

LUCIANO FARINHA WATZLAWICK

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA
MISTA E PLANTAÇÕES FLORESTAIS A PARTIR DE DADOS DE
IMAGENS DO SATÉLITE IKONOS II**

**Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Ciências Florestais na área de
concentração de Manejo Florestal.**

**Orientador:
Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner**

CURITIBA

2003

PARECER

“Cada um de nós teve na juventude uma figura especial que com paciência, afeto e sabedoria, nos ajudou a descobrir dimensões mais profundas e a escolher nossos caminhos com maior liberdade”

Mitch Albon

Para mim, esta pessoa foi minha mãe *Maria Glaé*, que não mediu esforços em minha formação, a quem eu dedico este trabalho.

Também dedico ao mano *Alexandre*, vovô *Graciano*, os quais tiveram sua parcela de abdicação e contribuição e a minha filha *Ana Carolina*, por suportar minha ausência.

“Nenhum homem pode chegar a saber que significado tem sua própria vida, que significa o mundo, ou que significa tudo até ter um filho (a) e amá-lo. Então, o universo inteiro se transforma e nada lhe parecerá mais como lhe parecia antes”

Lafcadio Hearn

BIOGRAFIA DO AUTOR

LUCIANO FARINHA WATZLAWICK, filho de Sylo Alcídio Bullerjahn Watzlawick e Maria Gláé Farinha Watzlawick, nasceu em Lages, Estado de Santa Catarina, no dia 14 de outubro de 1967.

Realizou todos os seus estudos em escolas e universidades públicas. Iniciou seus estudos em Santo Antônio das Missões, RS, no Grupo Escolar Tolentina Barcelos Gonçalves estudando até a 4ª série do 1º Grau, continuou seus estudos na Escola Estadual de 1º Grau Prof. Cléia Salette Dalberto e na Escola Estadual de 1º Grau Tenente Portela, ambas em Tenente Portela, RS; o 2º Grau no Colégio Mater Salvatoris, em Tangará, SC, e na Escola Estadual de Professora Maria Rocha, em Santa Maria, RS.

No ano de 1996, terminou a graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, sendo que no mesmo ano ingressou no curso de mestrado em Sensoriamento Remoto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, obtendo o título em 2000.

Durante o período de 1996 a 2000, foi conselheiro Estadual do CREA-RS, presidente da SOSEF (Sociedade Santamariense de Engenheiros Florestais), desenvolveu suas atividades no setor privado e também junto a FATEC-UFSM, no Projeto Inventário Florestal Contínuo do Estado do Rio Grande do Sul.

Em fevereiro de 2000 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar o doutoramento, na área de concentração Manejo Florestal, na Universidade Federal do Paraná, o qual é concluído com a defesa desta tese. Na mesma Instituição foi Professor substituto através de concurso público por 2 anos, ministrando as disciplinas de Manejo Florestal, Inventário Florestal e Planejamento de Inventários Florestais.

Atualmente é Professor nos cursos de graduação em Engenharia Florestal e Engenharia Ambiental na UNICENTRO (Universidade Estadual do Centro-Oeste) no estado do Paraná, e co-orientador no curso de mestrado em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Flávio Felipe Kirchner, meu orientador, pela oportunidade de realizar este curso, pelo seu profissionalismo, pela amizade, confiança, disponibilidade e apoio incondicional, os quais me foram importantes.

Aos co-orientadores, Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta e Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela compreensão, amizade e apoio irrestrito.

Ao colega, parceiro e novo amigo Prof. Dr. Henrique Soares Koehler pela convivência, sugestões, colaborações e aprendizado.

Aos Professores Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga, Dr. Rudiney Soares Pereira, Dr. Ênio Giotto, Dr. Doádi Antônio Brena e M.Sc. Juarez Martins Hoppe, pelos ensinamentos, apoio, incentivo e amizade.

A estes mestres gostaria que ficasse uma mensagem:

“Existem homens que lutam um dia e são bons;
Existem outros que lutam um ano e são muito bons;
Existem aqueles que lutam muitos anos e são melhores;
Mas existem os que lutam toda a vida,
Estes são imprescindíveis.”

Bertold Brecht

Ao CNPq - Projeto Ecológico de Longa Duração – PELD Site 9 “Floresta de Araucária e suas Transições”, nas pessoas dos Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta e Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto, pelos quais me foi dada a oportunidade de participar, e por acreditarem no desenvolvimento de um trabalho em equipe.

Aos Diretores e Funcionários das Industrias Pedro N. Pizzato Ltda, pela acolhida, pelo apoio, os quais foram indispensáveis à execução do trabalho de campo.

Aos Professores e Funcionários da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de aprendizado e convivência, os quais tornaram o curso mais prazeroso.

Aos colegas, pelo convívio harmônico durante estes anos, pelas críticas, idéias, sugestões e pelo crescimento pessoal e profissional. Em especial aos colegas Emerson, Rubens, Milton Luiz e Rafaelo, pela ajuda, colaboração, pelas horas de discussões...

Ao irmão de coração, Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira, pela acolhida, pela grandiosa amizade, brigas, brincadeiras, discussões, sugestões, críticas e apoio.

Em especial a minha família, por acreditarem que o sonho se tornaria realidade, meu muito obrigado.

“Vamos, aproveite o momento!
Se não for você, quem será?
Se não for hoje, quando, então?
Mão à obra!”

Roberto Shinyashiki

SUMÁRIO

	LISTA DE TABELAS	x
	LISTA DE FIGURAS	xiii
	LISTA DE GRÁFICOS	xiv
	LISTA DE APÊNDICES	xv
	LISTA DE SIGLAS/SÍMBOLOS	xvi
	RESUMO	xvii
	ABSTRACT	xviii
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.1.1	GERAL	3
1.1.2	ESPECÍFICOS	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	DETERMINAÇÃO DE BIOMASSA	5
2.2	BIOMASSA E CARBONO EM ALGUMAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS	9
2.3	ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO POR SENSORIAMENTO REMOTO	13
2.4	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
3.1.1	Localização	26
3.1.2	Clima	27
3.1.3	Geologia e Solo	27
3.1.4	Vegetação Natural	27
3.1.5	Plantações de <i>Pinus taeda</i> e <i>Araucaria angustifolia</i>	29
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS	30
3.2.1	Materiais de Apoio	30
3.2.2	Produtos Cartográficos e Imagens	31
3.2.3	Equipamentos de Processamento e Aplicativos	31
3.3	METODOLOGIA	31
3.3.1	Trabalho de Campo	31
3.3.3.1	Seleção das Unidades Amostrais	31
3.3.3.2	Determinação de Biomassa	32

3.3.3.2.1	Determinação da Biomassa da Vegetação Arbórea.....	33
3.3.3.2.2	Determinação da Biomassa da Vegetação Arbustiva e Raízes.....	35
3.3.3.2.3	Determinação da Biomassa da Serapilheira	35
3.3.3.3	Determinação do Teor de Umidade e Carbono Orgânico	36
3.3.3.4	Processamento dos Dados de Campo.....	36
3.3.3.4.1	Cálculos da Biomassa Seca e Carbono Orgânico.....	36
3.3.3.4.2	Cálculos dos Volumes e Área Basal.....	37
3.3.3.4.3	Análise Fitossociológica e Índices de Diversidade	38
3.3.2	Processamento da Imagem de Satélite	39
3.3.2.1	Informações do Sensor e da Imagem	39
3.3.2.2	Sistema de Processamento das Imagens.....	40
3.3.2.2.1	Correção Geométrica da Imagem.....	40
3.3.2.2.2	Conversão dos Números Digitais para Radiância/Reflectância	41
3.3.2.2.3	Geração das Imagens índice de Vegetação	43
3.3.2.2.4	Digitalização dos Temas	44
3.3.2.2.5	Obtenção dos Valores de Reflectância nas Imagens	45
3.3.3	Tratamento Estatístico dos Dados.....	45
3.3.4	Mapeamento dos Resultados e Mapeamento	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	ASPECTOS ESTRUTURAIS DA VEGETAÇÃO NATURAL.....	48
4.2	BIOMASSA E CARBONO	52
4.2.1	Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de <i>Pinus taeda</i>	53
4.2.2	Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de <i>Araucaria angustifolia</i> ..	58
4.2.3	Biomassa e Carbono Orgânico no Sub-bosque e Serapilheira Acumulada Sobre o Solo em Povoamentos de <i>Pinus taeda</i> e <i>Araucaria angustifolia</i>	62
4.2.4	Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana	66
4.2.5	Biomassa e Carbono Orgânico no Sub-bosque e Serapilheira Acumulada Sobre o Solo na Floresta Ombrófila Mista Montana.....	70
4.3	CORREÇÃO GEOMETRICA DA IMAGEM.....	74
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	75
4.4.1	Análise de Correlação	76
4.4.2	Análise de Regressão	79
4.4.2.1	Ajuste e Seleção de Equações de Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de <i>Pinus taeda</i>	80

4.4.2.2	Ajuste e Seleção de Equações de Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de <i>Araucaria angustifolia</i>	82
4.4.2.3	Ajuste e Seleção de Equações de Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Floresta Ombrófila Mista Montana	84
4.5	MAPEAMENTO DA BIOMASSA E DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO.....	88
5	CONCLUSÕES	101
6	RECOMENDAÇÕES	104
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICES	116

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	28
TABELA 2	INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DAS PLANTAÇÕES DE <i>Pinus taeda</i> EM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	29
TABELA 3	INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DAS PLANTAÇÕES DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	30
TABELA 4	CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DAS BANDAS DO SATÉLITE IKONOS II	40
TABELA 5	COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA DO SATÉLITE IKONOS II	42
TABELA 6	RELAÇÃO DAS ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	49
TABELA 7	PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DAS ESPÉCIES NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	51
TABELA 8	BIOMASSA ARBÓREA (Mg ha ⁻¹) EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	53
TABELA 9	CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO (Mg ha ⁻¹) EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	54
TABELA 10	BIOMASSA ARBÓREA (Mg ha ⁻¹) EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	58
TABELA 11	CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO (Mg ha ⁻¹) EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	59
TABELA 12	BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO NO SUB-BOSQUE E, SERAPILHEIRA (Mg ha ⁻¹) EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	63
TABELA 13	BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA (Mg ha ⁻¹) EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	63
TABELA 14	BIOMASSA ARBÓREA (Mg ha ⁻¹) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	66
TABELA 15	CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO (Mg ha ⁻¹) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	67

TABELA 16	BIOMASSA NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg\ ha^{-1}$) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	71
TABELA 17	CARBONO ORGÂNICO NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg\ ha^{-1}$) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	72
TABELA 18	COORDENADAS DOS PONTOS UTILIZADOS NA CORREÇÃO E RESÍDUOS OBTIDOS NO AJUSTAMENTO, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	75
TABELA 19	COORDENADAS DOS PONTOS UTILIZADOS NA VERIFICAÇÃO DO AJUSTAMENTO REALIZADO E RESÍDUOS, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	75
TABELA 20	MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E VARIÁVEIS DIGITAIS EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	77
TABELA 21	MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E VARIÁVEIS DIGITAIS EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	77
TABELA 22	MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E VARIÁVEIS DIGITAIS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	77
TABELA 23	MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL BIOMASSA ARBÓREA ($BIO = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001 ...	80
TABELA 24	MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ($CARB = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	81
TABELA 25	MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL BIOMASSA ARBÓREA ($BIO = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	83
TABELA 26	MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ($CARB = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	83

TABELA 27	MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL BIOMASSA ARBÓREA ($BIO = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	85
TABELA 28	MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ($CARB = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	86
TABELA 29	BIOMASSA ARBÓREA REAL E ESTIMADA EM HECTARE (ha) NOS POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> e <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	89
TABELA 30	CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO REAL E ESTIMADO EM HECTARE (ha) NOS POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> e <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	89
TABELA 31	BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ESTIMADOS EM HECTARE (ha) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	ESTRUTURA INTERNA DE UMA FOLHA.....	21
FIGURA 2	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	22
FIGURA 3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	26
FIGURA 4	UNIDADE AMOSTRAL PARA AS PLANTAÇÕES FLORESTAIS DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	32
FIGURA 5	UNIDADE AMOSTRAL PARA A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	33
FIGURA 6	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NOS POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	93
FIGURA 7	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NOS POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	94
FIGURA 8	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NOS POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	95
FIGURA 9	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NOS POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	96
FIGURA 10	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	97
FIGURA 11	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	98
FIGURA 12	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NOS POVOAMENTOS FLORESTAIS DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Araucaria angustifolia</i> E NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	99
FIGURA 13	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NOS POVOAMENTOS FLORESTAIS DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Araucaria angustifolia</i> E NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	CURVA ESPÉCIE/ÁREA DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA DA ÁREA DE ESTUDO, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	48
GRÁFICO 2	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	81
GRÁFICO 3	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001 ...	82
GRÁFICO 4	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	84
GRÁFICO 5	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO EM POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	84
GRÁFICO 6	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO UTILIZANDO TODAS AS VARIÁVEIS PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	86
GRÁFICO 7	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO <i>stepwise</i> (nº 2) DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	87
GRÁFICO 8	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO UTILIZANDO TODAS AS VARIÁVEIS PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	87
GRÁFICO 9	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO <i>stepwise</i> (nº 2) DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001.....	87

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A	TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g kg^{-1}) DOS COMPONENTES ARBÓREOS NOS POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	116
APÊNDICE B	TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g kg^{-1}) NA VEGETAÇÃO ARBUSTIVA, SERAPILHEIRA ACUMULADA E RAIZ NOS POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	116
APÊNDICE C	TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g kg^{-1}) DOS COMPONENTES ARBÓREOS NOS POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	117
APÊNDICE D	TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) NA VEGETAÇÃO ARBUSTIVA, SERAPILHEIRA ACUMULADA E RAIZ NOS POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> , GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	117
APÊNDICE E	TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) DOS COMPONENTES ARBÓREOS DAS ESPÉCIES NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	118
APÊNDICE F	TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) NA VEGETAÇÃO ARBUSTIVA, SERAPILHEIRA ACUMULADA E RAIZ NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001	119

LISTA DE SIGLAS/SÍMBOLOS

CAP – circunferência a altura do peito (1,30m)

CFCs – clorofluorcarbonos

cm – centímetro

CO₂ – gás carbônico

CH₄ = gás metano

DAP – diâmetro a altura do peito (1,30 m)

dg – árvore de área basal média

DN's – digital number

G – área basal

g – grama

g Kg⁻¹ – grama por quilograma

ha – hectares

H_{total} – altura total

Kg – quilograma

Mg ha⁻¹ – megagramas

m - metro

MLME – Modelo linear de Mistura Espectral

N₂O – gás amônia

NDVI - "Normalized Difference Vegetation Index" - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O₂ – gás oxigênio

SAVI - "Soil Adjusted Vegetation Index" - Índice de Vegetação Ajustado para o Solo

SIG - Sistema de Informação Geográfica

µm – comprimento de onda em micron

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver metodologia utilizando imagens do satélite IKONOS II para realizar estimativas de biomassa e carbono orgânico em plantações de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e na Floresta Ombrófila Mista Montana. O estudo foi desenvolvido no município de General Carneiro (PR) na propriedade pertencente às Indústrias Pedro N. Pizzato Ltda. O desenvolvimento metodológico foi realizado inicialmente com a caracterização dos aspectos estruturais da floresta natural; quantificação da biomassa e do carbono orgânico nas plantações e na floresta natural, na vegetação arbórea, arbustiva, serapilheira acumulada e nas raízes; análise estatística (matriz de correlação) das bandas e índices de vegetação com os dados de biomassa e carbono orgânico; ajuste e seleção de equações para estimar a biomassa e o carbono orgânico (variáveis dependentes) em função de variáveis provenientes das imagens de satélite, sendo a reflectância das bandas MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, Razão de Bandas (MS-4/MS-3), NDVI e SAVI (variáveis independentes); e a espacialização e quantificação das variáveis dependentes para toda a área de estudo. Os resultados da análise estatística mostraram uma alta relação entre a biomassa e carbono orgânico, as quais possuem média correlação com as variáveis digitais MS-4, Razão, NDVI e SAVI. Com a realização da regressão *stepwise* foram selecionadas equações que melhor explicassem as variáveis biomassa e carbono orgânico de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e na Floresta Ombrófila Mista Montana. As estimativas das variáveis dendrométricas consideradas utilizando-se de imagens provenientes do satélite IKONOS II, apresentaram resultados bastante satisfatórios, possibilitando com que as mesmas possam ser realizadas, necessitando para tanto que modelos matemáticos sejam ajustados. Ressalta-se a importância da utilização das técnicas de sensoriamento remoto e SIG nas estimativas, visto que as mesmas possibilitam realizar quantificações utilizando métodos não destrutivos, bem como realizar a espacialização das informações, tornando-se uma ferramenta útil também com finalidade de monitoramento.

Palavras-chave: biomassa, carbono orgânico, sensoriamento remoto, IKONOS II, Plantações Florestais, *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia*, Floresta Ombrófila Mista Montana.

ABSTRACT

The main goal of the present work was to develop a methodology for estimating biomass and organic carbon through the use of IKONOS II satellite images, applied for plantations areas of *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia*, and for Mixed Ombrophilous Forest area. The study was developed at General Carneiro, State of Paraná, Brazil, in areas belonging to the Pedro Pizzato Industries. The methodological development was composed by the characterization of the structural traits of the natural forest, biomass and carbon determination in the study areas contemplating trees, shrubby, litter and roots of the vegetation; correlation analysis for the satellite spectral band reflectance and vegetation indexes with ground biomass and organic carbon; fitting and testing of regression equations for estimation of ground biomass and organic carbon as function of image variables represented by spectral band reflectance MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, MS-4/MS-3 ratio, NDVI and SAVI; spatialization of the estimated values for the study areas. The statistical results showed high correlation between ground biomass and organic carbon, and medium correlation with spectral band reflectance MS-4, MS-4/MS-3 ratio, NDVI and SAVI. The best equations for predicting ground biomass and organic carbon were selected by methods stepwise regression. The estimation of the dendrometric variables using data from IKONOS II satellite images, showed satisfactory results, allowing their use when mathematical models are adjusted for the specific situations. Of relevance is the importance of the use of remote sensing and GIS procedures for obtaining the estimates, once they allow quantification by the use of non destructive methods, as well as allowing quick information spatialization, being an useful procedure aiming monitoring of forest areas.

Key words: biomass, organic carbon, remote sensing, IKONOS II, forest plantations, *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia*, Mixed Ombrophilous Forest.

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, o aumento crescente da queima de combustíveis fósseis e as mudanças de uso da terra devido às queimadas realizadas como práticas “convencionais” na agricultura ou pelo corte de florestas têm provocado a liberação de grande quantidade de carbono da biosfera para a atmosfera. Isso acarreta o aumento contínuo e constante da concentração de gás carbônico, a qual vem causando preocupação de ambientalistas, políticos, pesquisadores, bem como da população em geral. Essa preocupação está relacionada aos efeitos que possam vir a provocar mudanças climáticas no planeta, uma vez que o gás carbônico, do ponto de vista quantitativo, é o mais importante gás causador do aumento do chamado efeito estufa (SALATI 1994; VICTORIA et al. 1994).

Relacionando-se as mudanças climáticas ao aumento da concentração atmosférica de gases como o CO₂, CH₄, N₂O e os clorofluorcarbonos (CFCs), chamados de gases do efeito estufa, os quais em maior ou menor grau, são capazes de absorver radiações de ondas longas emitidas pela superfície terrestre e pela atmosfera, ocasionando o aquecimento desta e do chamado efeito estufa.

Nos últimos anos tem crescido a preocupação em relação ao aumento do dióxido de carbono na atmosfera e as possíveis consequências sobre as plantas, principalmente em razão do aumento da temperatura, cuja previsão é de aumentar de 1,5°C a 4,5°C até o ano 2050, sendo que a temperatura controla vários processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, dependendo do material genético, pequenas variações na temperatura já podem inviabilizar a sua implantação em áreas estratégicas. Desta forma, o controle do aumento do dióxido de carbono torna-se, imprescindível.

FERREIRA REIS et al. (1994) relatam que as florestas nativas ou implantadas têm sido apontadas como drenos desse gás através do processo de fotossíntese, havendo posterior armazenamento em diferentes compartimentos do ecossistema.

O interesse em relação ao “sequestro de carbono” em florestas plantadas tem crescido, em razão de sua elevada taxa de crescimento e grande capacidade de fixar o

dióxido de carbono da atmosfera. Já em florestas naturais, o interesse existe, mas não é tão acentuado devido as mesmas não serem contempladas pelo Protocolo de Quioto.

Na biomassa da floresta, os compostos de carbono constituem grande parte, sendo necessário desenvolver estudos quanto a métodos de quantificação, nos diversos componentes da planta, possibilitando assim entender melhor o "seqüestro" e o "armazenamento" de carbono da atmosfera pelas florestas.

Os estudos de quantificação de biomassa são trabalhosos, demorados e muito onerosos, podendo os mesmos ser realizados por meio de métodos diretos e indiretos. Pelo método direto, as árvores são cortadas e seus componentes separados e pesados, e pelo método indireto são utilizadas equações alométricas ou imagens de satélite para realizar as estimativas.

Com os atuais avanços tecnológicos com relação as imagens provenientes de sensores remotos nos últimos anos, e também com os desenvolvimentos relacionados aos avanços no processamento das imagens, têm-se obtido uma melhor caracterização da estrutura das florestas e, conseqüentemente de sua biomassa e carbono estocado. O fundamento é associar o conteúdo de biomassa e carbono a dados de radiância/reflectância provenientes de imagens de satélite para obter melhor estimativas.

Para fins práticos, como um todo será de grande relevância o conhecimento da biomassa e carbono fixado nos ecossistemas naturais, bem como aquele fixado nas plantações florestais, para tanto torna-se necessário aperfeiçoar métodos indiretos para se chegar a uma estimativa mais confiável, desenvolvendo modelos matemáticos apropriados para se gerar estimativas a partir de dados de radiância, podendo-se monitorar as mudanças mais significativas nessas florestas a partir de imagens de satélite, não em área, mas sim em quantidade de biomassa e carbono retido nas mesmas em uma determinada tipologia florestal.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

O objetivo geral consistiu no desenvolvimento de metodologia utilizando imagens do satélite IKONOS II para realizar estimativas de biomassa e carbono orgânico em plantações de *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia* e na Floresta Ombrófila Mista Montana.

1.1.2 ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram os seguintes:

- Caracterizar os aspectos estruturais de florística da Floresta Ombrófila Mista Montana na área de estudo;
- Quantificar a biomassa e o carbono orgânico na vegetação arbórea e arbustiva (sub-bosque e regeneração), raiz e na serapilheira de plantações florestais de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em diferentes idades, e na Floresta Ombrófila Mista Montana;
- Realizar análises estatísticas das bandas e índices de vegetação das imagens do satélite IKONOS II, verificando sua correlação com dados de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo provenientes dos levantamentos de campo;
- Ajustar e testar equações para estimar variáveis de biomassa e carbono orgânico em função de variáveis provenientes das imagens de satélite;
- Avaliar e testar a aplicabilidade de realizar estimativas de biomassa e carbono orgânico a partir de dados provenientes de imagens do satélite acima referenciado, e

- Espacializar e quantificar a biomassa e o carbono orgânico na área de estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DETERMINAÇÃO DE BIOMASSA

Conforme GARDNER e MANKIN (1981), os ecossistemas florestais contêm cerca de 90% da biomassa da terra, cobrindo aproximadamente 40% da superfície da mesma. Em função da grande proporção existente de biomassa, torna-se importante e útil realizar avaliações nos diferentes ecossistemas (CAMPOS, 1991). É importante também estudar a conversão de energia e a ciclagem de nutrientes (GOLLEY et al. 1971), a absorção e o armazenamento de energia solar (ANDRAE; KRAPFENBAUER, 1983), possibilitando assim a realização de avaliações e considerações para o manejo racional dos diferentes ecossistemas.

