 1977, SOARES e OLIVEIRA, 2002; LEITE et al. (1995).

Tabela 3 – Modelos matemáticos testados para estimar a biomassa e carbono dos distintos componentes de *Pinus elliottii* Eng., em Clevelândia – Pr.

| N. | MODELO MATEMÁTICO   |
|----|---|
| 1  | $y = b_0 d^b$   |
| 2  | $y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$                               |
| 3  | $y = b_0 + b_1 d + b_2 (d^2 h)$                           |
| 4  | $y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 (d^2 h)$                 |
| 5  | $y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 (d^2 h)$                         |
| 6  | $y = b_0 + b_1 d + b_2 h$                                 |
| 7  | $y = b_0 d^b h^c$   |
| 8  | $y = b_0 + b_1 d$   |
| 9  | $y = b_0 + b_1 d^2$                                       |
| 10 | $y = b_0 + b_1 d^3$                                       |
| 11 | $y = b_0 + b_1 d^2 h$                                     |
| 12 | $\ln y = b_0 + b_1 \ln (d^2 h)$                           |
| 13 | $y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$                     |
| 14 | $y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 + b_4 d^4$           |
| 15 | $y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 + b_4 d^4 + b_5 d^5$ |
| 16 | $\ln y = y = b_0 + b_1 \ln h$                             |
| 17 | $y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h^2 + b_3 (d^2 h)$               |

$y$  = peso de biomassa ou carbono;  $b_0, b_1, b_2, \dots$  = coeficientes;  $d$  = diâmetro a altura do peito;  $h$  = altura total da árvore

As seguintes estatísticas foram empregadas para a seleção da equação mais adequada para estimar a biomassa e o carbono: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj.), erro padrão da estimativa corrigido em porcentagem ( $Sy_x\%$ ), valor da estatística F e distribuição gráfica de resíduos em porcentagem.

#### 4.4.1 Cálculo do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ aj.)

O Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) varia no intervalo de 0 a 1 e informa o quanto da variável dependente é explicada por determinada equação e suas variáveis independentes, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior a qualidade da equação. Entretanto, o aumento do número de variáveis independentes resulta no aumento deste coeficiente, evidência de um erro sistemático desta estatística, devendo ser corrigido. Portanto, para comparar as diferentes equações analisadas neste estudo, foi realizada primeiramente o cálculo do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em seguida seu ajuste com a ponderação do  $R^2$  pelos graus de liberdade da regressão e dos graus de liberdade totais, para obtenção do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj.) os quais foram obtidos por meio das expressões:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

onde:

$y_i$  = valor real de cada observação;

$\hat{y}_i$  = valor estimado de cada observação;

$\bar{y}$  = média aritmética observada;

$n$  = número de observações.

$$R^2_{aj.} = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p}$$



onde:

$p$  = número de coeficientes incluindo  $b_0$ ;

$n$  = número de observações.

#### 4.4.2 Erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ )

O erro padrão da estimativa é uma média da dispersão entre os valores observados e os estimados por meio da aplicação de determinada equação de regressão. Assim, quanto menor seu valor, maior a eficiência e o desempenho da equação. Deste modo, a equação que resultar o menor erro padrão da estimativa é avaliada como de melhor performance.

Cabe salientar que, segundo Meyer (1941), a transformação da equação para a forma logarítmica resulta em uma estabilização da variância, constituindo um método alternativo para se corrigir a heterogeneidade de variância, normalmente presente na variável dependente da equação aritmética. Entretanto, essa transformação das variáveis ocasiona erros sistemáticos definidos como discrepância logarítmica.

Neste sentido, Schneider et al. (2009) explicam que a discrepância logarítmica origina-se quando é determinado o antilogaritmo da variável dependente estimada. Por exemplo, o antilogaritmo dos volumes médios logaritmizados é a média geométrica dos volumes, sendo, portanto diferente da média aritmética. Deste modo, torna-se necessário utilizar um fator que transforme a estimativa da média geométrica em uma média aritmética livre de erro sistemático.

Assim, na concepção de Koehler et al. (2005), é evidente que o uso da correção da discrepância logarítmica aproxima significativamente as estimativas obtidas por meio da equação ajustada do valor observado medido no campo. Portanto, devido os modelos utilizados apresentarem formas aritméticas e logarítmicas, fez-se imprescindível o recálculo das estimativas resultantes dos modelos logarítmicos, por as mesmas sofrerem transformação de unidades, sendo necessário para fins de comparação a correção da discrepância logarítmica. Desta forma, o erro padrão da

estimativa ( $S_{yx}$ ) e o recálculo do erro em percentual ( $S_{yx}\%$ ) foram obtido pelas seguintes expressões:

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100$$

onde:

$S_{yx}$  = erro padrão da estimativa;

$\bar{y}$  = média aritmética real da variável dependente.

$$Yc = Vd \cdot 10^{S_{yx}^2}$$

onde:

$Yc$  = Estimativa corrigida;

$S_{yx}^2$  = Quadrado do erro padrão da estimativa;

$Vd$  = Variável dependente estimada.

#### 4.4.3 Estatística F

O valor de F calculado na análise de variância (Anova) também foi utilizado como um dos parâmetros estatísticos na determinação do modelo matemático de melhor ajuste. Por esse critério, quanto maior o valor de F, melhor a equação.

#### 4.4.4 Análise da distribuição gráfica dos resíduos

O procedimento da análise gráfica da distribuição dos resíduos é imprescindível para um melhor exame dos resultados das equações, possibilitando a observação de tendências, e detectar intervalos com super ou sub estimativas. Entretanto, apesar de sua grande relevância, a mesma não deve ser empregada de maneira única e isolada.

A apreciação dos resíduos em termos relativos possibilita uma melhor visualização e assimilação durante a análise gráfica, facilitando a comparação entre os resultados e tendências de diferentes modelos. Os resíduos foram obtidos por meio da expressão:

$$\text{Resíduos (\%)} = \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) \cdot 100$$

Onde:

$y_i$  = biomassa ou carbono de cada observação;

$\hat{y}_i$  = biomassa e carbono estimados para cada observação.

#### 4.4.5 Teste de comparação de médias

Foi verificada a homogeneidade das variâncias dos teores de carbono por componente aplicando-se o teste de Bartlett. A Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre as médias de biomassa e dos diferentes teores de carbono dos compartimentos analisados. Quando a ANOVA indicou a existência de diferenças significativas entre as médias, o teste de Duncan foi aplicado ao nível de 5% de probabilidade para identificar quais médias eram diferentes.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Relações quantitativas entre componentes

#### 5.1.1 Estatística descritiva de biomassa

As árvores amostradas apresentaram uma variação relevante do peso total, conseqüentemente, do volume de biomassa obtido, resultado oriundo da amostragem realizada em uma grande amplitude diamétrica da população, conforme indicam as estatísticas descritivas (Tabela 4).

Tabela 4 – Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas e de biomassa (kg/árvore) das amostras de *Pinus elliottii* Eng. para povoamentos de 1 a 25 anos.

| Variáveis             | Número | Mínimo | Máximo | Média  | Desvio Padrão |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| DAP (cm)              | 120    | 1,70   | 48,97  | 25,04  | 12,81         |
| Altura total (m)      | 125    | 0,83   | 30,42  | 16,76  | 8,89          |
| Madeira do fuste (kg) | 125    | 0,33   | 671,45 | 202,27 | 199,58        |
| Acículas (kg)         | 125    | 0,19   | 27,47  | 13,31  | 7,58          |
| Casca (kg)            | 125    | 0,07   | 64,58  | 21,74  | 17,62         |
| Galhos vivos (kg)     | 125    | 0,19   | 75,23  | 21,58  | 17,45         |
| Galhos mortos (kg)    | 125    | 0,02   | 13,53  | 3,22   | 3,32          |
| Est. Reprodutiva (kg) | 50     | 0,25   | 3,66   | 0,70   | 0,95          |
| Raizes (kg)           | 25     | 0,35   | 52,67  | 26,30  | 17,08         |

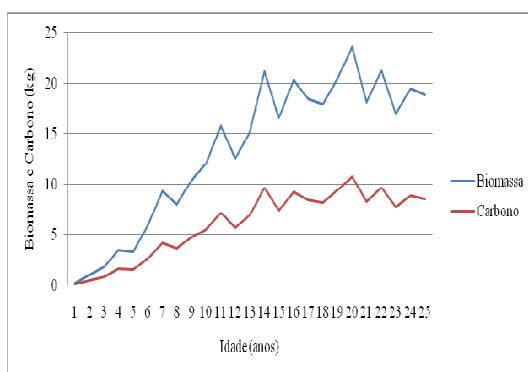
|                    |     |      |        |        |        |
|--------------------|-----|------|--------|--------|--------|
| Acima do solo (kg) | 125 | 0,84 | 839,78 | 262,82 | 241,06 |
| Total (kg)         | 25  | 1,42 | 880,05 | 302,58 | 283,63 |

DAP = Diâmetro a altura do peito; Altura total = Altura total da árvore; Total = biomassa total da árvore.

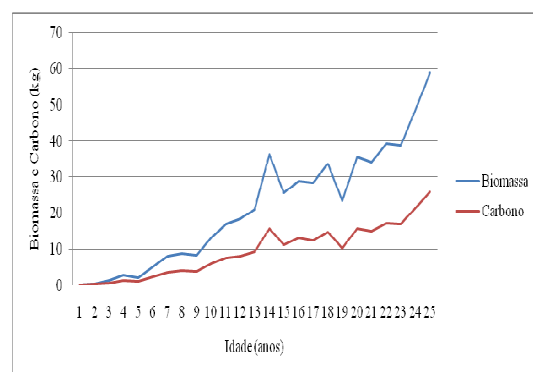
Pode-se observar que o maior peso de biomassa esta concentrado no fuste, também verificado nos estudos de Rezende et al. (2001) com *Eucalyptus grandis*; Valeri (1988) com *Pinus taeda*, Caldeira et al. (2001) com *Acacia mearnsii* e Valerio et al. (2007) com *Hovenia dulcis*. A variação da biomassa nos diferentes componentes da planta varia de espécie para espécie e até mesmo, em uma população da mesma espécie (ABRAHAMSON e GADGIL, 1973), sendo afetada por fatores que interferem na fotossíntese e na respiração, bem como por características edafoclimáticas e idade (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001).

### 5.1.2 Evolução do estoque acumulado

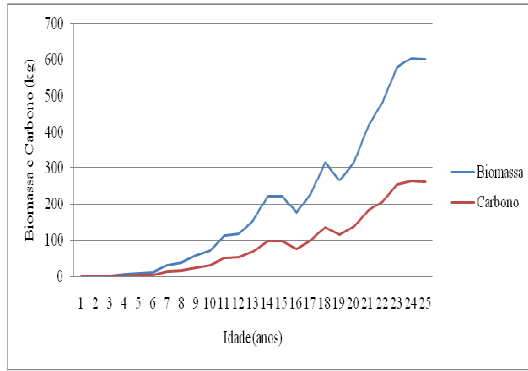
Na Figura 4, é possível verificar o estoque e biomassa e carbono nos diferentes componentes das árvores de *Pinus elliottii* Eng. em diferentes idades.



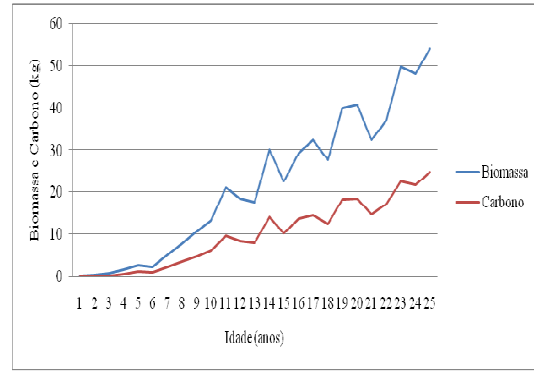
Acículas



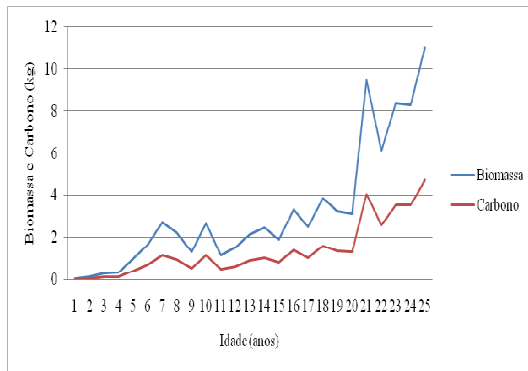
Galhos vivos



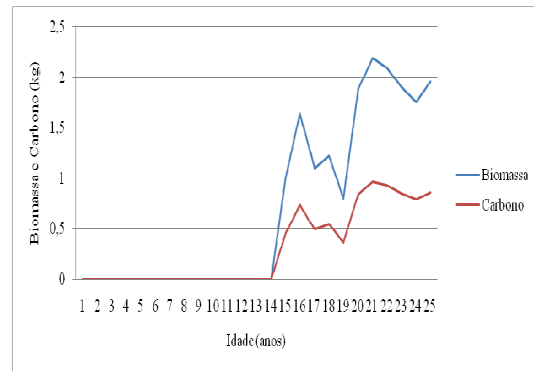
Fuste



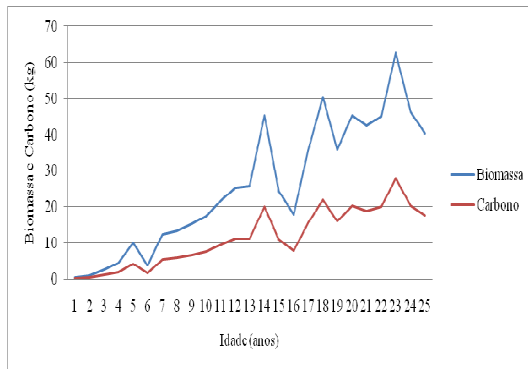
Casca



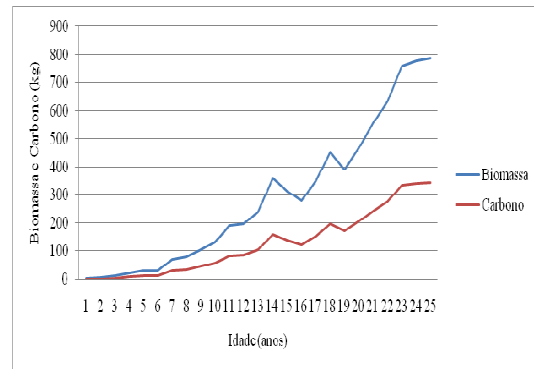
Galhos mortos



Estrutura reprodutiva



Raiz



Total

Figura 4 – Evolução do acumulado de biomassa e carbono nos componentes de *Pinus elliottii* Eng.

Durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa e raízes. Entretanto, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e ramos diminui gradativamente (SCHUMACHER, 1996).

Nesse sentido, segundo Andrae (1982) o maior percentual de biomassa de um povoamento encontra-se no tronco e este tende a aumentar à medida que o povoamento envelhece. Além da idade, a fertilidade do solo, é outro fator, que pode alterar o acúmulo de biomassa do fuste em relação aos outros componentes, priorizando, principalmente o desenvolvimento do sistema radicular em detrimento dos demais.

Reis et al. (1985) estudando o acúmulo de biomassa numa seqüência de idade de *Eucalyptus grandis*, em duas áreas com diferentes produtividades, encontraram uma contribuição do sistema radicular que variou de 29,4 a 36,7% na área menos produtiva, e de apenas 13% na área mais produtiva, em relação à biomassa total, em povoamentos com mais de 51 meses. Neste mesmo estudo, a biomassa de madeira na área mais produtiva foi de aproximadamente 61%, quando no sítio menos produtivo não passou de 45,8%.

### **5.1.3 Percentual de biomassa e carbono por componente**

A amostragem possibilitou a observação percentual de quanto a biomassa e o carbono estocado de cada componente representa em relação ao peso das árvores. Estes valores foram obtidos para cada componente individualmente, tomando-se como referência o peso da biomassa e do carbono dos componentes aéreos de cada árvore e fazendo a proporção por componente para todas as árvores amostradas.

A distribuição da biomassa e do carbono acumulados nos distintos componentes se distribuiu na ordem: madeira do fuste > casca > galhos vivos > acículas (estrutura fotossintética) > galhos mortos e estrutura reprodutiva. Esta ordem

apresenta-se semelhante a encontrada por Pereira et al. (1997), em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. aos nove anos, e por Drumond et al. (1996), nas espécies *Newtonia contorta* (DC.) Burkart e *Endlicheria paniculata* (Spreng.) Macbr.

Estudando um povoamento de *Pinus taeda* com 10 anos de idade, com 950 árvores por hectare, em média, Schumacher (2000) encontrou resultados semelhantes para a biomassa e o carbono, iniciando com a madeira do fuste > acículas > galhos > casca.

Geralmente, a biomassa acima do solo é distribuída na seguinte ordem: madeira do fuste > galhos > casca > folhas (CURLIN, 1970; SCHUMACHER, 1995; CALDEIRA, 1998, 2003; WATZLAWICK, 2003). A distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta varia de espécie para espécie, e até mesmo em uma população com a mesma espécie (ABRAHAMSON e GADGIL, 1973; CALDEIRA, 2003).

As determinações de biomassa e carbono mostraram que a porção madeira do fuste corresponde por 76,96% da biomassa e 76,26% do carbono dos componentes acima do solo. Para acículas, os percentuais foram de 5,63% e 5,22%, respectivamente. No caso de galhos vivos e galhos mortos, estes valores foram 8,21% e 8,13%, e 1,23% e 1,29%. A casca do fuste apresentou-se com 8,27% e 8,59%, e a estrutura reprodutiva 0,27% e 0,59%, considerando a relação com a biomassa e o carbono dos compartimentos acima do solo (Figura 5).

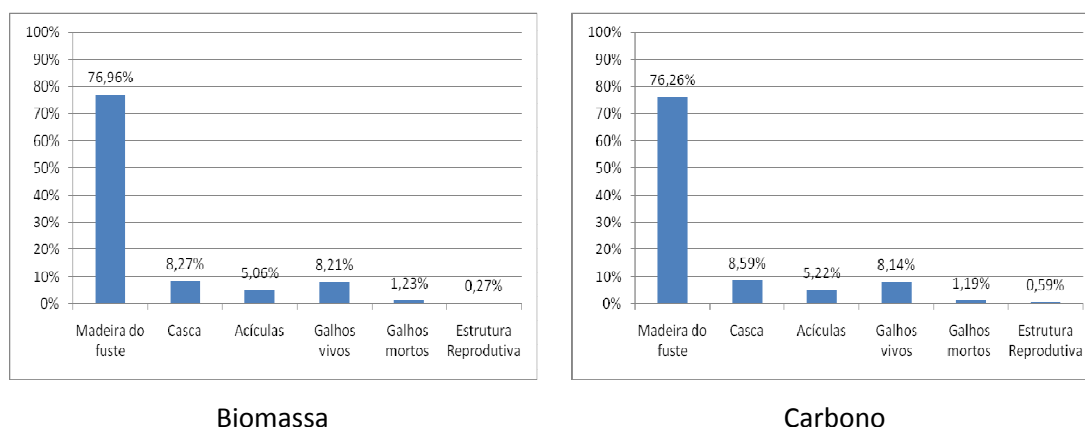


Figura 5 – Participação percentual dos componentes acima do solo na biomassa e no carbono de *Pinus elliottii* Eng. para 1 a 25 anos.



O peso da madeira do fuste, dentre os pesos dos demais componentes, tem maior representatividade, resultado também obtido para este componente por Urbano (2007) em estudo de quantificação da biomassa acima do solo e do carbono em árvores de *Mimosa scabrella* nativas da região metropolitana de Curitiba, observando que este componente responde pela participação média de 69,85% da biomassa acima do solo.

Paixão et al. (2006) quantificaram a biomassa acima do solo de *Eucalyptus* spp. constatando que o maior percentual de contribuição é proveniente da madeira do fuste (81,84%), seguido pela casca (8,05%), galhos (7,74%) e folhas (2,57%). Schumacher e Poggiani (1993) também, em análise da produção de biomassa em três espécies de eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana*) com 9; 9 e 12 anos de idade, respectivamente, em Anhembi-SP, constataram que a madeira do fuste representou mais de 80% da biomassa acima do solo.

Watzlawick (2003), em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro, estado do Paraná, encontrou na biomassa seca os seguintes percentuais: galhos vivos (45,01%), madeira do fuste (40,53%), casca do fuste (9,99%), folhagem (2,4%) e galhos mortos (1,16%), podendo ser observados valores significativamente superiores para os galhos vivos. Observa-se que essa distribuição não segue o padrão normal observado em trabalhos realizados principalmente com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Entende-se que o fato da produção de galhos ser superior a de madeira é em função de tratar-se de espécies nativas, onde a metodologia utilizada considerou como galho a porção a partir do ponto de inversão morfológica.

Entretanto, os valores obtidos para a madeira do fuste no estudo anterior, parecem próximos aos encontrados por Caldeira (1998) em quantificação da biomassa de povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. com diferentes procedências, encontrando uma maior concentração de biomassa no fuste de 45,9; 45,0 e 49,5%, respectivamente para as procedências de Batemans Bay, Bodalla e Lake George Bunge Dore.

Bellote (1979) observou que em povoamentos de *Eucalyptus* sp., a madeira do fuste contribui com a maior participação da biomassa da parte acima do solo das árvores, seguida por casca, galhos e folhas. Destacando que as árvores de grande diâmetro acumulam grande proporção de biomassa no tronco e pouca biomassa nas folhas, sendo que, para as árvores com pequeno diâmetro, é grande a proporção de casca e de copa.

Para Caldeira et al. (2001) a proporção de biomassa da madeira do fuste parece depender do tipo de solo e da densidade populacional, sendo que Reis et al. (1985), em estudo com *Eucalyptus grandis*, plantados no Cerrado, em uma seqüência de idades, em duas áreas com diferentes produtividades, relataram que, em sítios de melhor qualidade a madeira do fuste constitui 60% da biomassa total, enquanto que, em sítios de pior qualidade, ela constitui apenas 45%, sendo que esta redução na proporção da biomassa na madeira do fuste se deve, principalmente, à maior alocação de assimilados na produção de raízes.

Em relação à biomassa e o carbono acumulado nos galhos mortos, houve uma contribuição pequena desta na biomassa acima do solo, com resultado semelhantes aos encontrados por Caldeira et al. (2001) para *Acacia mearnsii* aos 2,4 anos, a qual representou apenas 1,25%. Possivelmente, esta característica, dentre outros fatores, relaciona-se estreitamente com os procedimentos de manejo adotados em cada idade.

Os resultados específicos da participação de cada componente analisado neste estudo quanto a biomassa e ao carbono total da árvore de *Pinus elliottii* Eng. pode ser observado na Figura 6.

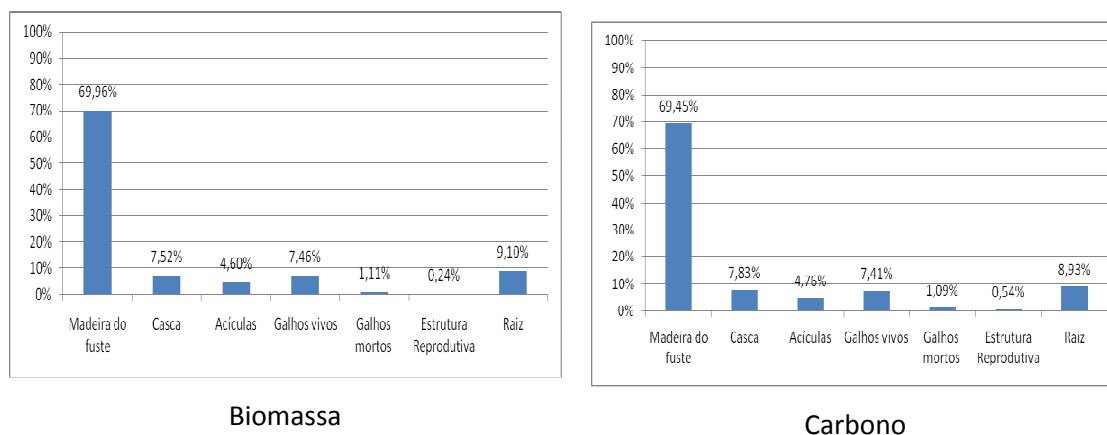


Figura 6 – Participação percentual das partes componentes da biomassa e do carbono total de *Pinus elliottii* Eng. para 1 a 25 anos

Krapfenbauer e Andrae (1976) ao realizar estudo em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. na região de Passo Fundo – RS, com 17 anos de idade, constataram que a quantidade de biomassa da madeira do fuste representava 72,4% do total da biomassa acima do solo, observando ainda uma biomassa de 12,9% e 12,4% para casca e raízes, respectivamente.

Watzlawick (2006) em estudo de quantificação da produção de biomassa arbórea verde e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze aos 24 anos no Sul do Estado do Paraná observou que a parte acima do solo possui 85,5% da biomassa total das árvores, estando subdividida na seguinte proporção: fuste 46,51%, casca 21,95%, ramo aciculado 5,63%, galhos vivos 4,62% e galhos mortos 1,79%, restando 19,5% para a biomassa subterrânea.

Watzlawick et al. (2003) trabalhando na quantificação da biomassa em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. com 30 anos no sul do Estado do Paraná, constatou que 40,73% da biomassa encontra-se alocada no fuste, 23,8% na casca, 19,69% nos galhos e ramos e 15,75% na raiz, sendo que, para o carbono total fixado 41,1% representam o componente madeira do fuste, 21,84% casca, 19,20% galhos e ramos e para a raiz 17,62%, sendo que para este mesmo componente Balbinot et al. (2000) constataram em plantios de *Pinus taeda* com 20 anos, que o mesmo representa 13% do total de carbono fixado, sendo ambos os valores, superiores aos resultados encontrados para a espécie *Pinus elliottii* Eng., no presente estudo.