A biomassa florestal, conforme definição apresentada por ALEMDAG (1982) referenciado por WENDLING (1998), é a quantidade constituída por organismos no ecossistema em termos de massa.

Já MARTINELLI et al. (1994) definem a biomassa como a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta. BRIGADÃO (1992) refere-se ao termo fitomassa, como material seco da planta, que combinado com a zoomassa corresponde à biomassa.

Para SATOO¹ referenciado por WENDLING (1998), a produção de biomassa está condicionada ao fato de que para a sobrevivência e o crescimento, os organismos vivos necessitam obter energia e minerais de seu meio e sintetizar a matéria orgânica. A síntese da matéria orgânica realizada pelas plantas no processo da fotossíntese é chamada de produção primária de um ecossistema, e a soma total de matéria orgânica produzida pela fotossíntese é chamada de produção bruta. As plantas consomem parte do produto da fotossíntese no processo da respiração, sendo que o remanescente é incorporado como matéria à planta, denominado-se assim de produção líquida. Os valores de produção bruta

¹ SATOO, T. **Forest biomass**. The Hague, Martinus Nighoff/Dr W. Junk, 1982. 152p.

e líquida são usualmente expressos como peso seco, sendo freqüentemente chamados de produção de matéria seca.

As estimativas de biomassa dos vários tipos florestais geram ainda muita polêmica e controvérsias, conforme HIGUCHI e CARVALHO JUNIOR (1994). Algumas estimativas vêm de estudos que utilizam métodos diretos e outras de métodos indiretos. Os métodos indiretos baseiam-se normalmente em dados provenientes de inventários florestais, executados com finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal, onde a variável é o volume de madeira. Já nos métodos diretos, são derrubadas e pesadas todas as árvores que ocorrem em uma parcela fixa.

Para SALATI (1994), a utilização de métodos destrutivos é aplicável somente em pequenas áreas, e também como forma de "calibração" das equações utilizadas para determinações indiretas, devido o mesmo permitir um conhecimento detalhado da biomassa nos diferentes compartimentos da floresta. O autor ainda comenta que o método utilizado por HIGUCHI e CARVALHO JUNIOR (1994) parece ser apropriado para estimar a biomassa acima do solo, incluindo biomassa viva e morta, ressaltando que devem ser utilizadas técnicas específicas para a estimativa de biomassa e não aquela utilizada para realizar medidas do volume de madeira de uma floresta. Com relação à validade das informações quando da utilização de equações alométricas, deve-se atentar muito para o erro de amostragem. O autor recomenda tomar cuidados com relação às medidas realizadas em árvores com maiores diâmetros. Salienta também que as variações entre as estimativas são grandes quando se utilizam métodos convencionais de inventário florestal para estimativas de biomassa.

HOUGHTON (1994) comenta que tipos diferentes de floresta armazenam diferentes quantidades de carbono dentro de sua biomassa, e locais diferentes dentro de um mesmo tipo de floresta também variam muito com relação à quantidade de biomassa. Esta afirmação é feita em função da maioria das estimativas de biomassa ser feita apenas nas partes aéreas da planta, considerando-se somente as partes vivas da planta acima do solo. O autor sugere que adaptações devam ser feitas para as estimativas das árvores menores, da

vegetação rasteira no solo e da vegetação viva abaixo do solo (raízes), devendo-se incluir também a vegetação morta, tanto acima como abaixo do solo, em pé ou caída.

Esta preocupação acima referenciada é também manifestada por FEARNSIDE (1994), visto que a maioria dos valores publicados para biomassa muitas vezes esconde inconsistências, tais como os componentes subterrâneos e mortos. Os autores BROWN, GILLESPIE e LUGO (1989) comentam que a realização de amostragem destrutiva produz valores consistentemente mais altos do que as estimativas volumétricas, podendo haver tendenciosidades na escolha do local de estudo e falta de representatividade. Os autores afirmam que medidas diretas da distribuição entre os componentes da biomassa florestal acima do solo são necessárias para identificar fatores que estimem componentes tais como cipós, sub-bosque, serapilheira e madeira morta. Os componentes subterrâneos, incluem os "fustes subterrâneos" e as raízes, valores estes que muitas vezes têm sido subestimados porque praticamente a maioria das mensurações não tem incorporado estes valores de biomassa.

Segundo BROWN, GILLESPIE e LUGO (1989), os métodos diretos fornecem estimativas bastante polêmicas, em função das estimativas estarem baseadas em dados de poucas parcelas, demasiadamente pequenas e freqüentemente tendenciosas na seleção. Os autores afirmam que esta tendenciosidade é devida a determinação de biomassa ser trabalhosa, pesada e monótona, o que leva o pesquisador a escolher sempre aquilo que julga ser mais representativo. Também em função de serem poucas as chances de repetir o trabalho, o pesquisador tende a escolher um sítio mais denso, mais homogêneo e mais fácil de trabalhar. Por estas razões, as estimativas baseadas em métodos diretos tendem, segundo os autores acima, serem sempre superestimadas.

HIGUCHI e CARVALHO JUNIOR (1994) contesta as críticas feitas por BROWN, GILLESPIE e LUGO (1989) relacionadas aos métodos diretos. Em função dos métodos baseados em inventários florestais serem tendenciosos em suas estimativas ficam muito aquém de valores obtidos por meio dos métodos diretos, devido na maioria das vezes os mesmos tratarem de inventários com finalidade volumétrica.

KOEHLER, WATZLAWICK e KIRCHNER (2002) comprovam as afirmações feitas por HIGUCHI (1994). Em estudo para verificar as fontes e os erros nas estimativas do potencial de carbono, os autores ajustaram modelo matemático para gerar estimativas utilizando dados de biomassa determinados diretamente no campo (parâmetro). Ao gerar as estimativas e compará-las com os dados de campo, foi verificado que as mesmas subestimavam em 12, 88% a quantidade de biomassa real. Os autores também chamam a atenção quando da realização de inventários de biomassa e a utilização de equações impróprias. Utilizando a equação ($Y = \exp[-3,1141 + 0,9719 \cdot \text{LN}(\text{DAP}^2 \cdot H_{\text{TOT}})]$), desenvolvida por BROWN, GILLESPIE e LUGO (1989) foi verificado uma superestimativa de 27,06% para a biomassa real. Concluem dizendo que os diferentes tipos florestais produzem diferentes quantidades de biomassa e, por esta razão, um cuidado deve ser tomado no uso de equações obtidas para tipos florestais e condições diferentes daqueles em que se deseja estimar a biomassa.

O termo biomassa florestal, conforme SANQUETTA (2002), pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma, podendo-se também utilizar o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea. Ao reportar-se sobre os diferentes métodos de determinação, o autor comenta sobre os métodos diretos, onde os procedimentos de campo utilizados nas determinações de biomassa de florestas podem variar amplamente, segundo os objetivos e as restrições técnicas e orçamentárias atinentes ao trabalho. Segundo o autor, os métodos indiretos não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações, devendo ser empregados conjuntamente com os métodos diretos.

WATZLAWICK et al. (2002a) complementam as afirmações de SANQUETTA (2002), quando da quantificação de biomassa em ecossistemas florestais. Para os autores, na utilização de diferentes metodologias deve-se compatibilizar o uso de métodos destrutivos e não destrutivos (utilização de equações alométricas e a utilização de técnicas de sensoriamento remoto). Também deve-se levar em consideração diferentes tipos florestais bem como diferentes estágios de regeneração, devendo-se atentar para que as

estimativas sejam realizadas em todos estágios, diferentes partes componentes de uma árvore e diferentes compartimentos do ecossistema florestal. 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.

2.2 BIOMASSA E CARBONO EM ALGUMAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS

SALOMÃO, NEPSTAD e VIEIRA (1996) afirmaram que para entender as emissões de carbono para a atmosfera é necessário que se respondam as seguintes questões: qual o estoque de carbono contido na biomassa de floresta primária? Quais as taxas de acúmulo do carbono das florestas secundárias de diversas idades?

Um estudo realizado pelos mesmos autores no município de Peixe-Boi (Pará), visou quantificar a biomassa e o estoque de carbono de florestas tropicais primárias e secundárias. A quantificação da biomassa na floresta primária foi realizada em uma área de 3 ha para os indivíduos que possuíssem DAP ≥ 10 cm e em 0,6 ha para as árvores com DAP entre 0,5 e 9,9 cm. Em florestas secundárias com diferentes idades de abandono ou pousio (5, 10 e 20 anos), foram amostradas as árvores com DAP ≥ 5 cm em 0,25 ha. Os valores de biomassa aérea viva e da biomassa total foram calculados utilizando equações alométricas. Obtiveram como resultados que a biomassa total (peso seco) para a floresta primária foi de 388 Mg ha⁻¹, sendo que 267 Mg ha⁻¹ referentes à biomassa aérea, 68 Mg ha⁻¹ à biomassa subterrânea e 53 Mg ha⁻¹ à biomassa morta. Já o estoque de carbono foi calculado em 194 Mg ha⁻¹. Em florestas secundárias de 5, 10 e 20 anos foram estimados 13, 44 e 82 Mg ha⁻¹ de biomassa aérea, respectivamente, indicando um incremento médio de 4 Mg ha⁻¹.ano⁻¹. Tal incremento implica numa retirada de 2 Mg ha⁻¹.ano⁻¹ de carbono da atmosfera, pelo processo da fotossíntese.

Conforme KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), a acumulação de biomassa é afetada por todos aqueles fatores relacionados com a fotossíntese e a respiração. CAMPOS (1991) e CALDEIRA (1998) acrescentam que esta acumulação (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 acumulação 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.

ANDRAE (1978) e SCHUMACHER (1996) acrescentam que durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Com o passar do tempo, as copas começam a competir entre si, aumentando a produção relativa do tronco e diminuindo gradativamente a biomassa das folhas e ramos.

SCHUMACHER (1995) avaliou o percentual de biomassa de copa e raízes em *Eucalyptus saligna*, aos 4 e 7 anos de idade. Obteve como resultados para a idade de 4 anos, uma produção de biomassa de 94,8 Mg ha⁻¹, distribuídos percentualmente com 60% de madeira, 16% de raízes, 9% de folhas, 8% de casca e 7% de ramos. Aos 7 anos a produção de biomassa foi de 158,0 Mg ha⁻¹, sendo 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.

SCHUMACHER (2002a) realizou trabalho 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. O trabalho foi realizado 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. Obteve-se como resultado de biomassa 8,1; 47,4; 10,9 e 203,3 Mg ha⁻¹. O carbono acumulado nestes componentes foi de 3,5; 17,6; 4,1 e 90,4 Mg ha⁻¹ para as acículas, galhos, casca e madeira, respectivamente.

O mesmo autor referenciado acima, utilizando a mesma metodologia em povoamento com 15 anos de idade de *Pinus taeda*, obteve-se os seguintes resultados para a biomassa acima do solo: 15,0; 43,1; 13,6 e 179,1 Mg ha⁻¹, já o carbono acumulado foi de 5,5; 17,1; 5,4 e 75,4 Mg ha⁻¹, respectivamente para acículas, galhos, casca e madeira.

Já em povoamento com 10 anos de idade, quantificando os mesmos componentes, o autor encontrou como resultados os seguintes valores: 13,6; 10,1; 7,7 e 60,1 Mg ha⁻¹ e 6,1; 3,7; 3,2 e 28,3 Mg ha⁻¹, respectivamente para a biomassa e carbono acumulado.

Os efeitos da fragmentação de Floresta Tropical Densa no sudeste acreano sobre a biomassa viva acima do solo e o estoque de carbono foi estudado por FIGUEIREDO et al. (2000). Dois ambientes do fragmento florestal foram avaliados, ou seja: floresta primária e secundária com diferentes idades de abandono (15 e 25 anos). Na estimativa de biomassa dos indivíduos com DAP ≥ 10 cm, foram instaladas 50 parcelas na floresta primária e 50 na secundária, 25 para cada variação cronológica, nas dimensões de 10 x 10 m. Para quantificar os indivíduos entre 5 cm ≥ DAP < 10 cm, utilizou-se 50 subparcelas com as mesmas dimensões acima especificadas alocadas sistematicamente em cada ecossistema florestal. As estimativas foram realizadas utilizando-se a equação alométrica desenvolvida por BROWN et al. (1989), expressa da seguinte maneira: $Y = 38,4903 - 11,7883 (DAP) + 1,1926 DAP^2$ onde Y é a biomassa viva acima do solo em peso seco (kg.árvore⁻¹).

FIGUEIREDO, WADT e PEREIRA (2000) avaliaram plântulas, cipós, arbustos e herbáceas que possuíam diâmetro do colo inferiores a 5 cm, e com uma amplitude de altura total de 0,1 e 5 m, utilizando-se microparcels de 2 x 2 m, localizadas nos vértices de cada subparcela. Os valores destas foram obtidos realizando-se o corte e a pesagem de todos os indivíduos da parcela, para obtenção do peso verde e, posteriormente o seco em estufa a 80° C. Como resultados das estimativas, na floresta primária a biomassa aérea acima do solo foi de 228,5 Mg ha⁻¹, enquanto que na floresta secundária de 15 e 25 anos, a estimativa foi de 79,3 e 128,8 Mg ha⁻¹, respectivamente. Deve-se ressaltar que os valores obtidos nas microparcels não foram considerados. Para a determinação do estoque de carbono os autores consideraram que nas florestas tropicais a concentração de carbono nas

plantas é de aproximadamente de 50 % da biomassa, e com base nas estimativas dos levantamentos de campo, na área estudada a floresta primária possui um estoque de carbono de 114 Mg ha^{-1} , e para a floresta secundária um valor médio de 52 Mg ha^{-1} .

Um estudo de fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista Montana em diferentes estágios de regeneração foi realizado por WATZLAWICK et al. (2002a) no município de General Carneiro – PR, no qual os estágios de regeneração foram diferenciados em função da área basal (G): estágio inicial ($G < 25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), estágio intermediário ($25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \leq G \leq 50 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) e o estágio avançado ($G > 50 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

Para a quantificação da biomassa, os autores, consideraram como vegetação arbórea os indivíduos com $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$, foram instaladas 20 unidades com $12 \times 12 \text{ m}$. Para a vegetação do sub-bosque ($\text{DAP} < 10 \text{ cm}$), utilizou-se 3 subparcelas de $1 \times 1 \text{ m}$, alocadas dentro das unidades da vegetação arbórea. Na quantificação de raízes utilizando-se as mesmas unidades que a vegetação sub-bosque, porém cavando-se trincheiras com $0,50 \text{ m}$ de profundidade, considerando-se todas as raízes com diâmetros superiores a 1 cm . Na amostragem da serapilheira acumulada foi utilizado gabarito de $0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$, coletando-se aleatoriamente 8 unidades amostrais também dentro da unidade da vegetação arbórea.

Os autores encontraram os seguintes resultados: $69,37 \text{ Mg ha}^{-1}$, $168,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $397,79 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a biomassa média na parte arbórea; $28,84 \text{ Mg ha}^{-1}$, $70,23 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $165,02 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o carbono orgânico, nos diferentes estágios de regeneração considerados: inicial, intermediário e avançado, respectivamente. As quantidades de biomassa e carbono orgânico na serapilheira, raiz e sub-bosque nos estágios inicial, intermediário e avançado, foram: $7,90 \text{ Mg ha}^{-1}$, $8,59 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $7,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a biomassa, $2,99 \text{ Mg ha}^{-1}$, $3,30 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $2,90 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono orgânico para a serapilheira; $38,17 \text{ Mg ha}^{-1}$, $40,00 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $36,14 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biomassa, $14,84 \text{ Mg ha}^{-1}$, $15,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $13,61 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono orgânico na raiz; $23,80 \text{ Mg ha}^{-1}$, $21,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $20,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ na biomassa, $9,60 \text{ Mg ha}^{-1}$, $8,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $8,03 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono orgânico no sub-bosque.

ROCHADELLI (2001), ao estudar a estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), conclui que diferentes classes sociais 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 40 a 45 % da biomassa total. Também conclui que as árvores dominadas apresentam maior eficiência na fixação atômica do carbono em detrimento das árvores dominantes.

2.3 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO POR SENSORIAMENTO REMOTO

Em trabalho realizado por JORDAN (1969) em Porto Rico, foi desenvolvido um dos primeiros índices para obtenção de valores de fitomassa em Floresta Tropical Úmida a partir de dados provenientes de imagens de satélite. O índice foi denominado de Razão Simples, sendo este a razão entre a banda do infravermelho e a do vermelho. O autor desenvolveu este método principalmente para medir o índice de área foliar e constatou que o procedimento para sua utilização era bastante fácil e ágil. Também constatou que o mesmo aplicava-se à mensuração da biomassa, porém não apresentando valores quantitativos.

Um dos primeiros trabalhos utilizando imagens de satélite realizados no Brasil foi feito por SANTOS (1988), o qual realizou estudo da biomassa acima do solo da vegetação de Cerrado, estimando e correlacionando com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite LANDSAT, no qual o objetivo principal foi avaliar a relação entre a biomassa foliar do Cerrado (*stricto sensu*) e os índices de vegetação (razão simples, razão normalizada e transformada). A abordagem metodológica compreendeu: características da estrutura e valores de biomassa (método destrutivo), determinação dos parâmetros espectrais e sua contribuição nas bandas no relacionamento dos índices com a biomassa foliar. Os resultados evidenciaram que a banda três apresenta melhor correlação com a biomassa foliar quando comparada com as outras bandas, sendo que os modelos linear e

exponencial não diferiram significativamente quanto ao ajuste. O autor ressaltou a importância das técnicas de sensoriamento remoto, principalmente com os índices de vegetação na estimativa de biomassa dos cerrados, principalmente no monitoramento contínuo desta cobertura.

Concordando com JORDAN (1969), SABER et al. (1989), ao realizarem trabalho de determinação de biomassa na Floresta Tropical em diferentes estágios sucessionais relacionando os dados de campo com dados de reflectância do satélite LANDSAT TM, comentam haver uma alta relação linear entre os valores de biomassa foliar e lenhosa com dados espectrais coletados por sensores remotos, consistindo os dados espectrais em bons elementos para realizar estimativas de biomassa total.

ZERBINI, ANGELO e SANTOS (1995) utilizaram dados provenientes do sensor LANDSAT-TM 5 nas bandas espectrais TM3 (0,63 a 0,69 μm), TM4 (0,76 a 0,90 μm) e TM5 (1,55 a 1,75 μm), e dados do sensor HRV-SPOT 1 nas bandas HRV1(0,50 a 0,59 μm), HRV2(0,61 a 0,68 μm) e HRV3 (0,79 a 0,89 μm). O trabalho teve por objetivo estimar as relações entre os variáveis de fitomassa, dados espectrais, dendrométricos e altimétricos em Floresta Amazônica. Com os resultados encontrados os autores concluem ser possível quantificar a fitomassa de florestas tropicais em função de variáveis espectrais.

Para BROWN (1996), o sensoriamento remoto é uma ferramenta tecnológica importante nos estudos de monitoramento de carbono fixado, sendo que a utilização desta tecnologia depende de muitos fatores, tais como: o tipo e tamanho do projeto, recursos financeiros disponíveis e nível de precisão das informações.

RILEY et al. (1997) relatam a importância de ter-se estimativas fidedignas das relações do incremento de carbono em um determinado ecossistema terrestre e a atmosfera, devido às mudanças ocorrentes com relação ao uso da terra. Uma ferramenta importante para gerar estas estimativas e as mudanças ocorridas são os estudos multitemporais utilizando imagens provenientes de sensores remotos.

Ao realizarem estudo utilizando imagens do satélite LANDSAT Multi-Spectral Scanner (MSS), com finalidade de verificar as mudanças ocorridas quanto ao uso do solo anos de 1986 e 1990, os autores concluíram que os erros quanto as estimativas podem estar associados aos cálculos do conteúdo de carbono nos levantamentos de campo para os diferentes tipos de vegetação, e erros provenientes de cálculos de áreas, além de distorções radiométricas, diferenças geométricas e sazonais entre as imagens, os quais contribuem para reduzir as correlações entre as classificações para cada época.

Para SOUZA e PONZONI (1998), as técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas em aplicações e estudos na área florestal, destacando-se trabalhos que visam quantificar a biomassa florestal. A utilização de imagens de satélite constitui-se num método indireto e não destrutivo, podendo-se estimar parâmetros biofísicos (biomassa, carbono, volume de madeira), pelas propriedades espectrais da vegetação que a constitui (folhas, galhos, troncos, dentre outros). Apesar da viabilização das imagens, sua utilização quanto à quantificação de biomassa florestal ainda é pouco conhecida, principalmente em florestas heterogêneas, devido as mesmas terem uma grande diversidade florística, fisionômica e fenológica, bem como a disponibilidade de levantamentos de dados em campo coincidirem com a mesma data da tomada da imagem. As florestas implantadas possuem algumas vantagens para trabalhar com sensoriamento remoto, em função das mesmas serem na maioria das vezes de apenas um gênero, e serem inventariadas periodicamente.

SOUZA e PONZONI (1998), afirmam ainda que a extração de informações dendrométricas, tais como altura, volume, área basal, diâmetro à altura do peito e a idade, caracterizam os plantios florestais quanto ao grau de desenvolvimento. A análise destas relações em ambiente de floresta heterogênea é bastante dificultada, devido a grande diversidade florística e a pouca disponibilidade de dados quantitativos de biomassa coletados em nível de campo, bem como aqueles de sensoriamento remoto, em decorrência de problemas das mais variadas ordens, que incluem cobertura de nuvens, periodicidade

das imagens coincidente com os levantamentos de dados em campo e custos de aquisição de imagens.

Utilizando imagens do satélite JERS-1 para estimativa de biomassa aérea de Florestas no Sudoeste da Amazônia, SANTOS et al. (1998) tiveram como objetivo avaliar o comportamento e a relação entre o coeficiente de retroespalhamento derivado de imagens SAR na banda L do satélite JERS-1 e os valores de biomassa de áreas de floresta primária aberta e sucessão secundária em diferentes estágios de desenvolvimento. Os dados de biomassa acima do solo foram obtidos com a realização de inventários e estimados utilizando-se a modelagem de equações alométricas específicas. Testes estatísticos utilizando modelo de regressão múltipla foram elaborados para conhecer a relação entre a biomassa e a interação dos dados orbitais (TM e JERS-1). Como resultado descrevem que as imagens JERS-1 permitem discriminar com segurança áreas de floresta primária (em função da alta rugosidade do estrato superior, biomassa elevada e vários estratos) daquelas em processo de derrubada e queima. Áreas de sucessão secundária inicial são facilmente identificadas nas imagens em razão da baixa rugosidade do dossel formado por um estrato único, pouca variação na diversidade florística e homogênea distribuição de biomassa.