Neste sentido, Pardé (1980) observou que as porcentagens de caules, ramos, folhas e raízes na biomassa total certamente variam consideravelmente dependendo da espécie, idade, sítio e tratamento silvicultural.

### 5.1.4 Correlação das variáveis analisadas com a Biomassa

Com base nos dados obtidos em campo e em laboratório, obteve-se os valores do coeficiente de correlação entre as variáveis dendrométricas de fácil obtenção e a biomassa dos distintos componentes das árvores de *Pinus elliottii* Eng., conforme apresentado na Tabela 5.

Destaca-se uma alta correlação entre as variáveis dendrométricas e de biomassa analisadas neste estudo, exceto para a estrutura reprodutiva. As maiores correlações encontradas foram entre a biomassa total e a biomassa acima do solo, biomassa acima do solo e a biomassa do fuste, bem como, entre a biomassa total e a do fuste, ambas com correlações lineares simples ( $r$ ) iguais a 0,9996; 0,9977 e 0,9975, respectivamente. A menor correlação foi observada entre a biomassa de galhos mortos e a de acículas ( $r = 0,5031$ ).

Tabela 5 – Correlação linear simples entre as variáveis dendrométricas e a biomassa de *Pinus elliottii* Eng. em plantios de 1 a 25 anos.

| Variáveis | Idade (anos) | DAP (cm) | h (m)  | Acículas (kg) | G. Vivo (kg) | Fuste (kg) | Casca (kg) | Raiz (kg) | G. Morto (kg) | Est. Rep. (kg) | Acima do solo (kg) | Total (kg) |
|-----------|--------------|----------|--------|---------------|--------------|------------|------------|-----------|---------------|----------------|--------------------|------------|
| Idade     | 1            |          |        |               |              |            |            |           |               |                |                    |            |
| DAP       | 0,9851       | 1        |        |               |              |            |            |           |               |                |                    |            |
| h         | 0,9773       | 0,9849   | 1      |               |              |            |            |           |               |                |                    |            |
| Acículas  | 0,8363       | 0,8719   | 0,8850 | 1             |              |            |            |           |               |                |                    |            |
| G. Vivos  | 0,8826       | 0,8937   | 0,8718 | 0,7932        | 1            |            |            |           |               |                |                    |            |
| Fuste     | 0,9373       | 0,9129   | 0,8764 | 0,7071        | 0,8968       | 1          |            |           |               |                |                    |            |
| Casca     | 0,9308       | 0,9298   | 0,9095 | 0,8135        | 0,9035       | 0,9141     | 1          |           |               |                |                    |            |
| Raiz      | 0,9122       | 0,9084   | 0,8775 | 0,7999        | 0,8401       | 0,8708     | 0,9074     | 1         |               |                |                    |            |
| G. Mortos | 0,7511       | 0,7434   | 0,6794 | 0,5031        | 0,7604       | 0,8347     | 0,7345     | 0,7461    | 1             |                |                    |            |
| Est. Rep. | 0,7852       | 0,7600   | 0,7292 | 0,6340        | 0,7264       | 0,7854     | 0,7184     | 0,7748    | 0,6805        | 1              |                    |            |

|               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Acima do solo | 0,9485 | 0,9299 | 0,8959 | 0,7432 | 0,9199 | 0,9977 | 0,9346 | 0,8831 | 0,8332 | 0,7894 | 1      |   |
| Total         | 0,9451 | 0,9175 | 0,8797 | 0,7337 | 0,9511 | 0,9975 | 0,9545 | 0,8963 | 0,8632 | 0,8170 | 0,9996 | 1 |

Idade = idade dos povoamentos; DAP = diâmetro a altura do peito; h = altura total da árvore; Total = biomassa total da árvore, em kg.

As variáveis dendrométricas que apresentaram maior coeficiente de correlação com as demais foram DAP (diâmetro a altura do peito) e h (altura total da árvore), portanto, caracterizaram-se como importantes variáveis na modelagem, principalmente pela acuracidade e facilidade na sua obtenção, possibilitando o desenvolvimento de equações que poderão gerar estimativas de biomassa dos componentes da árvore de *Pinus elliottii* Eng. de forma simples, com rapidez e eficiência.

Valerio et al. (2007) verificaram, em estudo de modelagem matemática com *Hovenia dulcis* Thunb., que o DAP, mesmo não sendo uma variável biológica, representa suas variáveis, apresentando resultados altamente significativos para estimativas de biomassa, permitindo o desenvolvimento de equações para os distintos componentes desta espécie de forma prática.

Rosot (1980), em estudo com *Pinus taeda*, verificou que a variável que apresentava maior correlação simples com as variáveis de biomassa foi o DAP. Já Harcombe (1973), para estimar a biomassa de *Cecropia obtusifolia*, testou diversas variáveis independentes e concluiu que o diâmetro foi a melhor.

Singh (1982) verificou que a biomassa de várias espécies florestais do Canadá pode ser estimada com boa precisão em função fundamentalmente do DAP. Neste sentido, Valeri et al. (1989) observaram que esta variável é a mais simples de ser obtida para estimar a biomassa dos componentes das árvores. Utilizando-se o DAP como variável independente, Castro et al. (1980), Pinheiro (1980) e Lear et al. (1984) procederam estimativas com precisões bastante aceitáveis.

### 5.1.5 Correlação das variáveis analisadas com o Carbono

Foram obtidos os valores do coeficiente de correlação entre as variáveis dendrométricas e o carbono dos distintos componentes das árvores de *Pinus elliottii* Eng., conforme mostra a Tabela 6.

Com exceção para a estrutura reprodutiva, destaca-se uma alta correlação entre as variáveis dendrométricas e de carbono analisadas neste estudo. As maiores correlações encontradas foram entre o carbono total e o carbono aéreo, carbono aéreo e o carbono do fuste, bem como, entre o carbono total e o do fuste, ambas com correlações lineares simples ( $r$ ) iguais a 0,9996; 0,9975 e 0,9974, respectivamente. A menor correlação foi observada entre o carbono da estrutura reprodutiva e o da casca ( $r = 0,2400$ ).

Tabela 6 – Correlação linear simples entre as variáveis dendrométricas e o carbono da árvore de *Pinus elliottii* Eng. em plantios de 1 a 25 anos.

| Variáveis     | Idade<br>(anos) | DAP<br>(cm) | h<br>(m) | Acículas<br>(kg) | G. Vivo<br>(kg) | Fuste<br>(kg) | Casca<br>(kg) | Raiz<br>(kg) | G. Morto<br>(kg) | Est. Rep.<br>(kg) | Acima<br>do solo<br>(kg) | Total<br>(kg) |
|---------------|-----------------|-------------|----------|------------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|------------------|-------------------|--------------------------|---------------|
| Idade         | 1               |             |          |                  |                 |               |               |              |                  |                   |                          |               |
| DAP           | 0,9851          | 1           |          |                  |                 |               |               |              |                  |                   |                          |               |
| h             | 0,9773          | 0,9849      | 1        |                  |                 |               |               |              |                  |                   |                          |               |
| Acículas      | 0,8360          | 0,8714      | 0,8850   | 1                |                 |               |               |              |                  |                   |                          |               |
| G. Vivos      | 0,8830          | 0,8943      | 0,8719   | 0,7917           | 1               |               |               |              |                  |                   |                          |               |
| Fuste         | 0,9378          | 0,9136      | 0,8773   | 0,7079           | 0,8976          | 1             |               |              |                  |                   |                          |               |
| Casca         | 0,9299          | 0,9299      | 0,9100   | 0,8173           | 0,9053          | 0,9128        | 1             |              |                  |                   |                          |               |
| Raiz          | 0,9119          | 0,9076      | 0,8764   | 0,8012           | 0,8372          | 0,8733        | 0,9104        | 1            |                  |                   |                          |               |
| G. Mortos     | 0,7494          | 0,7420      | 0,6780   | 0,5008           | 0,7605          | 0,8317        | 0,7309        | 0,7433       | 1                |                   |                          |               |
| Est. Rep.     | 0,3913          | 0,4149      | 0,3347   | 0,3085           | 0,4355          | 0,4008        | 0,2400        | 0,6837       | 0,4102           | 1                 |                          |               |
| Acima do solo | 0,9494          | 0,9311      | 0,8975   | 0,7454           | 0,9212          | 0,9975        | 0,9344        | 0,8855       | 0,8299           | 0,4173            | 1                        |               |
| Total         | 0,9459          | 0,9184      | 0,8811   | 0,7351           | 0,9520          | 0,9974        | 0,9555        | 0,8987       | 0,8600           | 0,5699            | 0,9996                   | 1             |

Idade=idade dos povoamentos; DAP = diâmetro a altura do peito; h = altura total da árvore; Total = carbono total da árvore.

Verifica-se que as variáveis dendrométricas DAP e a altura total da árvore apresentaram expressivos coeficientes de correlação com o carbono dos componentes analisados, e caracterizam-se como importantes variáveis na modelagem, principalmente pela acuracidade e facilidade na sua obtenção, permitindo o desenvolvimento de equações que poderão gerar estimativas precisas dos componentes da árvore de *Pinus elliottii* Eng. Machado et al. (2006) analisaram as relações quantitativas entre as variáveis dendrométricas e os teores de carbono para a *Mimosa scabrella* Benth. onde verificaram que a variável DAP permaneceu entre os maiores coeficientes de correlação para os distintos componentes da árvore analisados.

#### **5.1.6. Comparação entre os teores de carbono dos componentes analisados**

Por questões biológicas limitantes a uma única análise estatística de comparação entre os teores de carbono observados, ao constatar-se que a estrutura reprodutiva esteve presente somente em árvores com idades superiores a 15 anos, a comparação entre os teores de carbono entre os componentes foram analisados em dois momentos, sendo o primeiro em árvores com idades até 14 anos, sem a presença de estrutura reprodutiva, contando com a média de 25 repetições para cada um dos componentes analisados (acículas, casca do fuste, madeira do fuste, galho morto, galho vivo e raiz), e no segundo momento, em árvores com idade superior a 15 anos, com a estrutura reprodutiva presente, contando com a média de 10 repetições para cada componente (acículas, casca do fuste, estrutura reprodutiva, madeira do fuste, galho morto, galho vivo e raiz).

Destaca-se que os distintos componentes analisados em árvores de *Pinus elliottii* Eng. com idades entre 1 a 25 anos apresentaram o teor médio de carbono de  $442,4 \text{ g.kg}^{-1}$ , bem como, para os distintos componentes analisados em árvores de *Pinus*

*elliottii* Eng. com idades entre 15 a 25 anos apresentaram teor médio de carbono de 442,6 g.kg<sup>-1</sup>, sendo estes muito próximos, podendo ser considerados idênticos.

Schumacher (2002) em estudo de quantificação de biomassa e nutrientes em floresta de *Pinus taeda*, com 18 anos de idade, na região de Cambará do Sul/RS, encontraram os seguintes teores de carbono: 463 g.kg<sup>-1</sup> para acículas; 433 g.kg<sup>-1</sup> para galhos vivos; galhos mortos 436 g.kg<sup>-1</sup>; madeira da ponteira (parte terminal do fuste) 452 g.kg<sup>-1</sup>; madeira tronco (base da árvore) 448 g.kg<sup>-1</sup>; casca da ponteira 417 g.kg<sup>-1</sup> e casca do tronco 412 g.kg<sup>-1</sup>.

Weber et al. (2006), trabalhando com seis espécies da Floresta Ombrófila Mista, encontraram os seguintes teores médios de carbono: 422 g.kg<sup>-1</sup> em *Myrsine ferruginea*, 418 g.kg<sup>-1</sup> em *Ocotea porosa*, 413 g.kg<sup>-1</sup> em *Ilex paraguariensis*, 410 g.kg<sup>-1</sup> em *Mimosa scabrella*, 407 g.kg<sup>-1</sup> em *Symplocos uniflora* e 399 g.kg<sup>-1</sup> em *Styrax leprosus*, sendo estes, inferiores aos encontrados neste estudo para a espécie *Pinus elliottii* Eng.

Sette Junior et al. (2006) estudando a captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades encontraram para o teor médio de carbono, concentração maior (553 g.kg<sup>-1</sup>) que a normalmente referenciada em outros trabalhos para a espécie, atribuindo essa diferença à influência de diversas variáveis, tais como a condição de sítio, material genético, tipo de manejo e do próprio método de quantificação do teor de carbono e/ou suas interações.

Lopes e Aranha (2006) avaliaram o conteúdo de carbono na matéria seca dos diferentes componentes de árvores de *Eucalyptus globulus* constatando que a concentração média de carbono da matéria seca para esta espécie foi de 464g.kg<sup>-1</sup>, enquanto que para *Pinus pinaster* foi 475 g.kg<sup>-1</sup>.



### 5.1.6.1. Comparação entre os teores de carbono para árvores de 1 a 25 anos.

A homogeneidade da variância dos teores de carbono para cada componente foi avaliada pelo teste de Bartlett, que revelou serem as variâncias homogêneas. Na análise dos teores de carbono entre as respectivas partes das árvores entre 1 a 25 anos de *Pinus elliottii* Eng., a análise de variância revelou que existem diferenças altamente significativas entre as mesmas (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise de variância dos teores de carbono ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) entre as diferentes partes avaliadas.

| F. V.       | G.L. | S.Q.     | Q.M.    | F         |
|-------------|------|----------|---------|-----------|
| Tratamentos | 5    | 143,9016 | 28,7803 | 137,6366* |
| Resíduos    | 144  | 30,1109  | 0,2091  |           |
| Total       | 149  | 85,4277  |         |           |

\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

Utilizando o teste de Duncan, foi verificado quais componentes apresentam diferenças, sendo o maior teor médio de carbono obtido para o componente casca ( $457,7 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e o menor para os galhos mortos ( $437,2 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Conforme mostra a Tabela 8, os teores médios de carbono para os componentes madeira do fuste, raízes e galhos vivos são  $439,0 \text{ g.kg}^{-1}$ ,  $437,4 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $437,2 \text{ g.kg}^{-1}$ , respectivamente, os quais não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao teste realizado.

Tabela 8 – Comparação entre as médias dos teores de carbono ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) nos componentes de *Pinus elliottii* Eng. comparados pelo teste de Duncan.

| Componentes      | Médias ordenadas ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) | Comparação entre as médias |
|------------------|---|----------------------------|
| Casca do fuste   | 457,7                                   | a                          |
| Acículas         | 453,3                                   | b                          |
| Madeira do Fuste | 439,0                                   | c                          |
| Raízes           | 437,4                                   | c                          |
| Galhos vivos     | 437,2                                   | c                          |
| Galhos mortos    | 429,8                                   | d                          |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 95% de probabilidade.

Weber et al. (2003) analisaram os teores de carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em diferentes idades, encontrando os seguintes teores médios: fuste ( $441 \text{ g.kg}^{-1}$ ), folhagem ( $440 \text{ g.kg}^{-1}$ ), galho morto ( $429 \text{ g.kg}^{-1}$ ), galho vivo ( $417 \text{ g.kg}^{-1}$ ), raiz ( $405 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e casca ( $401 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Comparando estes resultados com os valores médios obtidos no presente trabalho, verificam-se em média teores de carbono muito semelhantes, com exceção da casca, onde ocorreu uma diferença de 5,67%.

Urbano (2007), em estudo com *Mimosa scabrella*, encontrou valores para os teores de carbono de  $454,6 \text{ g.kg}^{-1}$  para as folhas,  $446,9 \text{ g.kg}^{-1}$  para a casca,  $441,3 \text{ g.kg}^{-1}$  para galhos inferiores a 4 cm de diâmetro,  $439,4 \text{ g.kg}^{-1}$  para galhos superiores a 4 cm de diâmetro e  $436,8 \text{ g.kg}^{-1}$  para o fuste. Portanto, os valores encontrados neste estudo estão condizentes com os de outros pesquisadores em estudos em outras regiões, onde os valores gravitam entre 400 e  $450 \text{ g.kg}^{-1}$ , aproximadamente, para todos os compartimentos.

Bauer et al. (2000) apresentaram valores de  $478 \text{ g.kg}^{-1}$  para folhas,  $475 \text{ g.kg}^{-1}$  para os ramos,  $466 \text{ g.kg}^{-1}$  para o tronco e  $465 \text{ g.kg}^{-1}$  para as raízes em povoamento de

*Fagus sylvatica*, em Collelongo, na Itália. Os mesmos autores encontraram valores mais elevados para a espécie *Pinus sylvestris*, em Aheden, na Suécia, obtendo para as folhas 497 g.kg<sup>-1</sup> e para o tronco 484 g.kg<sup>-1</sup>.

De forma simplificada muitos autores consideram que, em termos gerais, 500 g.kg<sup>-1</sup> da matéria seca é carbono (ATJAY et al. 1979; GOWER et al. 1997; GOETZ e PRINCE, 1998), entretanto, cabe destacar que conforme observação realizada por Vieira et al. (2009) considera-se importante, salientar que os valores encontrados no presente estudo e por outros pesquisadores são sempre inferiores ao referencial de 500 g.kg<sup>-1</sup> amplamente utilizado em metodologias de quantificação de carbono em plantas.

#### 5.1.6.2. Comparação entre os teores de carbono para árvores entre 15 e 25 anos.

A homogeneidade da variância dos teores de carbono para cada componente foi avaliada pelo teste de Bartlett, que revelou serem as variâncias homogêneas. Na análise dos teores de carbono entre as respectivas partes das árvores entre 15 a 25 anos de *Pinus elliottii* Eng., a análise de variância revelou que existem diferenças altamente significativas entre as mesmas (Tabela 9).

Tabela 9 – Análise de variância dos teores de carbono (g.kg<sup>-1</sup>) entre os diferentes componentes avaliados.

| F. V.       | G.L. | S.Q.    | Q.M.    | F        |
|-------------|------|---------|---------|----------|
| Tratamentos | 6    | 73,9043 | 12,3174 | 74,8232* |
| Resíduos    | 70   | 11,5234 | 0,1646  |          |
| Total       | 76   | 85,4277 |         |          |

\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<.01)

Utilizando o teste de Duncan, foi verificado quais componentes apresentam diferenças, sendo o maior teor médio de carbono obtido pelos componentes casca (456,0 g.kg<sup>-1</sup>) e acículas (454,8 g.kg<sup>-1</sup>) e o menor para os galhos mortos (427,4 g.kg<sup>-1</sup>), conforme apresenta a tabela 10.

Tabela 10 – Comparação entre as médias dos teores de carbono (g.kg<sup>-1</sup>) nos componentes de *Pinus elliottii* Eng. comparados pelo teste de Duncan.

| Componentes           | Médias ordenadas (%) | Comparação entre as médias |
|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| Casca do fuste        | 456,0                | a                          |
| Acículas              | 454,8                | a                          |
| Estrutura reprodutiva | 447,4                | b                          |
| Raízes                | 440,2                | c                          |
| Galhos vivos          | 436,9                | c d                        |
| Madeira do Fuste      | 435,4                | d                          |
| Galhos mortos         | 427,4                | e                          |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 95% de probabilidade.

Rochadelli (2001), ao estudar a estrutura de fixação de carbono em povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bent.) com idades entre 1 a 7 anos, conclui que diferentes posições sociológicas apresentam diferentes concentrações dos constituintes fundamentais e acidentais da biomassa tanto da madeira quanto da casca, sendo que a concentração de carbono pode variar em torno de 400 a 450 g.kg<sup>-1</sup> da biomassa seca total.

Considerando a média dos teores encontrados para os componentes da espécie *Pinus elliottii* Eng. no presente estudo, percebe-se que o valor está de acordo com o

que Rochadelli (2001) declarou, entretanto, ao analisar as diferentes partes de *Mimosa scabrella* percebe-se que existem partes das árvores desta espécie com concentrações menores, como a casca que apresentou em seu estudo  $372 \text{ g.kg}^{-1}$  de carbono.

## 5.2. Ajuste de equações para estimativa de biomassa e carbono fixado

Para estimativa do peso da biomassa e do carbono fixado nas árvores de *Pinus elliottii* Eng., ajustaram-se diversos modelos matemáticos, os quais estão apresentados nos anexos, sendo que para fins de discussão foram selecionadas os 8 modelos que apresentaram os melhores desempenhos, sendo 4 para biomassa e 4 para o carbono.

### 5.2.1. Peso total de biomassa e carbono

De uma forma geral as equações selecionadas para estimativas da biomassa total apresentaram  $R^2_{aj.}$  variando de 0,9476 a 0,9731 e  $S_{yx\%}$  entre 18,86 a 30,27%. Já as equações estimativas do peso total de carbono, apresentaram uma variação do  $R^2_{aj.}$  entre 0,9465 e 0,9738 e  $S_{yx\%}$  entre 18,96 e 29,79% (Tabela 11).

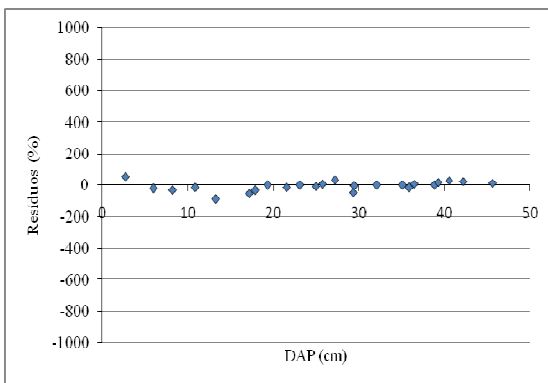
Tabela 11 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono total em povoamentos de *Pinus elliottii* Eng.

|          | N. | EQUAÇÃO  | $R^2_{aj.}$ | $S_{yx\%}$ | F        |
|----------|----|--|-------------|------------|----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,19635 d^{2,16238}$  | 0,9623      | 28,6164    | 587,6259 |
|          | 10 | $y = 27,63326 + 0,01010 d^3$   | 0,9497      | 20,4132    | 435,4573 |
|          | 12 | $y = 0,27834 (dh)^{0,730605}$  | 0,9731      | 30,2700    | 832,9390 |
|          | 15 | $y = 156,12867 - 70,35593 d + 9,35952 d^2 - 0,48389 d^3 + 0,01132 d^4 - 0,0000942 d^5$ | 0,9476      | 18,8565    | 84,1265  |
| Carbono  | 1  | $y = 0,08527 d^{2,16583}$  | 0,9624      | 28,1724    | 589,5778 |
|          | 10 | $y = 12,72901 + 0,00441 d^3$   | 0,9484      | 20,5927    | 423,7788 |
|          | 12 | $y = 0,12073 (dh)^{0,71627}$   | 0,9738      | 29,7944    | 854,7419 |
|          | 15 | $y = 69,94169 - 31,46503 d + 4,16755 d^2 - 0,21458 d^3 + 0,00501 d^4 - 0,0000415 d^5$  | 0,9465      | 18,9653    | 82,4016  |

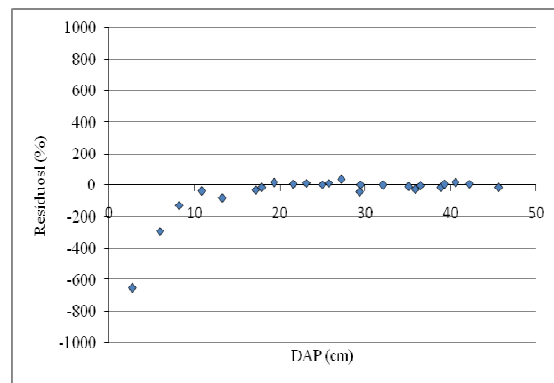
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Os resultados obtidos apresentam valores aceitáveis do ponto de vista prático na área florestal e mostram que as equações 1, 10 e 12 apresentaram os melhores coeficientes de determinação e para a estatística F, destacando o menor erro padrão da estimativa em porcentagem para a equação 15. As diferenças encontradas nos valores do coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa em porcentagem são relevantes, levando-se em conta tratar-se da estimativa da biomassa e do carbono total da árvore, destacando ainda, que a variável altura total (h) não expressou aumento da eficácia no ajuste dos modelos analisados nessas condições de diferentes idades (1 a 25 anos).

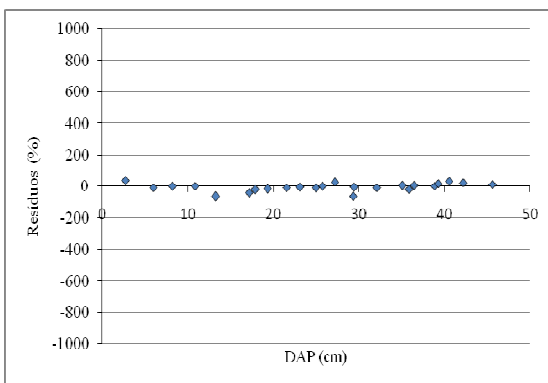
A distribuição dos resíduos das equações selecionadas (1, 10, 12 e 15) podem ser observadas nas Figuras 7 e 8, onde verifica-se que as equações logarítmicas 1 e 12 explicam de maneira satisfatória as variáveis de interesse, isentas de uma distribuição de resíduos tendenciosa.



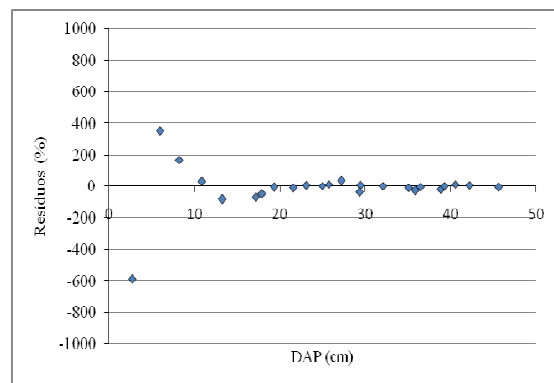
Equação 1



Equação 10



Equação 12



Equação 15

Figura 7 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa total de *Pinus elliottii* Eng.

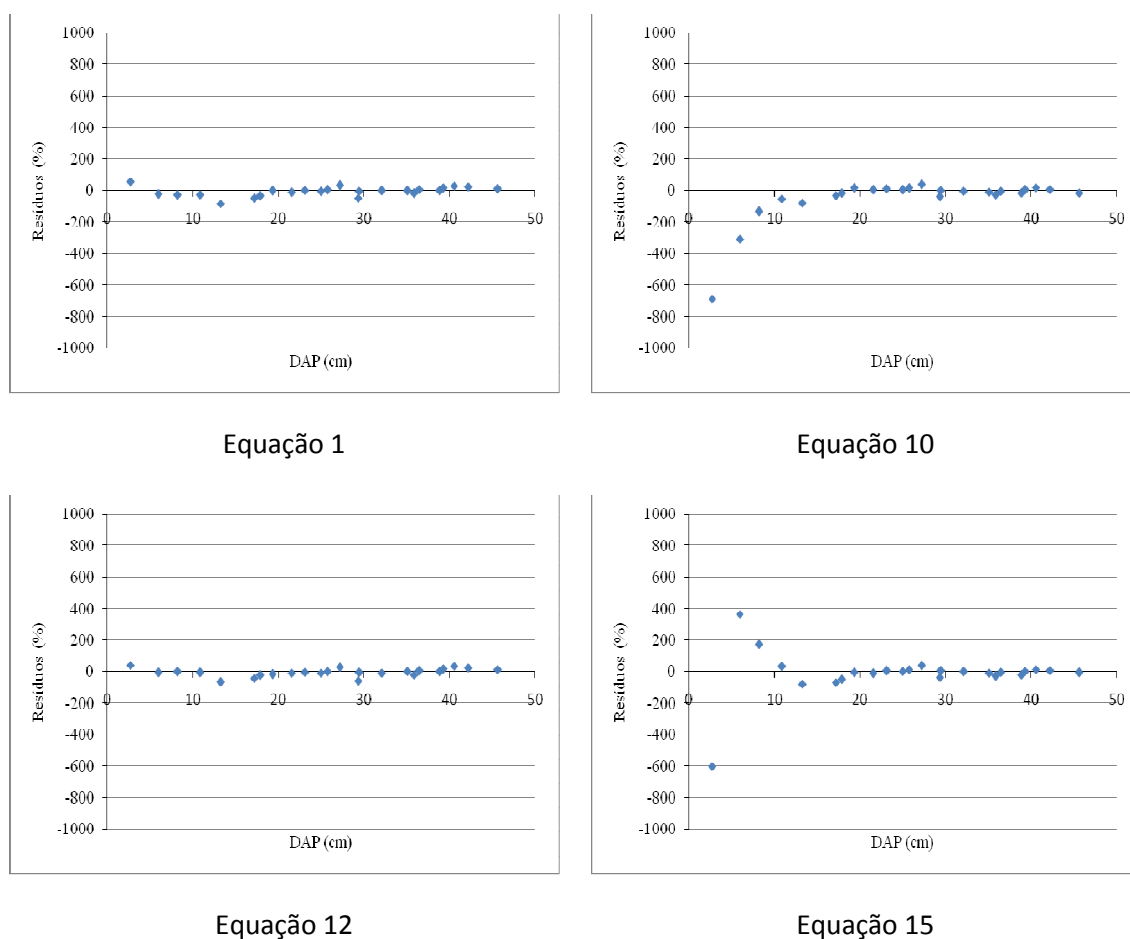


Figura 8 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono total de *Pinus elliottii* Eng.

Os gráficos de resíduos das Figuras 7 e 8 referentes às equações ajustadas para biomassa e carbono total, mostram que as equações logarítmicas desempenharam melhor distribuição residual que as aritméticas, sem tendência de super ou subestimativa ao longo da linha de regressão.

Desta forma, observa-se que, apesar dos bons resultados obtidos para o coeficiente de determinação ( $R^2_{aj.}$ ) e o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) das equações lineares 10 e 15, constatou-se que estes apresentaram baixa capacidade preditiva, observando a análise gráfica de seus resíduos, visto que os mesmos evidenciaram uma

distribuição tendenciosa e não explicam adequadamente a biomassa e o carbono total das árvores com pequenos diâmetros.

Os melhores desempenhos para estimativa destas variáveis foram obtidos pelas equações 1 e 12, as quais não apresentam diferenças significativas quanto aos seus coeficientes de determinação e a dispersão gráfica de resíduos, entretanto pode-se admitir a escolha da equação 1 como a mais apropriada, visto sua maior simplicidade, demandando apenas uma variável independente de fácil obtenção, bem como, por apresentar o menor erro padrão da estimativa percentual.

O modelo de regressão selecionado no presente trabalho, vem sendo empregado por diversos autores e promovendo resultados altamente significativos (ATTIWILL, 1972; ANDRAE, 1982; LANDSBERG, 1986; CROMER et al., 1993; SCHUMACHER, 1995; CARBONERA et al., 1997; SCHUMACHER, 1998 e CALDEIRA, 1998). Diante disto, sendo também aplicado em vários trabalhos para estimativa de biomassa em distintos componentes, como os observados por Calill (2003) e Barrichello (2003) com a espécie *Acacia mearnsii* aos seis e oito anos, respectivamente, Weber (2004) com *Cryptomeria japonica* com 28 anos, Schumacher (1998) com *Eucalyptus globulus*, Martin et al. (1998) em estimativa de biomassa com 10 espécies florestais nos Estados Unidos e por Kadeba (1994) para estimar distintos componentes da biomassa de *Pinus caribea* com 14 anos.

### **5.2.2. Peso de biomassa e carbono dos componentes acima do solo**

Os resultados dos ajustes das equações de melhor desempenho que exprimem a biomassa e o carbono aéreo, compreendido como aquele alocado nos componentes da árvore acima do solo, em kg, para *Pinus elliottii* em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 12.



Tabela 12 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono dos componentes acima do solo.

|          | N. | EQUAÇÃO  | R <sup>2</sup> aj. | Syx%   | F         |
|----------|----|--|--------------------|--------|-----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,15354 d^{2,195218}$   | 0,9627             | 23,679 | 3073,2134 |
|          | 7  | $y = 0,27957 d^{0,894029} h^{1,28057}$   | 0,9777             | 25,975 | 2606,2784 |
|          | 1  |  |                    |        |           |
|          | 2  | $y = 0,21067 (dh)^{0,730605}$  | 0,9751             | 24,193 | 4651,9895 |
|          | 5  | $y = 97,5911 - 44,8794 d + 5,9627 d^2 - 0,3017 d^3 + 0,00708 d^4 - 0,000059 d^5$       | 0,9587             | 17,899 | 553,9041  |
| Carbono  | 1  | $y = 0,06729 d^{2,19599}$  | 0,9617             | 23,244 | 2988,3354 |
|          | 7  | $y = 0,12513 d^{0,84911} h^{1,32553}$  | 0,9777             | 25,647 | 2610,5377 |
|          | 1  |  |                    |        |           |
|          | 2  | $y = 0,09214 (dh)^{0,73108}$   | 0,9746             | 23,702 | 4570,8616 |
|          | 5  | $y = 43,72389 - 20,05607 d + 2,64972 d^2 - 0,13328 d^3 + 0,00311 d^4 - 0,00002593 d^5$ | 0,9584             | 17,481 | 549,2939  |

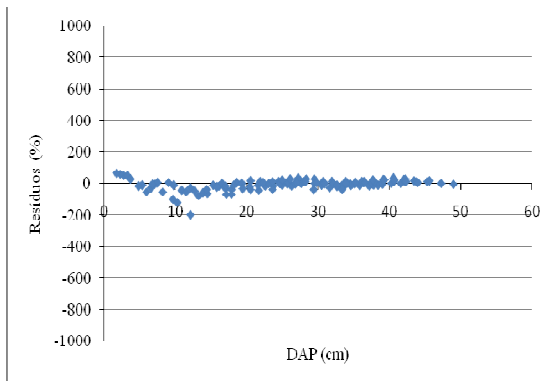
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Os resultados obtidos para as estimativas de biomassa e carbono aéreo mostram que as equações 1, 7 e 12 apresentaram os melhores coeficientes de determinação e estatística F, cabendo os menores erros padrão da estimativa percentual, em geral para as equações lineares analisadas, destacando o menor valor desta estatística para a equação 15, sendo 17,89% da biomassa e 17,48% para o carbono aéreo.

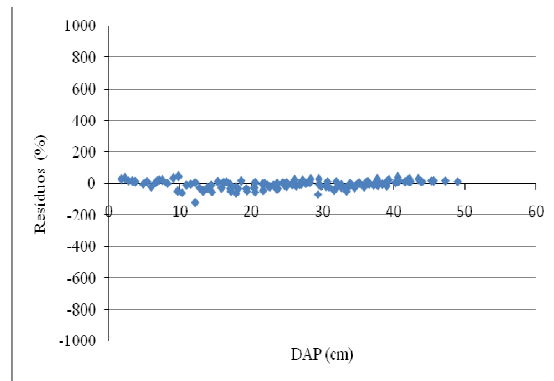
Rezende et al. (2006) procederam a comparação de modelos matemáticos para estimativa do estoque de carbono aéreo da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto*, constatando valores altamente significativos, obtendo aproximações para o coeficiente de determinação de 0,98 e para o erro padrão da estimativa percentual 26,0%.

A distribuição dos resíduos das equações selecionadas podem ser observadas nas Figuras 9 e 10. Por meio da análise gráfica das distribuições dos resíduos, verifica-se que a equação 15 (polinomial de quinto grau) apresenta distribuição tendenciosa e não explica adequadamente a biomassa acima do solo das árvores com pequenos diâmetros, todavia as equações logarítmicas 1, 7 e 12 explicam de maneira satisfatória

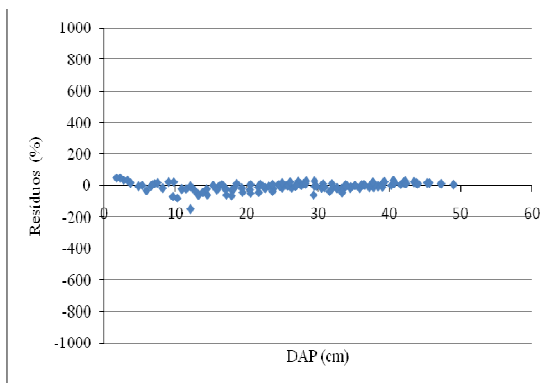
a variável de interesse, isentas de tendenciosidade na distribuição de resíduos, onde as diferenças observadas entre ambas são imperceptíveis.



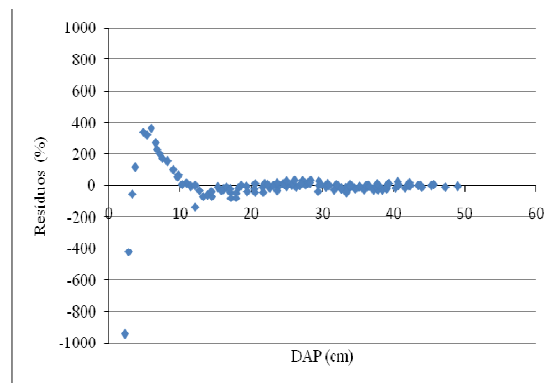
Equação 1



Equação 7

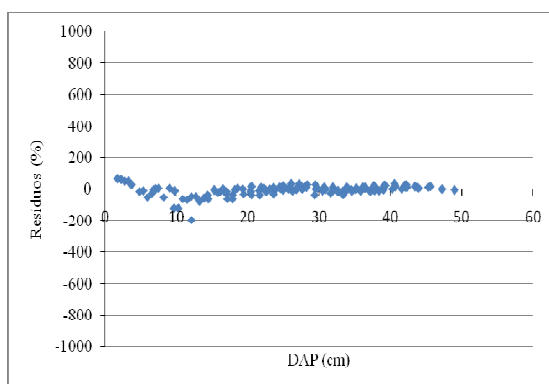


Equação 12

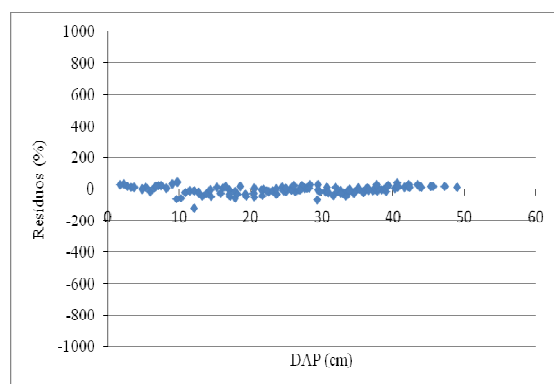


Equação 15

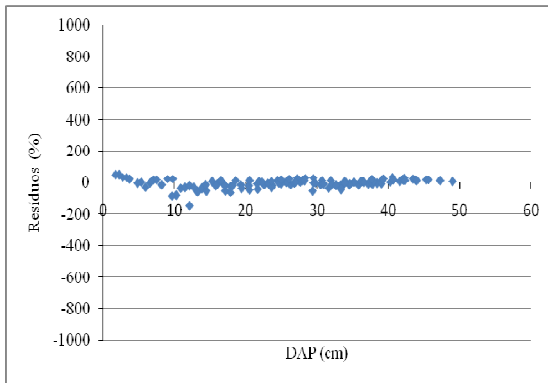
Figura 9 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa acima do solo de *Pinus elliottii* Eng.



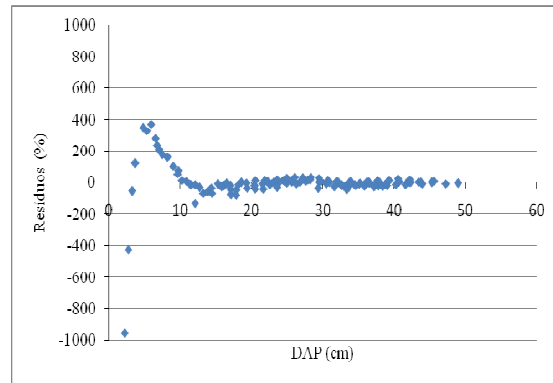
Equação 1



Equação 7



Equação 12



Equação 15

Figura 10 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono acima do solo de *Pinus elliottii* Eng.

As melhores equações 1, 7 e 12 apresentam resultados de desempenho semelhantes para as estatísticas avaliadas, concomitantemente com diferenças desprezíveis do ponto de vista estatístico, todavia possibilitando escolher a equação 1 como a mais apropriada do ponto de vista prático, demandando de apenas uma variável independente de fácil obtenção.

Bagio et al. (1995) trabalharam no desenvolvimento de equações para estimativas de biomassa acima do solo de *Mimosa scabrella* Benth. e Higuchi et al. (1998) analisaram a biomassa do componente aéreo de uma vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira, onde obtiveram para o melhor ajuste a equação resultante do modelo 1.

### 5.2.3. Peso de biomassa e carbono da madeira do fuste

Os resultados dos ajustes das equações de melhor desempenho que exprimem a biomassa e o carbono da madeira do fuste, em kg, para *Pinus elliottii* em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 13.

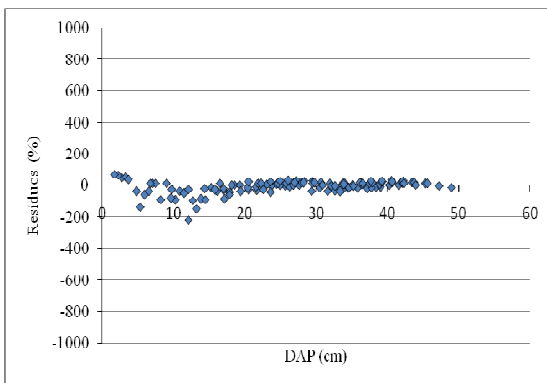
Tabela 13 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono da madeira do fuste.

|          | N. | EQUAÇÃO   | R <sup>2</sup> aj. | Syx%   | F        |
|----------|----|---|--------------------|--------|----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,03039 d^{2,57604}$   | 0,963              | 26,227 | 3105,783 |
|          |    |   | 1                  | 3      | 9        |
|          | 7  | $y = 0,06212 d^{1,02351} h^{1,52791}$   | 0,978              | 28,348 | 2718,570 |
|          |    |   | 6                  | 7      | 2        |
|          | 1  |   | 0,975              | 26,376 |          |
|          | 2  | $y = 0,04399(dh)^{0,85747}$   | 7                  | 2      | 4783,945 |
|          | 1  | $y = 88,61564 - 41,66695 d + 5,54380 d^2 - 0,28959 d^3 + 0,00692 d^4 - 0,0000586 d^5$ | 0,951              | 20,489 |          |
|          | 5  |   | 4                  | 1      | 467,4144 |
| Carbono  | 1  | $y = 0,01357 d^{2,57051}$   | 0,963              | 25,926 | 3132,973 |
|          |    |   | 4                  | 7      | 3        |
|          | 7  | $y = 0,02755 d^{1,03232} h^{1,51381}$   | 0,978              | 27,978 | 2730,627 |
|          |    |   | 7                  | 1      | 5        |
|          | 1  |   | 0,975              | 26,057 | 4822,159 |
|          | 2  | $y = 0,01963 (dh)^{0,85557}$  | 9                  | 9      | 5        |
|          | 1  | $y = 39,18534 - 18,40658 d + 2,44428 d^2 - 0,12729 d^3 + 0,00303 d^4 - 0,0000256 d^5$ | 0,950              | 20,538 |          |
|          | 5  |   | 8                  | 8      | 460,7682 |

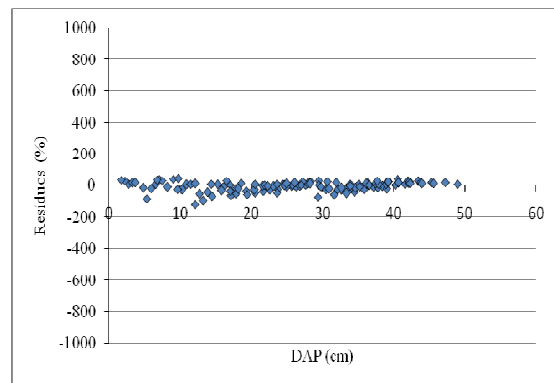
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Observa-se que as equações ajustadas para estimar a biomassa da madeira do fuste das árvores apresentou o erro padrão da estimativa ( $S_{yx\%}$ ) variando de 20,49% a 28,35% e o coeficiente de determinação ( $R^2_{aj.}$ ) variando de 0,95 a 0,98. Já os desempenhos das equações ajustadas para estimar o peso de carbono da madeira do fuste apresentaram o erro padrão da estimativa variando de 20,54% a 27,98% e o coeficiente de determinação variando de 0,95 a 0,98.

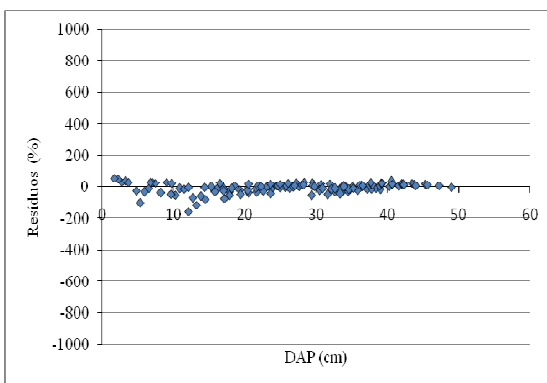
Os gráficos de resíduos das Figuras 11 e 12 referentes às equações ajustadas para biomassa e carbono da madeira do fuste, mostram que as equações logarítmicas (equações 1, 7 e 12) desempenharam melhor distribuição residual que a aritmética (equação 15), sem tendência de super ou subestimativa ao longo da linha de regressão.



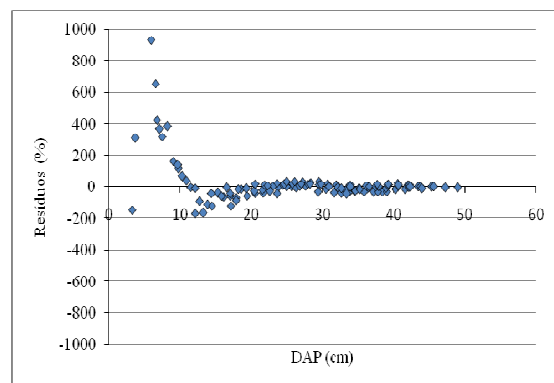
Equação 1



Equação 7



Equação 12



Equação 15

Figura 11 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa da madeira do fuste de *Pinus elliottii* Eng.

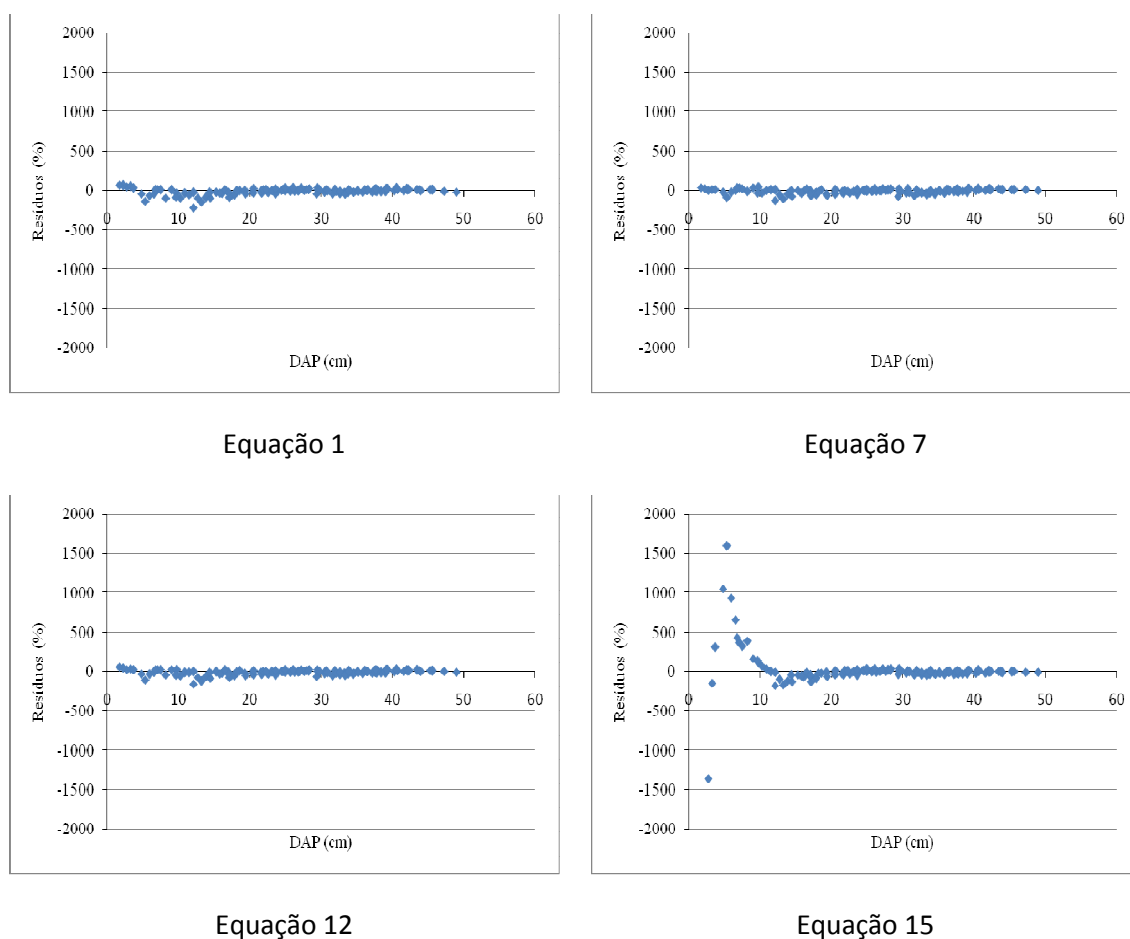


Figura 12 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono da madeira do fuste de *Pinus elliottii* Eng.

As equações resultantes dos modelos logarítmicos 1, 7 e 12, em geral, apresentaram os melhores ajustes com desempenhos semelhantes para as estatísticas avaliadas, podendo ambas serem utilizadas para as estimativas da biomassa e carbono da madeira do fuste, entretanto, cabe salientar que a equação 1 se destaca como a mais apropriada do ponto de vista prático, demandando apenas uma variável independente de fácil obtenção.

Thompson (2009), modelando a biomassa e o carbono do componente aéreo de *Sclerolobium paniculatum* Vor. var. *subvelutinum* Benth., obteve, respectivamente, para a biomassa e o carbono da madeira do fuste como o melhor coeficiente de

determinação ajustado 0,87 e 0,91 e para o erro padrão da estimativa percentual 40,55% e 33,48%.

A equação de melhor desempenho para a estimativa da biomassa da madeira do fuste obtido por Socher (2004) para uma Floresta Ombrófila Mista aluvial no município de Araucária, Paraná, apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,94 e para um erro padrão da estimativa percentual 20,21%.