Ao utilizar imagens LANDSAT-TM 5 para quantificação de biomassa em áreas de contato floresta/savana, ARAÚJO (1999) obteve resultados que indicaram a existência de correlação significativa entre biomassa e os dados imageados, para as áreas de floresta, sendo que a variável referente aos valores digitais da banda 4 do satélite referenciado acima foi a que melhor se correlacionou com a estimativa do parâmetro da biomassa. Já para áreas de savana, a baixa correlação encontrada demonstrou que as imagens analisadas não são indicadas para caracterizar a variação nos valores de biomassa.

ARAÚJO (1999), recomenda para a análise de imagens a realização de um estudo temporal, considerando a influência das diferentes épocas na dinâmica do comportamento espectro-textural nas diferentes faixas de cobertura vegetal. Deve-se levar também em consideração, a inclusão de mais um componente no Modelo Linear de Mistura Espectral, como o material vegetal não fotossinteticamente ativo (material palha), ou dados gerados

de levantamentos dos tipos de solos, na tentativa de inferir algum fator para a discriminação das diferentes classes, especialmente nas savanas. Os resultados obtidos pelo autor, na abordagem metodológica indicam a utilidade da imagem JERS-1, complementada pela imagem LANDSAT-TM 5 para caracterizar floresta primária e sucessões secundárias e seus valores de biomassa. Assim as imagens JERS-1 são um complemento do sensoriamento remoto óptico para estudos de monitoramento e dinâmica de ocupação do solo, propiciando inclusive uma metodologia local e regional para a medição de áreas de regeneração natural, os quais possuem um impacto significativo na fixação de carbono.

Na avaliação da alteração do estoque de carbono de uma região do sudeste do Pará entre 1973 e 1997, PEREIRA, BATISTA e THALÊS (2000) tiveram como objetivo monitorar a diminuição do estoque de carbono utilizando imagens do satélite LANDSAT e técnicas de geoprocessamento, estimando a diminuição do estoque de carbono da área utilizando dados específicos e dados de literatura. Foi verificada a consistência da estimativa de mudança no estoque de carbono em função dos erros de classificação. Para atribuir a quantidade de carbono a cada pixel em cada classe de uso do solo, utilizou-se de valores estimados de biomassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e taxas de acúmulo da mesma, retirados da literatura. A conversão de quantidade de biomassa em quantidade de carbono, conversão de toneladas por hectares para toneladas por pixel, foi considerado que o conteúdo de carbono é de 50% da massa seca. Como conclusão do trabalho, os autores salientam que se deve-se utilizar dados de biomassa mais localizados e não dados gerais, obtendo-se assim informações mais adequadas. Com relação à utilização da imagem deve-se atentar para problemas com relação as áreas com capoeiras novas, por terem sido as mesmas classificadas como pastagens, as quais acarretaram erros na estimativa do estoque de carbono.

Para realizar o mapeamento da fitomassa da Caatinga utilizando o índice de área foliar da planta e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), com imagem obtida pelo sensor LANDSAT-TM 7, CORRÊA et al. (2001) relataram que a fitomassa, principalmente arbórea, é uma informação indispensável em atividades econômicas e

ambientais, como políticas de uso do recurso madeireiro, manejo florestal, estudos de ciclagem de nutrientes, seqüestro de carbono, dentre outros. Os autores utilizaram o método não destrutivo, o qual baseia-se em relacionamentos empíricos entre a biomassa e a radiância.

LACRUZ et al. (2001), desenvolveram trabalho utilizando imagem do satélite LANDSAT-TM e dados de campo, visando a modelagem das atividades biogeoquímicas. Os mesmos, referem-se a bacia amazônica ser importante para diversos ciclos biogeoquímicos do planeta, tais como: os ciclos de carbono, de nitrogênio e o ciclo hidrológico. A modelagem destes ciclos é feita a partir de medições em áreas limitadas e muito dispersas, que junto com dados de sensoriamento remoto permitem estimar parâmetros para a região como um todo. Os autores referenciados ressaltam que a partir da utilização das imagens e da classificação foi possível diferenciar áreas amostrais com características específicas, as quais podem implicar em diferenças quanto a biomassa, composição florística, presença de uma determinada espécie, variabilidade na percentagem de carbono e nitrogênio das folhas ou composição dos solos.

A estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta tropical primária utilizando dados orbitais obtidos pelo satélite LANDSAT-TM 5 e o relacionamento com dados obtidos no campo, foi realizado por MACIEL (2002). A partir da imagem original, foram geradas imagens proporções vegetação, solo e sombra obtidos pelo Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), Índice de Vegetação Ajustado para a Influência do Solo (SAVI) e imagens de texturas. Os resultados mostraram uma alta correlação entre as variáveis biométricas área basal, biomassa e volume e as variáveis reflectância da banda 4, SAVI, proporção vegetação, proporção sombra e parâmetro de textura médio. O autor acrescenta ainda que a estimativa de parâmetros biométricos com emprego de dados orbitais associados a dados de campo apresentou-se satisfatória, mostrando que os valores obtidos das imagens LANDSAT-TM 5 permitem caracterizar a estrutura da floresta primária em termos de biomassa e volume.

Visando melhorar a separabilidade espectral entre classes na vegetação do Cerrado FERREIRA et al. (2002) testaram a utilização do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) como suporte ao mapeamento abordando os fundamentos e as aplicações práticas da análise de mistura espectral. Os autores utilizaram como área teste imagem LANDSAT-TM 7, bandas 1, 5 e 7 do Parque Nacional de Brasília. Destacam como resultados preliminares a aplicação bastante satisfatória do MLME para o mapeamento das fisionomias de Cerrado, onde cada componente foi realçado por meio de imagem-fração, concluindo que o MLME pode vir a ser uma técnica bastante útil no mapeamento de biomas complexos, como é o caso do Cerrado (alta heterogeneidade), com uma precisão ao nível do *subpixel*, superior às técnicas tradicionais de classificação automática.

Para WATZLAWICK et al. (2002b) as imagens de satélite podem ser importantes para realizar estimativas de biomassa e carbono, tanto para o cálculo de áreas, bem como com os atuais avanços tecnológicos no que se refere ao tratamento digital das imagens de satélite, permitindo a caracterização das diferentes estruturas florestais, associando o conteúdo de biomassa e carbono a essas imagens. Isto consiste num método indireto e não destrutivo, podendo-se estimar parâmetros biofísicos pelas propriedades espectrais da vegetação, conciliando-se inventários de campo com dados espectrais das imagens. Relatam ainda que a conciliação de trabalhos realizados no campo (inventário) e dados de imagem devem ser incorporados em ambientes SIG (Sistema de Informação Geográfica), obtendo-se assim um melhor aprimoramento, visualização e maior agilização nos processos de consultas as informações, permitindo também associar estas informações a um banco de dados relacional.

2.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

O comportamento espectral da vegetação é relacionado com as características de reflexão da radiação eletromagnética por parte de folhas, plantas individuais e o conjunto de plantas.

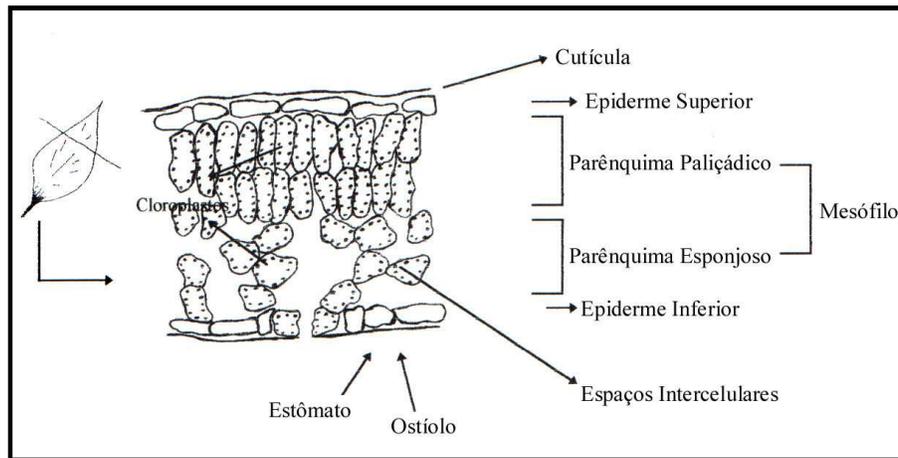
Sob o ponto de vista fitogeográfico, *vegetação* refere-se ao conjunto de plantas que ocupa uma determinada área geográfica. O termo comportamento espectral da vegetação tem sido utilizado para representar as propriedades espectrais de partes da planta, assim como folhas, galhos, uma planta e até um conjunto de plantas (PONZONI e DISPERATI, 1995).

PONZONI e DISPERATI (1995), descrevem e afirmam que no comportamento espectral da vegetação, dentre as partes da planta, a folha é a que mais contribui para a reflexão para ser detectada pelos sensores ópticos, sendo o comportamento espectral em função de sua composição química, morfológica e estrutura interna, existindo portanto diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente diferentes.

A folha é constituída de três tecidos: epiderme, mesófilo fotossintético e tecido vascular, conforme Figura 1. Ao redor da folha existe uma fina cutícula que protege e realiza as trocas gasosas, recebendo o gás carbônico e liberando o oxigênio. Internamente a cutícula existe uma camada de células unidas e desprovidas de clorofila, a epiderme.

O mesófilo é formado por células ricas em cloroplastos (partículas subcelulares, denominadas de organelas, ocorrem nos tecidos das plantas sendo responsáveis pelos processos fotossintéticos), que são formados por pigmentos chamados de clorofila. A clorofila é o elemento responsável pelo processo da fotossíntese, quando da existência de luz. Dos pigmentos encontrados nos cloroplastos cerca de 65% são clorofilas do tipo a e b, e o restante são carotenóides (pigmentos que dão a cor amarelada, alaranjada, avermelhada aos vegetais, devido a ocorrência do processo de oxidação), sendo que as concentrações dos pigmentos podem variar de planta para planta e de espécie para espécie.

FIGURA 1 - ESTRUTURA INTERNA DE UMA FOLHA



Fonte: ASSUNÇÃO e FORMAGGIO (1989)² referenciado TODT (1998)

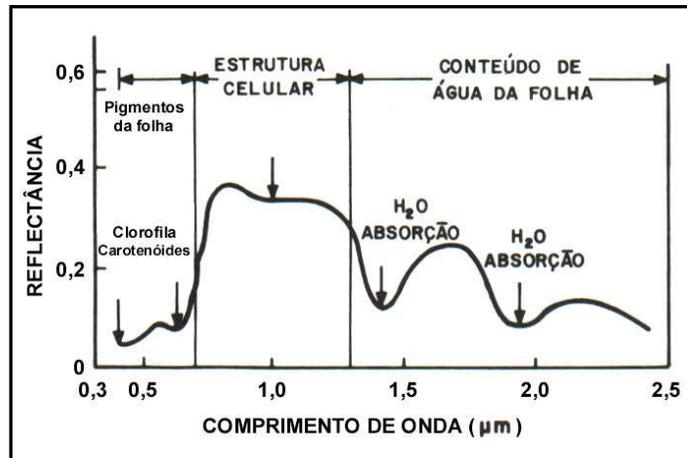
O mesófilo é composto por dois tecidos celulares: parênquima paliçádico, que possui as células alongadas, organizadas, fortemente unidas e perpendiculares a superfície da folha, e o parênquima esponjoso, possuem células mais arredondadas, distribuídas irregularmente e com grandes espaços vazios entre elas. Nestes espaços vazios são realizadas as trocas gasosas para a fotossíntese e a respiração da planta.

Na epiderme inferior existem os estômatos, os quais são poros formados por células repletas de cloroplastos. Na abertura dos poros, existe uma fenda denominada de ostíolo, que permite a entrada de ar e a saída de água. É através dos estômatos que a planta realiza a respiração (absorve O_2 dissolvido em água), transpira (deixa escapar grande quantidade de água em forma de vapor ou gotículas) e absorve o CO_2 necessário a fotossíntese. A celulose (encontrada nas paredes celulares), soluções (íons e moléculas), espaços interceulares e pigmentos existentes dentro dos cloroplastos são os constituintes da folha que mais interagem com a radiação.

² ASSUNÇÃO, G.V.; FORMAGGIO, A.R. O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básicos, metodologia e aplicações. São José dos Campos: INPE, 1989, 217p.

O comportamento espectral característico de uma folha sadia varia conforme o comprimento de onda proveniente dos raios solares que incidem sobre a mesma, como pode-se observar na Figura 2.

FIGURA 2 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO



Fonte: BOWKER et al., (1985)³ referenciado por NOVO (1992)

Os pigmentos existentes nos cloroplastos da folha dominam a assinatura espectral na região do visível (0,4 µm a 0,7 µm), sendo estes pigmentos constituídos de clorofila (65%), carotenos (6%) e xantoninas (29%), valores que variam entre as espécies. Com a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta nos comprimentos de onda 0,48 µm (carotenóides) e em 0,62 µm (clorofila), observa-se um aumento no coeficiente de reflectância em 0,56 µm, resultando a percepção da cor verde da vegetação. Como a resposta espectral na região do visível depende não somente da quantidade de pigmentos, mas também do seu tipo, como por exemplo: a estrutura celular das folhosas versus as coníferas.

Na região correspondente ao azul (0,4 a 0,5 µm), ocorre a absorção por todos os pigmentos, tendo-se assim valores muito baixos de reflectância nesta faixa espectral. Absorção menor ocorre na região do verde (0,5 a 0,6 µm) ocasionando um pico de

³ BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICKM D.L.; STACY, K.; JONES, W.T. Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies. Hampton (NASA reference publication 1139) 1985.

reflectância em 0,55 μm , devido a coloração esverdeada da maioria das folhas. Já na região do vermelho (0,6 a 0,7 μm) corresponde a máxima absorção (0,67 a 0,68 μm), onde apenas a clorofila absorve a radiação eletromagnética (SZEKIELDA, 1988).

Para HOFFER (1978), normalmente os carotenos e as xantofilas são mascarados pela clorofila, durante o processo de senescência, os pigmentos amarelos tornam-se dominantes com o desaparecimento da clorofila, fato que proporciona uma coloração amarelada as folhas. Este processo ocorre também quando a planta estiver em condições de estresse, no qual ocorre diminuição na produção da clorofila, diminuindo assim a absorção de radiação eletromagnética por este pigmento, principalmente na região do vermelho, fato que acarreta um aumento da reflectância. A cor amarelada das folhas quando encontram-se em situações de estresse, acarreta em valores mais altos na região do vermelho bem como na região do verde. Na região que compreende os comprimentos de onda do infravermelho próximo (0,7 μm a 1,3 μm), existe uma pequena absorção da radiação, conseqüentemente temos uma região de alta reflectância da vegetação, resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo (estrutura celular). Isso ocorre pois a infiltração de água diminui os espaços vazios, diminuindo o espalhamento da energia incidente e aumentando a transmitância. A absorção pela água geralmente é baixa.

GATES (1971) referenciado por MORAES (1996) afirma que fatores externos a folha, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região.

A pesar dos níveis de reflectância no infravermelho próximo serem altos para a vegetação em geral, SZEKIELDA (1988) afirma que geralmente há variações de espécie para espécie, a qual ocorre entre florestas decíduas e coníferas, as quais possuem resposta espectral mais baixa na região do infravermelho próximo, comparadas as florestas decíduas. A reflectância da vegetação na região do infravermelho médio (1,3 μm a 2,6 μm), é dominada pelo conteúdo de água das folhas. Nesta região encontram-se os pontos máximos de absorção de água, 1,4 μm e 1,95 μm . Quanto menor o teor de água, maior a reflectância na região do infravermelho médio, por outro lado, quando o teor de água se

tornar muito baixo (em torno de 50%), podem ocorrer alterações na região do visível e infravermelho próximo, devido ocorrer a degradação da clorofila e da estrutura celular.

A quantidade de pigmentos de clorofila aumenta nos estágios iniciais de desenvolvimento da folha, aumentando mais lentamente nos estágios subseqüentes, até a folha atingir a coloração verde, em função da característica de cada espécie. Isto acarreta uma diminuição da reflectância na região do visível com o aumento da idade de uma folha MORAES (1996). O autor complementa que a reflectância na região do infravermelho próximo aumenta para as folhas mais velhas, devido aumentar o número de espaços intercelulares no mesófilo e a porcentagem de água nas plantas também aumentam com a idade.

Para MORAES (1996), a reflectância nas folhas infestadas por fungos é maior que em folhas saudáveis, provavelmente explicadas pela perda de clorofila. Contudo, na região do infravermelho (1,08 μm) é menor, sendo atribuído pela invasão das hifas nos espaços intercelulares. O autor relata ainda que problemas fisiológicos, efeitos de estresses causados por insetos, doenças e condições ambientais adversas também influenciam no comportamento espectral de folhas, porém têm sido pouco estudados.

O comportamento espectral em uma folha é diferente do que em uma floresta (comunidade vegetal), devido a resposta espectral em uma floresta ser influenciada pelo solo, alterações da vegetação, fatores externos (iluminação, meteorológicos), bem como o tipo de vegetação existente. Com o crescimento vegetal há aumento na reflectância no infravermelho próximo, devido ao efeito da reflectância aditiva, ocorrendo um decréscimo da reflectância no visível, pela maior densidade de pigmentos. Para ASSUNÇÃO e FORMAGGIO (1989), plantas jovens com poucas folhas, absorvem menos azul e vermelho do que plantas adultas, que possuem um maior número de pigmentos. Já no infravermelho próximo, as plantas adultas refletem mais do que as jovens, devido ao processo de reflectância aditiva causada pela sobreposição de camadas de folhas.

Para SILVA e PONZONI (1995), de um modo geral a reflectância espectral de folhas isoladas é superior àquela apresentada pelos dosséis, fato este devido a reflectância

espectral de folhas isoladas ser superior a dos dosséis dos quais elas fazem parte, os autores atribuíram este fato a presença de sombras no interior do dossel.

Já para SZEKIELDA (1988) a reflectância de um dossel é maior no infravermelho próximo que na folha isolada, em função do efeito aditivo de reflectância e transmitância entre as folhas.

MORAES (1996) complementa dizendo que as variações na reflectância de um dossel estarão em função da quantidade de folhas dentro do mesmo, de suas orientações espaciais e da própria arquitetura do dossel, bem como das condições de iluminação e das características espectrais dos componentes das folhas que o compõem.

O processo de reflectância aditiva ou fator de compensação, descrito por TODT (1998), ocorre da seguinte maneira: a energia recebida por uma camada superior de folhas (camada 1), uma parte é transmitida para a camada logo abaixo (camada 2) e a outra parte é refletida, o mesmo ocorre com a camada abaixo (camada 2), parte da energia que recebe é transmitida e parte é refletida de volta para a camada superior, processo que continua sucessivamente conforme o número de camadas de folhas existentes.

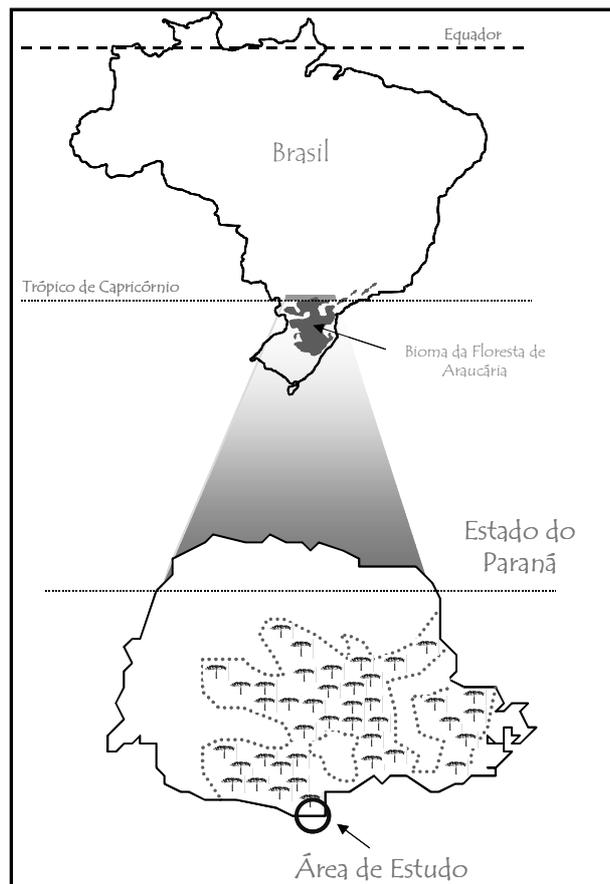
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas $26^{\circ} 20' 35''$ e $26^{\circ} 26' 13''$ Lat. Sul, e $51^{\circ} 19' 49''$ e $51^{\circ} 25' 29''$ Long. Oeste, no município de General Carneiro – PR, conforme pode ser visualizada na Figura 3. A propriedade pertence as Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda. Possui uma área total de 4.210,75 ha.

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: SANQUETTA et al. (2001)

3.1.2 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, não possui estações secas. As médias das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C e a dos meses mais frios superior a 18°C (PARANÁ, 1987).

3.1.3 GEOLOGIA E SOLO

Conforme BOLETIM DE PESQUISA (1984) o substrato geológico da região é formado pelo derrame de Trapp da formação da Serra Geral. Os solos são orgânicos e hidromórficos, com o predomínio de Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos (PARANÁ, 1987). As características topográficas dividem-se em plano, ondulada e montanhosa, sendo a ultima de maior predominância (EMBRAPA, 1999).

3.1.4 VEGETAÇÃO NATURAL

A vegetação natural refere-se a Floresta Ombrófila Mista ou floresta com araucária (IBGE, 1992), a qual cobria originalmente cerca de 200.000 km² 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).

A Tabela 1 apresenta algumas informações dendrométricas da Floresta Ombrófila Mista Montana da área de estudo, informações estas oriundas dos levantamentos realizados na quantificação de biomassa.

TABELA 1 – INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Nº Árv/ha	Área Basal (m ² /ha)	Volume do Fuste (m ³ /ha)
1	764	24,05	78,01
2	555	13,8	132,55
3	555	27,54	172,04
4	209	10,22	60,76
5	1180	15,93	52,51
6	347	15,25	83,62
7	695	21,67	153,4
8	695	22,29	74,19
9	625	25,31	200,65
10	347	29,98	234,92
11	416	37,34	152,99
12	625	48,83	171,00
13	555	33,95	121,29
14	1250	59,79	210,8
15	278	51,64	322,4
16	555	51,16	161,42
17	486	60,58	344,46
18	486	54,4	272,04
19	764	78,53	501,1
20	555	97,92	158,29
\bar{x}	597	39,01	182,92
S	260	23,36	110,64
IC*	597	39,01	182,92
	± 148	± 13,26	± 62,81

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Na realização do projeto de Conservação do Bioma Floresta com Araucária, CASTELA et al. (2001) descreveram a Floresta Ombrófila Mista Montana da região de General Carneiro – PR, em três estágios de sucessão: o inicial, intermediário e o avançado.