#### 5.2.4. Peso de biomassa e carbono das Acículas

Os resultados dos ajustes dos modelos de equações que exprimem a biomassa e o carbono das acículas da árvore de *Pinus elliottii*, entendida como a estrutura fotossinteticamente ativa, em kg, em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono das acículas.

|          | N. | EQUAÇÃO   | R <sup>2</sup> aj. | Syx%        | F             |
|----------|----|---|--------------------|-------------|---------------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,27377 d^{1,19071}$   | 0,895<br>3         | 27,767<br>9 | 1018,831<br>1 |
|          | 7  | $y = 0,34603 d^{0,57942} h^{0,60159}$   | 0,905<br>1         | 26,614<br>4 | 568,4459      |
|          | 1  |   | 0,904<br>7         | 26,961<br>4 | 1130,113<br>3 |
|          | 2  | $y = 0,32632 (dh)^{0,39582}$  |                    |             |               |
|          | 1  |   | 0,814<br>5         | 22,133<br>7 | 105,4772      |
|          | 5  | $y = 0,23683 + 0,26154 d - 0,00934 d^2 + 0,00283 d^3 - 0,00010 d^4 + 0,000000993 d^5$   |                    |             |               |
| Carbono  | 1  | $y = 0,12103 d^{1,19880}$   | 0,895<br>7         | 27,994<br>6 | 1022,771<br>8 |
|          | 7  | $y = 0,16155 d^{0,57191} h^{0,61695}$   | 0,905<br>9         | 26,787<br>4 | 573,5724      |
|          | 1  |   | 0,905<br>3         | 27,164<br>1 | 1138,340<br>9 |
|          | 2  | $y = 0,14436 (dh)^{0,39856}$  |                    |             |               |
|          | 1  |   | 0,814<br>6         | 22,205<br>7 | 105,6045      |
|          | 5  | $y = 0,14906 + 0,09608 d - 0,00154 d^2 + 0,00114 d^3 - 0,0000426 d^4 + 0,000000423 d^5$ |                    |             |               |

Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

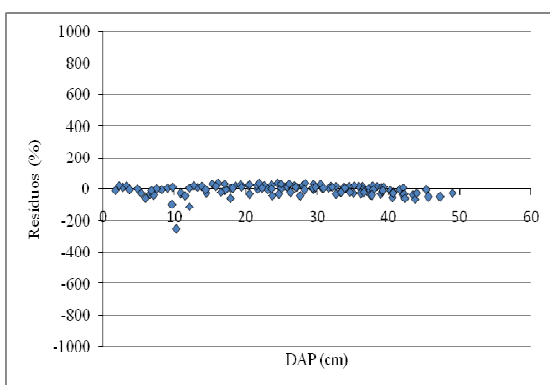
As equações selecionadas para estimativas da biomassa das acículas apresentaram  $R^2_{aj.}$  variando de 0,81 a 0,90 e  $S_{yx\%}$  entre 22,13 a 27,77%. Já as equações das estimativas do carbono das acículas apresentaram uma variação do  $R^2_{aj.}$  entre 0,81 a 0,90 e  $S_{yx\%}$  entre 22,20 e 27,99%.

Valeri et al. (1989) trabalharam com povoamentos de *Pinus taeda* desbastados em diferentes idades no município de Telemaco Borba (PR) obtendo o modelo 1 um bom ajuste para a biomassa de acículas, destacando como coeficiente de determinação  $R^2 = 0,86$  e  $S_{yx\%}$  de 21,40%.

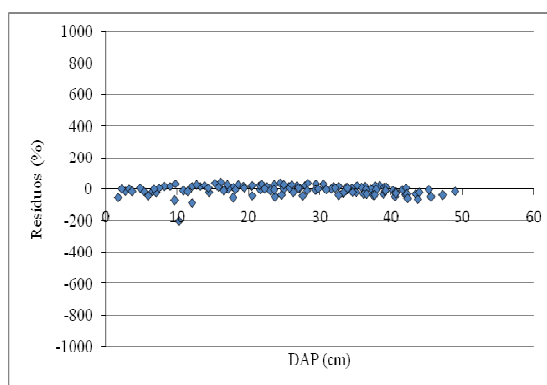
Silva et al. (2004) estudaram o ajuste de equações para uso em estimativas de biomassa nos compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii* concluindo como sendo o ajuste do modelo 1 o mais adequado para o componente folhas, obtendo para o  $R^2$  o valor de 0,91 e para  $S_{yx}$  de 1,05.

Sanquetta et al. (2003), em estudo de modelagem do carbono para as espécies de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, encontraram para o carbono das acículas valores significativos, com coeficiente de determinação de  $R^2_{aj.} = 0,99$  e 0,84, respectivamente, bem como, erro padrão da estimativa  $S_{yx\%} = 11,68\%$  e 28,67%.

As equações resultantes dos modelos logarítmicos 1, 7 e 12 apresentaram a melhor distribuição gráfica de resíduos para a biomassa e o carbono das acículas, ao mesmo tempo em que para a equação 15 constata-se uma distribuição gráfica de resíduos tendenciosa (Figuras 13 e 14).

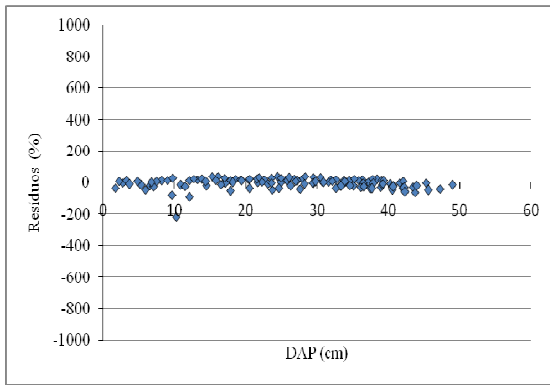


Equação 1

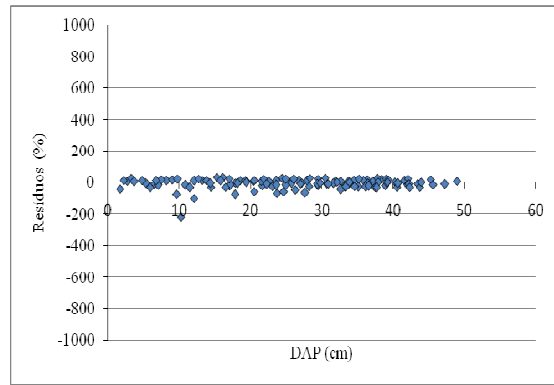


Equação 7



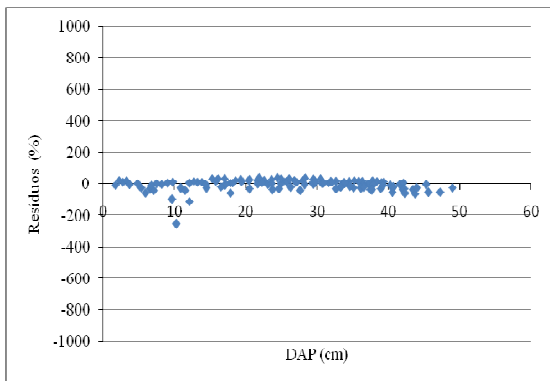


Equação 12

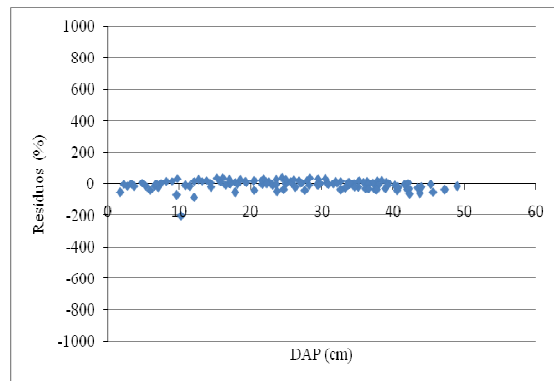


Equação 15

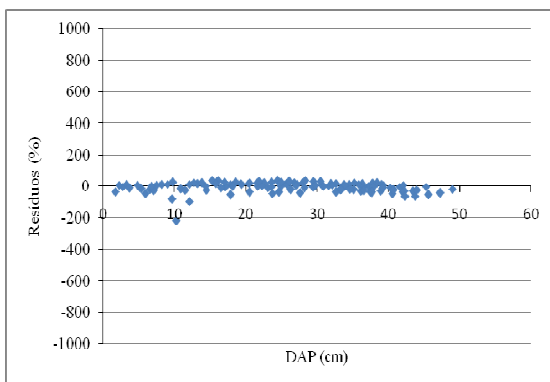
Figura 13 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa das acículas de *Pinus elliottii* Eng.



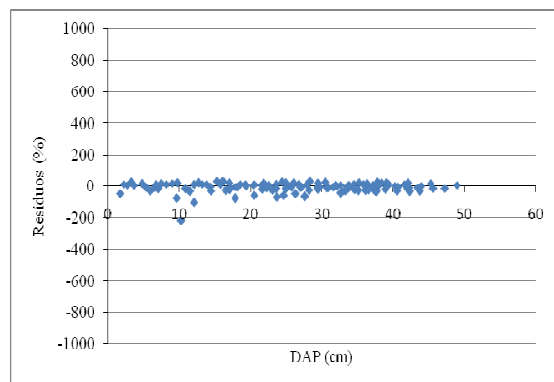
Equação 1



Equação 7



Equação 12



Equação 15

Figura 14 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono das acículas de *Pinus elliottii* Eng.

As equações resultantes dos modelos 1, 7 e 12 em geral, apresentaram os melhores ajustes e desempenho para as estatísticas avaliadas, podendo ambas serem utilizadas para as estimativas da biomassa das acículas de *Pinus elliottii* Eng., entretanto, cabe salientar que o ajuste resultante do modelo 1 se destaca do ponto de vista prático, demandando de apenas uma variável independente de fácil obtenção.

### 5.2.5. Peso de biomassa e carbono dos galhos vivos

As equações estimativas da biomassa de galhos vivos apresentaram  $R^2_{aj.}$  variando de 0,82 a 0,93 e  $S_{yx\%}$  variando de 31,93 a 46,47%. Já as equações estimativas do carbono, apresentaram uma variação do  $R^2_{aj.}$  entre 0,82 e 0,93 e  $S_{yx\%}$  entre 31,91 e 32,99%. A Tabela 15 apresenta as equações ajustadas para estimar a biomassa e o carbono dos galhos vivos.

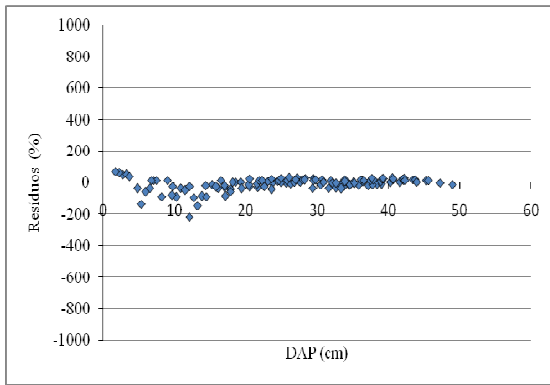
Tabela 15 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono dos galhos vivos.

|          | N. | EQUAÇÃO  | $R^2_{aj.}$ | $S_{yx\%}$ | F         |
|----------|----|--|-------------|------------|-----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,06058 d^{1,75341}$  | 0,9221      | 33,3009    | 1408,8513 |
|          | 7  | $y = 0,08652d^{0,97951} h^{0,76163}$   | 0,9295      | 46,4739    | 785,6335  |
|          | 1  |  |             |            |           |
|          | 2  | $y = 0,07888 (dh)^{0,58225}$   | 0,9297      | 39,367     | 1573,8339 |
|          | 5  | $y = 4,81595 - 1,76663 d + 0,20410 d^2 - 0,00640 d^3 + 0,000089 d^4 - 0,000000369 d^5$ | 0,8209      | 31,9276    | 110,0786  |
| Carbono  | 1  | $y = 0,02668 d^{1,75109}$  | 0,9228      | 32,8425    | 1424,1166 |
|          | 3  | $y = -1,18932 + 0,27655 d + 0,000199 (d^2h)$   | 0,8254      | 31,9072    | 282,3108  |
|          | 7  | $y = 0,03769 d^{1,00084} h^{0,73836}$  | 0,9298      | 32,9949    | 789,435   |
|          | 1  |  |             |            |           |
|          | 2  | $y = 0,03476 (dh)^{0,58137}$   | 0,9301      | 32,8429    | 1583,9285 |

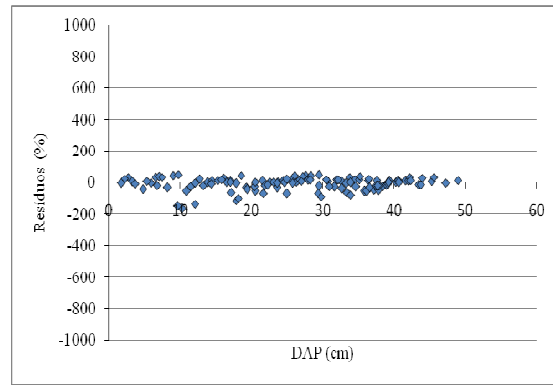
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Observando os resultados das estatísticas analisadas, pode-se constatar que a equação logarítmica 1, que relaciona a biomassa dos galhos vivos do *Pinus elliottii* Eng. em função do diâmetro a altura do peito, apresentou de maneira em geral o melhor desempenho, obtidos para o coeficiente de determinação (0,92), erro padrão da estimativa (33,3%) e o valor de 1408,85 para a estatística F, bem como, a comparação da distribuição gráfica dos resíduos evidencia uma melhor distribuição e concentração dos pontos para o ajuste resultante deste modelo (Figura 15).

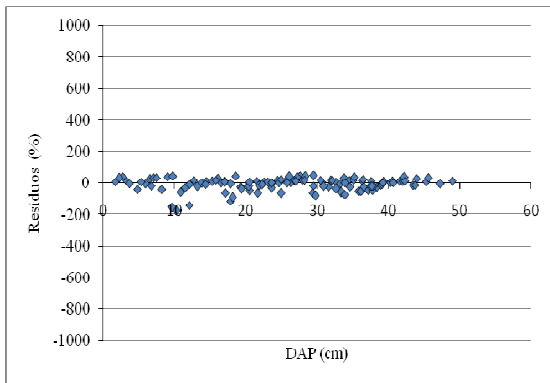
Soares et al. (1996) desenvolveram equações para estimar a biomassa da parte acima do solo de *Eucalyptus grandis*, onde constataram para a equação de melhor ajuste para estimar a biomassa dos galhos o coeficiente de determinação de 0,88 com um erro padrão da estimativa de 48,0%.



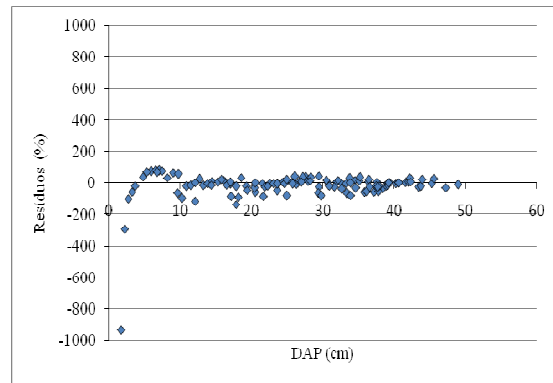
Equação 1



Equação 7



Equação 12



Equação 15

Figura 15 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa dos galhos vivos de *Pinus elliottii* Eng.

Observando os resultados das estatísticas analisadas para o carbono dos galhos vivos, pode-se constatar que a equação logarítmica 12 que relaciona esta variável em função do diâmetro a altura do peito e da altura total da árvore, apresentou o melhor desempenho das estatísticas analisadas, obtendo para o coeficiente de determinação (0,93), erro padrão da estimativa (32,84%) e o maior valor da estatística F, com 1583,93.

Entretanto, destaca-se que os resultados obtidos pela equação 1, que relaciona o carbono dos galhos vivos do *Pinus elliottii* Eng. somente em função do diâmetro a altura do peito, apresentou para o coeficiente de determinação (0,92), erro padrão da estimativa (32,84%) e o valor de 1424,12 para a estatística F, sendo estes muito

semelhantes a equação logarítmica 12, com apenas uma variável independente, podendo também ser utilizado por sua forma prática e obtendo resultados satisfatórios do estoque de carbono para os galhos vivos. A distribuição gráfica dos resíduos das quatro equações de melhor desempenho para o carbono dos galhos vivos estão apresentadas na Figura 16.

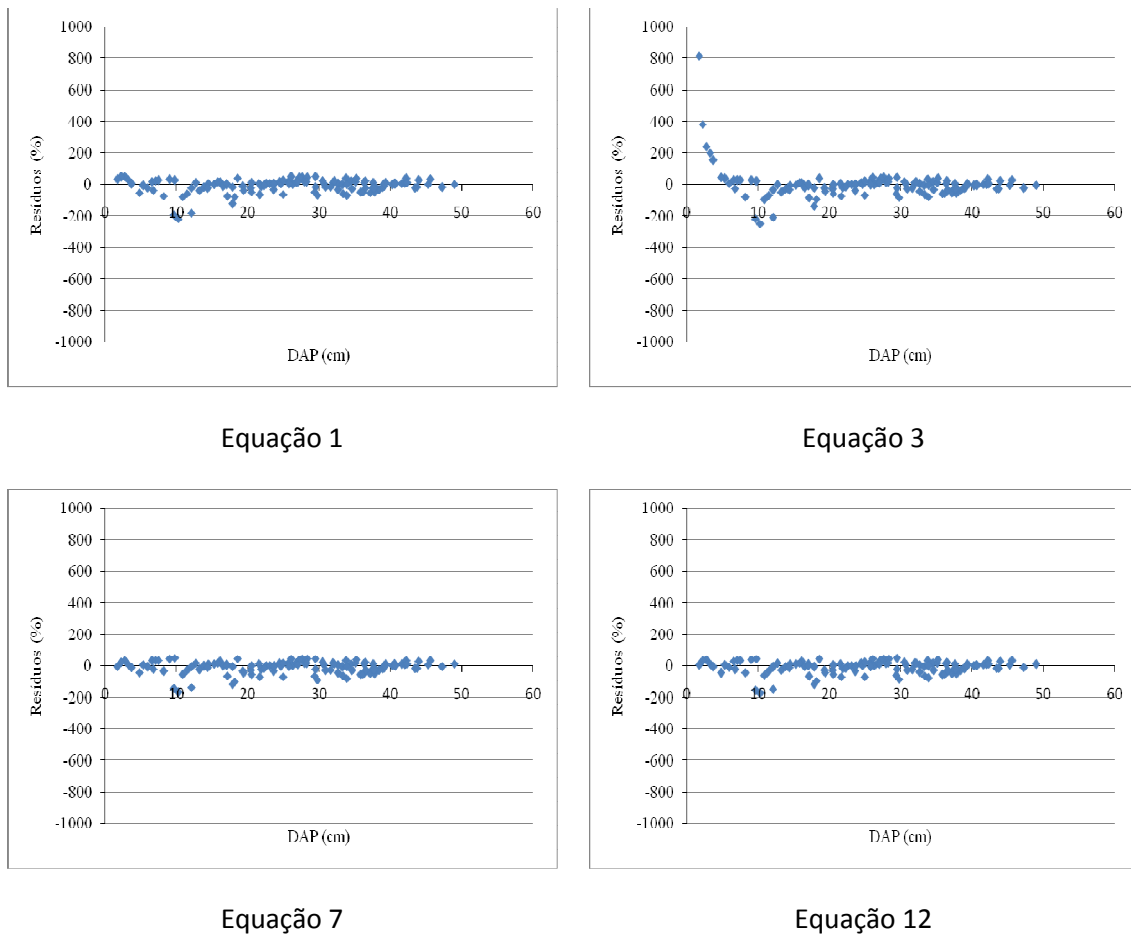


Figura 16 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono dos galhos vivos de *Pinus elliottii* Eng.

Analisando-se os gráficos de resíduos resultantes da equação 3 e 15, referentes aos ajustes de biomassa e do carbono dos galhos vivos, respectivamente, constata-se que estas equações apresentaram resultados insatisfatórios, evidenciando tendências ao longo da linha de regressão, devendo, portanto, ser evitadas.

### 5.2.6. Peso de biomassa e carbono de galhos mortos

Os resultados dos ajustes com as equações que exprimem a biomassa e o carbono dos galhos mortos da árvore de *Pinus elliottii*, em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 16.

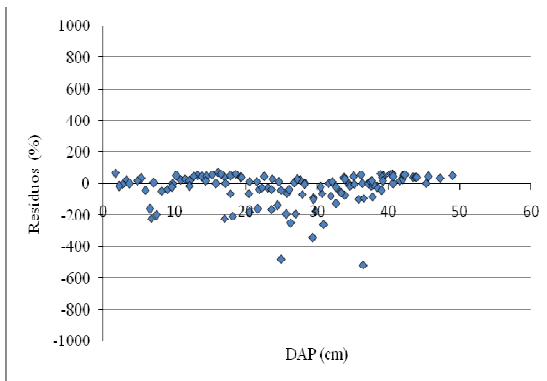
Tabela 16 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono dos galhos mortos.

|          | N. | EQUAÇÃO   | R <sup>2</sup> aj. | Syx%    | F        |
|----------|----|---|--------------------|---------|----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,02087 d^{1,46692}$   | 0,7134             | 69,9955 | 297,1537 |
|          | 7  | $y = 0,01499 d^{2,18484} h^{-0,70654}$  | 0,7187             | 68,3398 | 152,9816 |
|          | 1  |   |                    |         |          |
|          | 5  | $y = 1,36227 - 0,79967 d + 0,14085 d^2 - 0,00836 d^3 + 0,000203 d^4 - 0,0000017 d^5$    | 0,7309             | 50,5836 | 65,6304  |
|          | 1  |   |                    |         |          |
|          | 7  | $y = 0,86278 + 0,00373 d^2 - 0,01101 h^2 + 0,000185 (d^2h)$                             | 0,7092             | 53,0352 | 97,7586  |
| Carbono  | 1  | $y = 0,00902 d^{1,46514}$   | 0,7137             | 69,8205 | 297,7097 |
|          | 7  | $y = 0,00647 d^{2,18801} h^{-0,71141}$  | 0,7192             | 68,1532 | 153,371  |
|          | 1  |   |                    |         |          |
|          | 4  | $y = -0,95262 + 0,32522 d - 0,02217 d^2 + 0,000582 d^3 - 0,00000425 d^4$                | 0,7098             | 52,6044 | 73,7627  |
|          | 1  |   |                    |         |          |
|          | 5  | $y = 0,59434 - 0,34811 d + 0,06108 d^2 - 0,00361 d^3 + 0,0000879 d^4 - 0,000000733 d^5$ | 0,728              | 50,7062 | 64,6975  |

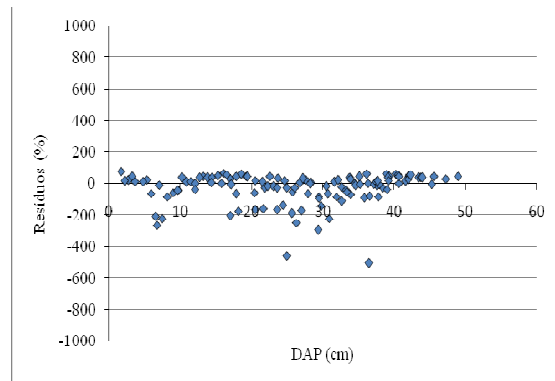
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Para a biomassa e o carbono dos galhos mortos de *Pinus elliottii* Eng. os melhores resultados para o coeficiente de determinação foram obtidos com as equações 1, 7 e 15, entretanto, observa-se um alto erro padrão da estimativa em todos os ajustes. Desta forma, cabe salientar que somente a inclusão das variáveis independentes diâmetro a altura do peito e altura total não são suficientes para explicar de maneira satisfatória a quantidade de biomassa e carbono alocados neste componente.

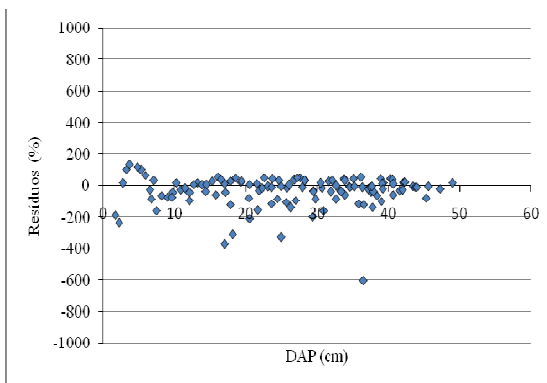
Corroborando a esta análise, a distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas que obtiveram teoricamente os melhores desempenhos são apresentadas nas Figuras 17 e 18.