No estágio inicial, os autores acima referenciados observaram as seguintes espécies: *Casearia obliqua*, *Cedrela fissilis*, *Mimosa scabrella*, *Piptocarpha angustifolia*, *Schinus terebinthifolius*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Clethra scabra*, *Ocotea porosa*, *Prunus sellowii*, *Ilex paraguariensis*, *Rapanea ferruginea*, *Sapium glandulatum* e *Piptocarpha axillaris*. A floresta no estágio médio, na maior parte dos fragmentos estudados foi observado a ocorrência de *Araucaria angustifolia*, porém com baixa frequência, sendo as principais espécies observadas: *Casearia decandra*, *Cedrela fissilis*, *Clethra scabra*, *Ilex brevicuspis*, *Ilex theezans*, *Jacaranda puberula*, *Litharea brasiliensis*, *Matayba elaeagnoides*, *Mimosa scabrella*, *Ocotea porosa*, *Piptocarpha angustifolia*, *Piptocarpha axillaris*, *Prunus sellowii*, *Rapanea ferruginea*, *Rapanea umbellata*, *Sapium glandulatum*, *Sebastiania brasiliensis*, *Slonea lasiocoma*, *Syagrus*

romanzoffiana, *Symplocos celastrine*, *Tibouchina sellowiana*, *Vernonia discolor* e *Zanthoxylum rhoifolium*.

Já no estágio avançado da floresta CASTELA et al. (2001), os autores encontraram a *Araucaria angustifolia* ocorrendo no estrato dominante juntamente com outras espécies. As principais espécies encontradas foram *Campomanesia xanthocarpa*, *Cupania vernalis*, *Ilex brevicuspis*, *Matayba elaeagnoides*, *Mimosa scabrella*, *Ocotea porosa*, *Ocotea pulchella*, *Podocarpus lambertii*, *Prunus sellowii*, *Rapanea* sp. e *Slonea lasiocoma*.

3.1.5 PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* E *Araucaria angustifolia*

As Tabelas 2 e 3 apresentam as informações dendrométricas das plantações florestais de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* nas diferentes idades.

TABELA 2 – INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DAS PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* EM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Nº Árv/ha	Área Basal (m ² /ha)	Volume do Fuste (m ³ /ha)
14	898	40,28	402,48
16	812	27,81	294,96
19	100	17,61	214,96
21	440	49,90	651,10
22	398	47,92	565,09
23	200	47,40	589,30
32	100	27,60	340,47
\bar{x}	421	36,93	436,91
S	325	12,61	166,05
IC*	421	36,93	436,91
	± 455	± 17,67	± 232,66

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Nos povoamentos de *Pinus taeda* na Tabela 2 não foram realizadas desramas, porém nos mesmos foram realizados desbastes. O povoamentos com 32, 23 e 22 anos foram realizados quatro desbastes, sendo que o último foi realizado em 2000, 2001 e 2001, respectivamente. Já os povoamentos com 21, 19 e 16 anos tiveram três desbastes, sendo que o último foi realizado em 2000, 2000 e 1998, respectivamente. O povoamento com 14 anos teve somente um desbaste realizado em 1998.

TABELA 3 – INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DAS PLANTAÇÕES DE *Araucaria angustifolia* EM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Nº árv/ha	Área Basal (m ² /ha)	Volume do Fuste (m ³ /ha)
23	970	58,25	613,02
24	590	17,76	100,31
25	516	38,97	358,77
29	536	29,91	219,78
30	544	44,43	418,41
31	292	50,18	520,21
32	449	47,38	518,48
\bar{x}	556	40,98	392,71
s	206	13,55	181,58
IC*	556	40,98	392,71
	± 289	± 18,99	± 254,41

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Os povoamentos de *Araucaria angustifolia* também não tiveram intervenções silviculturais relacionadas a desrama, porém em todos povoamentos ocorreu práticas de desbaste em diferentes épocas. Nos povoamentos com 32 e 31 anos de idade, foram realizados três desbastes, sendo o último realizado em 1996 e 1999, respectivamente. Nos demais povoamentos constantes da Tabela 3, ou seja: 30, 29, 25, 24 e 23 anos, foram realizadas somente dois desbastes, sendo que o último desbaste foi realizado em 1993, 1993, 1996, 1996 e 1997.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados foram divididos em: materiais de apoio, produtos cartográficos e imagens, equipamentos de processamento e aplicativos.

3.2.1 MATERIAIS DE APOIO

Foram considerados materiais de apoio todo o material necessário para os levantamentos de campo, sendo os seguintes: prancheta de anotação, câmara fotográfica digital, câmara fotográfica 35 mm, filme fotográfico colorido, GPS de navegação Garmim 12 XL, 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 r fia, rotulador, etiquetas (fitas rotuladoras plástica, papel), grampeador, fita métrica (1,30 m), trenas (50 m), motosserra e GPS Leica - topográfico SR-510 (com precisão aproximada de 50 cm).

3.2.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS E IMAGENS

Foram utilizados os seguintes produtos cartográficos: mapas temáticos das fazendas Santa Cândida, São Pedro I, II e III, elaborados pela empresa de aerolevantamentos AEROSAT em outubro de 2000 (base fotográfica aérea de 1992), na escala 1:1.000.

A imagem utilizada foi a do sate lite IKONOS II, multiespectral com as bandas MS-1, MS-1, MS-3 e MS-4, possuindo uma resolu o espacial de 4 metros, imageada em 10 de dezembro de 2000.

3.2.3 EQUIPAMENTOS DE PROCESSAMENTO E APLICATIVOS

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados microcomputadores e diversos periféricos, impressora, scanner de mesa. Foram utilizados aplicativos disponíveis no laboratório de Sensoriamento Remoto e SIG coordenado pela Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner e laboratório de Inventário Florestal coordenado pe Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta na Universidade Federal do Paraná.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Trabalho de Campo

3.3.3.1 Sele o das Unidades Amostrais

Os dados de biomassa foram coletados no campo no período de janeiro a abril de 2001, utilizando-se o método destrutivo. As unidades amostrais onde foram feitas as

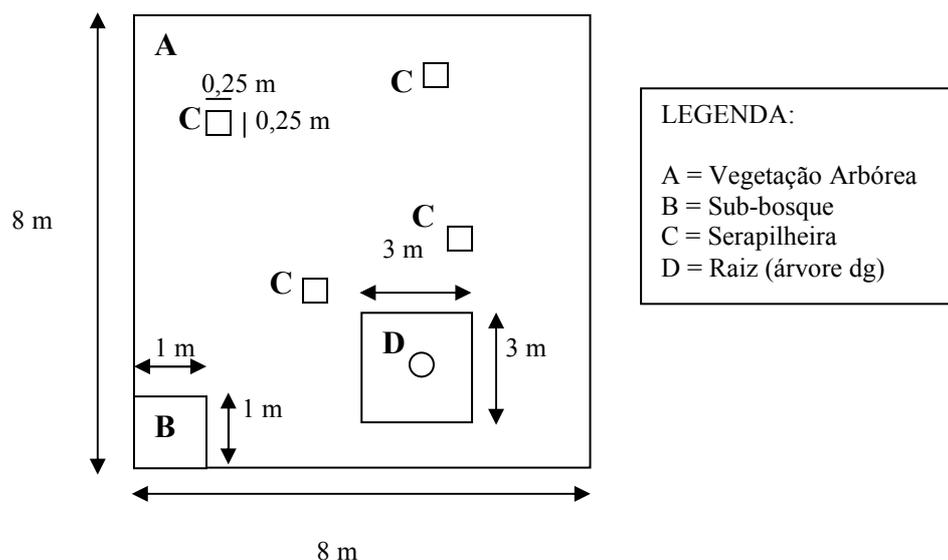
quantificações da biomassa foram locadas utilizando-se de uma rede de amostragem sistemática de inventário florestal.

Nesta rede sistemática com 70 unidades amostrais, procedeu-se aleatorização de 34 unidades amostrais com finalidade de determinação da biomassa total da vegetação, sendo destas, 7 em plantações de *Pinus taeda* com idades de 14, 16, 19, 21, 22, 23 e 32 anos, 7 em plantações de *Araucaria angustifolia* com idades de 23, 24, 25, 29, 30, 31 e 32 anos, e 20 unidades em Floresta Ombrófila Mista Montana.

3.3.3.2 Determinação da Biomassa

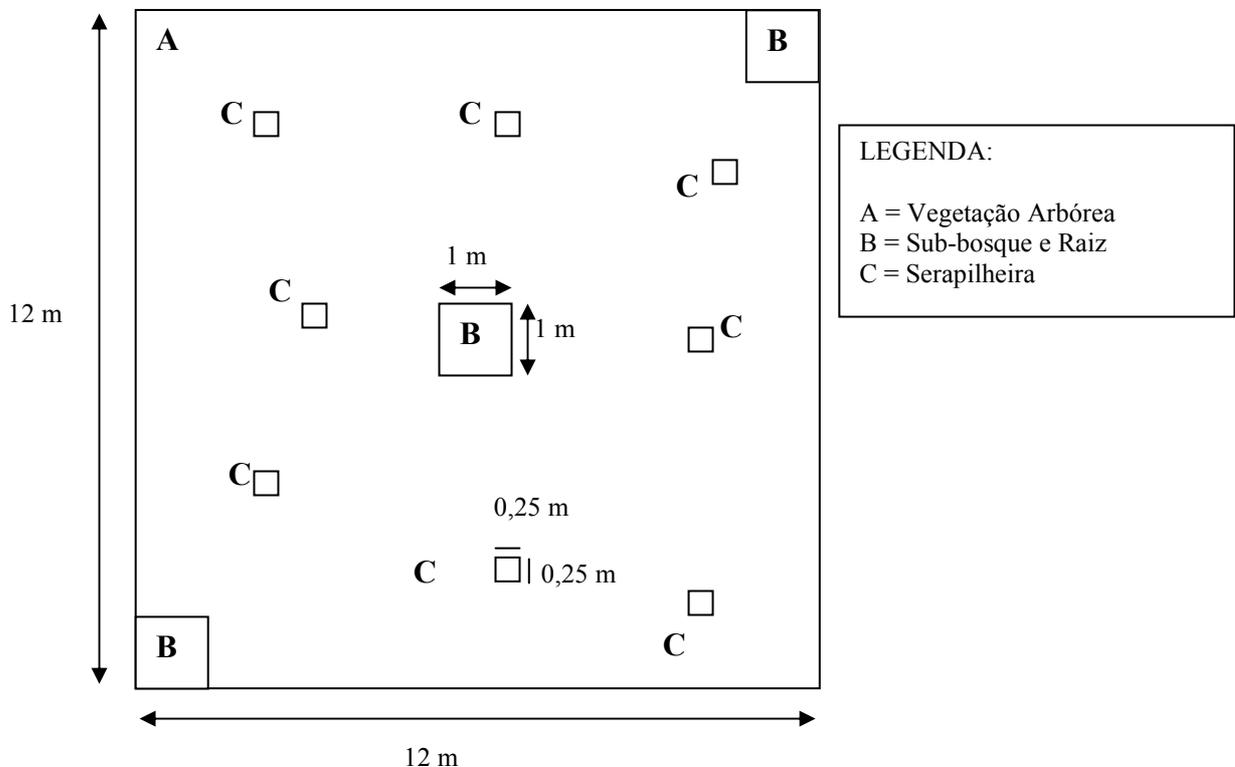
Com a finalidade de quantificar a biomassa de todos os componentes dos ecossistemas florestais, tais como: biomassa da vegetação arbórea, biomassa da vegetação arbustiva (sub-bosque), biomassa morta (serapilheira acumulada) e biomassa subterrânea (raízes), bem como a miscelânea (todo material vegetal que não pode ser enquadrado nas categorias mencionadas), foram realizadas diferentes amostragens (unidades amostrais de tamanho diferenciado), as quais podem ser visualizadas nas Figuras 4 e 5.

FIGURA 4 – UNIDADE AMOSTRAL PARA AS PLANTAÇÕES FLORESTAIS DE *Pinus taeda* E *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

FIGURA 5 – UNIDADE AMOSTRAL PARA A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

3.3.3.2.1 Determinação da Biomassa da Vegetação Arbórea

A instalação das unidades amostrais obedeceu a orientação Norte/Sul, utilizando-se o método de amostragem de área fixa, com parcelas de formato quadrado, diferindo apenas no tamanho da unidade amostral, conforme a tipologia florestal.

Na floresta natural foram instaladas unidades amostrais de 12 x 12 m (144 m²), nas quais todos indivíduos com CAP (circunferência à altura do peito) superiores $\geq 31,4$ cm foram abatidos. Nas unidades amostrais das plantações de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* foram instaladas unidades amostrais com o tamanho de 8 x 8 m (64 m²), sendo abatidos todos os indivíduos arbóreos da espécie em questão que se encontravam dentro dessa unidade. Foi utilizado tamanho diferenciado de unidades amostrais devido à floresta natural possuir uma maior diversidade florística, procurando-se assim abranger melhor esta diversidade. No centro de cada unidade amostral foi tomado ponto amostral utilizando-se o GPS topográfico SR-510.

Em todas as tipologias dos indivíduos abatidos obteve-se as seguintes informações: altura total, altura comercial (convencionada como o ponto de inversão morfológica na floresta natural e altura do primeiro galho vivo nas plantações), CAP, identificação e coleta de exsicatas no caso das espécies ocorrentes na floresta natural.

Depois de abater cada indivíduo, os componentes da biomassa eram separados em fuste com casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas ou acículas e a miscelânea. Estes eram pesados separadamente utilizando-se balança com capacidade para 500 kg, obtendo-se o peso verde de biomassa para cada componente. Posteriormente procedeu-se à determinação do teor de umidade em cada componente separadamente, conforme procedimentos abaixo descritos.

Para a amostragem do fuste (madeira + casca), procedeu-se de maneira diferenciada para a floresta natural e para as plantações, ou seja:

- Nas espécies da floresta natural foram retirados dois discos: o primeiro a 0,50 cm acima do solo e o segundo a 0,50 cm abaixo do ponto de inversão morfológica;
- Nas plantações florestais, 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 as folhas ou acículas, foram retiradas amostras na ponta, meio e base da copa. A miscelânea foi amostrada levando-se em consideração a representatividade da amostra.

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.

3.3.3.2.2 Determinação da Biomassa do Sub-bosque e Raízes

Na floresta natural foram instaladas três unidades de 1 x 1 m (1 m²), dispostas no canto inferior esquerdo, centro da diagonal e canto superior direito. Nestas unidades foi abatida toda a vegetação do sub-bosque com CAP < 10 cm, sendo também realizada a quantificação das raízes, cavando-se uma trincheira com 1 x 1 m e 0,5 m de profundidade (0,5 m³), retirando-se todas as raízes que possuíssem diâmetro superior a 1 cm.

Para a determinação da vegetação arbustiva (sub-bosque) nas unidades amostrais de plantações de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, seguiu-se a mesma metodologia da floresta natural, porém realizou-se somente uma unidade amostral com 1 x 1 m (1 m²) localizada no canto inferior esquerdo da unidade da determinação da vegetação arbórea.

Nas plantações de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* a amostragem para a raiz foi realizada na área útil ocupada por um indivíduo (em função do espaçamento, por exemplo: espaçamento de 3 x 3 m, unidade de 9 m²). Utilizando-se a árvore de diâmetro de área basal média, na qual ao redor realizou-se a abertura de trincheira, com área especificada e 0,5 m de profundidade, coletando-se também todas as raízes com diâmetro superior a 1 cm.

Também foram retiradas amostras tanto da vegetação arbustiva e sub-bosque como das raízes com finalidade de determinação do teor de umidade e carbono.

3.3.3.2.3 Determinação da Biomassa da Serapilheira

Amostras de serapilheira acumulada foram coletadas em todas as unidades amostrais em que foram realizadas as amostragens de biomassa arbórea, utilizando-se para tanto de gabarito metálico com 0,25 x 0,25 m (0,0625 m²), sendo coletadas de forma aleatória 8 unidades na floresta natural e 4 unidades nas plantações florestais. Procedeu-se também à amostragem do material para determinação do teor de umidade e carbono.

3.3.3.3 Determinação do Teor de Umidade e Carbono Orgânico

Todo o material amostrado dos diversos componentes foi acondicionado em sacos de papel, devidamente identificados e enviados ao Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) coordenado pelo Prof. Dr. nat. tech. Mauro Valdir Schumacher, estado do Rio Grande do Sul. No laboratório, estes foram secos em estufa de renovação e circulação de ar a uma temperatura constante de 75°C até atingir o peso constante, para posterior determinação de peso seco e preparação para análise química do teor de carbono orgânico.

As análises de carbono orgânico no tecido vegetal foram executadas de acordo com o método WALKLEY-BLACK, com calor externo, proposto por TEDESCO et al. (1995) realizadas também no Laboratório de Ecologia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria.

3.3.3.4 Processamento dos Dados de Campo

A etapa de processamento dos dados envolveu os cálculos de biomassa úmida, biomassa seca, carbono, volume e área basal para cada unidade amostral tanto da Floresta Ombrófila Mista Montana, como dos povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*.

Para os cálculos de volume, área basal, análise fitossociológica e índices de diversidade, bem como da biomassa e carbono orgânico, foram utilizados softwares disponíveis nos laboratórios de sensoriamento remoto e inventário florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

3.3.3.4.1 Cálculos da Biomassa Seca e Carbono Orgânico

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

$$BS = BV \times (1 - Um)$$

Onde:

BS = biomassa seca (kg);

BV = biomassa verde (kg);

Um = teor de umidade (%).

Após os cálculos da biomassa seca, procedeu-se os cálculos relativos à quantidade de carbono existente em cada componente para cada espécie, conforme Apêndices A, B e C, bem como em cada compartimento dos ecossistemas (Apêndices D, E e F), utilizando-se para tanto da seguinte formulação:

$$Carb = BS \times TC$$

Onde:

$Carb$ = carbono (kg);

BS = biomassa seca (kg);

TC = teores médios de carbono ($g\ kg^{-1}$).

3.3.3.4.2 Cálculos dos Volumes e Área basal

Para os cálculos de volume totais do fuste com casca utilizou-se a função de afilamento de fuste, a partir de modelo polinomial de quinto grau desenvolvido por PETERS (1971), como descrito abaixo:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + b_5x^5$$

onde:

$y = d_i/dap$;

$x = h_i/h_b$, para as coníferas e h_i/h_c para as demais espécies;

d_i = diâmetro da árvore a uma dada altura ou comprimento de tora em centímetros;

h_i = altura parcial do fuste em metros;

dap = diâmetro à altura do peito em metros;

h_t e h_c = altura total e altura do ponto de inversão morfológica respectivamente em metros;

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 e b_5 = coeficientes do modelo.

O volume de madeira foi calculado pela integração da função de afilamento:

$$v_i = \frac{\pi}{4} \int_0^i y^2 dy$$

Para gerar o volume total do fuste com casca ou o volume de fuste com casca até o ponto de inversão morfológica, o valor de $i = 1$, sendo $h_i = h_t$ ou $h_i = h_c$, onde i representa a posição relativa da altura total ou do ponto de inversão morfológica da árvore.

3.3.3.4.3 Análise Fitossociológica e Índices de Diversidade

O cálculo das estimativas dos parâmetros fitossociológicos tradicionalmente utilizados por diversos autores como ZILLER (1992), GUAPYASSÚ (1994), LONGHI (1997) dentre muitos outros. A análise foi realizada para as 20 unidades amostrais da floresta natural, utilizando-se os seguintes variáveis: densidade absoluta (AB Abs); dominância absoluta (D Abs); frequência absoluta (FR Abs); Densidade relativa (AB Rel); Dominância relativa (D Rel); frequência relativa (FR Rel); índice de valor de cobertura (IVC) e índice de valor de importância (IVI).

Para melhor entender a diversidade no estado atual da floresta na área de estudo, foram calculados alguns índices, sendo eles definidos abaixo, tal como forma de cálculo, conforme encontra-se descrito.

Índice de Shannon (H') – considera que os indivíduos são amostrados ao acaso a partir de uma população efetivamente infinita, assumindo também que todas as espécies presentes estejam representadas na amostra (MAGURRAN, 1989), citado por DURIGAN (1999), ou seja, considera a proporção com que os indivíduos de cada espécie aparecem na área amostrada.

$$H' = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \times \log \left(\frac{n_i}{N} \right) \text{ ou } \sum P_i \times \log P_i$$

Onde:

n_i = valor de importância de cada espécie;

N = soma total dos valores de importância;

P_i = probabilidade de importância de cada espécie (n_i/N).

Índice de diversidade de Simpson (D) – reflete a probabilidade de dois indivíduos quaisquer extraídos ao acaso de uma comunidade infinitamente grande pertencerem a diferentes espécies (MAGURRAN, 1989) citado por DURIGAN (1999).

$$D = \frac{1}{\sum P_i^2}$$

Onde:

D = índice de diversidade de Simpson;

P_i = probabilidade de importância de cada espécie (n_i/N);

n_i = valor de importância de cada espécie (números, biomassa, etc.);

N = total de valores de importância.

3.3.2 Processamento da Imagem de Satélite

3.3.2.1 Informações do Sensor e da Imagem

As imagens geradas pelo satélite IKONOS II são consideradas imagens de alta resolução, as quais vêm revolucionando o mercado de dados orbitais. O satélite de propriedade da SPACE IMAGING, foi lançado em setembro de 1999, o qual coleta imagens pancromáticas (preto e branco) com resolução espacial de 1 metro e imagens multiespectrais (coloridas) com resolução de 4 metros. A resolução espectral do IKONOS II pode ser visualizada na Tabela 4, conforme informações descritas no documento nº SE-REF-016 (IKONOS Relative Spectral Response and Radiometric Calibration Coefficients) (PETERSON et al. 2000).

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DAS BANDAS DO SATÉLITE IKONOS II

Banda Espectral	Mínimo 50% (nm)	Máximo 50% (nm)	Amplitude (nm)	Média (nm)
Pan	525,8	928,5	402,7	727,1
MS-1 (Blue)	444,7	516,0	71,3	480,3
MS-2 (Green)	506,4	595,0	88,6	550,7
MS-3 (Red)	631,9	697,7	65,8	664,8
MS-4 (VNIR)	757,3	852,7	95,4	805,0

Fonte: PETERSON et al. 2000.

Foi utilizada imagem adquirida em 10 de dezembro de 2000 (13:22 horas) nas bandas MS-1 (Blue), MS-2 (Green), MS-3 (Red) e MS-4 (VNIR).

3.3.2.2 Sistema de Processamento das Imagens

No processamento das imagens utilizou-se de softwares disponíveis no laboratório de sensoriamento remoto da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

3.3.2.2.1 Correção Geométrica da Imagem

Foram coletados no campo 15 (quinze) pontos de apoio com GPS Leica - topográfico SR-510 (L1 – uma frequência) com radio (captura do sinal de correção da RACAL), método “DGPS/RTCM” – somente código (diferencial em tempo real), com precisão de aproximadamente 50 cm. Para a aquisição dos pontos de apoio observou-se para que estes estivessem bem distribuídos por toda a imagem, levando-se também em consideração para que os pontos fossem de fácil reconhecimento no campo e na imagem. Utilizou-se para identificação dos pontos imagem na composição colorida com as bandas (MS-1, MS-2 e MS-3).

A correção propriamente dita foi realizada utilizando-se 11 pontos de apoio e o método do vizinho mais próximo, com polinômio de transformação de 1º grau, nas bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4. Utilizou-se esse método em função deste melhor preservar o valor original do DN (número digital), devido não envolver médias no processo. Os quatro pontos de apoio restantes foram utilizados para efeito de verificação da correção da imagem.

3.3.2.2.2 Conversão dos Números Digitais para Radiância/Reflectância

Conforme CHUVIECO (1990), para a realização de estudos relacionados com o conteúdo de umidade na vegetação ou da biomassa, é necessário estabelecer uma relação quantitativa entre os números digitais (DN's) da imagem e parâmetros do alvo. Deve-se realizar a conversão dos DN's para reflectância, com finalidade de minimizar a variabilidade de condições de iluminação no comportamento espectral do alvo, no caso do trabalho na vegetação.

O autor refere-se ainda que o processo de conversão possui três fases:

a) correção atmosférica da imagem, devido a presença na atmosfera de aerossóis e vapores de água, dispersa de uma forma seletiva a radiação emitida pelo sol antes de chegar a superfície terrestre e o sensor.

b) conversão dos DN's para valores de radiância, conforme os coeficientes de calibração do sensor.

c) conversão dos valores de radiância para valores de reflectância, que leva em consideração parâmetros relacionados ao momento de imageamento da cena.

Para realizar a correção atmosférica nas imagens utilizou-se de metodologia idealizada por CHAVEZ (1988;1989) referenciado CHUVIECO (1990), denominada de correção do histograma por seus valores mínimos (Histogram Minimum Method, HMM). A metodologia assume que as áreas (alvos) com forte absorvidade (água, sombras), deveriam apresentar uma radiância espectral muito próxima de 0 (zero), mas na prática o histograma dos DN's da imagem sempre apresentam um mínimo superior a zero, atribuiu-se este valor ao efeito da dispersão da atmosfera. Pela metodologia, deve-se estabelecer uma banda de referência, utilizando-se a mais afetada pela dispersão, com o valor mínimo desta banda (geralmente a banda no azul), calcula-se um fator de correção atmosférica para as demais bandas, utilizando-se a seguinte formulação:

$$ND_{i,j,k}' = ND_{i,j,k} - ND_{\min,k}$$

Onde o ND do pixel (i,j) na banda k se ajusta ao ND mínimo dessa mesma banda.

A conversão dos DN 's para radiância, foi realizada levando-se em consideração os parâmetros de calibração do IKONOS II, conforme informações descritas no documento nº SE-REF-016 (IKONOS Relative Spectral Response and Radiometric Calibration Coefficients) conforme Tabela 5, e utilizando-se a seguinte equação:

$$L_{i,j,k} = DN_{i,j,k} \times [CalCoef_k]^{-1}$$

Onde:

i,j,k = pixel i,j na banda k da imagem;

$L_{i,j,k}$ = valor da radiância $mW/cm^2 \times sr^{-1}$;

$CalCoef_k$ = coeficiente de calibração da radiância na banda em $mW/cm^2 \times sr^{-1}$;

$DN_{i,j,k}$ = valor do número digital (DN).

TABELA 5 - COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA DO SATÉLITE IKONOS II

Banda Espectral	Coefficiente de Calibração
MS-1 (Blue)	637
MS-2 (Green)	573
MS-3 (Red)	663
MS-4 (VNIR)	503

Fonte: PETERSON et al. 2000.

Para a realização da conversão dos valores de radiância para valores de reflectância, considera-se parâmetros relacionados ao momento da aquisição da imagem. A equação utilizada para realizar as conversões foi obtida em comunicações pessoais com RODRIGUES (2001), a qual encontra-se abaixo:

$$R = \frac{PI \times L \times r^2}{E \times \cos \theta}$$

Onde:

R = reflectância, adimensional;

$PI = 3,14159265$;

L = radiância, em $mW/cm^2 \times sr^{-1}$;

r = distância normalizada terra-sol, em unidades astronômicas;

θ = ângulo zenital solar no centro da imagem, em graus;

E = constante solar, em mW/cm^2 .

3.3.2.2.3 Geração das Imagens Índice de Vegetação

Os índices de vegetação são amplamente utilizados como indicadores da presença e condição da vegetação, geralmente baseados em combinações lineares, razões ou transformações de valores espectrais. Possuem como principal função de realçar a contribuição espectral da vegetação, enquanto minimiza a contribuição espectral do solo, ângulo solar, vegetação senescente e da atmosfera.

Conforme SANTOS (1988), um dos primeiros índices de vegetação foi realizado por PEARSON e MILLER (1972) a partir de medidas radiométricas realizadas em algumas espécies no laboratório e no campo, gerando o índice da "Razão Simples", definido como:

$$R = \frac{NIR}{R}$$

Onde:

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo, adimensional;

R = reflectância na banda referente ao vermelho, adimensional.

Em função da sua extensa aplicabilidade nos estudos de monitoramento da vegetação, o NDVI "Normalized Difference Vegetation Index", Índice de Vegetação por Diferença Normalizada foi proposto por ROUSE et al. (1973), sendo obtido pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Onde:

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo, adimensional;

R = reflectância na banda referente ao vermelho, adimensional.

O NDVI assume valores entre 0,1 e 0,6., os valores altos estão associados com altas densidades de vegetação saudável. Poeira, aerossóis, gases atmosféricos na atmosfera, bem como nuvens dentro do pixel agem no sentido de aumentar a reflectância na banda do visível em relação a banda do infravermelho, reduzindo assim o valor do NDVI calculado. DEERING (1978) referenciado por JACKSON e HUETE (1991) relata que a vegetação esparsa podia ser realçada utilizando este índice, portanto o NDVI é sensível para vegetações esparsas.

HUETE (1988) visando amenizar o efeito de solo, criou o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo, SAVI "Soil Adjusted Vegetation Index", conforme apresentado abaixo:

$$SAVI = \left(\frac{NIR - R}{NIR + R + L} \right) \cdot (1 + L)$$

Onde:

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo, adimensional;

R = reflectância na banda referente ao vermelho, adimensional;

L = fator de correção para o solo, adimensional.

O valor da constante *L* foi introduzida no sentido de diminuir a influência do brilho do solo e produzir isolinhas de vegetação mais independentes do solo, o valor varia de 0 a 1, dependendo do grau de cobertura no solo, de acordo com autor o valor *L* = 0,25 é utilizado para vegetações densas e *L* = 1 para vegetações abertas, sendo o *L* = 0,50 um valor considerado ideal para um grande intervalo de condições de vegetação, para uma grande variedade de solos.

No presente estudo utilizou-se para todas as tipologias florestais estudadas o valor da constante *L* = 0,50, em função do autor acima referenciado considerar a mesma ideal, bem como pelo conhecimento da área em questão, julgando-se ser o melhor valor.

3.3.2.2.4 Digitalização dos Temas

Com a finalidade de separar as diferentes tipologias, ou seja: plantações florestais de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e a Floresta Ombrófila Mista

Montana, para que fosse possível a aplicação das equações selecionadas em cada tipologia, e possibilitar a espacialização de biomassa e carbono, realizou-se uma interpretação visual na composição colorida (R, G, B) utilizando as bandas MS-1, MS-2 e MS-3 do satélite IKONOS II.

A interpretação foi realizada diretamente na tela do monitor, sendo que cada polígono pertencente a uma das três classes era digitalizado, também foi digitalizado o polígono da área pertencente a fazenda. Foram utilizados como critérios de interpretação: textura, cor, forma, bem como informações de campo e auxílio do mapa realizado pela empresa AEROSAT (2000).

3.3.2.2.5 Obtenção dos Valores de Reflectância nas Imagens

Em cada uma das unidades amostrais realizadas a campo, foi obtida coordenada do centro da mesma com o auxílio do GPS topográfico SR-510. Utilizando as coordenadas das unidades amostrais, procedeu-se à realização de corte na imagem em função do tamanho da unidade amostral, quer seja para a floresta natural ou para as plantações florestais.

Destas imagens foram retirados os valores médios de reflectância dos 12 pixels para as unidades com floresta natural e dos 4 pixels para as plantações florestais, os quais foram utilizados para estabelecer a relação entre os dados provenientes de biomassa e carbono com os da imagem. O procedimento descrito foi realizado para as imagens nas bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4, bem como para os Índices Razão, NDVI e SAVI.

3.3.3 Tratamento Estatístico dos Dados

O tratamento estatístico dos dados foi realizado inicialmente com a análise da correlação entre as variáveis consideradas, sendo as variáveis biométricas a biomassa arbórea o carbono orgânico arbóreo e as variáveis digitais as reflectâncias nas bandas: MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4, e reflectâncias das imagens geradas pelos índices: Razão,

NDVI e SAVI.

Para determinar quais os dados (variáveis) provenientes das imagens de sensoriamento remoto que melhor estimam a biomassa arbórea e o carbono orgânico arbóreo fixado, os quais são um dos objetivos do presente trabalho, 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).

Os dados de biomassa arbórea e o carbono orgânico arbóreo foram considerados variáveis dependentes e os valores provenientes das imagens de sensoriamento remoto, considerados variáveis independentes. Para a análise envolvendo todos dados provenientes das imagens que melhor estimem os valores das variáveis dependentes, utilizou-se o procedimento de análise de regressão múltipla, empregando-se para tanto o modelo de regressão *Stepwise*.

Em todas as análises de regressão realizadas, visando julgar qual a melhor equação que estima adequadamente as variáveis em campo, foram realizadas análises do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e distribuição de resíduos.

3.3.4 Mapeamento e Quantificação dos Resultados

As equações ajustadas e selecionadas com seus respectivos coeficientes para cada tipologia foram aplicadas as variáveis selecionadas (imagens ou imagens índice), obtendo-se como resultados mapas das quantidades de biomassa e carbono orgânico.

Após o mapeamento da biomassa arbórea e o carbono orgânico arbóreo, procedeu-se a realização de intervalos de classe fixos em função da quantificação obtida diretamente no campo. Optou-se por ter classes iguais em todos as tipologias em função de realizar-se ao final mapas que contivessem as plantações florestais e a Floresta Ombrófila Mista Montana.

Para a realização dos mapeamentos as imagens foram importadas para software de SIG, procedendo-se também o recorte e a quantificação de cada tipologia

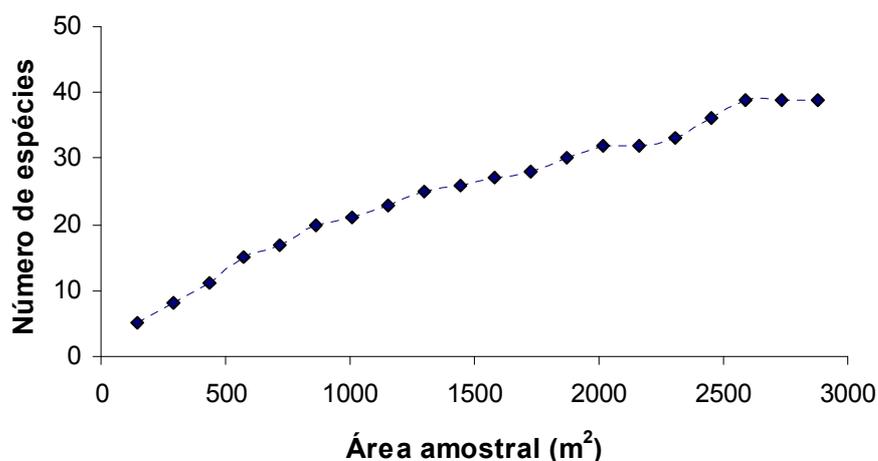
digitalizada anteriormente. Após estas etapas foi realizada a confecção dos mapas de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo para os povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e na Floresta Ombrófila Mista Montana, bem como para as três tipologias conjuntamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS DA VEGETAÇÃO NATURAL

Analisando a Gráfico 1, pode-se verificar que as unidades amostrais utilizadas foram suficientes para representar a composição florística da área de estudo das espécies arbóreas com CAP (circunferência à altura do peito) superiores $\geq 31,4$ cm, visto que pode-se observar que a curva espécie/área tem a tendência de se estabilizar em torno de 2600 m^2 . Com esta tendência de estabilização, por tratar-se de uma floresta heterogênea, pode-se considerar a amostragem suficiente para representar a vegetação da área de estudo.

GRÁFICO 1 - CURVA ESPÉCIE/ÁREA DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA DA ÁREA DE ESTUDO, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Conforme a Tabela 6, a Floresta Ombrófila Mista em questão apresenta nos estratos superior e intermediário 39 espécies arbóreas, pertencentes a 31 gêneros, distribuídos em 21 famílias botânicas. Os gêneros que apresentaram o maior número de espécies foram: *Ilex* (4), *Ocotea* (3), *Myrsine* (2), *Sebastiania* (2) e *Symplocos* (2). As famílias que mais se destacaram foram: Lauraceae (5), Aquifoliaceae (4), Myrtaceae,

Sapindaceae e Euphorbiaceae (3), as demais famílias possuem dois ou um representante.

TABELA 6 - RELAÇÃO DAS ESPÉCIES DA VEGETAÇÃO AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nome científico	Nome vulgar	Família
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.- Hil. <i>Et al.</i>) Radlk.	chal-chal	Sapindaceae
<i>Araucária angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	pinheiro-do-Paraná	Araucariaceae
<i>Calyptanthus concinna</i> DC.	guamirim-ferro	Myrtaceae
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	Guabiroba	Myrtaceae
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	café-do-mato	Flacourtiaceae
<i>Clethra scabra</i> Pers.	carne-de-vaca	Clethraceae
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	miguel-pintado graúdo	Sapindaceae
<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	Xaxim	Cyatheaceae
<i>Drimys brasiliensis</i> Miers	Cataia	Winteraceae
<i>Ilex dumosa</i> Reissek	caúna-miúda	Aquifoliaceae
<i>Ilex microdonta</i> Reissek	Congonha	Aquifoliaceae
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St. - Hil.	erva-mate	Aquifoliaceae
<i>Ilex theezans</i> Mart.	caúna-graúda	Aquifoliaceae
<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	Caroba	Bignoniaceae
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Guaperê	Cunoniaceae
<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	Bugre	Anacardiaceae
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	miguel-pintado miúdo	Sapindaceae
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	Bracatinga	Mimosaceae
<i>Myrcia</i> sp.	Guamirim	Myrtaceae
<i>Myrsine ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	Capororoquinha	Myrsinaceae
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Caporoorca	Myrsinaceae
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canela-imbuia	Lauraceae
<i>Ocotea porosa</i> (Ness & Mart. ex Ness) L. Barroso	Imbuia	Lauraceae
<i>Ocotea puberula</i> (A. Rich.) Ness	canela-guaicá	Lauraceae
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	canela-lageana	Lauraceae
<i>Persea major</i> (Ness) Kopp.	pau-andrade	Lauraceae
<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén	vassourão-branco	Asteraceae
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schlechtr.) D. Dietr.	pessegueiro-bravo	Rosaceae
<i>Quillaja brasiliensis</i> (A. St.-Hil. et Tul.) Mart.	pau-sabão	Rosaceae
<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax.	Leiteiro	Euphorbiaceae
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Aroeira	Anacardiaceae
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	branquilha-miúdo	Euphorbiaceae
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	Branquilha	Euphorbiaceae
<i>Sloanea lasiocoma</i> K. Schum.	Sapopema	Elaeocarpaceae
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	maria-mole-graúda	Styracaceae
<i>Symplocos celastrina</i> Mart. ex Miq.	maria-mole-branca	Symplocaceae
<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl)Bent.	sete-sangia	Symplocaceae
<i>Vernonia discolor</i> (Spreng.) Less.	vassourão-preto	Asteraceae
<i>Xylosma</i> sp.	Sucará	Flacourtiaceae

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

LONGHI (1980), trabalhando em São João do Triunfo – PR, encontrou 51 espécies, 36 gêneros e 26 famílias, amostrando os indivíduos com DAP \geq 20 cm. Após 18 anos nessa mesma floresta, PIZATTO (1999), encontrou 66 espécies, distribuídas em 30 famílias botânicas e 46 gêneros, realizando o levantamento em indivíduos com DAP \geq 10 cm.

Na mesma área do presente trabalho BARTH FILHO (2002), utilizando a mesma classe de diâmetro utilizada no presente estudo, encontrou 51 espécies, sendo que destas 49 foram identificadas e 2 não identificadas. As espécies encontradas pelo autor pertencem a 26 famílias botânicas e 36 gêneros.

A floresta apresentou uma elevada diversidade, com o Índice de Shannon estimado em 3,26, indicando uma distribuição mais uniforme do número de indivíduos em relação ao número de espécies. Conforme DURIGAN (1999), os valores deste índice, em geral situam-se entre 1,50 e 3,50 na Floresta Ombrófila Mista, mas em São João do Triunfo foi de 3,51. Sobre o valor do Índice de Simpson, a floresta apresentou 0,04, valor este considerado baixo, quando comparado ao trabalho do autor supracitado, que encontrou o valor de 0,951. Este índice se situa entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a diversidade da floresta.

A análise da estrutura horizontal da floresta possibilitou constatar que as espécies com maior valor de importância são: *Ocotea porosa* (38,86%), *Araucaria angustifolia* (37,36%), *Ilex paraguariensis* (17,42%), *Myrsine ferruginea* (13,19%) e *Styrax leprosus* (13,14%), conforme pode ser observado na Tabela 7. As duas primeiras espécies tiveram destaques nos Valores de Importância (IVI) devido apresentarem maior área basal, com conseqüente aumento na dominância. Tais espécies também apresentaram os maiores Valores de Cobertura (IVC), 30,6% e 29,1%, respectivamente.

No levantamento realizado por BARTH FILHO (2002), a espécie de maior valor de importância foi *Araucaria angustifolia* (52,20%), *Ocotea porosa* (15,70%), sendo que a terceira espécie com maior valor de importância foi *Ilex paraguariensis* (8,14%).

Para a *Ilex paraguariensis*, *Myrsine ferruginea* e *Styrax leprosus*, os maiores valores de importância decorrem da mais alta densidade de indivíduos e da freqüência,

mas com diâmetros predominantemente pequenos. Tais espécies apresentaram baixos Valores de Cobertura, 10,08%, 8,70% e 7,83%, respectivamente.

TABELA 7 - ESTIMATIVAS FITOSSOCIOLÓGICAS DAS ESPÉCIES NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Espécie	N	AB Abs	D Abs	FR Abs	AB Rel	D Rel	FR Rel	IVC	IVI
<i>Ocotea porosa</i>	11	38,19	9,37	45,00	6,47	24,13	8,26	30,60	38,86
<i>Araucaria angustifolia</i>	15	52,08	7,88	45,00	8,82	20,28	8,26	29,10	37,36
Mortas	11	38,19	1,56	30,00	6,47	4,02	5,50	10,49	16,00
<i>Ilex paraguariensis</i>	14	48,61	0,71	40,00	8,24	1,84	7,34	10,08	17,42
<i>Myrsine ferruginea</i>	10	34,72	1,09	25,00	5,88	2,82	4,59	8,70	13,29
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	3	10,42	2,36	15,00	1,76	6,07	2,75	7,84	10,59
<i>Styrax leprosus</i>	10	34,72	0,68	30,00	5,88	1,75	5,50	7,63	13,14
<i>Myrsine umbellata</i>	9	31,25	0,65	20,00	5,29	1,67	3,67	6,97	10,64
<i>Dicksonia sellowiana</i>	7	24,31	1,07	25,00	4,12	2,75	4,59	6,87	11,45
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	8	27,78	0,83	20,00	4,71	2,15	3,67	6,85	10,52
<i>Jacaranda puberula</i>	7	24,31	0,98	20,00	4,12	2,51	3,67	6,63	10,30
<i>Sapium glandulatum</i>	7	24,31	0,94	20,00	4,12	2,42	3,67	6,53	10,20
<i>Myrcia</i> sp.	8	27,78	0,48	20,00	4,71	1,23	3,67	5,94	9,61
<i>Nectandra megapotamica</i>	3	10,42	1,48	15,00	1,76	3,82	2,75	5,59	8,34
<i>Cupania vernalis</i>	3	10,42	1,46	10,00	1,76	3,75	1,83	5,52	7,35
<i>Allophylus edulis</i>	5	17,36	0,76	5,00	2,94	1,96	0,92	4,91	5,82
<i>Mimosa scabrella</i>	4	13,89	0,91	10,00	2,35	2,34	1,83	4,69	6,52
<i>Ocotea puberula</i>	3	10,42	0,78	15,00	1,76	2,01	2,75	3,77	6,53
<i>Ilex dumosa</i>	4	13,89	0,52	20,00	2,35	1,35	3,67	3,70	7,37
<i>Symplocos uniflora</i>	4	13,89	0,27	20,00	2,35	0,70	3,67	3,05	6,72
<i>Ocotea pulchella</i>	2	6,94	0,65	10,00	1,18	1,68	1,83	2,86	4,69
<i>Quillaja brasiliensis</i>	1	3,47	0,76	5,00	0,59	1,95	0,92	2,54	3,45
<i>Casearia decandra</i>	3	10,42	0,16	5,00	1,76	0,40	0,92	2,16	3,08
<i>Ilex microdonta</i>	3	10,42	0,13	5,00	1,76	0,34	0,92	2,11	3,03
<i>Matayba elaeagnoides</i>	2	6,94	0,25	5,00	1,18	0,65	0,92	1,83	2,75
<i>Persea major</i>	1	3,47	0,44	5,00	0,59	1,12	0,92	1,71	2,63
<i>Calyptanthes concinna</i>	2	6,94	0,14	10,00	1,18	0,35	1,83	1,53	3,37
<i>Prunus brasiliensis</i>	1	3,47	0,31	5,00	0,59	0,81	0,92	1,39	2,31
<i>Sloanea lasiocoma</i>	1	3,47	0,27	5,00	0,59	0,70	0,92	1,29	2,21
<i>Clethra scabra</i>	1	3,47	0,22	5,00	0,59	0,57	0,92	1,16	2,08
<i>Vernonia discolor</i>	1	3,47	0,18	5,00	0,59	0,46	0,92	1,04	1,96
<i>Drimys brasiliensis</i>	1	3,47	0,17	5,00	0,59	0,44	0,92	1,03	1,95
<i>Ilex theezans</i>	1	3,47	0,16	5,00	0,59	0,41	0,92	0,99	1,91
<i>Sebastiania commersoniana</i>	1	3,47	0,13	5,00	0,59	0,32	0,92	0,91	1,83
<i>Symplocos celastrina</i>	1	3,47	0,04	5,00	0,59	0,10	0,92	0,69	1,61
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	1	3,47	0,03	5,00	0,59	0,07	0,92	0,66	1,58
<i>Schinus terebinthifolius</i>	1	3,47	0,02	5,00	0,59	0,05	0,92	0,64	1,56
TOTAL	170	590,28	38,84	545	100	100	100	200	300

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

N = número total de indivíduos amostrados; AB Abs = densidade absoluta (ind./ha); D Abs = dominância absoluta (m²/ha); FR Abs = frequência absoluta (%); AB Rel = densidade relativa (%); D Rel = dominância relativa (%); FR Rel = frequência relativa (%); IVC = índice de valor de cobertura; IVI = índice de valor de importância

A Floresta Ombrófila Mista Montana do presente estudo possui 590 indivíduos/ha, sendo a espécie mais abundante *Araucaria angustifolia*, com 52,08 indivíduos/ha, seguida por *Ilex paraguariensis* (48,61 ind./ha), *Ocotea porosa* (38,19 ind./ha), *Myrsine ferruginea* (34,72 ind./ha) e *Styrax leprosus* (34,72 ind./ha). As árvores mortas representam um número bastante elevado de indivíduos (38,19 ind./ha).