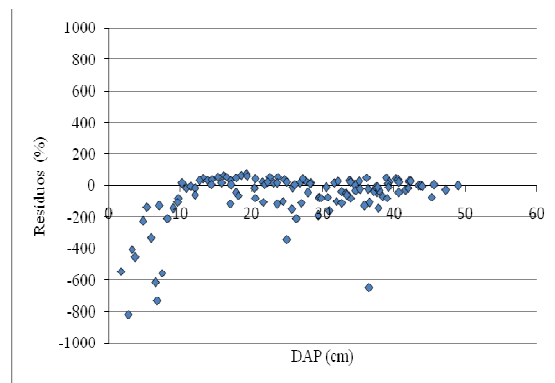
Equação 1



Equação 7

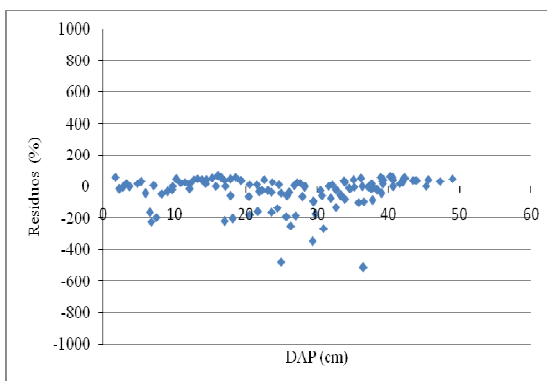


Equação 15

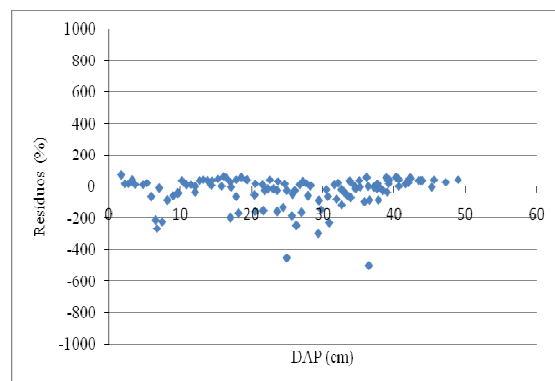


Equação 17

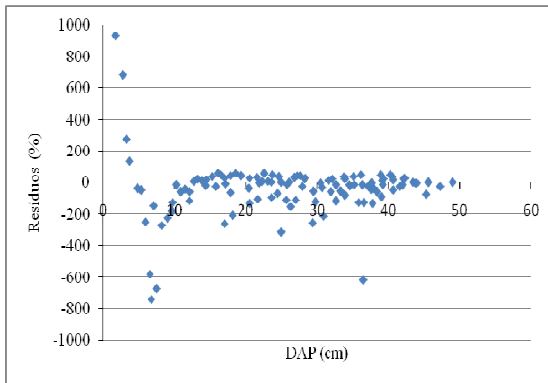
Figura 17 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa dos galhos vivos de *Pinus elliottii* Eng.



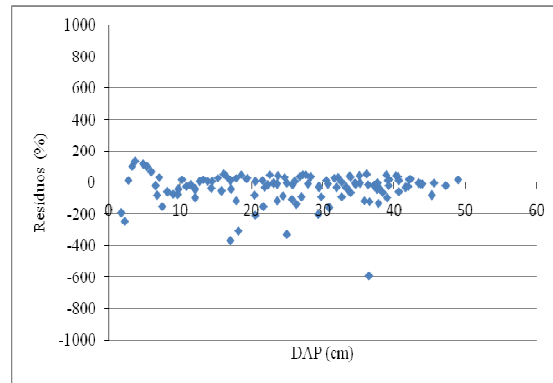
Equação 1



Equação 7



Equação 14



Equação 15

Figura 18 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono dos galhos vivos de *Pinus elliottii* Eng.

Saidelles (2005) procedeu a modelagem da biomassa de *Acacia mearnsii* De Wild. obtendo a melhor equação para o componente galho morto com o ajuste do modelo 1, identificando para o coeficiente de determinação  $R^2_{aj.} = 0,83$  e para o erro padrão da estimativa percentual  $S_{yx\%} = 19,3\%$ , constatando resultados mais significativos que os obtidos no presente estudo para este componente.

Barichello et al. (2005) utilizou em seu trabalho o ajuste para quantificar a biomassa total dos componentes das árvores de *Acacia mearnsii* com 8 anos de idade encontrando excelentes resultados de ajuste, exceto para o componente galho morto, onde identificou-se a obtenção dos piores resultados com coeficiente de determinação  $R^2_{aj.} = 0,83$  e erro padrão da estimativa percentual  $S_{yx\%} = 49,6\%$

### 5.2.7. Peso de biomassa e carbono da casca do fuste

Os resultados das equações que exprimem a biomassa e o carbono alocado na casca da árvore de *Pinus elliottii*, em kg, em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 17.

As equações selecionadas para as estimativas de biomassa e carbono da casca prestaram variações similares para o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) fluando entre 0,89 a 0,96. Já as estimativas para o erro padrão da estimativa



percentual ( $S_{yx\%}$ ) variaram de 25,35 a 26,69% para a biomassa e de 25,15 e 26,93 para o carbono.

Tabela 17 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono da casca do fuste.

|          | N. | EQUAÇÃO   | R <sup>2</sup> aj. | Syx%    | F         |
|----------|----|---|--------------------|---------|-----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,01809 d^{2,10959}$   | 0,9499             | 26,6984 | 2255,667  |
|          | 7  | $y = 0,03073 d^{0,95980} h^{1,13157}$                                 | 0,9622             | 26,4057 | 1515,021  |
|          | 1  |   |                    |         |           |
|          | 2  | $y = 0,02463 (dh)^{0,70161}$  | 0,9607             | 26,1343 | 2907,9106 |
|          | 3  | $y = -0,32912 - 0,17441 d + 0,04608 d^2 - 0,00036 d^3$                | 0,8893             | 25,3594 | 319,6313  |
| Carbono  | 1  | $y = 0,00826 d^{2,11063}$   | 0,9493             | 26,9348 | 2229,719  |
|          | 7  | $y = 0,01413 d^{0,94416} h^{1,1479}$                                  | 0,962              | 26,607  | 1506,4682 |
|          | 1  |   |                    |         |           |
|          | 2  | $y = 0,01123 (dh)^{0,7020}$   | 0,9603             | 26,3483 | 2881,9118 |
|          | 4  | $y = 1,95880 - 0,75341 d + 0,07762 d^2 - 0,00188 d^3 + 0,0000172 d^4$ | 0,8891             | 25,1506 | 239,4747  |

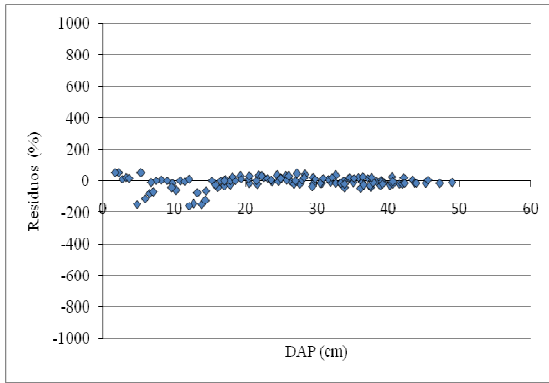
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Ferreira et al. (2004) trabalharam com o ajuste de modelos para a estimativa da biomassa dos componentes aéreos de *Grevillea robusta* (Cunn.) observando para o ajuste do modelo 1 o melhor desempenho para a estimativa do componente casca, o qual obteve como coeficiente de determinação 0,75 e erro padrão da estimativa de 38,7%.

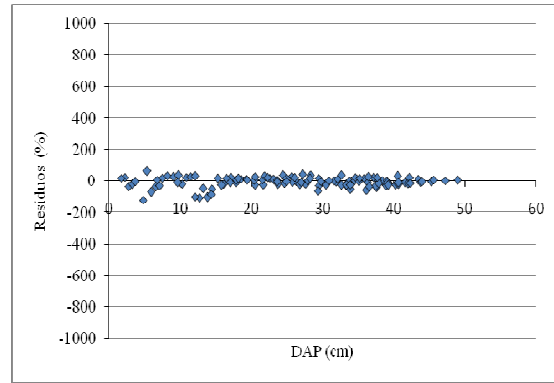
Mello e Gonçalves (2008), em estudo com *Eucalyptus grandis* e Silva et al. (2004) modelando *Eucalyptus benthamii*, encontraram para o componente casca os melhores resultados, com valores semelhantes em ambos os estudos, onde obtiveram para o coeficiente de determinação 0,99 e 0,96 e para o erro padrão da estimativa 24% e 27%, respectivamente.

As equações resultantes dos modelos logarítmicos 1, 7 e 12 apresentaram a melhor distribuição gráfica de resíduos para a biomassa e o carbono da casca, ao mesmo tempo em que para as equações lineares 13 e 14 observa-se uma distribuição

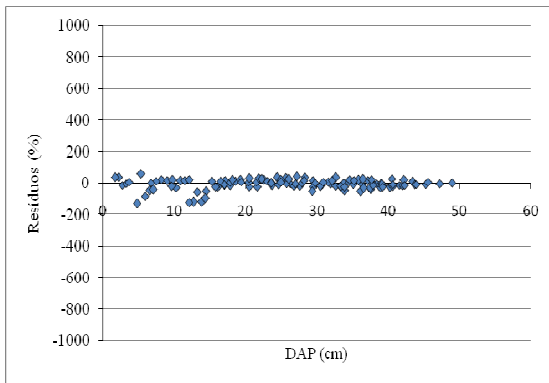
gráfica dos resíduos tendenciosa para as estimativas em árvores com pequenos diâmetros (Figura 19 e 20).



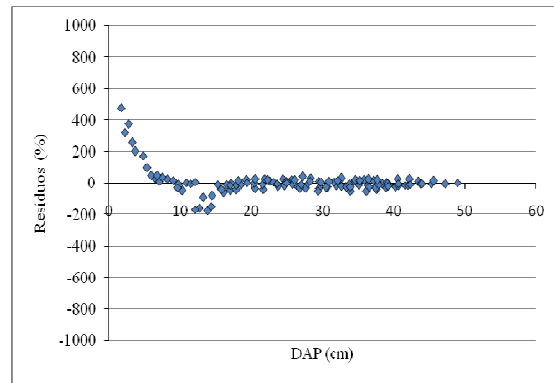
Equação 1



Equação 7

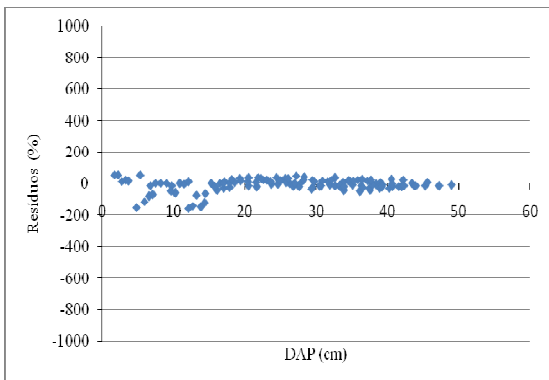


Equação 12

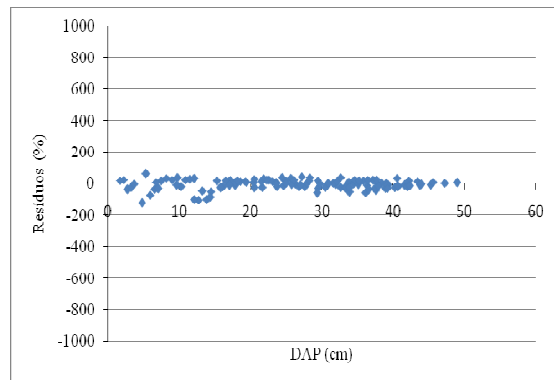


Equação 13

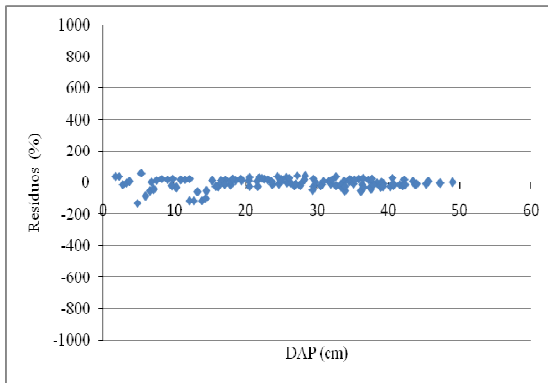
Figura 19 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa da biomassa em casca de *Pinus elliottii* Eng.



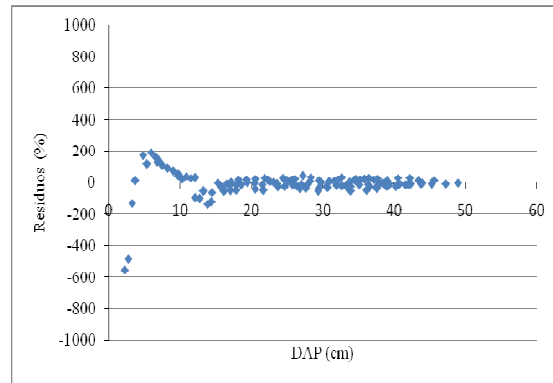
Equação 1



Equação 7



Equação 12



Equação 14

Figura 20 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono na casca de *Pinus elliottii* Eng.

As três melhores equações 1, 7 e 12 apresentam resultados de desempenho semelhantes para as estatísticas avaliadas, concomitantemente com diferenças desprezíveis do ponto de vista estatístico, todavia possibilitando escolher a equação 1 como a mais apropriada do ponto de vista prático, demandando apenas uma variável independente de fácil obtenção.

#### 5.2.8. Peso de biomassa e carbono da estrutura reprodutiva

Os resultados dos ajustes das equações que exprimem a biomassa e o carbono da estrutura reprodutiva da árvore de *Pinus elliottii*, em kg, em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 18.

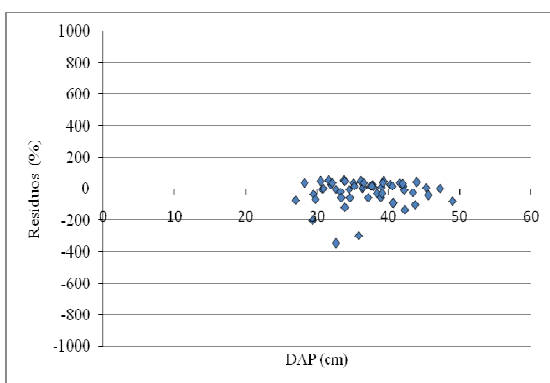
Em geral, para este componente em específico, não se obteve valores expressivos no resultado do ajuste das equações analisadas neste estudo, podendo ser constatada a inviabilidade do emprego dos modelos ajustados para obtenção de estimativas precisas de biomassa da estrutura reprodutiva de *Pinus elliottii* Eng.

Tabela 18 – Equações de melhor desempenho para estimativa da biomassa e carbono da estrutura reprodutiva.

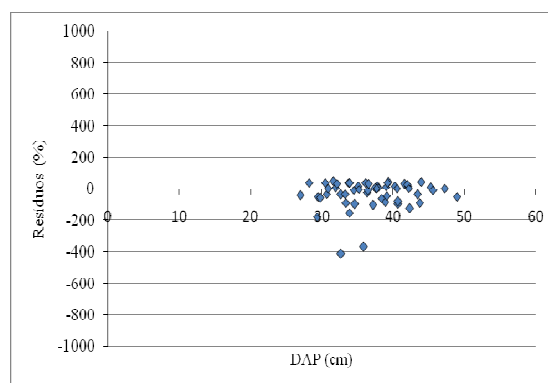
|          | N. | EQUAÇÃO   | R <sup>2</sup> aj. | Syx%    | F       |
|----------|----|---|--------------------|---------|---------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,0000930 d^{2,02495}$   | 0,195              | 47,120  |         |
|          |    |   | 8                  | 6       | 14,1513 |
|          | 3  | $y = -5,49697 + 0,26982 d - 0,000081 (d^2h)$                          | 0,186              | 44,532  |         |
|          |    |   | 8                  | 9       | 7,2007  |
|          | 4  | $y = -7,19305 + 0,37227 d - 0,00193 d^2 - 0,000064 (d^2h)$            | 0,174              |         |         |
|          |    |   | 6                  | 44,43   | 4,8088  |
|          | 7  | $y = 0,0029985 d^{3,12452} h^{-1,59638}$                              | 0,197              | 47,304  |         |
|          |    |   | 5                  | 7       | 7,6448  |
| Carbono  | 1  | $y = 0,0004589 d^{1,99783}$   | 0,1924             | 46,8453 | 13,8637 |
|          | 3  | $y = -2,45971 + 0,12099 d - 0,0000365 (d^2h)$                         | 0,1853             | 44,2391 | 7,1425  |
|          | 7  | $y = -0,0015099 d^{3,11678} h^{-1,6245}$                              | 0,1948             | 47,0342 | 7,531   |
|          | 1  |   |                    |         |         |
|          | 4  | $y = -36,6141 + 3,98352 d - 0,1618 d^2 + 0,00294 d^3 - 0,0000201 d^4$ | 0,1445             | 44,4541 | 3,2801  |

Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

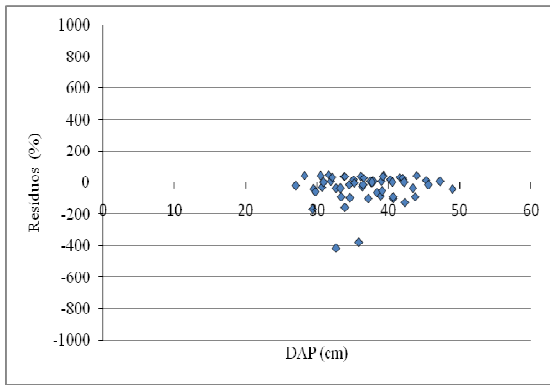
A distribuição gráfica dos resíduos das equações analisadas e teoricamente com os melhores desempenhos para a estimativa da biomassa e do carbono do componente estrutura reprodutiva estão apresentados nas Figuras 21 e 22.



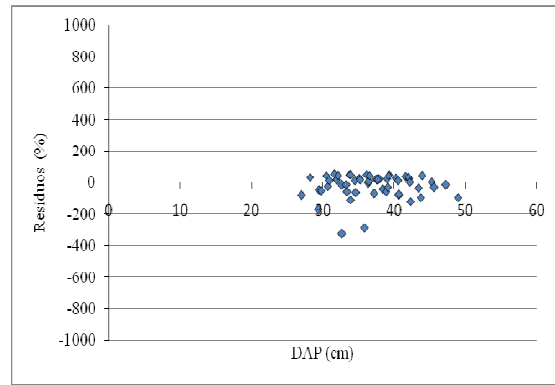
Equação 1



Equação 3

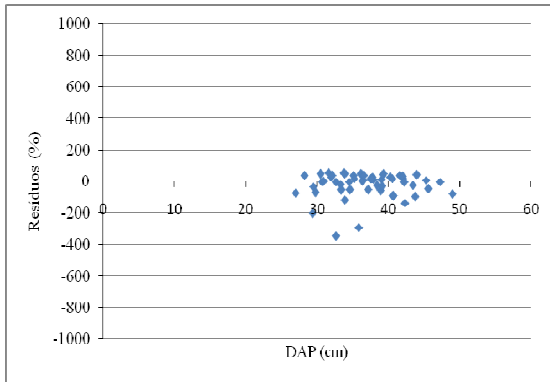


Equação 4

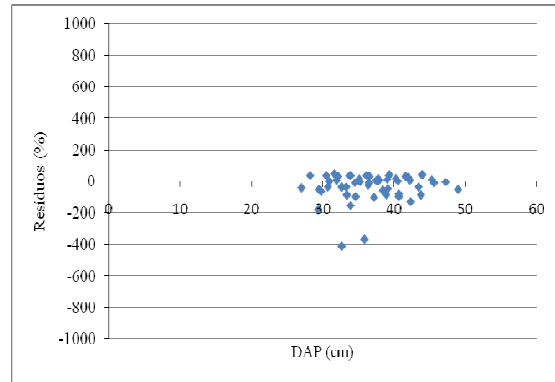


Equação 7

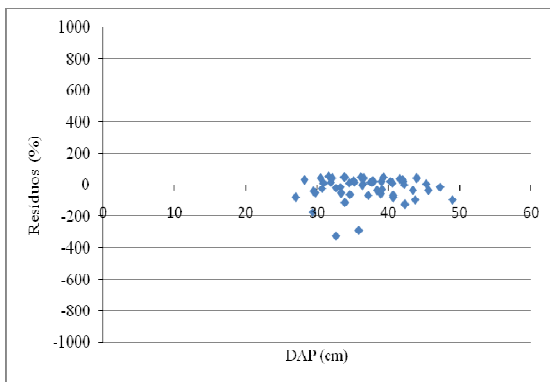
Figura 21 – Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas de melhor desempenho na estimativa da biomassa da estrutura reprodutiva de *Pinus elliottii* Eng.



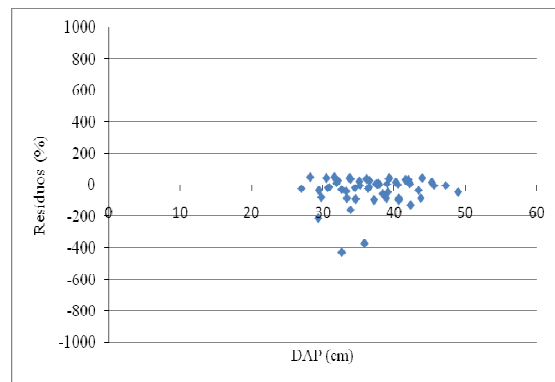
Equação 1



Equação 3



Equação 7



Equação 14

Figura 22 – Distribuição dos resíduos para as equações ajustados de melhor desempenho na estimativa do carbono da estrutura reprodutiva de *Pinus elliottii* Eng.

As dificuldades técnicas no levantamento em campo deste componente, bem como, a dificuldade quanto às peculiaridades reprodutivas de cada espécie, fatores aliados a resultados insatisfatórios para a realização de estimativas são condições limitantes ao desenvolvimento de pesquisas e estudos que disponibilizem em literatura análises que permitam a promoção de estudos comparativos.

### 5.2.9. Peso de biomassa e carbono de raízes

Os resultados das equações que exprimem a biomassa e o carbono alocado na raiz da árvore de *Pinus elliottii*, em kg, em função do diâmetro a altura do peito e da altura total estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Equações de melhor desempenho para estimativas de biomassa e carbono da raiz.

|          | N. | EQUAÇÃO  | R <sup>2</sup> aj.  | Syx%    | F        |
|----------|----|--|---|---------|----------|
| Biomassa | 1  | $y = 0,18801 d^{1,48911}$                                | 0,9257  | 28,5712 | 287,3708 |
|          | 4  | $y = 7,31765 - 1,83282 d + 0,16459 d^2 - 0,00351 (d^2h)$ | 0,8877  | 20,9908 | 61,5939  |
|          | 7  | $y = 0,19938 d^{1,37124} h^{0,11410}$                    | 0,9224  | 28,7503 | 137,6907 |
|          | 1  | 7  | $y = -3,04303 + 0,09636 d^2 - 0,03174 h^2 - 0,00192 (d^2h)$ | 0,8728  | 22,337   |
| Carbono  | 1  | $y = 0,07995 d^{1,49870}$                                | 0,9257  | 28,8404 | 287,3725 |
|          | 4  | $y = 3,29985 - 0,83098 d + 0,07365 d^2 - 0,00157 (d^2h)$ | 0,8879  | 21,0974 | 61,6982  |
|          | 7  | $y = 0,08518 d^{1,37121} h^{0,12341}$                    | 0,9224  | 29,0376 | 137,775  |
|          | 1  | 2  | $y = 0,10481 (dh)^{0,49224}$                                | 0,9232  | 29,7986  |

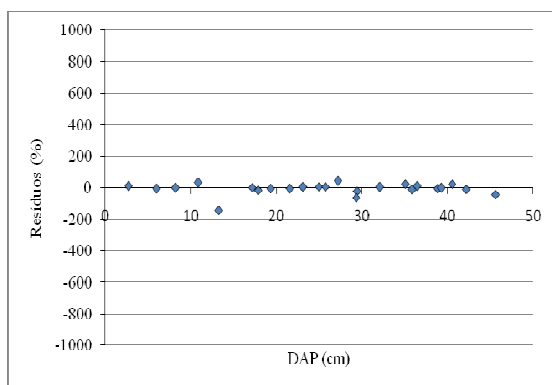
Onde: d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m)

Hoppe et al. (2006) estimaram a biomassa em povoamentos de *Platanus acerifolia* (Aiton) Willde. Empregando como variável independente o DAP obtiveram

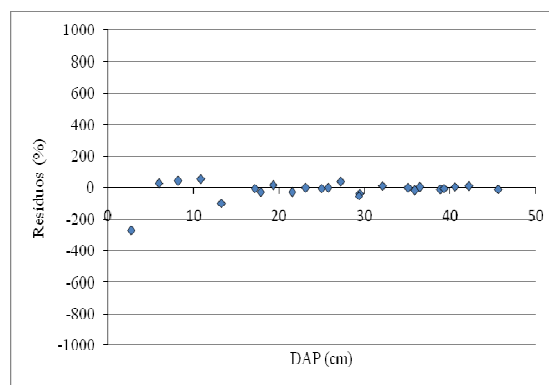
para o melhor ajuste do componente raiz o coeficiente de determinação  $R^2_{aj.} = 0,81$  e o erro padrão da estimativa percentual  $S_{yx\%} = 11,5\%$ .

Mello e Gonçalves (2008) estudaram equações para estimar a biomassa de raízes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* obtiveram resultados elevados em seus ajustes para este componente, onde os valores do coeficiente de determinação gravitaram entre  $R^2 = 0,96$  e  $0,98$  e para o erro padrão da estimativa  $S_{yx} = 0,20\%$  e  $0,21\%$ .

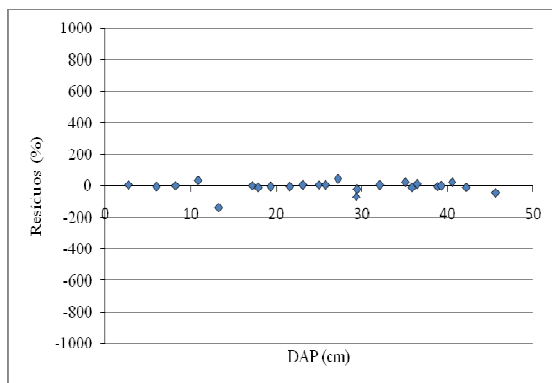
Pode-se destacar o desempenho da equação logarítmica 1, que relaciona a biomassa da raiz de *Pinus elliottii* Eng. em função do diâmetro a altura do peito, sendo esta, considerada a equação que apresentou os melhores resultados, obtendo para biomassa e o carbono o coeficiente de determinação  $0,93$  e para o erro padrão da estimativa  $28,57$  e  $28,84\%$ , respectivamente, a comparação da distribuição gráfica dos resíduos evidencia-se como homogênea para a equação resultante deste modelo (Figura 23 e 24).



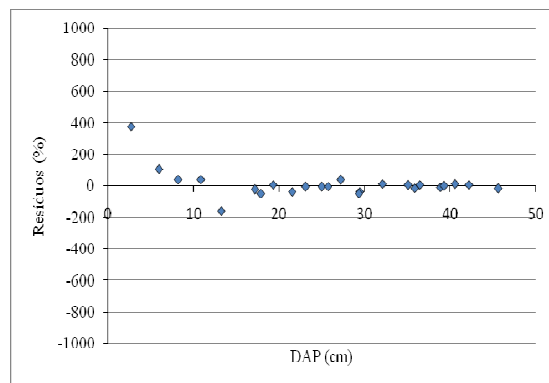
Equação 1



Equação 4



Equação 7



Equação 17

Figura 23 – Distribuição dos resíduos para as equações ajustados de melhor desempenho na estimativa da biomassa das raízes de *Pinus elliottii* Eng.

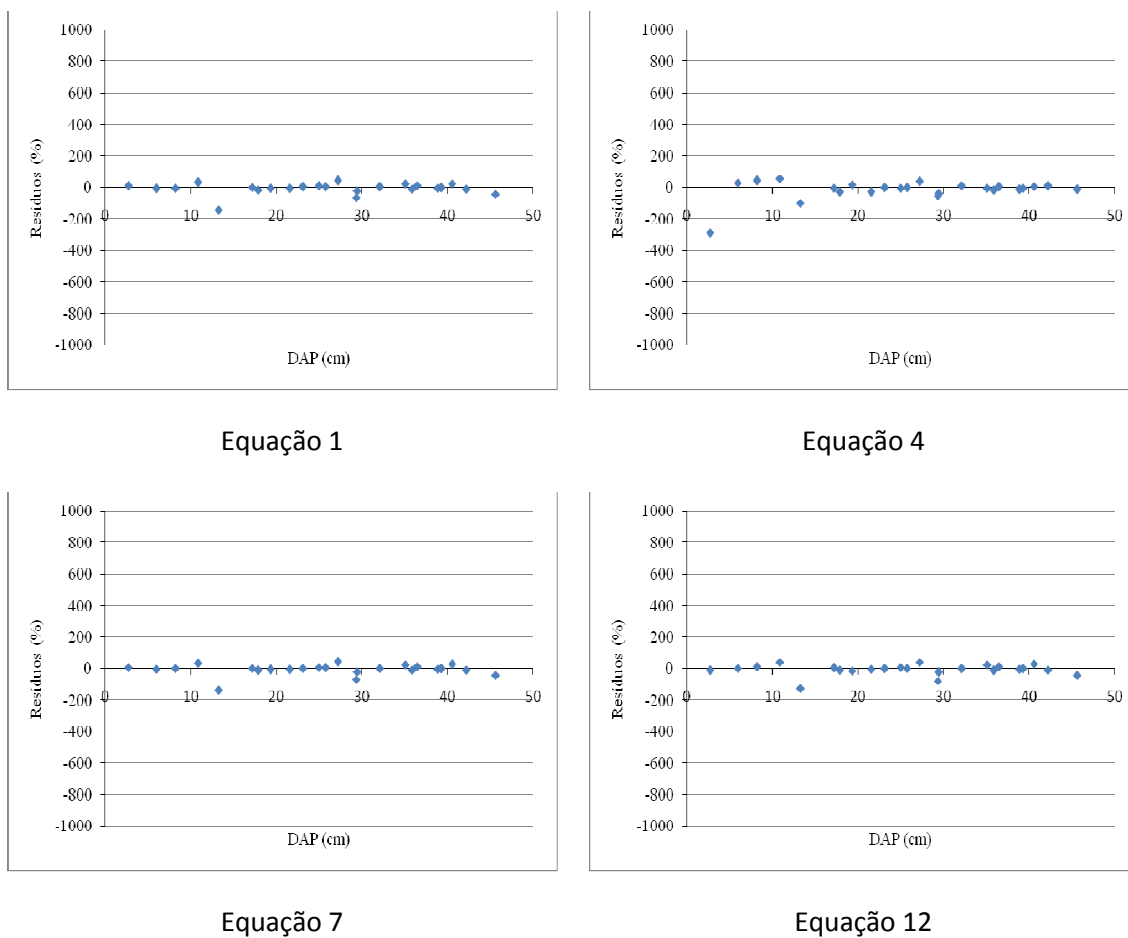


Figura 24 – Distribuição dos resíduos para as equações de melhor desempenho na estimativa do carbono da raiz de *Pinus elliottii* Eng.



## 6. CONCLUSÕES

- ✓ Existem diferenças estatisticamente significativas do teor de carbono entre os componentes das árvores. Desta forma, não é adequada a utilização de um fator médio de conversão de peso seco para peso de carbono dos componentes das árvores de *Pinus elliottii* Eng. Portanto a amostragem em projetos e estudos de viabilidade devem contemplar necessariamente todos os componentes;
- ✓ Foi possível gerar estimativas exatas para povoamentos de 2 a 25 anos com a mesma equação, simplificando os procedimentos práticos de inventário de biomassa e carbono;
- ✓ O diâmetro a altura do peito (DAP) foi a variável independente mais importante para a estimativa dos componentes analisados neste estudo;
- ✓ Dentre os modelos testados para a obtenção das estimativas de biomassa e peso de carbono, os melhores ajustes foram obtidos com o modelo  $y = b_0 d^b$ , que em geral apresentou estatísticas dentro de limites aceitáveis. Todavia, recomenda-se sua aplicação somente dentro da amplitude de diâmetros e alturas incluídas nessa pesquisa, devendo ser considerada a variação abrangida pelos dados amostrais, sendo que seu uso para outras situações e localidades com diferentes sítios, implica em teste prévio de exatidão e acuidade dos mesmos;
- ✓ A análise gráfica dos resíduos permite observar que a utilização de modelos logarítmicos mostrou ser superior aos modelos lineares testados para o peso da biomassa e do carbono nos distintos componentes;

- ✓ As equações ajustadas para estimar o peso de biomassa e de carbono de galhos mortos e da estrutura reprodutiva apresentaram em seus ajustes resultados não satisfatórios, sendo inviável sua aplicação prática;
  
- ✓ Os estudos sobre a quantificação de biomassa e carbono visando à avaliação do potencial de fixação de carbono por plantações não devem desprezar a determinação do sistema radicular da árvore, visto que sua contribuição para o total é expressiva;
  
- ✓ As equações geradas para estimativa de peso total e dos componentes arbóreos da biomassa e do carbono fixado pelas árvores de *Pinus elliottii* Eng., são importantes ferramentas para análises técnicas, planejamento de projetos e estudos de viabilidade visando participar do mercado de créditos de carbono.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Indústria da madeira no Brasil e no Paraná**. Documento setorial, Curitiba, 2008.

ABRAF, **Anuário Estatístico da ABRAF 2009**. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2009.

ABRAHAMSON, W.G.; GADGIL, M. Growth and reproductive effect in goldenrods solidago (compositae). **American Naturalist**, Lancaster, v. 107, p. 651-661, 1973.

ALEMDAG, I.S. **Manual of data collection and processing for the development of Forest biomass relationships**. Canada: Minister of Supply and Services Canada, 1980. 38 p.

ANDRAE, F. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce and pine on soil properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.46, p. 853-861, 1982.

ANDRAE, F.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Parte II: inventário de nutrientes In: **Pesquisa austro-brasileiras 1973-1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna***. Santa Maria: UFSM, 1983. p. 30-55.

ATJAY, G.L.; KETNER, P.; DUVIGNEAUD, P. Terrestrial primary production and phytomass. In: BOLIN, B.; DEGENS, E.T.; KEMPE, S.; KETNER, P. (Eds.). **The global carbon cycle**. Chichester : J. Wiley, 1979. p.129-181.

ATTWILL, P.M. On the cycling of elements in mature *Eucalyptus obliqua* forest. In: BOARDMAN, R. (Ed). **Australian Forest Tree Nutrition Conference**, 1972, p: 39-44. 1972 (Comm. For. Timb. Bur.).

BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; AYANZ, A.A. Equações estimativas do peso seco da biomassa aérea da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.30/31, p.37-49, 1995.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; HERNANDES, J.I. Carbono orgânico em uma floresta de *Pinus taeda* na Região de Cambará do Sul - RS. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6. , 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro – BA, 2000. p.56.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R. Inventário de carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava. p. 59-68. 2003.

BALBINOT, R.; VALERIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V.W.; SILVESTRE, R. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do Estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

BARRICHELO, L.; SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Conteúdo de micronutrientes na biomassa de *Acacia mearnsii* De Wild. **Revista Acadêmica**. V 3, n. 2, abr./jun. 2005.

BAUER, C.; PACHECO, J.F., VENTURINI, A. C.; WHITNEY, B.M. Rediscovery of the cherry – throated tanager *Nemosia rourei* in southern Espirito Santo, Brazil. **Bird Conservation International** **10**, 97-108. 2000.

BAZZO, W.A.; PEREIRA, L.T.V. **Introdução à engenharia**. Florianópolis, Ed. UFSC, 1990. (Série Didática).

BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acúmulo e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade**. 1979. 192p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - ESALQ/USP, Piracicaba.

BRITO, J.O; BARRICHELO, L.E.G.; COUTO, H.T.Z.; MENDES, C.J.; REZENDE, G.C. Estudo do comportamento de madeiras de eucalipto frente ao processo de destilação seca. **Brasil Florestal: Boletim Técnico**, Brasília, n. 8, p. 5-36, ago. 1984.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, 1989. p. 881-902.

BROWN, K. **The utility of remote sensing technology in monitoring carbon sequestration agroforestry projects**. Winrock International Institute for Agricultural Development, 1996. 22p. (Working Paper 7/1997).

BROWN, S. L.; SCHOEDER, P.; KERN, J. S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 123, n. 1-3, p. 81-90, 1999.

BRUN, E. **Biomassa e nutrientes na Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza, RS**. 2004. 136p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. 1998. 96p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. V quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* De Wild.

procedência australiana. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 977-982, 2000.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SANTOS, E. M. Conteúdo de nutrientes em uma procedência de *Acacia mearnsii* plantada no Rio Grande do Sul. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 42, p. 105-121, 2001.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002. P. 191-214.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CALILL, F.N. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em um sistema silvopastoril na região de Tupanciretã**. 2003. 77p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

CAMPOS, M.A.A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis***. Avaliação na safra e na safrinha. Curitiba, 1991. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

CAMPOS, J.C.C.; VALENTE, O.F. **Considerações sobre o inventário de povoamentos florestais, com ênfase na biomassa e na sua transformação em carvão vegetal.** Viçosa: SIF, 1993. 19p. (Boletim Técnico, 1).

CARBONERA P., J.; SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, J.M. Produção de biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 21, n. 4, p. 521-526, 1997.

CARMO, C.; SANTANA, A. F.; KINDEL, A.; ALVARENGA, A. P.; MOTTA, P. E. F. ; LIMA; SOUSA, J. A; TÔSTO, S. G.; MENEGUELLI, N. A. **Comparação de Biomassa e Estoque de Carbono Entre os Clones de Seringueira IAN 837 e RRIM 600, Plantados em Solos da Zona da Mata, Minas Gerais.** Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2004 (Circular Técnica).

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisas Florestais. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.

CASER, R. L. **Variações genéticas e interações com locais em pinus tropicais e suas associações com parâmetros climáticos.** Piracicaba - SP, 1984. 104p. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CASTRO, C. F. A. POGGIANI, F. NICOLIELO, N. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, Piracicaba, v. 20, p. 61-74, 1980.

CROMER, R. N.; CAMERON, D.N.; RANCE, S.J. et al. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. 1. Biomass accumulation. **Forest Ecol. and Manag.**, v. 62, p. 211-230, 1993.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productive and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C. T.; DAVEY T. **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, p. 313-326. 1970.

DIXON, R. K.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C.; WISNIEVSKI, J. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. **Science**, Washington, DC, v. 263, p. 185-190, 1994.

DRUMOND, M. A. **Alterações fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificações da cobertura vegetal na mata atlântica, Região do Médio Rio Doce, MG**. 1996. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

FAN, S.; GLOOR, M.; MAHLMAN, J.; PACALA, S.; SARMIENTO, J.; TAKAHASHI, T. A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide models. **Science**, Washington, DC, n. 282, p. 386-387, 1998.

FERNANDES, T.J.G.; SOARES, C.P.B.; JACOVINE, L.A.G.; ALVARENGA, A.P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira. **Revista Arvore**, v. 31, n. 4, p. 657-665, 2007.

FERREIRA, C. A. et al. **Nutrição de *Pinus* no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa**. Documentos EMBRAPA Florestas, Paraná, n. 60, p. 1-23, Nov. 2001.



FERREIRA, C. A.; MARTINS, E. G.; SILVA, H. D. Equações para cálculo do volume e peso de compartimentos aéreos de árvores de *Grevillea robusta* (Cunn.) aos oito anos de idade. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo, n. 49, p. 31-45, jul./dez. 2004.

FINGER, C. A. G.; **Fundamentos da Biometria Florestal**. Santa Maria. UFSM, 1992, 269p.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. **Tecnologia de Celulose e Papel**. ESALQ/USP. Piracicaba, 1975.

FULFARO, V. J.; LANDIM, P. M. B. **Compartimentação e evolução tectônica da bacia do rio Paraná**. Rev. Brás. Geoc., 12, 560-611, 1988.

GARDNER, R. H.; MANKIN, J. B. **Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP**. In: REICHLE, P. D. Dynamic properties of forest ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press. 1981. p. 451-497.

GOETZ, S.J., PRINCE, S., 1998. Variability in carbon exchange and light utilisation among boreal forest stands: implications for remote sensing of net primary production. **Canadian Journal of Forest Research**, 28 : 375-389.

GOWER, S.T., VOGEL, J.G., NORMAN, J.M., KUCHARIK, C.J., STEELE, S.J., STOW, T.K., 1997. Carbon distribution and above-ground net primary production in aspen, jack pine and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. **Journal of Geophysical Research** 102(D24): 29029-29041.

HARCOMBE, P.A. **Nutrient cycling in secondary plant succession in a humid tropical forest region (Turrialba, Costa Rica)**. Dissertation, Yale University, New Haven, USA. 1973.

HEPP, T.E.; BRISTER, G.H., 1982. **Estimating crown biomass in loblolly pine plantations in the Carolina flatwoods.** For. Sci. 28, 115–127.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO<sub>2</sub> – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. **Anais...** Rio de Janeiro, 1994. p. 125–153.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, 28(2): 153-166.

HOPPE, J.M; WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M.V. Estimativa de biomassa em povoamento de *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. Estabelecido no município de Dom Feliciano, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 463-471, 2006.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 132 p.

IPCC, (1995) – Climate Change 1995 – The Science of Climate Change – edited by J.T Houghton ; L.G. Meira Filho; B.A.Callander; N.Harris, K. Kattemberg and K. Maskell, Cambridge University Press, 1996.

IPCC, (2007) - **Cambio climático 2007 - Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

JEFFERS, J.N.R. **Modelos en ecologia**. Barcelona: Oikos-tau, 1991.

KADEBA, O. Growth and nutrient accumulation by *Pinus caribea* on tree savanna sites in northern Nigeria. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 49, p. 139-147, 1994.

KETTERINGS, Q. M.; COE, R.; NOORDWIJK, M.; AMBAGAU, Y.; PALM, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-group tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p. 199-209, 2001.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; VALERIO, A. F. Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na floresta ombrófila mista. **Biomassa e Energia**, v. 2, p. 69-77, 2005.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiological of woody**. 2. ed. San Diego: Academic, 1996. 432p.

KRAPFENBAUER, A.; ANDRAE, F. Inventur einer 17 jaehrigen Araukarienaufforstung in Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasilien. Teil I: Biomasseninventur. **Centralblatt fuer das Gesamte Forstwesen**, v. 93, n. 2, p. 70-87, 1976.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; HERRERA-PONCE, R. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: SBS, 160p., 2005.

LANDSBERG, J. J. **Physiological Ecology of Forest Production**. London: . Academic Press. 1986.

LEAR, D. H. V., WAIDE, J. B.; TEUKE, M. J. Biomass and nutrient content of a 41-years-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation on a poor site in South Carolina. **Forest Science**, Lawrence, v. 30, n. 2, p. 395-404, 1984.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: **IBGE.Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p.113-150.

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D.P.; CAMPOS, J.C.C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 65-79, 1995.

LONGHI, S.J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LOPES, D.; ARANHA, J. Avaliação do conteúdo de carbono na matéria seca de diferentes componentes de árvores de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus Pinaster*. **Revista Silva Lusitana**. Lisboa – Portugal, 14(2), p. 149-154, 2006.

LORO, L. V.; HIRAMATSU, N. A. Comportamento do fogo, em condições de laboratório, em combustíveis provenientes de um povoamento de *Pinus elliottii* L. **Revista Floresta**, v. 34, n. 2, mai/ago, 127-130. 2004.

MACDICKEN, K. G. **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects**. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development. 1997.

MACHADO, S. A. ; URBANO, E.; JARSCHER, B.; TÉO, S. J.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.. Relações quantitativas entre variáveis dendrométricas e teores de carbono para *Mimosa scabrella* Benthana da região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Embrapa Florestas, v. 52-nº1, p. 37-60, 2006

MACHADO, W. C. P. **Indicadores da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio pato branco**. 2006. 312 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MADGWICK, H.A.I.; KREN, R. E. Biomassa estimation for Virginia pine trees and stands. **Forest Science**, 26 (1): 107-11,1980.

MARCENE, E.A.; DALLA CORTE, A.P.; SANQUETTA, C.R.; SCHNEIDER, C.R. Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. Na região litorânea do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 55-63, ago., 2006.

MARTIN, J. G.; KLOEPEL, B.D.; SCHAEFER, T.L.; KIMBLER, D.L.; MCNULTY, S.O. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. **Can. J. For. Res**, v 28, p. 1648-1659, 1998.

MARTINELLI, L.A.; MOREIRA, M.Z.; BROWN, I.F.; VICTORIA, R.L. 1994. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia: In: **Seminário Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub> uma nova oportunidade de negócios para o Brasil: Porto Alegre**. Anais Companhia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro. p. 197-221.

MARTINS, O.S. **Determinação do potencial de seqüestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP**. Curso de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. 2004. 137p.

MELLO, S.L.M; GONÇALVES, J.L.M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 101-111, 2008.

MEYER, H. A. A correction for systematic errors occurring in the application of the logarithmic volume equation. Pennsylvania: **For. Scholl Res., Paper 7**, 1941.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Revista Floresta**, v. 35, n. 3, set/dez. 2005.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara. 1986. 434p.

PACIORNIK, N.; MACHADO FILHO, H. O. Política e instrumentos legais internacionais da Convenção das Nações Unidas sobre a mudança no clima. In: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. 2000. p. 13-22.

PAIXAO, F. A. ; SOARES, C. P. B. ; JACOVINE, L. A. ; SILVA, M. L. ; LEITE, H. G. ; SILVA, G. F. . Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, p. 411-420, 2006.

PARANÁ. COPEL. Companhia Paranaense de Energia Elétrica do Paraná. **Estudos do Impacto Ambiental da Usina Hidroelétrica São João**. Curitiba, 2001b.

PARANÁ. IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas Básicas do Paraná**. Londrina, 1994.

PARANÁ. MINERAIS DO PARANÁ S. A. - MINEROPAR. **Atlas da geologia do Estado do Paraná**. Curitiba, 2000.

PARANÁ. MINERAIS DO PARANÁ S. A. – MINEROPAR. **Atlas geoquímico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001a.

PARDÉ, J. Forest Biomass. In: **Forestry Abstracts Review Article**, France, ago 1980. Station de Sylviculture et de Production, Centre Nacional de Recherches Forestières, v.41, n.8, p. 349; 350; 352.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M.S.M. **Geochemical stratigraf of Paraná continental flood basalts**: a contribution from borehole samples. In: The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin. Edited by PICCIRILLO, E. M. E MELFI, A. J. EDUSP, SP, 1988.

PEREIRA, A.R.; BARROS, N.F.; ANDRADE, D.C.; CAMPOS, P.T.A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região de cerrado. **Brasil Florestal**, Brasília, n.59, p. 27-37, 1997.

PICCIRILO, E. M.; MELFI, A. J. **Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 1988. 600p

PINHEIRO, G.S. **Estimativa do peso de copas de *Pinus caribaea* Marelet variedade *hondurensis* Barr. Et Golf e *Pinus oocarpa* Shiede, através de parâmetros dendrométricos**. Curitiba, 1980. 105 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal.

POPE, P.E.; GRANEY, D.L. Family differences influence the aboveground biomass of loblolly pine plantations. Arkansas, USDA, **Forest Service**, 1979. 6p. (Research Paper, SE-155).

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento**. 2 ed. revisada e ampliada, 2001.

REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P.; RESENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, p.149-162, 1985.

RENNER, R. M. **Seqüestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. Curitiba, 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal – UFPR. 132p.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M.T. **Seqüestro de carbono: uma experiência concreta**. Ed. Gráfica Terra. Palmas: Instituto Ecológica, 2001, 2ª Edição. 178p

REZENDE, A.V.; VALE, A.T.; SANQUETTA, C.R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília , DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65-76, agosto, 2006.

ROCHA, M.T. Mudanças climáticas e mercado de carbono. In: **Fixação de Carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisas**. Curitiba, UFPR, 2004. p.39 - 53.

ROCHADELLI, R. **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos (Estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, bracatinga)**. Tese. Doutorado em Ciências Florestais – Universidade Federal do Paraná, 2001. Curitiba, UFPR, 2001. 86p.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.



SAIDELLES, F. L. F. **Determinação da biomassa e altura total de amostragem para a quantificação de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild.** 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria –RGS, 2005.

SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO<sub>2</sub> – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO<sub>2</sub> – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1994. p. 15-37.

SANQUETTA, C.R. **Métodos de determinação de biomassa florestal.** In: SANQUETTA, C.R. et al. (eds.) *As florestas e o carbono.* Curitiba, 2002. p.119-140.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: Carlos Roberto Sanquetta; Rafaelo Balbinot; Marco Ziliotto. (Org.). **Fixação de Carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisas.** Curitiba, Paraná, p. 77-93, 2004.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; MELLO, A. A. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucária angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais,** Curitiba, v. 1, n. 3, p. 33-40, jul./set. 2003.

SANQUETTA, C. R; BALBINOT, R. Metodologia para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R; BALBINOT, R.; ZILOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa.** Curitiba: UFPR/Laboratório de Inventário Florestal: Instituto Ecoplan: PELD, 2004. p. 77 – 94.

SANTANA, Reynaldo Campos et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore** [online]. 2008, v. 32, n. 4, pp. 697-706. ISSN 0100-6762. doi: 10.1590/S0100-67622008000400011.

SANTOS, M. A. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas**. 148 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SCHNEIDER, P.R.; OESTEN, G. **Tabelas auxiliares para o manejo de *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia* para a região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1999, 118p.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; SOBRINHO, V.G.; SCHNEIDER, P.S.P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C.A.M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2ª Ed. Santa Maria: Facos, 2009, 294p.

SCHNEIDER, P.R.; FARIAS, J.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.S.P.; FLEIG, F.D.; THOMAS, C.; PEDROSO FILHO, J.I. Desempenho do *Pinus echinata* na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 91-98, jan/mar, 2009.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi - SP. **Ciência Florestal**, v. 3, p. 21-34, 1993.

SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen Bestaeden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien**. Wien, Austria: Universität für Bodenkultur, 1995. 167f. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal) – Universität für Bodenkultur, Viena, Áustria.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996.

SCHUMACHER, M.V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *eucalyptus globulus* (labillardiere) subepécie bicostata. **Revista árvore**, Viçosa, MG, v.22, p. 281-286, 1998.

SCHUMACHER, M.V. **Quantificação do carbono orgânico em florestas de *Pinus taeda* L, com diferentes idades**. Santa Maria: UFSM, 2000. (Relatório de pesquisa).

SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M.; BARICHELLO, L. R.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes idades. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2. 2001. **Anais...** Santa Maria, RS, p.387-399, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, 2001.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia mearnsii* De Wild. Plantadas no estado do Rio Grande do Sul – Brasil. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. 2002. P. 141-152.

SEDJO, R. A. Temperature Forest ecosystem in the global carbon cycle. **Ambio**, Stockholm, v. 21, p. 274-277, 1992.

SEEBER, G. (2003). **Satellite Geodesy**. Berlin: de Gruyter.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de rio negro, SC. **Revista Floresta**, Curitiba, p. 33-44, v. 36, n. 1, jan/abr. 2006

SHIMIZU, J. Silvicultura de *Pinus* para o sul do Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, v. 6, n. 37, 1997, p. 32-5.