Comparando-se os resultados encontrados no presente trabalho com obtidos por outros autores em trabalhos realizados em Floresta Ombrófila Mista, constata-se uma diferença com relação as famílias, gêneros e número de indivíduos por hectare, bem como diferentes espécies amostradas. O que leva a estas divergências de resultados encontrados por diferentes autores, é devido primeiramente aos locais de trabalho, quanto a metodologia de trabalho principalmente relacionadas a classe de diâmetro inferior a partir do qual os levantamentos são realizados. As diferenças relacionadas a quantidade de espécies encontradas ocorrem devido a dificuldade de identificação botânica das mesmas.

4.2 BIOMASSA E CARBONO

Para realizar os cálculos da biomassa dos componentes nos diferentes ecossistemas estudados, os dados coletados em campo foram processados de maneira a se estabelecer os pesos dos diferentes componentes de cada unidade amostral. Com base nos teores de umidade que cada componente possuía, foi calculado o peso seco individualmente. A partir deste calculou-se para toda a unidade amostral e extrapolou-se por hectare.

Os teores de carbono orgânico encontrados em laboratório para as espécies da vegetação arbórea, na vegetação arbustiva, serapilheira acumulada e na raiz de cada ecossistema, encontram-se nos APÊNDICES A, B, C, D, E e F, os quais foram utilizados para calcular as quantidades de carbono em cada compartimento de cada ecossistema. Em alguns trabalhos de quantificação do carbono orgânico na biomassa, é adotado o fator 0,45 (BUTKIN, SIMPSON e NISBET, 1993) ou 0,5 (DEWAR e CANNELL, 1992), para converter massa seca em carbono. Para KOEHLER,

WATZLAWICK e KIRCHNER (2002) o uso de fatores para espécies da qual não se conhece o verdadeiro teor pode levar a resultados de sub ou superestimativas do estoque de carbono.

4.2.1 Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de *Pinus taeda*

Pinus taeda é uma das principais espécies plantadas no estado do Paraná, o qual vêm suprindo as indústrias de base florestal com matéria-prima, tornando-se assim uma espécie importante para o setor industrial madeireiro. A quantificação da biomassa e do carbono orgânico arbóreo na mesma torna-se importante em função de seu rápido crescimento, conseqüentemente fixando assim maior quantidade de carbono, em menor tempo. As Tabelas 8 e 9 apresentam os valores de biomassa e quantidade de carbono encontrados nas diferentes idades para os povoamentos de *Pinus taeda* estudados.

TABELA 8 - BIOMASSA ARBÓREA (Mg ha⁻¹) EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Componentes						TOTAL
	Acículas	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	
14	5,62	23,57	4,40	19,29	95,33	23,51	171,72
16	5,62	10,44	3,75	9,63	79,50	13,07	122,01
19	3,68	11,56	4,03	9,07	62,24	11,70	102,28
21	8,06	34,48	10,23	33,27	187,30	25,65	298,99
22	9,11	31,41	9,94	32,06	149,86	39,45	271,83
23	9,69	47,30	12,53	32,27	155,62	23,51	280,92
32	8,18	21,18	4,46	20,42	99,33	18,24	171,81
\bar{x}	7,14	25,71	7,05	22,29	118,45	22,16	202,79
S	2,19	13,13	3,70	10,51	45,98	9,33	80,28
IC*	7,14 ± 3,07	25,71 ± 18,40	7,05 ± 5,18	22,29 ± 14,73	118,45 ± 64,42	22,16 ± 13,07	202,79 ± 112,48

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

A menor e maior produção de biomassa e acúmulo carbono orgânico arbóreo, respectivamente foi verificada nas idades 19 e 21 anos. O resultado da produção de biomassa total de *Pinus taeda* com 21 anos foi similar ao trabalho de SCHUMACHER (2000a) com *Pinus taeda* com 20 anos de idade, na região de Cambará do Sul – RS,

onde a produção de biomassa e carbono arbóreo foi de 301,10 Mg ha⁻¹, 133,39 Mg ha⁻¹ respectivamente com uma densidade de 300 árvores por hectare.

TABELA 9 – CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO (Mg ha⁻¹) EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Componentes						TOTAL
	Acículas	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	
14	2,36	9,62	1,80	7,41	40,75	9,89	75,94
16	2,36	4,26	1,54	3,70	33,98	5,73	61,84
19	1,55	4,72	1,65	3,48	26,61	4,99	57,01
21	3,38	14,08	4,18	12,78	80,07	10,69	135,49
22	3,82	12,82	4,06	12,31	64,06	16,43	119,07
23	4,07	19,31	5,12	12,39	66,53	10,10	130,42
32	3,43	8,65	1,82	7,84	42,46	10,26	96,20
\bar{x}	3,00	10,49	2,88	8,56	50,64	9,73	96,56
s	0,92	5,36	1,51	4,04	19,66	3,76	32,57
IC*	3,00 ± 1,29	10,49 ± 7,51	2,88 ± 2,12	8,56 ± 5,66	50,64 ± 27,55	9,73 ± 5,27	96,56 ± 45,63

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

A produção de biomassa arbórea de *Pinus taeda* aos 14 anos de idade, após o 3º desbaste (Tabela 8), foi diferente ao estudo realizado por VALERI (1988) com a mesma espécie, idade e condições de desbaste, na região Telêmaco Borba – PR, sendo que o autor obteve 183,9 Mg ha⁻¹ de biomassa arbórea, distribuídos respectivamente em: acículas 9,4 Mg ha⁻¹, ramos 26,3 Mg ha⁻¹, ponteiro 1,8 Mg ha⁻¹, casca 11,5 Mg ha⁻¹ e madeira 134,9 Mg ha⁻¹. Ressalta-se que foi considerado como ponteiro a parte do fuste com casca de diâmetros entre 7,0 e 2,5 cm. Os diâmetros inferiores ao especificado foram considerados como ramos.

SCHUMACHER (2000a), trabalhando com a mesma espécie, na região de Cambará do Sul – RS, porém com as idades 15 e 10 anos, obteve biomassa acima do solo de 277,20 (600 árvores por hectare) e 106,80 Mg ha⁻¹ (950 árvores por hectare). Para o carbono os valores foram de 114,84 Mg ha⁻¹ e 48,49 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Em levantamento realizado por COPETTI (2001), em *Pinus taeda*, aos 18 de idade, na região de região de Cambará do Sul – RS, a biomassa total acima do solo foi de 151,54 com Mg ha⁻¹ com a densidade de 291 árvores por hectare, ressalta-se que no referido estudo o autor não quantificou as raízes.

Comparando a biomassa e o carbono de acículas com as diferentes idades dos povoamentos de *Pinus taeda*, constata-se na Tabela 8 que o povoamento com 19 anos de idade possui uma produção de biomassa arbórea menor em relação aos povoamentos com idades inferiores com 14 e 16 anos de idade. Fato este pode ser justificado pela baixa densidade de árvores, conseqüentemente menor produção na quantidade de acículas.

A biomassa de acículas de *Pinus taeda* tende a ficar constante com o aumento da idade (Tabela 8), conseqüentemente a quantidade de biomassa de carbono também tem esta tendência. Segundo estudo realizado por HEEP e BRISTER (1982), em *Pinus taeda* com 10 a 27 anos de idade, a biomassa das acículas permaneceu constante com o aumento da idade. VALERI (1988) também observou em *Pinus taeda* com 7 (9,434 Mg ha⁻¹), 10 (9,665 Mg ha⁻¹) e 14 (9,338 Mg ha⁻¹) anos de idade que as biomassas de acículas praticamente foram as mesmas nas três idades.

Independente da idade, a maior contribuição para a biomassa acima do solo e o carbono orgânico foi da madeira do fuste (Tabelas 8 e 9). Houve um comportamento bem diferenciado na seqüência sobre a contribuição da biomassa arbórea. Esse comportamento diferenciado também foi observado por SCHUMACHER (2000a), para povoamentos de *Pinus taeda* com 20 e 15 anos de idade. Em ordem decrescente, a contribuição da biomassa foi madeira do fuste > ramos > raiz > casca > acículas, contudo com a idade de 10 anos a seqüência foi madeira do fuste > raiz > acículas > ramos > casca. COPETTI (2001), trabalhando com a mesma espécie com 18 anos de idade, observou a seguinte seqüência madeira do fuste > galhos vivos > casca > acículas > galhos mortos.

A maior contribuição da madeira do fuste, em relação aos outros componentes da biomassa foi também verificado em outros estudos, entre eles, de RESENDE et al. (1983) com *Eucalyptus grandis*, aos 3,5 anos de idade; de VALERI (1988) com *Pinus taeda* com 7, 10 e 14 anos de idade, na região de Telêmaco Borba – PR; de SCHUMACHER (1995) com *E. saligna*, aos 7 anos de idade, plantado no Horto Florestal Francisquinho e Horto Florestal Barba Negra – RS, de CALDEIRA et al.

(2000), com *Acacia mearnsii*, aos 2,4 anos de idade, procedência Australiana Lake George Bunge Dore.

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

Nesse sentido, fica evidente que as diferenças na produção de biomassa e da quantidade de carbono orgânico para a espécie (Tabelas 8 e 9), além de serem afetadas pelos fatores citados anteriormente, a área basal, volume, número de árvores por hectare e o sítio também influenciam diretamente na produção de biomassa arbórea e de carbono orgânico arbóreo.

MADGWICK e KREH (1980) quantificaram a produção de biomassa de 10 povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades, intensidades e índices de sítios, onde a biomassa do fuste aumentou proporcionalmente com o incremento do seu volume cilíndrico, ou seja, área basal x altura ($m^3 ha^{-1}$). Os autores afirmam ainda que o peso de biomassa de galhos vivos diminui com o aumento da densidade do povoamento e a biomassa de acículas aumenta com o incremento da densidade e qualidade do sítio. No entanto, no trabalho em questão não foi observada esta relação tanto para biomassa de galhos vivos e mortos, onde os quais podem ter sido influenciados pelas desramas naturais, bem como pelo manejo realizado nas áreas. No entanto, nos trabalhos realizados SCHUMACHER (2000a) e COPETTI (2001) foi observado uma certa tendência da biomassa dos galhos aumentar com a idade.

O espaçamento em povoamentos florestais afeta a produção de biomassa. Segundo ALEMDAG e STIELL (1982) em estudo realizado com *Pinus resinosa* com 17 anos de idade, em diferentes espaçamentos: 1,52 x 1,52 m e 4,27 x 4,27 m. A biomassa total acima do solo foi de 190,6 Mg ha^{-1} no povoamento com espaçamento mais denso e 98,2 Mg ha^{-1} no povoamento com menor densidade. Conseqüentemente a biomassa da madeira do fuste, casca, galhos mortos e galhos finos com acículas também diminuiu com o aumento do espaçamento.

Ao relacionar a quantidade de biomassa e o carbono orgânico nos povoamentos de *Pinus taeda*, o percentual de contribuição do sistema radicular também teve uma variabilidade, como se verifica: 13,69%; 10,71%; 11,44%; 8,67%; 14,52%; 8,36% e 10,62% aos 14, 16, 19, 21, 22, 23 e 32 anos, respectivamente. Os valores obtidos por SCHUMACHER (2000a) em povoamentos da mesma espécie, diferem dos apresentados acima. Sendo que a quantidade de biomassa e carbono orgânico, foram, respectivamente de: aos 10 anos 15,3 Mg ha⁻¹ e 6,92 Mg ha⁻¹, aos 15 anos 26,4 Mg ha⁻¹ e 11,33 Mg ha⁻¹, e aos 20 anos 37,1 Mg ha⁻¹ e 17,58 Mg ha⁻¹. O percentual de contribuição do sistema radicular encontrado por SCHUMACHER (2000a) foi de 14,33%, 8,80% e 12,51% em relação à biomassa total dos componentes da árvore, respectivamente para cada uma das idades consideradas.

Segundo SCHUMACHER (1995), as diferenças na produção de biomassa de raízes para uma mesma espécie, com mesma idade, porém em diferentes locais pode ser atribuída ao grau de armazenamento de nutrientes e às condições inerentes ao sítio, tais como menor teor de argila e matéria orgânica. Quanto maior a disponibilidade de água e nutrientes maiores será a alocação de assimilados para o sistema radicular, visando uma maior exploração espacial do solo.

De uma maneira geral, verificando a biomassa dos diferentes componentes do presente estudo com os demais trabalhos realizados com a mesma espécie, pode-se observar que os valores não são similares em relação ao trabalho de VALERI (1988); SCHUMACHER (2000a) e COPETTI (2001). Provavelmente, isso é em função de diversos fatores tais como: fatores ambientais e fatores inerentes à planta (SPURR; BARNES, 1986), condições edafoclimáticas do sítio (HAAG, 1985; SCHUMACHER, 1995), idade (CROMER et al. 1975; VALERI, 1988; SCHUMACHER, 1995), características ecofisiológicas de cada espécie (SCHUMACHER, 1995), densidade de indivíduos (VALERI, 1988), bem como diferentes metodologias utilizadas.

4.2.2 Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*

No que se refere à biomassa e ao carbono arbóreo dos diferentes componentes e do total de *Araucaria angustifolia* houve um comportamento diferenciado em relação as diferentes idades. A maior produção de biomassa de ramos aciculados foi no povoamento com menor idade, conseqüentemente maior acúmulo de carbono orgânico (Tabelas 10 e 11). Nesse contexto, segundo OTTO (1994), durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta, a de folhas e ramos diminui gradativamente, porém essa tendência não foi observada nesse estudo.

TABELA 10 – BIOMASSA ARBÓREA (Mg ha⁻¹) EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia* COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Componentes						TOTAL
	Ramo Aciculado	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	
23	24,86	41,77	3,91	70,11	138,02	47,60	326,27
24	13,55	2,91	1,13	13,83	29,30	12,29	73,01
25	18,04	31,32	2,50	43,64	73,96	39,70	209,16
29	6,90	14,20	2,78	22,64	82,33	12,58	141,43
30	22,05	37,31	3,31	66,62	118,77	47,12	295,18
31	19,90	33,43	3,89	78,11	128,97	48,55	312,85
32	20,50	53,56	5,91	54,86	155,01	45,03	334,87
\bar{x}	17,97	30,64	3,35	49,97	103,77	36,12	241,82
s	6,00	17,04	1,48	24,47	43,88	16,44	102,73
IC*	17,97 ± 8,41	30,64 ± 23,87	3,35 ± 2,07	49,97 ± 34,28	103,77 ± 61,48	36,12 ± 3,03	241,82 ± 143,94

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

As maiores produções de biomassa arbórea e acúmulo de carbono orgânico arbóreo foram encontradas nos povoamentos com 23 e 32 anos de idade. Segundo CROMER et al. (1975) a produção de biomassa tende aumentar com a idade. O fato do povoamento com menor idade ser o segundo em maior produção total de biomassa e

acúmulo de carbono orgânico pode ser justificado pelo grande densidade de indivíduos por hectare, valor este que também afetou diretamente a quantidade de volume do fuste.

TABELA 11 – CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO (Mg ha⁻¹) EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia* COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Componentes						TOTAL
	Ramo Aciculado	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Lenho do Fuste	Raízes	
23	11,04	17,43	1,68	28,12	60,89	17,73	136,89
24	1,56	1,21	0,48	5,55	12,92	5,10	26,82
25	7,94	13,07	1,07	17,50	32,62	16,59	88,79
29	3,04	5,93	1,19	9,08	36,32	5,04	60,60
30	9,70	15,57	1,42	26,72	52,40	19,00	124,81
31	8,76	13,95	1,67	31,33	56,90	27,73	140,34
32	9,02	22,35	2,54	22,00	67,95	17,70	141,56
\bar{x}	7,29	12,79	1,44	20,04	45,71	15,56	102,83
s	3,57	7,11	0,64	9,81	19,28	8,07	45,29
IC*	7,29 ± 5,01	12,79 ± 9,96	1,44 ± 0,90	20,04 ± 13,74	45,71 ± 27,01	15,56 ± 11,31	102,83 ± 63,46

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

De acordo com SATOO¹, citado por VALERI (1989), a produção de biomassa não está relacionada diretamente com a produção de matéria seca, mas sim em função da idade do povoamento. No presente trabalho não foi evidenciada tal afirmação, fato este que deve ter sido determinado principalmente em função das diferentes condições de sítio, tratos culturais e densidade de plantas. VALERI (1989) complementa, dizendo que a quantidade de biomassa varia em função das condições do povoamento, tais como: qualidade do sítio, altitude, fatores ambientais e silviculturais. Na coleta de dados sobre biomassa é fundamental obter as informações sobre o local, época de amostragem, altura média e área basal.

Os povoamentos com 24, 25 e 29 anos de idade foram os que apresentaram os menores valores de produção de biomassa e acúmulo de carbono orgânico. Este fato pode estar associado à distribuição das classes de diâmetros, principalmente no povoamento com 24 anos, o qual possui dentre os povoamentos comparados os menores valores de área basal e conseqüentemente de volume, os quais dependem dos diâmetros amostrados, sendo este influenciado pela densidade de indivíduos e qualidade dos sítios florestais.

Os fatores que influenciam nas diferenças de produção de biomassa e acúmulo de carbono orgânico em plantações florestais sob as mesmas condições edafoclimáticas, relacionam-se principalmente ao potencial genético da espécie, fatores próprios inerentes a planta. Conforme LUGO, BROWN e CHAPMAN (1988) alguns estudos relacionam a produção com os fatores climáticos, mas poucos relacionam a produção com os fatores inerentes ao sítio.

SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b) em estudo realizado com povoamentos de *Araucaria angustifolia* no Quedas do Iguaçu – PR, com 14 e 27 anos de idade, encontraram 43,15 Mg ha⁻¹ e 173,83 Mg ha⁻¹ de produção de biomassa, 18,46 Mg ha⁻¹ e 79,04 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico acumulado, respectivamente. Ressalta-se que os valores observados pelos autores não conta as raízes, as quais serão discutidas separadas. Para o povoamento com 27 anos de idade, os valores foram superiores ao povoamento com 29 anos no presente estudo, diferença esta que pode ter ocorrido em função de condições edafoclimáticas e material genético.

Ao tratar os componentes separadamente, tanto com relação à produção de biomassa como o acúmulo de carbono orgânico, a distribuição percentual foi na seguinte ordem: madeira do fuste > casca do fuste > galhos vivos > ramos aciculados > galhos mortos, diferindo apenas no povoamento com 24 anos, no qual a percentagem de ramos aciculados foi maior que a de galhos vivos. Similaridade de resultados foram verificadas nos trabalhos de SCHUMACHER et al. (2000a) com *Araucaria angustifolia*, aos 14 anos de idade: madeira do fuste > casca > acículas (grimpa) > galhos vivos > galhos mortos, e SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b) aos 27 anos de idade: madeira do fuste > casca > galhos vivos > acículas (grimpa) > galhos mortos, ambos na região Quedas do Iguaçu – PR.

Como se pode observar o maior percentual de produção de biomassa e acúmulo de carbono orgânico em povoamentos florestais encontra-se na madeira do fuste. Conforme ANDRAE (1978), o maior percentual encontra-se no tronco e este tende a aumentar à medida que o povoamento envelhece. PEREIRA et al. (1984), observaram que com o aumento da idade ocorre também um aumento substancial da proporção de madeira em relação à matéria seca total.

De acordo com GONÇALVES et al. (2000), grandes diferenças de necessidades totais de nutrientes são mais freqüentes entre espécies do que entre variações genotípicas de uma mesma espécie. Já para BARROS e NOVAIS (1996) a nutrição da planta e o conseqüente aumento de produção de biomassa, é melhor determinado pela distribuição das chuvas que influenciam a disponibilidade de água no solo, bem como uma melhor disponibilidade de nutrientes.

Para KRAPPENBAUER e ANDRAE (1976) ao realizar estudo em povoamento de *Araucaria angustifolia* na região de Passo Fundo - RS, com 17 anos de idade, verificaram que a quantidade de biomassa do tronco representava 72,4 % do total acima do solo. No mesmo trabalho, os autores supracitados, encontraram uma biomassa de 12,9 % e 12,4 % para casca e raízes, respectivamente.

As quantidades de biomassa e carbono nas raízes estimado por SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b) em um povoamento de *Araucaria angustifolia* aos 27 anos de idade foram de 24,78 Mg ha⁻¹ e 10,81 Mg ha⁻¹ respectivamente. Ressalta-se que a quantidade da biomassa de carbono contido nas raízes representa 12% da biomassa total para o povoamento que se encontra em idade de corte raso. KRAPPENBAUER e ANDRAE (1976), trabalhando com a mesma espécie, porém com um povoamento aos 17 anos de idade encontraram um percentual de 12,4 % em relação à biomassa total.

Nos povoamentos estudados (Tabela 10) a percentagem das raízes em relação a biomassa total foi de: 14,59%; 16,83%; 18,98%; 8,89%; 15,96%; 15,52% e 13,45%, respectivamente nas idades de 23, 24, 25, 29, 30, 31 e 32 anos de idade. A diferença que ocorre entre os percentuais pode ter sido devido ao sítio onde estão implantados os povoamentos, bem como a fertilidade do solo.

A produção de biomassa abaixo do solo varia com a espécie e o espaçamento (REIS et al. 1993; SCHUMACHER, 1995). GONÇALVES et al. (2000) acrescentam que a contribuição do sistema radicular para a biomassa total da árvore varia em função da idade, onde os percentuais maiores ocorrem na fase inicial do crescimento, sendo que a maioria dos fotoassimilados sintetizados pela planta são canalizados para a formação de copas e o sistema radicular. Esta contribuição somente mudará após o

fechamento da copa, quando o acúmulo de nutrientes passa a ser mais intenso nos troncos, uma vez que a formação da copa atingiu uma fase de relativa estabilidade, pois o auto-sombreamento impõe uma área foliar máxima limite.

A dificuldade de comparar os resultados obtidos no presente estudo com outros realizados por outros autores, é devido a falta de literatura que verse sobre o assunto. Neste sentido, as comparações foram realizadas somente com os trabalhos desenvolvidos por KRAPFENBAUER e ANDRAE (1976), SCHUMACHER et al. (2002a) e SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b).

4.2.3 Biomassa e Carbono Orgânico no Sub-bosque e Serapilheira Acumulada Sobre o Solo em Povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*

A produção de biomassa e o acúmulo carbono do sub-bosque de *Pinus taeda* de uma maneira geral foi superior a da *Araucaria angustifolia*, conforme se verifica nas Tabelas 12 e 13. Essas diferenças podem ser atribuídas aos diferentes tratamentos silviculturais realizados nos mesmos.