SCHWARTZ, P.; RANDALL, D. **An abrupt climate change scenario and its implications for United States National Security**. Relatório para Agência de Segurança Nacional dos Estados Unidos. 2003. Disponível em: <http://www.gbn.org/articledisplayservelet.srv?aid=26231>>; acesso em 25 de dezembro de 2008.

SILVA, H.D. **Modelos matemáticos para estimativa de biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) em diferentes idades**. Curitiba. 1996. 101p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; CORREA, R.S.; BELLOTE, A.F.J.; TUSSOLINI, E.L. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo, n. 49, p. 83-95, jul/dez. 2004.

SINGH, B. Nutrient content of standing crop and biological cycling in *Pinus pátula* ecosystem. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.4, n.4, p.317-332, 1982.

SIQUEIRA, J. P. D. **Os conflitos institucionais da gestão florestal no Brasil - um benchmarking entre os principais produtores florestais internacionais**. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L.; LEITE, H.G. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa; v. 1, n. 1, p. 179-190, 1977.

SOARES, R.V.; HOSOKAWA, R.T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracatinga. **Brasil Florestal: Boletim Técnico**, Brasília, n. 8, p. 37-48, ago. 1984.

SOARES, C.P.B.; OLIVEIRA, M.L.R. Equações para estimar a quantidade de carbono presente na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista árvore**, Viçosa, MG. V. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

SOCHER, L. G. **Dinâmica e biomassa aérea de um trecho de Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária, Paraná**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

SOUZA, L.J.B. **Modelagem de material combustível em plantações de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden**. Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (Doutorado em Ciências Florestais), 2000. 127 p.

SUASSUNA, J. A cultura do *Pinus*: uma perspectiva e uma preocupação. **Revista Brasil Florestal**, ano VIII, nº 29, p.1-21, 1977.

THOMPSON, R.M. (2009). **Estimativas de Volume, Biomassa e Carbono para o Carvoeiro (*Sclerobium paniculatum* Vog. var. *subvenlutinum* Benth.)**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-108/09, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 64p.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa aérea da biomassa e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VALERI, S. V. **Exportação de Biomassa e Nutrientes de Povoamentos de *Pinus taeda* L. Desbastados em Diferentes Idades**. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

VALERI, S. V.; SOARES, R. V.; MONTEIRO, R. F. R. Exportação de biomassa de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 19, p. 23-29.1989.

VALERIO, A. F.; SILVA, J. M. S. Identificação de espécies vegetais com propriedades fitoterápicas ocorrentes em floresta com araucária, em Clevelândia, PR. **Anais...**, IV Semana Acadêmica de Geografia. 2008.

VALERIO, A.F.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, R.T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H.S. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.). **Revista Ambiência**, Guarapuava, Pr, v. 3, n. 3, p. 325-336, Set./Dez. 2007.

VALERIO, A. F.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R. Análise florística e estrutural do componente arbóreo de um fragmento de floresta ombrófila mista em Clevelândia, Sudoeste do Paraná. **Revista Acadêmica**, Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 6, n. 2,, p. 239-248, abr./jun. 2008.

VASQUES, A.G.; NOGUEIRA, A. S.; KIRCHNER, F.F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; BARBEIRO, L. S. S. Estoque individual de biomassa e carbono em *Nectandra grandiflora* Ness (Canela-Amarela). **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 547-554, jul./set. 2009.

WATZLAWICK, L.F. et al. O papel do sensoriamento remoto nos estudos de carbono. In: SANQUETTA, C.R. et al. (eds.) **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002a. P .215-235.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de Carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: **As Florestas e o carbono**. SANQUETTA, C. R. (Ed.). Curitiba, 2002. p. 153-190.

WATZLAWICK L.F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens de satélite Ikonos II**. Curitiba, 2003. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federa do Paraná.

WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica**. Curitiba, v. 1, n. 2, p. 63-68, abr./jun. 2003.

WATZLAWICK, L.F. Produção de biomassa arbórea e carbono orgânico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze aos 24 anos no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica**. Curitiba, v. 4, n. 2, p. 229-237, 2006a.

WATZLAWICK, L.F. Caracterização da composição florística e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, no Município de General Carneiro/PR. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 229-237, 2006b.

WEBER, K.S.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. Variação nos teores de carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Brasil Florestal**, nº 76. IBAMA, Brasília, 2003. p. 23-28.

WEBER, C. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don., no município de Encruzilhada do Sul-Rio Grande do Sul**. 2004. 36 f. Relatório de Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

WEBER, K. S. *et al.* Teores de Carbono Orgânico de Seis Espécies Naturais do Ecossistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2 n. 2, p.167-177, jul/dez., 2006.

WENDLING, J.L.G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. Plantadas a céu aberto**. Curitiba, 1998. 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.

YOUNG, H. G. Growth, Yield and Inventory in terms of biomass. **IUFRO Biomassa studies**. Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass. Nancy-France/Vancouver-Canada, 1973.



## 8. ANEXOS

Anexo 1 – Resultados do ajuste dos modelos que estimam a biomassa total (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO  | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F        |
|----|--|-----------|------------|----------|
| 1  | $y = 0,19635 d^{2,16238}$  | 0,9623    | 28,6164    | 587,6259 |
| 2  | $y = 53,30265 - 10,60348 d + 0,65441 d^2$  | 0,9472    | 20,4418    | 207,2222 |
| 3  | $y = -12,62205 + 2,500239 d + 0,01349 (d^2h)$  | 0,9393    | 21,9089    | 179,0396 |
| 4  | $y = 67,78492 - 13,91947 d + 0,83368 d^2 - 0,00391 (d^2h)$                             | 0,9450    | 20,3646    | 132,6202 |
| 5  | $y = -12,83643 + 0,19987 d^2 + 0,00846 (d^2h)$   | 0,9423    | 21,3685    | 188,7479 |
| 6  | $y = -256,82538 + 41,98439 d - 29,61528 h$   | 0,8512    | 34,3086    | 66,7923  |
| 7  | $y = 0,34603 d^{1,02376} h^{1,10224}$  | 0,9734    | 31,7608    | 422,2093 |
| 8  | $y = -242,39151 + 21,37492 d$  | 0,8346    | 37,0250    | 117,0540 |
| 9  | $y = -54,51579 + 0,44938 d^2$  | 0,9376    | 22,7347    | 346,8047 |
| 10 | $y = 27,63326 + 0,01010 d^3$   | 0,9497    | 20,4132    | 435,4573 |
| 11 | $y = 23,59255 + 0,01508 (d^2h)$  | 0,9404    | 22,2345    | 363,5852 |
| 12 | $y = 0,27834 (dh)^{0,730605}$  | 0,9731    | 30,2700    | 832,9390 |
| 13 | $y = -3,16449 + 1,16248 d + 0,07207 d^2 + 0,00804 d^3$                                 | 0,9470    | 19,9902    | 137,8866 |
| 14 | $y = -23,20923 + 7,45336 d - 0,45380 d^2 + 0,02424 d^3 - 0,00016 d^4$                  | 0,9443    | 19,9621    | 98,5341  |
| 15 | $y = 156,12867 - 70,35593 d + 9,35952 d^2 - 0,48389 d^3 + 0,01132 d^4 - 0,0000942 d^5$ | 0,9476    | 18,8565    | 84,1265  |
| 16 | $y = 7,75051 h^{0,07411}$  | 0,9225    | 137,4344   | 274,9048 |
| 17 | $y = -9,03806 + 0,42658 d^2 - 0,47279 h^2 + 0,00798 (d^2h)$                            | 0,9481    | 19,7783    | 141,0006 |

Anexo 2 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa acima do solo (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO  | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|--|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,15354 d^{2,195218}$   | 0,9627    | 23,6795    | 3073,2134 |
| 2  | $y = 23,29278 - 5,99549 d + 0,493984 d^2$  | 0,9539    | 18,7373    | 1232,1652 |
| 3  | $y = -10,2998 + 2,500239 d + 0,011422 (d^2h)$                                    | 0,9567    | 18,1612    | 1315,3458 |
| 4  | $y = -6,44878 + 1,629831 d + 0,047687 d^2 + 0,010356 (d^2h)$                     | 0,9563    | 18,1547    | 870,0538  |
| 5  | $y = 2,453844 + 0,12714 d^2 + 0,008693 (d^2h)$                                   | 0,9566    | 18,1750    | 1313,2611 |
| 6  | $y = -207,432 + 31,23444 d - 18,9569 h$  | 0,8759    | 30,7417    | 420,9838  |
| 7  | $y = 0,27957 d^{0,894029} h^{1,28057}$   | 0,9777    | 25,9750    | 2606,2784 |
| 8  | $y = -201,28 + 18,28754 d$   | 0,8635    | 32,3798    | 753,7830  |
| 9  | $y = -37,7463 + 0,37882 d^2$   | 0,9491    | 19,7795    | 2218,2819 |
| 10 | $y = 34,56504 + 0,008359 d^3$  | 0,9439    | 20,7574    | 2003,3399 |
| 11 | $y = 24,31251 + 0,013003 (d^2h)$   | 0,9550    | 18,5899    | 2526,8372 |
| 12 | $y = 0,21063 (dh)^{0,730605}$  | 0,9751    | 24,1930    | 4651,9895 |
| 13 | $y = 20,00735 - 5,32707 d + 0,461575 d^2 + 0,000439 d^3$                         | 0,9535    | 18,7351    | 814,6264  |
| 14 | $y = -27,4944 + 9,56532 d - 0,7694 d^2 + 0,037646 d^3 - 0,00037 d^4$             | 0,9544    | 18,4819    | 623,2059  |
| 15 | $y = 97,5911 - 44,8794 d + 5,9627 d^2 - 0,3017 d^3 + 0,00708 d^4 - 0,000059 d^5$ | 0,9587    | 17,4996    | 553,9041  |
| 16 | $y = 6,11433 h^{0,076817}$   | 0,9209    | 131,6586   | 1387,2024 |
| 17 | $y = 2,426816 + 0,124055 d^2 + 0,005812 h^2 + 0,008713 (d^2h)$                   | 0,9563    | 18,1746    | 868,0689  |

Anexo 3 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa do fuste (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,03039 d^{2,57604}$   | 0,9631    | 26,2273    | 3105,7839 |
| 2  | $y = 30,29941 - 7,47442 d + 0,45549 d^2$  | 0,9434    | 22,4207    | 991,9072  |
| 3  | $y = -0,19484 + 0,31961 d + 0,01056 (d^2h)$   | 0,9474    | 21,5994    | 1073,3096 |
| 4  | $y = 0,60406 + 0,13904 d + 0,00989 d^2 + 0,01033 (d^2h)$                              | 0,9470    | 21,5990    | 709,4516  |
| 5  | $y = 1,36357 + 0,01667 d^2 + 0,01019 (d^2h)$  | 0,9474    | 21,5992    | 1073,3293 |
| 6  | $y = -182,59330 + 27,15862 d - 17,92468 h$  | 0,8481    | 36,7095    | 333,3309  |
| 7  | $y = 0,06212 d^{1,02351} h^{1,52791}$   | 0,9786    | 28,3487    | 2718,5702 |
| 8  | $y = -176,77678 + 14,91665 d$   | 0,8320    | 38,7769    | 590,3299  |
| 9  | $y = -45,79643 + 0,31192 d^2$   | 0,9321    | 24,6578    | 1633,7581 |
| 10 | $y = 12,48989 + 0,00692 d^3$  | 0,9390    | 23,3724    | 1831,7303 |
| 11 | $y = 4,22977 + 0,01076 (d^2h)$  | 0,9478    | 21,6094    | 2162,8415 |
| 12 | $y = 0,04399 (dh)^{0,85747}$  | 0,9757    | 26,3762    | 4783,9450 |
| 13 | $y = 22,71821 - 5,93204 d + 0,38071 d^2 + 0,00101 d^3$                                | 0,9430    | 22,4039    | 656,6624  |
| 14 | $y = -35,20800 + 12,22856 d - 1,12040 d^2 + 0,04638 d^3 - 0,00045 d^4$                | 0,9452    | 21,8695    | 513,8233  |
| 15 | $y = 88,61564 - 41,66695 d + 5,54380 d^2 - 0,28959 d^3 + 0,00692 d^4 - 0,0000586 d^5$ | 0,9514    | 20,4891    | 467,4144  |
| 16 | $y = 2,33013 h^{0,08974}$   | 0,9131    | 137,4420   | 1250,9957 |
| 17 | $y = 1,50558 + 0,03288 d^2 - 0,03053 h^2 + 0,01009 (d^2h)$                            | 0,9471    | 21,5817    | 710,6498  |

Anexo 4 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa das acículas (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,27377 d^{1,19071}$   | 0,8953    | 27,7679    | 1018,8311 |
| 2  | $y = -4,20868 + 1,01666 d - 0,01015 d^2$  | 0,7986    | 23,3635    | 236,8952  |
| 3  | $y = -3,64734 + 0,85273 d - 0,00024 (d^2h)$   | 0,8028    | 33,1836    | 243,2119  |
| 4  | $y = 67,78492 - 13,91947 d + 0,83368 d^2 - 0,00391 (d^2h)$                            | 0,8021    | 47,8186    | 161,7697  |
| 5  | $y = 0,85596 + 0,04247 d^2 - 0,00114 (d^2h)$  | 0,7840    | 115,4261   | 216,9209  |
| 6  | $y = 0,65045 + 0,00446 d + 0,75135 h$   | 0,7795    | 57,4179    | 211,3861  |
| 7  | $y = 0,34603 d^{0,57942} h^{0,60159}$   | 0,9051    | 26,6144    | 568,4459  |
| 8  | $y = 0,40663 + 0,51761 d$   | 0,7582    | 25,7076    | 374,1338  |
| 9  | $y = 6,14185 + 0,00937 d^2$   | 0,6354    | 31,5692    | 208,3468  |
| 10 | $y = 8,52923 + 0,000186 d^3$  | 0,5091    | 36,6278    | 124,4292  |
| 11 | $y = 8,15760 + 0,000296 (d^2h)$   | 0,5426    | 47,5286    | 142,1616  |
| 12 | $y = 0,32632 (dh)^{0,39582}$  | 0,9047    | 26,9614    | 1130,1133 |
| 13 | $y = -0,72412 + 0,30774 d + 0,02422 d^2 - 0,00046 d^3$                                | 0,8106    | 22,5612    | 170,7144  |
| 14 | $y = 2,33193 - 0,65036 d + 0,10341 d^2 - 0,00286 d^3 + 0,000023 d^4$                  | 0,8146    | 22,2210    | 131,7346  |
| 15 | $y = 0,23683 + 0,26154 d - 0,00934 d^2 + 0,00283 d^3 - 0,00010 d^4 + 0,000000993 d^5$ | 0,8145    | 22,1337    | 105,4772  |
| 16 | $y = 2,24439 h^{0,03904}$   | 0,7507    | 97,4418    | 359,3921  |
| 17 | $y = 0,75443 + 0,03088 d^2 + 0,02182 h^2 - 0,00106 (d^2h)$                            | 0,8153    | 32,9365    | 176,1321  |

Anexo 5 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa dos galhos vivos (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO  | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|--|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,06058 d^{1,75341}$  | 0,9221    | 33,3009    | 1408,8513 |
| 2  | $y = -1,58185 + 0,31539 d + 0,01929 d^2$   | 0,8223    | 32,2184    | 276,3122  |
| 3  | $y = -2,73869 + 0,63433 d - 0,00045 (d^2h)$  | 0,8243    | 42,8013    | 280,1072  |
| 4  | $y = -3,47432 + 0,80059 d - 0,00911 d^2 + 0,00065 (d^2h)$                              | 0,8230    | 51,8850    | 185,4216  |
| 5  | $y = 0,89876 + 0,02992 d^2 - 0,00015 (d^2h)$   | 0,8200    | 33,6280    | 272,0133  |
| 6  | $y = -10,53843 + 1,65814 d - 0,57770 h$  | 0,7977    | 42,2843    | 235,6377  |
| 7  | $y = 0,08652 d^{0,97951} h^{0,76163}$  | 0,9295    | 46,4739    | 785,6335  |
| 8  | $y = -10,35098 + 1,26359 d$  | 0,7970    | 34,5806    | 468,2332  |
| 9  | $y = 1,62907 + 0,02535 d^2$  | 0,8210    | 32,4732    | 546,7908  |
| 10 | $y = 6,80633 + 0,00055 d^3$  | 0,7820    | 35,8396    | 427,7670  |
| 11 | $y = 6,04268 + 0,00085 (d^2h)$   | 0,8002    | 63,8818    | 477,6630  |
| 12 | $y = 0,07888 (dh)^{0,58225}$   | 0,9297    | 39,3670    | 1573,8339 |
| 13 | $y = -1,41357 + 0,28115 d + 0,02095 d^2 - 0,0000225 d^3$                               | 0,8208    | 32,2179    | 182,6406  |
| 14 | $y = 4,03766 - 1,42788 d + 0,16221 d^2 - 0,00429 d^3 + 0,0000426 d^4$                  | 0,8224    | 31,9308    | 138,7719  |
| 15 | $y = 4,81595 - 1,76663 d + 0,20410 d^2 - 0,00640 d^3 + 0,000089 d^4 - 0,000000369 d^5$ | 0,8209    | 31,9276    | 110,0786  |
| 16 | $y = 1,20862 h^{0,060099}$   | 0,8459    | 121,6691   | 654,2561  |
| 17 | $y = 0,83642 + 0,02280 d^2 + 0,01340 h^2 - 0,00011 (d^2h)$                             | 0,8206    | 42,4545    | 182,4819  |

Anexo 6 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa de galhos mortos (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO  | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F        |
|----|--|-----------|------------|----------|
| 1  | $y = 0,02087 d^{1,46692}$  | 0,7134    | 69,9955    | 297,1537 |
| 2  | $y = 1,78489 - 0,19708 d + 0,00813 d^2$  | 0,6741    | 56,3865    | 124,0967 |
| 3  | $y = 1,18261 - 0,05313 d + 0,000185 (d^2h)$  | 0,6740    | 56,4029    | 123,9901 |
| 4  | $y = 1,52716 - 0,13101 d + 0,00426 d^2 + 0,0000897 (d^2h)$                           | 0,6724    | 56,2911    | 82,4336  |
| 5  | $y = 0,81156 - 0,00212 d^2 + 0,00022 (d^2h)$   | 0,6720    | 56,5724    | 122,8985 |
| 6  | $y = -2,13873 + 0,67794 d - 0,69576 h$   | 0,6401    | 59,2552    | 106,8446 |
| 7  | $y = 0,01499 d^{2,18484} h^{-0,70654}$   | 0,7187    | 68,3398    | 152,9816 |
| 8  | $y = -1,91295 + 0,20276 d$   | 0,5489    | 66,6262    | 145,8024 |
| 9  | $y = -0,22159 + 0,00435 d^2$   | 0,6475    | 58,8931    | 219,6294 |
| 10 | $y = 0,50652 + 0,0000995 d^3$  | 0,6933    | 54,9332    | 270,0596 |
| 11 | $y = 0,44708 + 0,000152 (d^2h)$  | 0,6719    | 56,8216    | 244,6958 |
| 12 | $y = 0,02763 (dh)^{0,48038}$   | 0,6993    | 71,6993    | 277,6935 |
| 13 | $y = -0,91991 + 0,35320 d - 0,01855 d^2 + 0,000362 d^3$                              | 0,7105    | 52,9217    | 98,3446  |
| 14 | $y = -2,23026 + 0,76401 d - 0,05250 d^2 + 0,001388 d^3 - 0,000010 d^4$               | 0,7129    | 52,4684    | 74,8903  |
| 15 | $y = 1,36227 - 0,79967 d + 0,14085 d^2 - 0,00836 d^3 + 0,000203 d^4 - 0,0000017 d^5$ | 0,7309    | 50,5836    | 65,6304  |
| 16 | $y = 0,26848 h^{0,04903}$  | 0,6218    | 134,8799   | 196,6124 |
| 17 | $y = 0,86278 + 0,00373 d^2 - 0,01101 h^2 + 0,000185 (d^2h)$                          | 0,7092    | 53,0352    | 97,7586  |

Anexo 7 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa da casca (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,01809 d^{2,10959}$   | 0,9499    | 26,6984    | 2255,6670 |
| 2  | $y = -3,04363 + 0,37784 d + 0,01931 d^2$  | 0,8888    | 25,5238    | 476,6195  |
| 3  | $y = -4,77501 + 0,74450 d + 0,00042 (d^2h)$   | 0,8866    | 25,7720    | 466,3641  |
| 4  | $y = -2,23132 + 0,16958 d + 0,03149 d^2 - 0,000283 (d^2h)$                              | 0,8883    | 25,4779    | 316,3068  |
| 5  | $y = -1,30501 + 0,03976 d^2 - 0,000456 (d^2h)$  | 0,8890    | 25,5008    | 477,5868  |
| 6  | $y = -11,96319 + 1,62499 d - 0,43632 h$   | 0,8636    | 28,2687    | 377,7454  |
| 7  | $y = 0,03073 d^{0,95980} h^{1,13157}$   | 0,9622    | 26,4057    | 1515,0210 |
| 8  | $y = -11,82161 + 1,32700 d$   | 0,8634    | 28,4099    | 753,2235  |
| 9  | $y = 0,80315 + 0,02657 d^2$   | 0,8858    | 25,9761    | 924,1278  |
| 10 | $y = 6,29168 + 0,00057 d^3$   | 0,8373    | 31,0094    | 613,2758  |
| 11 | $y = 5,53159 + 0,00089 (d^2h)$  | 0,8531    | 29,4667    | 691,8482  |
| 12 | $y = 0,02463 (dh)^{0,70161}$  | 0,9607    | 26,1343    | 2907,9106 |
| 13 | $y = -0,32912 - 0,17441 d + 0,04608 d^2 - 0,00036 d^3$                                  | 0,8893    | 25,3594    | 319,6313  |
| 14 | $y = 3,93155 - 1,51019 d + 0,15649 d^2 - 0,00370 d^3 + 0,000033 d^4$                    | 0,8903    | 25,1401    | 242,3255  |
| 15 | $y = 2,99259 - 1,10149 d + 0,10596 d^2 - 0,00115 d^3 - 0,0000226 d^4 - 0,000000445 d^5$ | 0,8893    | 25,1343    | 192,2737  |
| 16 | $y = 0,67855 h^{0,07173}$   | 0,8576    | 123,9241   | 717,5133  |
| 17 | $y = -1,36012 + 0,03347 d^2 + 0,01185 h^2 - 0,00041 (d^2h)$                             | 0,8897    | 25,3071    | 321,1149  |

Anexo 8 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa da casca (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F       |
|----|---|-----------|------------|---------|
| 1  | $y = 0,00093 d^{2,02495}$   | 0,1958    | 47,1206    | 14,1513 |
| 2  | $y = -6,87531 + 0,39414 d - 0,00438 d^2$  | 0,1723    | 44,9275    | 6,6201  |
| 3  | $y = -5,49697 + 0,26982 d - 0,000081 (d^2h)$  | 0,1868    | 44,5329    | 7,2007  |
| 4  | $y = -7,19305 + 0,37227 d - 0,00193 d^2 - 0,000064 (d^2h)$                          | 0,1746    | 44,4300    | 4,8088  |
| 5  | $y = -0,38805 + 0,00326 d^2 - 0,000072 (d^2h)$                                      | 0,1539    | 45,4247    | 5,9098  |
| 6  | $y = -0,46439 + 0,08606 d - 0,04501 h$  | 0,1482    | 45,5753    | 5,6993  |
| 7  | $y = 0,00299 d^{3,12452} h^{-1,59638}$  | 0,1975    | 47,3047    | 7,6448  |
| 8  | $y = -0,83267 + 0,06558 d$  | 0,1595    | 45,7060    | 11,2490 |
| 9  | $y = 0,41981 + 0,00084 d^2$   | 0,1473    | 46,0367    | 10,3293 |
| 10 | $y = 0,84466 + 0,000014 d^3$  | 0,1335    | 46,4085    | 9,3184  |
| 11 | $y = 0,75713 + 0,0000234 (d^2h)$  | 0,1296    | 46,5134    | 9,0377  |
| 12 | $y = 0,00081 (dh)^{0,71291}$  | 0,1769    | 47,2785    | 12,6043 |
| 13 | $y = 4,23115 - 0,51237 d + 0,01991 d^2 - 0,000214 d^3$                              | 0,1587    | 44,8577    | 4,3950  |
| 14 | $y = -82,22612 - 8,93991 d - 0,36301 d^2 + 0,00659 d^3 - 0,000045 d^4$              | 0,1460    | 44,7489    | 3,3082  |
| 15 | $y = 84,57518 - 13,96351 d + 0,88261 d^2 - 0,02694 d^3 + 0,00040 d^4 - 2,36410 d^5$ | 0,1289    | 44,7395    | 2,5988  |
| 16 | $y = 0,18056 h^{0,03516}$   | 0,1039    | 101,8431   | 7,2590  |
| 17 | $y = -3,38061 + 0,00741 d^2 + 0,00504 h^2 - 0,000239 (d^2h)$                        | 0,1720    | 44,5022    | 4,7381  |



Anexo 9 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam a biomassa das raízes (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F        |
|----|---|-----------|------------|----------|
| 1  | $y = 0,18803 d^{1,48911}$   | 0,9257    | 28,5712    | 287,3708 |
| 2  | $y = -5,70879 + 1,14983 d + 0,00335 d^2$  | 0,8093    | 28,0237    | 49,8197  |
| 3  | $y = -8,55725 + 1,42274 d - 0,000078 (d^2h)$  | 0,8095    | 28,0112    | 49,8735  |
| 4  | $y = 7,31765 - 1,83282 d + 0,16459 d^2 - 0,00351 (d^2h)$                            | 0,8877    | 20,9908    | 61,5939  |
| 5  | $y = -3,29805 + 0,08114 d^2 - 0,00188 (d^2h)$                                       | 0,8692    | 23,2123    | 77,4167  |
| 6  | $y = -7,87376 + 2,24504 d - 1,33874 h$  | 0,8215    | 27,1140    | 53,9351  |
| 7  | $y = 0,19937 d^{1,37124} h^{0,11410}$   | 0,9224    | 28,7503    | 137,6907 |
| 8  | $y = -7,22128 + 1,31340 d$  | 0,8172    | 28,0837    | 103,8439 |
| 9  | $y = 5,98292 + 0,02558 d^2$   | 0,7815    | 30,7034    | 83,2857  |
| 10 | $y = 11,66136 + 0,00053 d^3$  | 0,6914    | 36,4945    | 52,5224  |
| 11 | $y = 11,49029 + 0,000803 (d^2h)$  | 0,6802    | 37,1487    | 49,9208  |
| 12 | $y = 0,24614 (dh)^{0,48904}$  | 0,9230    | 29,5133    | 276,7158 |
| 13 | $y = 6,33131 - 1,35894 d + 0,12751 d^2 - 0,00171 d^3$                               | 0,8284    | 25,9441    | 38,0173  |
| 14 | $y = -4,46414 + 2,02912 d - 0,15571 d^2 + 0,00701 d^3 - 0,000089 d^4$               | 0,8312    | 25,0822    | 29,3129  |
| 15 | $y = 6,20186 - 2,59854 d + 0,42793 d^2 - 0,02321 d^3 + 0,00059 d^4 - 0,0000056 d^5$ | 0,8276    | 24,6697    | 23,0866  |
| 16 | $y = 2,61764 h^{0,04851}$   | 0,7972    | 114,1962   | 91,4324  |
| 17 | $y = -3,04303 + 0,09636 d^2 - 0,03174 h^2 - 0,00192 (d^2h)$                         | 0,8728    | 22,3370    | 53,6141  |

Anexo 10 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono total da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F        |
|----|---|-----------|------------|----------|
| 1  | $y = 0,08527 d^{2,16583}$   | 0,9624    | 28,1724    | 589,5778 |
| 2  | $y = 22,14489 - 4,46514 d + 0,28271 d^2$  | 0,9464    | 20,5097    | 203,9828 |
| 3  | $y = -6,41357 + 1,23241 d + 0,00582 (d^2h)$   | 0,9385    | 21,9597    | 176,5927 |
| 4  | $y = 28,80396 - 5,98986 d + 0,36514 d^2 - 0,00179 (d^2h)$                             | 0,9442    | 20,4252    | 130,6425 |
| 5  | $y = -5,88924 + 0,09240 d^2 + 0,00352 (d^2h)$   | 0,9417    | 178,3751   | 186,7146 |
| 6  | $y = -111,79877 + 18,20197 d - 12,72007 h$  | 0,8523    | 34,0400    | 67,3633  |
| 7  | $y = 0,15334 d^{0,98647} h^{1,14168}$   | 0,9744    | 31,4364    | 439,5962 |
| 8  | $y = -105,59927 + 9,34998 d$  | 0,8364    | 36,6657    | 118,6125 |
| 9  | $y = -23,25766 + 0,19638 d^2$   | 0,9377    | 22,6235    | 347,3403 |
| 10 | $y = 12,72901 + 0,00441 d^3$  | 0,9484    | 20,5927    | 423,7788 |
| 11 | $y = 10,95212 + 0,00659 (d^2h)$   | 0,9392    | 22,3471    | 356,5310 |
| 12 | $y = 0,12073 (dh)^{0,71627}$  | 0,9738    | 29,7944    | 854,7419 |
| 13 | $y = -1,65172 + 0,49331 d + 0,03730 d^2 + 0,00338 d^3$                                | 0,9460    | 20,0949    | 135,1930 |
| 14 | $y = -9,11773 + 2,83646 d - 0,15857 d^2 + 0,00942 d^3 - 0,0000616 d^4$                | 0,9432    | 20,0748    | 96,5277  |
| 15 | $y = 69,94169 - 31,46503 d + 4,16755 d^2 - 0,21458 d^3 + 0,00501 d^4 - 0,0000415 d^5$ | 0,9465    | 18,9653    | 82,4016  |
| 16 | $y = 3,38454 h^{0,07424}$   | 0,9228    | 137,1828   | 276,0746 |
| 17 | $y = -4,26506 + 0,18934 d^2 - 0,20217 h^2 + 0,00332 (d^2h)$                           | 0,9471    | 19,8833    | 138,2282 |

Anexo 11 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono acima do solo (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,06729 d^{2,19599}$   | 0,9617    | 23,2440    | 2988,3354 |
| 2  | $y = 9,17523 - 2,46283 d + 0,21272 d^2$   | 0,9537    | 18,6770    | 1227,3506 |
| 3  | $y = -5,36728 + 1,20197 d + 0,004914 (d^2h)$  | 0,9563    | 18,1562    | 1302,1745 |
| 4  | $y = -3,26996 + 0,72793 d + 0,02597 d^2 + 0,00433 (d^2h)$                               | 0,9571    | 18,1462    | 861,6914  |
| 5  | $y = 0,70623 + 0,06146 d^2 + 0,00359 (d^2h)$  | 0,9562    | 18,1673    | 1300,5252 |
| 6  | $y = -90,16516 + 13,53732 d - 8,11651 h$  | 0,8777    | 30,3651    | 427,9715  |
| 7  | $y = 0,12513 d^{0,84911} h^{1,32553}$   | 0,9777    | 25,6470    | 2610,5377 |
| 8  | $y = -87,53137 + 7,99401 d$   | 0,8658    | 31,9450    | 768,5953  |
| 9  | $y = -15,89851 + 0,16541 d^2$   | 0,9495    | 19,5962    | 2238,0689 |
| 10 | $y = 15,75732 + 0,00365 d^3$  | 0,9429    | 20,8435    | 1964,5205 |
| 11 | $y = 11,27230 + 0,00567 (d^2h)$   | 0,9542    | 18,6698    | 2477,6911 |
| 12 | $y = 0,09214 (dh)^{0,73108}$  | 0,9746    | 23,7020    | 4570,8616 |
| 13 | $y = 8,28417 - 2,28155 d + 0,20393 d^2 + 0,000119 d^3$                                  | 0,9533    | 18,6762    | 811,3184  |
| 14 | $y = -11,00997 + 3,76740 d - 0,29606 d^2 + 0,01523 d^3 - 0,00015 d^4$                   | 0,9540    | 18,4587    | 618,2207  |
| 15 | $y = 43,72389 - 20,05607 d + 2,64972 d^2 - 0,13328 d^3 + 0,00311 d^4 - -0,00002593 d^5$ | 0,9584    | 17,4807    | 549,2939  |
| 16 | $y = 2,68077 h^{0,076865}$  | 0,9205    | 131,3614   | 1378,7618 |
| 17 | $y = 0,68667 + 0,05922 d^2 + 0,004206 h^2 + 0,003605 (d^2h)$                            | 0,9558    | 18,1660    | 859,7264  |

Anexo 12 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono do fuste da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,01356 d^{2,57051}$   | 0,9634    | 25,9267    | 3132,9733 |
| 2  | $y = 12,67892 - 3,15999 d + 0,19620 d^2$  | 0,9428    | 22,4384    | 981,0534  |
| 3  | $y = -0,49314 + 0,20029 d + 0,00454 (d^2h)$   | 0,9467    | 21,6615    | 1056,9545 |
| 4  | $y = 0,06122 + 0,07500 d + 0,00686 d^2 + 0,004393 (d^2h)$                             | 0,9462    | 21,6605    | 698,6821  |
| 5  | $y = 0,47090 + 0,01052 d^2 + 0,00432 (d^2h)$  | 0,9467    | 21,6608    | 1057,0248 |
| 6  | $y = -79,02401 + 11,75814 d - 7,72108 h$  | 0,8492    | 36,4268    | 335,9467  |
| 7  | $y = 0,02755 d^{1,03232} h^{1,51381}$   | 0,9787    | 27,9781    | 2730,6275 |
| 8  | $y = -76,51854 + 6,48489 d$   | 0,8333    | 38,4579    | 595,8143  |
| 9  | $y = -19,49249 + 0,13550 d^2$   | 0,9321    | 37,8823    | 1634,6715 |
| 10 | $y = 5,87102 + 0,00301 d^3$   | 0,9381    | 23,4425    | 1803,0879 |
| 11 | $y = 2,27971 + 0,00467 (d^2h)$  | 0,9470    | 21,6822    | 2127,6853 |
| 12 | $y = 0,01963 (dh)^{0,85557}$  | 0,9759    | 26,0579    | 4822,1595 |
| 13 | $y = 9,54776 - 2,52297 d + 0,16531 d^2 + 0,000418 d^3$                                | 0,9423    | 22,4233    | 649,3687  |
| 14 | $y = -14,95829 + 5,15998 d - 0,46973 d^2 + 0,01961 d^3 - 0,0001917 d^4$               | 0,9444    | 21,9218    | 506,5029  |
| 15 | $y = 39,18534 - 18,40658 d + 2,44428 d^2 - 0,12729 d^3 + 0,00303 d^4 - 0,0000256 d^5$ | 0,9508    | 20,5388    | 460,7682  |
| 16 | $y = 1,03464 h^{0,08945}$   | 0,9113    | 137,1349   | 1223,7520 |
| 17 | $y = 0,53028 + 0,01729 d^2 - 0,01277 h^2 + 0,004272 (d^2h)$                           | 0,9463    | 21,6448    | 699,7518  |

Anexo 13 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono das acículas da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,12103 d^{1,19880}$   | 0,8957    | 27,9946    | 1022,7718 |
| 2  | $y = -1,95522 + 0,46534 d - 0,00466 d^2$  | 0,7982    | 23,4703    | 236,4129  |
| 3  | $y = -1,69747 + 0,39002 d - 0,00011 (d^2h)$   | 0,8025    | 23,2195    | 242,8185  |
| 4  | $y = -1,39342 + 0,32130 d + 0,00376 d^2 - 0,000195 (d^2h)$                              | 0,8019    | 23,1594    | 161,5300  |
| 5  | $y = 0,36162 + 0,01943 d^2 - 0,00052 (d^2h)$  | 0,7837    | 24,3013    | 216,5878  |
| 6  | $y = 0,27910 - 0,00274 d + 0,34958 h$   | 0,7795    | 24,5349    | 211,3746  |
| 7  | $y = 0,16155 d^{0,57191} h^{0,61695}$   | 0,9059    | 26,7874    | 573,5724  |
| 8  | $y = 0,16566 + 0,23601 d$   | 0,7573    | 25,8540    | 372,2321  |
| 9  | $y = 2,78231 + 0,00427 d^2$   | 0,6340    | 31,7482    | 207,1009  |
| 10 | $y = 3,87227 + 0,0000847 d^3$   | 0,5072    | 36,8382    | 123,4676  |
| 11 | $y = 3,70185 + 0,0001352 (d^2h)$  | 0,5410    | 35,5511    | 141,2686  |
| 12 | $y = 0,14436 (dh)^{0,39856}$  | 0,9053    | 27,1641    | 1138,3409 |
| 13 | $y = -0,30287 + 0,12917 d + 0,01163 d^2 - 0,00022 d^3$                                  | 0,8113    | 22,5998    | 171,5674  |
| 14 | $y = 1,04105 - 0,29216 d + 0,04646 d^2 - 0,00127 d^3 + 0,0000105 d^4$                   | 0,8150    | 22,2821    | 132,0555  |
| 15 | $y = 0,14906 + 0,09608 d - 0,00154 d^2 + 0,00114 d^3 - 0,0000426 d^4 + 0,000000423 d^5$ | 0,8146    | 22,2057    | 105,6045  |
| 16 | $y = 1,00595 h^{0,039316}$  | 0,7516    | 97,7514    | 361,0552  |
| 17 | $y = 0,31460 + 0,01406 d^2 + 0,01011 h^2 - 0,000488 (d^2h)$                             | 0,8161    | 22,3128    | 177,0106  |

Anexo 14 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono dos galhos vivos da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F         |
|----|---|-----------|------------|-----------|
| 1  | $y = 0,02667 d^{1,75109}$   | 0,9228    | 32,8425    | 1424,1166 |
| 2  | $y = -0,67545 + 0,13626 d + 0,00844 d^2$  | 0,8235    | 32,0788    | 278,6737  |
| 3  | $y = -1,18932 + 0,27655 d + 0,000199 (d^2h)$  | 0,8254    | 31,9072    | 282,3108  |
| 4  | $y = -1,47083 + 0,34018 d - 0,00348 d^2 + 0,000277 (d^2h)$                              | 0,8241    | 31,8917    | 186,8164  |
| 5  | $y = 0,38734 + 0,013097 d^2 - 0,0000701 (d^2h)$   | 0,8213    | 32,2816    | 274,4509  |
| 6  | $y = -4,60262 + 0,73238 d - 0,26468 h$  | 0,7990    | 34,2370    | 237,5040  |
| 7  | $y = 0,03769 d^{1,00084} h^{0,73836}$   | 0,9298    | 32,9949    | 789,4350  |
| 8  | $y = -4,51672 + 0,55161 d$  | 0,7980    | 34,4654    | 471,1813  |
| 9  | $y = 0,71177 + 0,01106 d^2$   | 0,8223    | 32,3294    | 551,6096  |
| 10 | $y = 2,97134 + 0,000239 d^3$  | 0,7834    | 35,6924    | 431,3679  |
| 11 | $y = 2,63922 + 0,000374 (d^2h)$   | 0,8014    | 34,1777    | 481,1417  |
| 12 | $y = 0,03476 (dh)^{0,58137}$  | 0,9301    | 32,8429    | 1583,9285 |
| 13 | $y = -0,61463 + 0,12388 d + 0,00904 d^2 - 0,00000813 d^3$                               | 0,8220    | 32,0784    | 184,1994  |
| 14 | $y = 1,73823 - 0,61376 d + 0,07002 d^2 - 0,00185 d^3 + 0,0000184 d^4$                   | 0,8236    | 31,7967    | 139,9083  |
| 15 | $y = 2,09816 - 0,77043 d + 0,08939 d^2 - 0,00283 d^3 + 0,0000398 d^4 - 0,000000171 d^5$ | 0,8221    | 31,7931    | 110,9835  |
| 16 | $y = 0,53105 h^{0,05997}$   | 0,8455    | 121,5997   | 652,0363  |
| 17 | $y = 0,36153 + 0,01015 d^2 + 0,005551 h^2 - 0,0000508 (d^2h)$                           | 0,8217    | 32,1029    | 183,8601  |

Anexo 15 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono dos galhos mortos da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO   | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F        |
|----|---|-----------|------------|----------|
| 1  | $y = 0,00902 d^{1,46514}$   | 0,7137    | 69,8205    | 297,7097 |
| 2  | $y = 0,76142 - 0,08332 d + 0,00345 d^2$   | 0,6703    | 56,5523    | 121,9842 |
| 3  | $y = 0,50631 - 0,02224 d + 0,0000787 (d^2h)$  | 0,6703    | 56,5576    | 121,9505 |
| 4  | $y = 0,64889 - 0,05447 d + 0,00176 d^2 + 0,0000392 (d^2h)$                              | 0,6686    | 56,4535    | 81,0455  |
| 5  | $y = 0,35135 - 0,000889 d^2 + 0,00009476 (d^2h)$  | 0,6684    | 56,7176    | 120,9333 |
| 6  | $y = -0,90524 + 0,28928 d - 0,29695 h$  | 0,6377    | 59,2844    | 105,7324 |
| 7  | $y = 0,00646 d^{2,18801} h^{-0,71141}$  | 0,7192    | 68,1532    | 153,3710 |
| 8  | $y = -0,80888 + 0,08647 d$  | 0,5467    | 66,5954    | 144,5285 |
| 9  | $y = -0,08687 + 0,00185 d^2$  | 0,6444    | 59,7389    | 216,6291 |
| 10 | $y = 0,22356 + 0,0000424 d^3$   | 0,6899    | 55,0808    | 265,7651 |
| 11 | $y = 0,19835 + 0,00006458 (d^2h)$   | 0,6684    | 56,9561    | 240,9092 |
| 12 | $y = 0,01194 (dh)^{0,47977}$  | 0,6996    | 71,5223    | 278,0769 |
| 13 | $y = -0,40909 + 0,15481 d - 0,00809 d^2 + 0,0001565 d^3$                                | 0,7076    | 53,0280    | 97,0112  |
| 14 | $y = -0,95262 + 0,32522 d - 0,02217 d^2 + 0,000582 d^3 - 0,00000425 d^4$                | 0,7098    | 52,6044    | 73,7627  |
| 15 | $y = 0,59434 - 0,34811 d + 0,06108 d^2 - 0,00361 d^3 + 0,0000879 d^4 - 0,000000733 d^5$ | 0,7280    | 50,7062    | 64,6975  |
| 16 | $y = 0,11613 h^{0,04887}$   | 0,6195    | 134,8349   | 194,7565 |
| 17 | $y = 0,37327 + 0,00161 d^2 - 0,00471 h^2 + 0,0000783 (d^2h)$                            | 0,7058    | 53,1989    | 96,1409  |

Anexo 16 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono da casca da árvore (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas R<sup>2</sup> aj., S<sub>yx</sub>% e F.

| N. | EQUAÇÃO   | R <sup>2</sup> aj. | S <sub>yx</sub> % | F         |
|----|---|--------------------|-------------------|-----------|
| 1  | $y = 0,00826 d^{2,11063}$   | 0,9493             | 26,9348           | 2229,7190 |
| 2  | $y = -1,47416 + 0,18694 d + 0,00848 d^2$  | 0,8871             | 25,5914           | 468,6397  |
| 3  | $y = -2,25057 + 0,34936 d + 0,000184 (d^2h)$  | 0,8849             | 25,8456           | 458,3227  |
| 4  | $y = -1,04367 + 0,07657 d + 0,01494 d^2 - 0,000149 (d^2h)$                              | 0,8867             | 25,5299           | 311,4372  |
| 5  | $y = -0,62539 + 0,01867 d^2 - 0,000228 (d^2h)$  | 0,8875             | 25,5522           | 470,2604  |
| 6  | $y = -5,39137 + 0,72998 d - 0,18440 h$  | 0,8635             | 28,1384           | 377,5295  |
| 7  | $y = 0,01413 d^{0,94416} h^{1,1479}$  | 0,9620             | 26,6070           | 1506,4682 |
| 8  | $y = -5,3315 + 0,6040 d$  | 0,8635             | 28,2595           | 753,9878  |
| 9  | $y = 0,4291 + 0,01208 d^2$  | 0,8834             | 26,1185           | 902,8084  |
| 10 | $y = 2,9310 + 0,000259 d^3$   | 0,8334             | 31,2226           | 596,3359  |
| 11 | $y = 2,5858 + 0,000405 (d^2h)$  | 0,8491             | 29,7122           | 670,8044  |
| 12 | $y = 0,01123 (dh)^{0,7020}$   | 0,9603             | 26,3483           | 2881,9118 |
| 13 | $y = -0,2393 - 0,064276 d + 0,02066 d^2 - 0,000165 d^3$                                 | 0,8876             | 25,4292           | 314,2147  |
| 14 | $y = 1,95880 - 0,75341 d + 0,07762 d^2 - 0,00188 d^3 + 0,0000172 d^4$                   | 0,8891             | 25,1506           | 239,4747  |
| 15 | $y = 1,38325 - 0,50290 d + 0,04665 d^2 - 0,00032 d^3 - 0,0000171 d^4 - 0,000000273 d^5$ | 0,8882             | 25,1402           | 190,0897  |
| 16 | $y = 0,31084 h^{0,07172}$   | 0,8558             | 123,6853          | 707,4813  |
| 17 | $y = -0,65067 + 0,01579 d^2 + 0,00543 h^2 - 0,000209 (d^2h)$                            | 0,8882             | 25,3576           | 316,2111  |



Anexo 17 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono da estrutura reprodutiva (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas R<sup>2</sup> aj., S<sub>yx</sub>% e F.

| N. | EQUAÇÃO  | R <sup>2</sup> aj. | S <sub>yx</sub> % | F       |
|----|--|--------------------|-------------------|---------|
| 1  | $y = 0,000458 d^{1,99783}$   | 0,1924             | 46,8453           | 13,8637 |
| 2  | $y = -3,09371 + 0,17775 d - 0,00198 d^2$   | 0,1706             | 44,6376           | 6,5534  |
| 3  | $y = -2,45971 + 0,12099 d - 0,0000365 (d^2h)$  | 0,1853             | 44,2391           | 7,1425  |
| 4  | $y = -3,23654 + 0,16792 d - 0,000884 d^2 - 0,0000288 (d^2h)$                         | 0,1734             | 44,1302           | 4,7772  |
| 5  | $y = -0,167011 + 0,001457 d^2 - 0,0000322 (d^2h)$                                    | 0,1514             | 45,1515           | 5,8165  |
| 6  | $y = -0,187734 + 0,038116 d - 0,02041 h$   | 0,1455             | 45,3089           | 5,5960  |
| 7  | $y = 0,00151 d^{3,11678} h^{-1,6245}$  | 0,1948             | 47,0342           | 7,5310  |
| 8  | $y = -0,35478 + 0,02883 d$   | 0,1566             | 45,4444           | 11,0234 |
| 9  | $y = 0,19627 + 0,000369 d^2$   | 0,1442             | 45,7756           | 10,1004 |
| 10 | $y = 0,38320 + 0,00000615 d^3$   | 0,1303             | 46,1462           | 9,0909  |
| 11 | $y = 0,34483 + 0,0000103 (d^2h)$   | 0,1265             | 46,2484           | 8,8168  |
| 12 | $y = 0,000406 (dh)^{0,70251}$  | 0,1733             | 47,0012           | 12,3172 |
| 13 | $y = 1,99582 - 0,23766 d + 0,009147 d^2 - 0,0000981 d^3$                             | 0,1571             | 44,5636           | 4,3556  |
| 14 | $y = -36,6141 + 3,98352 d - 0,1618 d^2 + 0,00294 d^3 - 0,0000201 d^4$                | 0,1445             | 44,4541           | 3,2801  |
| 15 | $y = 37,0745 - 6,1346 d + 0,3884 d^2 - 0,01187 d^3 + 0,000177 d^4 - 0,000001044 d^5$ | 0,1274             | 44,4448           | 2,5768  |
| 16 | $y = 0,08389 h^{0,03450}$  | 0,1006             | 101,2177          | 7,0401  |
| 17 | $y = -1,50699 + 0,00332 d^2 + 0,00226 h^2 - 0,000107 (d^2h)$                         | 0,1701             | 44,2183           | 4,6905  |

Anexo 18 – Resultados do ajuste das equações de regressão que estimam o carbono da raiz (kg/árvore), em função do diâmetro à altura do peito e da altura total e respectivas estatísticas  $R^2$  aj.,  $S_{yx}\%$  e F.

| N. | EQUAÇÃO  | $R^2$ aj. | $S_{yx}\%$ | F        |
|----|--|-----------|------------|----------|
| 1  | $y = 0,07995 d^{1,49870}$  | 0,9257    | 28,8404    | 287,3725 |
| 2  | $y = -2,52002 + 0,50159 d + 0,001616 d^2$  | 0,8079    | 28,2967    | 49,3546  |
| 3  | $y = -3,80431 + 0,62591 d - 0,0000325 (d^2h)$  | 0,8078    | 28,3046    | 49,3213  |
| 4  | $y = 3,29985 - 0,83098 d + 0,07365 d^2 - 0,00157 (d^2h)$                             | 0,8879    | 21,0974    | 61,6982  |
| 5  | $y = -1,51317 + 0,03582 d^2 - 0,0008315 (d^2h)$                                      | 0,8682    | 23,4398    | 76,7296  |
| 6  | $y = -3,54394 + 0,99966 d - 0,60221 h$   | 0,8203    | 27,3640    | 53,5046  |
| 7  | $y = 0,08518 d^{1,37121} h^{0,12341}$  | 0,9224    | 29,0376    | 137,7750 |
| 8  | $y = -3,25044 + 0,58058 d$   | 0,8157    | 28,3684    | 102,7766 |
| 9  | $y = 2,58028 + 0,01131 d^2$  | 0,7812    | 30,9108    | 83,0950  |
| 10 | $y = 5,08938 + 0,000238 d^3$   | 0,6916    | 36,6934    | 52,5810  |
| 11 | $y = 5,01534 + 0,000355 (d^2h)$  | 0,6801    | 37,3726    | 49,8946  |
| 12 | $y = 0,10481 (dh)^{0,49224}$   | 0,9232    | 29,7986    | 277,3871 |
| 13 | $y = 2,83710 - 0,61466 d + 0,05686 d^2 - 0,000763 d^3$                               | 0,8272    | 26,1892    | 37,6987  |
| 14 | $y = -2,05744 + 0,92145 d - 0,07154 d^2 + 0,00319 d^3 - 0,0000404 d^4$               | 0,8305    | 25,2815    | 29,1710  |
| 15 | $y = 2,95594 - 1,25370 d + 0,20278 d^2 - 0,0110 d^3 + 0,000281 d^4 - 0,00000264 d^5$ | 0,8276    | 24,8138    | 23,0869  |
| 16 | $y = 1,13090 h^{0,04884}$  | 0,7981    | 114,5894   | 91,9389  |
| 17 | $y = -1,39707 + 0,04275 d^2 - 0,01445 h^2 - 0,000846 (d^2h)$                         | 0,8723    | 22,5104    | 53,3849  |