O povoamento de *Pinus taeda* com 22 anos de idade foi o que apresentou maior quantidade biomassa e carbono na vegetação do sub-bosque, devido ter sido realizado desbastes mais intensos, permitindo assim uma maior entrada de luz, favorecendo o desenvolvimento da mesma. Ao comparar os povoamentos de *Araucaria angustifolia*, no povoamento com 29 anos idade ocorreu a maior produção de biomassa e carbono acumulado na vegetação do sub-bosque, devido o mesmo apresentar o dossel aberto permitindo assim uma maior incidência de luz.

Em plantios florestais além das espécies plantadas ocorre o desenvolvimento natural da vegetação, quer seja por espécies nativas como pela regeneração natural da espécie plantada. Esta vegetação no presente trabalho foi considerada como sub-bosque, a qual inicialmente compete por recursos tais como luz, água e nutrientes. Com o desenvolvimento da espécie plantada os indivíduos crescem como um todo, as copas que inicialmente possuíam um maior espaço para o seu desenvolvimento começam a competir pelo espaço, ocorrendo assim o fechamento no dossel do povoamento,

impedindo que ocorra uma maior incidência de luz no sub-bosque, prejudicando o seu desenvolvimento.

TABELA 12 – BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg\ ha^{-1}$) EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Biomassa		Carbono orgânico	
	Sub-bosque	Serapilheira	Sub-bosque	Serapilheira
14	2,79	20,76	1,12	8,55
16	1,01	20,11	0,40	7,43
19	1,32	24,17	0,50	9,85
21	2,79	20,76	1,21	7,73
22	9,73	10,19	3,91	3,92
23	2,94	20,38	3,60	9,23
32	3,07	10,63	1,18	3,96
\bar{x}	3,38	18,14	1,70	7,24
S	2,92	5,46	1,44	2,40
IC*	$3,38 \pm 4,09$	$18,14 \pm 7,65$	$1,70 \pm 2,02$	$7,24 \pm 3,36$

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

TABELA 13 – BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg\ ha^{-1}$) EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia* COM DIFERENTES IDADES, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Biomassa		Carbono orgânico	
	Sub-bosque	Serapilheira	Sub-bosque	Serapilheira
23	0,75	8,20	0,29	3,45
24	1,26	9,43	0,51	3,50
25	5,00	6,29	1,96	2,22
29	22,46	4,54	8,37	1,97
30	2,70	11,29	1,05	4,29
31	1,09	5,78	0,47	2,29
32	2,23	5,78	0,86	2,04
\bar{x}	5,07	7,33	1,93	2,82
S	7,80	2,40	2,89	0,91
IC*	$5,07 \pm 10,93$	$7,33 \pm 3,36$	$1,93 \pm 4,05$	$2,82 \pm 1,27$

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

Comparar estudos de biomassa de uma maneira ampla é uma tarefa difícil, principalmente da vegetação do sub-bosque. A dificuldade é devido a não disponibilidade de literatura que verse sobre o tema proposto. Nesse sentido, até o momento, o primeiro trabalho realizado no Brasil com produção de biomassa da

vegetação do sub-bosque com *Araucaria angustifolia* foi desenvolvido por SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b). A produção de biomassa do sub-bosque foi de 16,80 Mg ha⁻¹, isto é, 8,46% em relação à biomassa total (198,61 Mg ha⁻¹), a quantidade de carbono na biomassa foi de 7,04 Mg ha⁻¹.

A quantidade média de serapilheira acumulada em *Pinus taeda* praticamente foi similar entre as idades, com exceção nas idades 22 e 32 anos (Tabela 12). Valores similares foram observados por ROVEDDER, DURLO e GATTO (2000) com *Pinus elliottii* aos 27 anos e *Pinus taeda* com 28 anos de idade plantados em Faxinal de Soturno, RS. A quantidade média de serapilheira acumulada foi de 21 e 23 Mg ha⁻¹, respectivamente para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Porém, dados obtidos por HENDGES et al. (1997) para *Pinus* sp., com a mesma idade e estabelecidos na mesma região, a serapilheira acumulada foi de 63 Mg ha⁻¹. No entanto, SILVA JÚNIOR, BARROS e PINHEIRO (1987) encontraram 40 Mg ha⁻¹ em *Pinus taeda*.

Estudo realizado por SCHUMACHER (2000a) com *Pinus taeda* em diferentes idades plantados em Cambará do Sul, RS apresentaram diferentes quantidades de serapilheira acumulada. Foram encontrados aos 10 anos 19,5 Mg ha⁻¹, aos 15 anos 17,5 Mg ha⁻¹, e aos 20 anos de idade 36,5 Mg ha⁻¹ para a biomassa. Em relação ao carbono acumulado o autor encontrou 8,0 Mg ha⁻¹, 7,1 Mg ha⁻¹ e 14,7 Mg ha⁻¹ respectivamente para cada idade. A elevada quantidade encontrada aos 10 anos justifica-se pela grande quantidade de resíduos provenientes da desrama realizada anteriormente.

A menor quantidade de biomassa e carbono na serapilheira acumulada nos plantios de *Pinus taeda* foi encontrada nas idades 22 e 32 anos e pode ser atribuída, principalmente a uma menor deposição ou uma maior taxa de decomposição, ocasionada por possuir uma maior quantidade de vegetação no sub-bosque. Fato esse também pode ser observado em plantio de *Araucaria angustifolia* com 29 anos de idade conforme Tabela 13.

No presente estudo a maior quantidade de biomassa de serapilheira acumulada nos povoamentos de *Araucaria angustifolia*, foi no de 30 anos de idade. SCHUMACHER et al. (2002a) encontrou 11,83 Mg ha⁻¹, valor este bastante similar, porém em povoamento com 14 anos. Resultados diferentes foram encontrados por

KRAPFENBAUER e ANDRAE (1976) em povoamento de *Araucaria angustifolia*, aos 17 anos de idade, encontraram 17,2 Mg ha⁻¹ de biomassa de serapilheira acumulada. SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b) com a mesma espécie, porém aos 27 anos, na região de Quedas do Iguaçu, PR encontraram 19,77 Mg ha⁻¹ de biomassa e 8,30 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico acumulado na serapilheira. Ressalta-se que no trabalho realizado SCHUMACHER, HOPPE e BARBIERI (2000b) a área possuía resíduos provenientes de desbaste realizado.

A variação na quantidade de serapilheira acumulada nas diferentes plantações é expressa pela influência dominante das características das espécies, idade dos povoamentos, taxa de incremento, condições edafoclimáticas e propriedades dos solos. A serapilheira acumulada nos solos estabelecidos por plantações florestais pode variar significativamente entre diferentes espécies nos mesmos sítios (O'CONNELL; SANKARAN, 1997),

A queda da serapilheira é influenciada por diversos fatores: tipo de vegetação, fatores do ambiente, densidade dos indivíduos e fatores climáticos (BRAY; GORHAM, 1964). De acordo com KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), a queda das folhas também pode ser causada pela senescência resultante de uma série de processos metabólicos, ligados à fisiologia de cada espécie e também pelos estímulos vindos do ambiente,

SCHUMACHER et al. (2002a) complementaram ressaltando que a devolução de acículas, ramos, folhas e outros componentes da biomassa acima do solo é uma estratégia da planta para evitar perda excessiva de água através da transpiração e evapotranspiração, além disso, outros fatores podem atuar sobre a queda da serapilheira, além dos fatores climáticos, como ventos fortes, granizo, etc.

Outro aspecto importante que pode ter influenciado na quantidade de serapilheira acumulada entre as espécies estudadas, o alto teor de umidade constante no interior do povoamento, bem como os diferentes tratamentos silviculturais e práticas de manejo que foram realizadas.

4.2.4. Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana

Em relação à produção de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo houve um comportamento diferenciado entre as unidades amostrais, fato esse explicado pelos diferentes estágios sucessionais em que as mesmas se encontram, conforme pode ser verificado nas Tabelas 14 e 15.

TABELA 14 – BIOMASSA ARBÓREA (Mg ha⁻¹) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Componentes							TOTAL
	Folhagem	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	Miscelânea	
1	0,91	11,18	0,08	1,17	35,07	12,52	0,30	61,23
2	1,08	8,68	0,50	5,99	36,80	12,58	0,07	65,70
3	2,49	13,44	0,47	10,2	27,5	14,32	0,19	68,61
4	1,33	23,61	0,09	3,89	25,55	15,57	0,03	70,07
5	2,22	21,39	1,15	5,08	26,86	20,43	0,22	77,35
6	2,31	33,17	0,08	3,83	29,45	25,66	0,25	94,75
7	6,10	26,61	0,46	9,52	34,56	28,99	0,48	106,72
8	3,61	71,84	4,69	4,84	40,25	29,20	0,44	154,87
9	6,58	25,36	2,33	33,86	74,71	30,93	0,16	173,93
10	10,26	23,94	1,46	43,49	64,72	31,27	0,42	175,56
11	2,41	70,17	2,64	6,06	78,67	37,58	1,73	199,26
12	3,67	87,99	14,21	8,98	84,61	39,12	0,72	239,30
13	4,96	140,75	2,63	6,11	76,68	39,25	4,10	274,48
14	5,54	143,47	3,16	16,59	104,85	40,61	3,87	318,09
15	13,11	144,88	4,36	40,35	132,38	48,95	2,16	386,19
16	9,18	202,56	2,71	22,15	105,21	60,85	2,97	405,63
17	4,84	211,41	1,71	19,45	152,08	64,71	4,27	458,47
18	2,53	252,15	1,74	2,72	130,03	64,97	9,50	463,64
19	9,78	225,34	2,49	24,20	194,30	77,95	2,66	536,72
20	8,19	130,49	3,20	155,78	271,47	113,38	5,01	687,52
\bar{x}	5,06	93,42	2,51	21,21	86,29	40,44	1,98	250,90
S	3,49	81,50	3,08	34,13	64,71	25,47	2,43	183,97
IC*	5,06	93,42	2,51	21,21	86,29	40,44	1,98	250,90
	± 1,98	± 46,27	± 1,75	± 19,38	± 36,74	± 14,46	± 1,38	117,69±

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

A biomassa média produzida pela floresta foi 250,90 Mg ha⁻¹, sendo deste 104,17 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico. Desse total, as espécies que mais contribuíram foram: *Ocotea porosa*, *Araucaria angustifolia*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Ocotea pulchella*, *Cupania vernalis* e *Nectandra megapotamica*, as quais contribuem com 70,43% de biomassa arbórea. Desse valor 52,23% é contribuição de *Ocotea porosa* (29,09%) e *Araucaria angustifolia* (23,14%). A contribuição efetiva dessas duas espécies em relação às demais é devido as mesmas possuírem os maiores IVI, ou seja,

38,86% para *Ocotea porosa* e 37,36% para *Araucaria angustifolia*, conforme pode-se observar na Tabela 7.

A distribuição da biomassa acima do solo seguiu a seguinte ordem decrescente: galhos vivos (45,01%) > madeira do fuste (40,53%) > casca do fuste (9,99%) > folha (2,40%) > galhos mortos (1,16%) > miscelânea (0,97%). Em algumas parcelas a produção de galhos vivos foi superior a de madeira do fuste (Tabelas 14 e 15). Essa distribuição não segue o padrão normal observado em trabalhos realizados principalmente com *Pinus*, *Eucalyptus* e *Acacia*. O fato da produção de galhos ser superior a de madeira é em função da metodologia utilizada, pois foi considerado galho a porção a partir do ponto de inversão morfológica.

TABELA 15 – CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO (Mg ha⁻¹) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Componentes							TOTAL
	Folhagem	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	Miscelânea	
1	0,40	4,60	0,03	0,44	14,23	4,61	0,05	24,36
2	0,96	8,26	0,58	2,02	10,78	4,96	0,09	27,65
3	0,59	9,63	0,03	1,53	10,94	5,52	0,01	28,25
4	0,47	3,61	0,22	2,45	16,21	6,62	0,03	29,61
5	0,97	13,31	0,03	1,56	12,22	7,73	0,09	35,91
6	2,54	10,91	0,20	3,86	14,85	9,18	0,19	41,73
7	1,65	35,69	6,05	3,58	35,51	11,16	0,29	93,93
8	1,59	29,52	1,98	1,91	17,52	11,52	0,59	64,63
9	2,49	13,44	0,47	10,2	27,5	11,56	0,19	65,85
10	2,75	10,35	0,95	13,71	32,5	12,03	0,06	72,35
11	4,26	9,83	0,59	17,68	28,5	12,20	0,16	73,22
12	0,98	28,12	1,02	2,26	32,28	14,06	0,66	79,38
13	2,24	57,49	1,12	2,50	32,64	14,63	1,67	112,29
14	2,39	58,22	1,35	6,75	45,11	15,01	1,87	130,70
15	5,49	59,13	1,86	16,57	57,64	15,94	0,84	157,47
16	3,99	82,86	1,17	9,04	45,35	24,80	1,21	168,42
17	0,99	100,29	0,67	0,98	52,53	25,07	3,59	184,12
18	2,21	86,74	0,72	8,05	64,27	26,10	1,74	189,83
19	4,24	91,21	1,04	9,43	81,64	26,19	1,06	214,81
20	3,47	54,14	1,38	63,45	118,59	45,88	1,96	288,87
\bar{x}	2,01	35,91	1,02	8,12	35,02	14,69	0,87	104,17
S	1,45	32,65	1,30	13,88	27,36	10,55	0,94	74,57
IC*	2,01	35,91	1,02	8,12	35,02	14,69	0,87	104,17
	± 0,82	± 18,53	± 0,74	± 7,88	± 15,53	± 5,99	± 0,54	± 47,70

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

As espécies que mais contribuíram na produção de galhos vivos foram: *Ocotea porosa* (37,58%), *Campomanesia xanthocarpa* (10,37%), *Araucaria angustifolia*

(8,22%), *Ocotea pulchella* (5,31%) e *Allophyllus edulis* (4,73%). No entanto com relação a produção de galhos mortos as espécies *Ocotea porosa* (43,03%), *Araucaria angustifolia* (15,62%), *Mimosa scabrella* (8,23%) e *Nectandra megapotamica* (4,17%) e *Campomanesia xanthocarpa* (3,51%) foram as espécies que mais contribuíram. Ressalta-se que a percentagem de produção de galhos mortos em *Mimosa scabrella* é devida aos indivíduos que foram abatidos estarem em estágio de senescência.

A casca foi o terceiro componente de maior produção de biomassa arbórea, sendo que desta produção as espécies que mais contribuíram foram *Araucaria angustifolia* (68,03%) e *Ocotea porosa* (11,50%). No que se refere somente à biomassa produzida por *Araucaria angustifolia* (48,70 Mg ha⁻¹), o fuste corresponde a 49,04%, a casca 29,38%, os galhos vivos a 15,98% e o restante composto pelas demais partes. Porém, quando se trata de *Ocotea porosa*, as percentagens são diferentes, ou seja: a biomassa total de 61,23 Mg ha⁻¹, onde a maior contribuição está relacionada à quantidade de galhos vivos (58,15%), pelo fuste (33,34%) e a casca (3,95%).

Comparando os resultados de percentagem de casca do fuste da *Araucaria angustifolia* do presente estudo com trabalhos realizados em plantios com a mesma espécie, KRAPPENBAUER e ANDRAE (1976), SCHUMACHER et al. (2002a) e SCHUMACHER et al. (2002b) encontraram 14,7; 14,0 e 14,0% da biomassa total acima do solo, respectivamente nas idades de 17; 14 e 27 anos de idade.

Pode ser verificado que a percentagem de casca da *Araucaria angustifolia* quando em florestas naturais é o dobro daquelas em plantios, fato esse que poder estar relacionado as intervenções silviculturais realizadas nos plantios, sítio e a densidade de árvores/hectare.

Cabe ressaltar, como anteriormente comentado, que a grande contribuição de galhos vivos em algumas espécies, como *Ocotea porosa* (58,15%), *Mimosa scabrella* (56,13%), *Nectandra megapotamica* (43,83%), *Campomanesia xanthocarpa* (60,94%), *Ilex microdonta* (58,89%), *Myrsine ferruginea* (45,59%) e *Myrsine umbellata* (47,72%) é decorrente da metodologia utilizada, na qual foi considerado como galhos a porção a partir do ponto de inversão morfológica.

A folhagem contribuiu com 2,40% em relação à biomassa arbórea, valor que pode-se considerar semelhante aos encontrados por GOLLEY et al. (1978) em levantamentos realizados na Floresta Tropical Úmida (Rio Sabana, Rio Lara e Manguezal), respectivamente com 3,07; 3,26 e 2,18%. Com relação à biomassa quantificada na folhagem $5,06 \text{ Mg ha}^{-1}$, valor este para as 39 espécies amostradas, $3,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ (61,41%) corresponde a biomassa produzida pela *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa*.

Segundo SANCHEZ (1976) de maneira geral, em média, as folhas contribuem entre 4 a 6% em relação à biomassa total. Diferenças na distribuição percentual da folhagem na Floresta Ombrófila Mista Montana em relação a outros tipos de floresta, como por exemplo, na Floresta Pluvial Tropical, na Colômbia, com 1,67% de contribuição (RODRIGUEZ, 1989). Esta diferença pode ser atribuída composição florística, sazonalidade das espécies, bem como o diâmetro mínimo considerado nos levantamentos. Ressalta-se que o trabalho realizado por RODRIGUEZ (1989) considerou como diâmetro mínimo $\text{DAP} > 3,0 \text{ cm}$.

No levantamento realizado todo o material que não foi classificado dentre os componentes considerados (folhagem, galhos vivos, galhos mortos, casca do fuste, madeira do fuste, raiz), foi considerado como miscelânea, a qual é composta por musgos, líquens, cipós, bromélias, etc. Em relação à biomassa arbórea, a miscelânea teve uma contribuição de 0,97%, valor este que foi a metade do encontrado por RODRIGUEZ (1989).

Ao quantificar biomassa e carbono orgânico em Floresta de Terra Firme e Floresta Alagável, RESENDE, MERLIN e SANTOS (2001) encontraram, respectivamente $165,32$ e $134,81 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biomassa, $73,29$ e $61,61 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono, distribuídos nos componentes, tronco, galhos, folhas e casca. A distribuição percentual de cada componente em relação à biomassa total e do carbono orgânico total, segue a seguinte ordem: tronco (53,43%) > galhos (35,53%) > casca (6,34%) e folhas (4,70%) para a Floresta de Terra Firme e tronco (50,31%) > galhos (37,06%) > casca (6,87%) folhas (5,76%) para a Floresta Alagável.

No presente trabalho a densidade de raízes diminuiu à medida que aumenta a profundidade do solo, confirmando a literatura que diz que a densidade de raízes é maior primeiras camadas do solo (MELLO, GONÇALVES; OLIVEIRA, 1998; LUY, GOYA; FRANGI, 1997; GONÇALVES et al. 1999).

A grande quantidade de raízes nos primeiros 30,0 cm de profundidade do solo é em função da presença da camada serapilheira, resultante da queda das folhas, galhos, casca, ramos, etc., que funciona como um isolamento térmico evitando assim um superaquecimento do solo e perda de água por evapotranspiração. Deve-se ainda considerar que a camada orgânica resultante da decomposição dos resíduos vegetais é a principal fonte de nutrientes e água para raízes finas destas árvores (BAZILEVICH; ROBIN, 1968; ADAMS et al. 1987).

O sistema radicular do Cerrado quantificado por RESENDE, MERLIN e SANTOS (2001) apresentou valores de biomassa de 4,85 Mg ha⁻¹ e carbono 2,20 Mg ha⁻¹, valores estes bem inferiores aos encontrados no presente trabalho. As diferenças relacionam-se em função das tipologias serem diferentes, bem como diferenças no sistema radicular, dentre muitos outros fatores que afetam o desenvolvimento das raízes.

4.2.5 Biomassa e Carbono Orgânico no Sub-bosque e Serapilheira Acumulada na Floresta Ombrófila Mista Montana

As diferenças na produção de biomassa da vegetação no sub-bosque, serapilheira acumulada entre as unidades amostrais mostra a complexidade que a Floresta Ombrófila Mista apresenta em termos de estrutura, composição florística, local, condições edafoclimáticas (Tabelas 16 e 17).

Nesse sentido, comparações com trabalhos similares tornam-se difíceis em função da não existência de literatura que verse sobre o assunto. Quando da existência de trabalhos, porém em ecossistemas diferentes (Amazônia), as dificuldades passam a ser em função das diferentes metodologias utilizadas.

TABELA 16 – BIOMASSA NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg ha^{-1}) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Sub-bosque	Serapilheira
1	2,30	2,69
2	2,85	2,90
3	5,17	4,88
4	5,71	5,71
5	6,73	6,48
6	8,20	7,16
7	12,91	7,24
8	14,21	7,32
9	14,59	7,50
10	16,45	7,54
11	19,39	7,62
12	22,00	7,70
13	23,58	7,98
14	29,31	8,07
15	29,55	8,89
16	30,73	9,17
17	31,43	10,71
18	33,97	11,84
19	47,04	13,74
20	80,83	15,05
\bar{x}	21,85	8,01
S	18,46	3,09
IC*	21,85 \pm 10,48	8,01 \pm 1,75

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

A quantificação de biomassa e carbono na vegetação do sub-bosque realizada por RESENDE, MERLIN e SANTOS (2001) levou em consideração os indivíduos com DAP inferior a 15 cm, fato este que levou as estimativas médias de biomassa e carbono para a Floresta de Terra Firme e Floresta Alagável realizadas pelos autores referenciados serem de praticamente 2,5 vezes áquelas geradas no presente trabalho.

A biomassa e o carbono da vegetação do sub-bosque para a Floresta de Terra Firme apresentaram valores médios de 44,91 e 20,66 Mg ha^{-1} , respectivamente, enquanto que para a Floresta Alagável 47,13 e 20,91 Mg ha^{-1} , valores estes superiores à Floresta de Terra Firme, sendo o contrário ao que se poderia imaginar (RESENDE, MERLIN e SANTOS, 2001). A ocorrência de uma alta densidade de indivíduos de pequeno porte, evidenciava que na Floresta de Terra Firme tivesse uma maior quantidade de biomassa e carbono orgânico, enquanto que a Floresta Alagável por estar sujeita a inundações periódicas apresentava uma menor quantidade de indivíduos.

TABELA 17 – CARBONO ORGÂNICO NO SUB-BOSQUE E SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg ha⁻¹) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Sub-bosque	Serapilheira
1	0,83	0,99
2	1,12	1,02
3	2,03	1,93
4	2,20	2,23
5	2,61	2,49
6	3,16	2,58
7	5,02	2,79
8	5,44	2,80
9	5,75	2,83
10	6,61	2,84
11	7,36	2,87
12	9,20	2,89
13	9,42	2,96
14	11,99	3,09
15	12,39	3,61
16	12,44	3,67
17	12,52	4,05
18	13,20	4,19
19	19,17	5,20
20	31,77	6,07
\bar{x}	8,71	3,06
S	7,36	1,21
IC*	8,71 ± 4,18	3,06 ± 0,69

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

Em relação a serapilheira acumulada, as Tabelas 16 e 17 evidenciam as diferenças de biomassa e carbono orgânico entre as unidades amostrais. Nesse sentido, de acordo com O'CONNELL e SANKARAN (1997), a variação na quantidade de serapilheira acumulada nos solos florestais entre as diferentes plantações tropicais expressa a influência dominante das características das espécies, idade dos povoamentos, taxa de incremento, condições climáticas, propriedades do solo, bem como do estágio sucessional. Taxas de serapilheira acumulada em solo estabelecidos com espécies florestais podem variar significativamente entre diferentes espécies no mesmo sítio, conseqüentemente ocorre uma variação do carbono orgânico.

Além do estágio sucessional e dos fatores citados acima, outros podem influenciar na serapilheira acumulada, conforme O'CONNELL e SANKARAN (1997): baixo nível de nutrientes na serapilheira e no solo; condições desfavoráveis para a

decomposição como déficit de água no solo e na serapilheira, temperaturas muito altas ou baixas, pH alto ou baixo; propriedades físico-químicas da serapilheira como folhas, conteúdo de substâncias (lignina, celulose, hemicelulose); baixa densidade da população de organismos decompositores e época de coleta.

As quantidades médias de serapilheira acumulada e carbono orgânico (Tabelas 16 e 17) não foram similares às aquelas observadas por GOLLEY et al. (1978) em uma floresta secundária, Panamá. CUNHA (1997) realizou estudo de biomassa na serapilheira acumulada em Floresta Estacional (RS), em diferentes estágios de sucessão: capoeira com 13 anos, capoeirão com 19 anos e floresta secundária com mais de 30 anos, nas quais foram encontrados os seguintes valores: 4,2 Mg ha⁻¹, 5,6 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹, respectivamente.

BRUN et al. (2001) na Floresta Estacional Decidual (RS), também realizaram a quantificação de biomassa da serapilheira acumulada em diferentes estágios sucessionais. Foram considerados os seguintes estágios de sucessão e a quantidade de serapilheira acumulada: capoeirão (5,1 Mg ha⁻¹), floresta secundária (5,7 Mg ha⁻¹) e floresta madura (7,1 Mg ha⁻¹).

FLOSS, CALDATO e BOHNER (1999) tiveram como objetivo estimar a produção anual e a taxa de decomposição da serapilheira na Floresta Ombrófila Mista em Caçador, SC. A floresta foi dividida em dois tipos de estágios: I com a predominância da *Araucaria angustifolia* no dossel e II estágio mais avançado e locais onde a diversidade de espécies é maior com a predominância de outras espécies no estrato superior. Nesse contexto, ao comparar os resultados obtidos conforme se observa na Tabela 16, com os resultados obtidos pelos autores acima referenciados, os quais obtiveram para o Tipo Florestal I e para o Tipo Florestal II, os valores de 9,69 Mg.ha⁻¹ e 7,52 Mg ha⁻¹ de serapilheira acumulada, respectivamente. Pode verificar que os valores encontrados no presente trabalho foram semelhantes aos dos autores acima referenciados.

Quantidades significativas de nutrientes e carbono orgânico podem retornar ao solo através da queda de componentes senescentes da parte aérea das plantas e sua posterior decomposição. Portanto, serapilheira é considerada como a principal via de

transferência de C e nutrientes para o solo, tornando assim importante a sua quantificação.

Conforme a Tabela 17, o valor encontrado de biomassa de carbono orgânico na serapilheira acumulada é similar aos valores encontrados por RESENDE, MERLIN e SANTOS (2001) para as Floresta Alagável, Floresta de Terra Firme e Cerrado, na Ilha do Bananal, TO. A quantidade de carbono orgânico determinado foi de: 3,89; 4,54 e 2,56 Mg ha⁻¹ respectivamente, na Floresta Alagável, Floresta de Terra Firme e Cerrado.

Estudo realizado por WATZLAWICK et al. (2002a) na Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro constatou não existir diferença marcante na quantidade de carbono na serapilheira acumulada entre os diferentes estágios sucessionais, possuindo 2,99; 3,30 e 2,90 Mg ha⁻¹ respectivamente no estágio inicial, intermediário e avançado na floresta. Portanto, a queda de folhas e galhos, é um processo fisiológico complexo influenciado por fatores internos e externos como luz, umidade, temperatura, vento, fatores edáficos, poluentes atmosféricos, insetos, doenças, competição entre folhas novas e velhas (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996), fator genético (ZANCHETA; TIMONI, 1993), geadas e em função da disponibilidade de água.

A deficiência de informações sobre a quantificação de biomassa e carbono abaixo do solo (raízes), serapilheira e na vegetação do sub-bosque, principalmente em florestas naturais dificulta a estimativa precisa do estoque total de biomassa e de carbono em um ecossistema florestal. Desta forma, é imprescindível que estudos sejam feitos no sentido de elucidar a porção representada pela biomassa e pelo carbono fixado pelos diferentes tipos de florestas, bem como nos diferentes componentes da biomassa, possibilitando-se assim comparações entre os diferentes ecossistemas florestais.

4.3 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM

A correção geométrica foi realizada com o método do vizinho mais próximo, com polinômio de transformação de 1º grau (Transformação Afim no Plano), utilizando 11 pontos de controle os quais geraram um RMS (erro médio quadrático) de 0,99 m,

podendo ser observado na Tabela 18. Ao utilizar os 4 pontos restantes para fins de verificar a correção da imagem, todos os pontos apresentaram erros inferiores a 1 pixel (4 metros), conforme Tabela 19. Com os resultados obtidos e apresentados tanto na correção geométrica como na verificação da mesma podem ser considerados como satisfatórios para a realização do trabalho.

TABELA 18 – COORDENADAS DOS PONTOS UTILIZADOS NA CORREÇÃO E RESÍDUOS OBTIDOS NO AJUSTAMENTO, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Ponto Nº	COORDENADAS DE CAMPO – GPS (m)		COORDENADAS NA IMAGEM S/ AJUSTAMENTO		COORDENADAS NA IMAGEM AJUSTADAS		RESÍDUOS	
	x	y	Linha	Coluna	Linha	Coluna	Linha	Coluna
	1	464658	7078956	1665	2021	1664,61	2020,90	- 0,39
2	458060	7079836	22	1796	21,93	1795,98	- 0,07	- 0,02
3	464156	7081702	1538	1326	1540,41	1326,65	2,41	0,65
4	465654	7083153	1911	963	1910,03	962,73	- 0,97	- 0,27
5	461307	7076588	836	2605	835,92	2604,96	- 0,08	- 0,04
6	462147	7082720	1047	1071	1045,26	1070,63	- 1,74	- 0,37
7	459083	7084156	281	712	281,02	712,01	0,02	0,01
8	461403	7086704	861	75	861,17	75,12	0,17	0,12
9	459379	7081176	356	1458	356,48	1458,15	0,48	0,15
10	465079	7086572	1780	107	1780,22	107,06	0,22	0,06
11	461467	7084764	877	560	876,96	559,81	- 0,04	- 0,19

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

TABELA 19 – COORDENADAS DOS PONTOS UTILIZADOS NA VERIFICAÇÃO DO AJUSTAMENTO REALIZADO E RESÍDUOS, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Ponto Nº	COORDENADAS DE CAMPO – GPS (m)		COORDENADAS AJUNTADAS NA IMAGEM (m)		RESÍDUOS (m)	
	x	y	Linha	Coluna	Linha	Coluna
	1	462034	7079944	462036	7079947,5	2
2	463409	7084528	463406,7	7084526,1	- 2,3	- 1,9
3	461767	7077889	461770,4	7077891,1	3,4	2,1
4	465623	7080196	465626,3	7080199,5	3,3	3,5

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a realização da análise estatística utilizou-se a biomassa e o carbono orgânico da vegetação arbórea dos plantios de *Pinus taeda* (Tabelas 8 e 9), *Araucaria*

angustifolia (Tabelas 10 e 11) e da Floresta Ombrófila Mista Montana (Tabelas 14 e 15).

A primeira etapa foi o desenvolvimento da análise de correlação entre os dados mensurados em cada tipologia florestal e os dados espectrais nas diferentes bandas do satélite IKONOS II, bem como os diferentes índices de vegetação adotados. A segunda etapa consistiu no desenvolvimento e obtenção de análise de regressão nas diferentes tipologias referidas anteriormente.

4.4.1 Análise de Correlação

A utilização da matriz de correlação visa determinar o grau de associação entre variáveis. As matrizes de correlação que serão apresentadas a seguir, relacionam como variáveis dependentes a biomassa arbórea (BIO) e o carbono orgânico arbóreo (CARB) e como variáveis independentes as respostas espectrais das diferentes bandas e índices de vegetação das imagens provenientes do satélite, tais como: MS-1 (banda azul); MS-2 (banda verde); MS-3 (banda vermelha); MS-4 (banda infravermelha); RAZÃO (razão entre a banda MS-4/MS-3); NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) e SAVI (índice de vegetação ajustado para o solo).

Conforme se pode verificar nas Tabelas 20, 21 e 22, na análise das matrizes de correlação, as variáveis dendrométricas biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo apresentam as maiores correlações negativas com as variáveis espectrais MS-4, RAZÃO de bandas, NDVI e SAVI. A variável espectral MS-3 apresentou um grau de correlação médio tanto para a biomassa como para o carbono, já as variáveis MS-1 e MS-2 apresentaram baixas correlações.

TABELA 20 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E VARIÁVEIS DIGITAIS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

	BIO	CARB	MS-1	MS-2	MS-3	MS-4	RAZÃO	NDVI
MS-1	- 0,39	- 0,40						
MS-2	- 0,36	- 0,36	0,13					
MS-3	- 0,56	- 0,55	0,20	- 0,10				
MS-4	- 0,72	- 0,72	0,35	0,02	0,11			
RAZÃO	- 0,75	- 0,74	- 0,01	- 0,09	0,23	0,75		
NDVI	- 0,80	- 0,79	- 0,08	- 0,13	0,46	0,64	0,95	
SAVI	- 0,70	- 0,70	0,60	- 0,04	0,59	0,54	0,46	0,64

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

TABELA 21 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E VARIÁVEIS DIGITAIS EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

	BIO	CARB	MS-1	MS-2	MS-3	MS-4	RAZÃO	NDVI
MS-1	- 0,20	- 0,22						
MS-2	- 0,24	- 0,23	0,40					
MS-3	- 0,56	- 0,52	- 0,58	- 0,04				
MS-4	- 0,82	- 0,79	- 0,12	0,44	- 0,80			
RAZÃO	- 0,77	- 0,75	0,21	0,46	0,65	0,86		
NDVI	- 0,60	- 0,55	- 0,17	0,04	0,77	0,72	0,57	
SAVI	- 0,67	- 0,65	0,18	0,65	0,39	0,64	0,75	0,48

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

TABELA 22 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E VARIÁVEIS DIGITAIS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

	BIO	CARB	MS-1	MS-2	MS-3	MS-4	RAZÃO	NDVI
MS-1	- 0,27	- 0,31	1,00					
MS-2	- 0,36	- 0,31	0,03	1,00				
MS-3	- 0,58	- 0,60	0,18	0,47	1,00			
MS-4	- 0,80	- 0,79	0,38	0,46	0,56	1,00		
RAZÃO	- 0,71	- 0,69	0,05	0,39	0,47	0,76	1,00	
NDVI	- 0,74	- 0,73	0,37	0,53	0,56	0,75	0,84	1,00
SAVI	- 0,77	- 0,77	0,35	0,33	0,45	0,82	0,57	0,65

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Os resultados obtidos para a variável biomassa arbórea (BIO) são semelhantes aos encontrados para o carbono orgânico arbóreo (CARB), o que era de se esperar

devido as duas variáveis apresentarem uma alta relação, isto ocorre devido ao uso de um fator para o cálculo de carbono.

Os índices de vegetação testados (RAZÃO, NDVI e SAVI) apresentaram alta correlação a qual é justificada em função de sua composição utilizar-se às bandas espectrais na região do espectro eletromagnético referente ao vermelho (MS-3) e a região do infravermelho (MS-4), sendo respectivamente uma região de forte absorção e de máxima reflectância. É importante ressaltar que a região espectral referente ao verde (MS-2) também é uma região de reflectância, porém baixa.

As respostas espectrais da vegetação tanto na região referente ao vermelho, quanto do infravermelho, são variáveis. Na região do vermelho a resposta espectral depende da quantidade e do tipo de pigmentos, já na região do infravermelho depende de interação da energia incidente com a estrutura celular (mesófilo) e a quantidade de água na folha. MORAES (1996) afirma que fatores externos à folha podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância nesta região. Conforme LILLESAND e KIEFER (1994) florestas com espécies folhosas possuem maior reflectância tanto na região do infravermelho como do vermelho, do que florestas com espécies de coníferas, em função das folhosas apresentarem uma maior variabilidade de pigmentos e estruturas celulares.

Para os plantios de *Pinus taeda*, conforme se verifica na Tabela 20, a maior correlação foi verificada na variável independente do índice de vegetação NDVI, com os valores de correlação de - 0,80 e - 0,79, correspondendo à biomassa arbórea e ao carbono orgânico arbóreo, respectivamente.

Nas Tabelas 21 e 22, referentes aos plantios de *Araucaria angustifolia* e da Floresta Ombrófila Mista Montana, pode-se verificar que ambas tiveram um comportamento diferente dos plantios de *Pinus taeda*. A maior correlação é verificada com relação à variável MS-4 (infravermelho próximo no espectro eletromagnético), possuindo valores de correlação de - 0,82 e - 0,80 com relação à variável biomassa arbórea para os plantios de *Araucaria angustifolia* e Floresta Ombrófila Mista Montana respectivamente, já a variável correspondente ao carbono orgânico arbóreo apresenta para ambos o mesmo valor de correlação, de - 0,79.

Observa-se nas Tabelas 21 e 22, que os resultados das matrizes de correlação tanto para os plantios de *Araucaria angustifolia*, como para a Floresta Ombrófila Mista Montana possuem comportamento espectral da reflectância semelhante, contrariando a afirmação realizada por LILLESAND e KIEFER (1994). Este comportamento pode-se em função das copas das árvores nos plantios de *Araucaria angustifolia* não serem totalmente fechadas, ficando espaços entreabertos entre as mesmas, permitindo-se assim com que a vegetação arbustiva, a qual é composta por espécies folhosas que apresentam uma grande variabilidade de espécies, contribua aditivamente ao comportamento da reflectância espectral do pixel.

4.4.2 Análise de Regressão

As análises de regressão entre as variáveis dendrométricas com as variáveis digitais, foram feitas pelo método do ajuste de equações de regressão múltiplas, utilizando o método *Stepwise*. Procurou-se assim otimizar o processo de seleção das variáveis independentes (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, RAZÃO, NDVI e SAVI), visando obter um ajuste das variáveis que melhor expliquem as variáveis dependentes (biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo). Diferentes modelos também foram testados utilizando-se todas as variáveis independentes, bem como cada variável independente relacionada com a variável dependente (BIO e CARB).

Os ajustes das equações foram realizados separadamente para os plantios de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e para a Floresta Ombrófila Mista Montana. Por isso as informações serão apresentados a seguir por cada tipologia.

Para selecionar a melhor equação, dentre os vários modelos testados e ajustados, utilizou-se as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, distribuição de resíduos e teste de F da análise de variância.

4.4.2.1 Ajuste e Seleção de Equações de Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de *Pinus taeda*

Nas Tabelas 23 e 24, pode-se verificar as equações ajustadas para estimativas de biomassa arbórea e o carbono orgânico arbóreo respectivamente. Comparando-se os resultados referentes aos ajustes, percebe-se que os modelos que utilizam o método de seleção de variáveis *stepwise* (equações nº1) apresentaram melhores ajustes para os dados, tanto de biomassa como de carbono, pois ambos apresentavam os maiores coeficientes de determinação, sendo para biomassa arbórea 0,84 e para o carbono orgânico arbóreo 0,83.

Ao utilizar o erro padrão da estimativa como critério para a seleção, sendo escolhida aquela equação que apresentar o menor valor, desta forma pode-se dizer que novamente o método *stepwise* apresentou os melhores resultados, tanto para biomassa arbórea (20,39%) como para o carbono orgânico arbóreo (20,92%). Verifica-se também que os valores de F calculados para o método *stepwise* apresentam significância ao nível de 5% de probabilidade.

Os ajustes utilizando-se todas as variáveis independentes (7) não foram possíveis de serem realizados em função do número de variáveis independentes ser igual ao número de observações (7). Também não foram possíveis os ajustes de modelos utilizando-se as variáveis MS-1 e MS-2, individualmente.

TABELA 23 – MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL BIOMASSA ARBÓREA ($BIO = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Modelo de Regressão	F	R ² _{Ajust}	Syx	Syx (%)
1	6019,0623 - 5098,2223.(NDVI) - 68717,7106.(MS-2) - 10038,4001.(MS-1)	11,33*	0,84	62,88	20,39
2	1682,8240 - 42936,7978.(MS-3)	2,23	0,17	142,20	46,12
3	1242,5307 - 4073,1066.(MS-4)	5,33	0,41	119,02	38,61
4	1318,6082 - 135,0027.(RAZÃO)	6,35	0,47	113,46	36,80
5	3145,9248 - 3929,1306.(NDVI)	8,64*	0,56	104,51	33,90
6	1479,3092 - 3233,3642.(SAVI)	4,81	0,39	122,09	39,60

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Avaliando os resultados das regressões selecionadas (método *stepwise*), pode-se constatar pela distribuição dos resíduos padronizados entre os valores medidos da variável dependente e os valores estimados, a ocorrência de pontos isolados, conforme se observa nos Gráficos 2 e 3. Justifica-se a presença destes pontos devido ao número reduzido de pares de dados utilizados para gerar o ajuste, e dentre estes existir valores discrepantes, necessitando um maior número de informações para gerar um melhor ajuste.

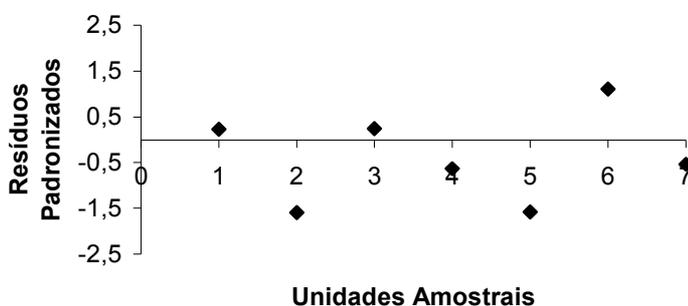
TABELA 24 – MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ($CARB = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Modelo de Regressão	F	R ² _{Ajust}	Syx	Syx (%)
1	2515,0973 - 1894,4799.(NDVI) - 28855,8915.(MS-2) - 14271,6196.(MS-1)	10,79*	0,83	26,84	20,92
2	698,8845 - 17823,8816.(MS-3)	2,19	0,16	59,52	46,39
3	519,9049 - 1707,3679.(MS-4)	5,41	0,42	49,49	38,57
4	547,0322 - 55,9541.(RAZÃO)	6,15	0,46	47,82	37,27
5	1301,6633 - 1624,7121.(NDVI)	8,21*	0,54	43,94	34,25
6	613,8228 - 1340,6330.(SAVI)	4,68	0,38	51,32	40,01

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

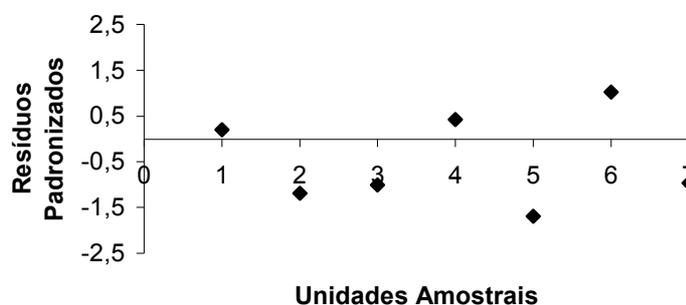
* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

GRÁFICO 2 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DA REGRESSÃO SELECIONADA PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DA REGRESSÃO SELECIONADO PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

4.4.2.2 Ajuste e Seleção de Equações de Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*

Os resultados obtidos para os ajustes das equações realizadas para os povoamentos de *Araucaria angustifolia* são bastante semelhantes aos obtidos para *Pinus taeda*. Dentre os modelos testados, também os modelos utilizando o método *stepwise*, foram os melhores, tanto para a biomassa arbórea como para o carbono orgânico arbóreo. Porém, as diferenças ocorreram relacionadas as variáveis selecionadas que compõem o modelo, a variável NDVI foi substituída pela MS-4. As Tabelas 25 e 26 apresentam os resultados das equações ajustadas para gerar estimativas da biomassa arbórea e o carbono orgânico arbóreo, respectivamente.

Foram selecionadas como as melhores equações (nº 1), tanto para a biomassa como para o carbono, levando-se em consideração as mesmas possuir os maiores coeficientes de determinação com os valores de 0,89 e 0,85, bem como os menores valores de erro padrão da estimativa para a biomassa arbórea (23,73%) e carbono orgânico arbóreo (28,50%). Ressalta-se que os valores de F calculados possuem uma significância de 5% de probabilidade.

Os ajustes das equações utilizando-se todas as variáveis independentes, também não foram possíveis, pelo mesmo motivo que nos povoamentos de *Pinus taeda*.

Também não foram possíveis os ajustes de modelos utilizando-se as variáveis MS-1 e MS-2, separadamente.

TABELA 25 – MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL BIOMASSA ARBÓREA ($BIO = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Modelo de Regressão	F	R ² _{Ajust}	Syx	Syx (%)
1	2344,9912 - 5408,4550.(MS-4) - 59710,0585.(MS-1) + 43030,1002.(MS-2)	14,32*	0,89	53,69	23,73
2	2869,8362 - 75021,8942.(MS-3)	2,28	0,18	153,15	67,67
3	2290,7645 - 8329,5136.(MS-4)	9,98*	0,59	106,80	47,20
4	1135,7843 - 86,3280.(RAZÃO)	7,22*	0,51	118,23	52,25
5	2296,6459 - 2406,6306.(NDVI)	2,81	0,23	147,89	65,35
6	1831,3441 - 3769,2024.(SAVI)	4,12	0,34	136,85	60,47

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 26 – MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ($CARB = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

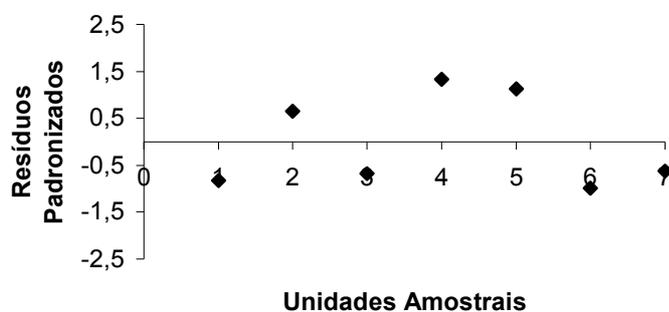
Nº	Modelo de Regressão	F	R ² _{Ajust}	Syx	Syx (%)
1	987,6234 - 2229,3905.(MS-4) - 27074,6911.(MS-1) + 18721,0345.(MS-2)	9,81*	0,85	27,63	28,50
2	1161,0528 - 30082,7323.(MS-3)	1,88	0,12	67,65	69,78
3	954,4297 - 3451,7853.(MS-4)	8,18*	0,54	48,88	50,41
4	477,7004 - 35,9930.(RAZÃO)	6,29	0,46	52,81	54,47
5	917,7581 - 948,0914.(NDVI)	2,18	0,16	66,26	68,34
6	769,4061 - 1575,9437.(SAVI)	3,75	0,31	59,99	61,87

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

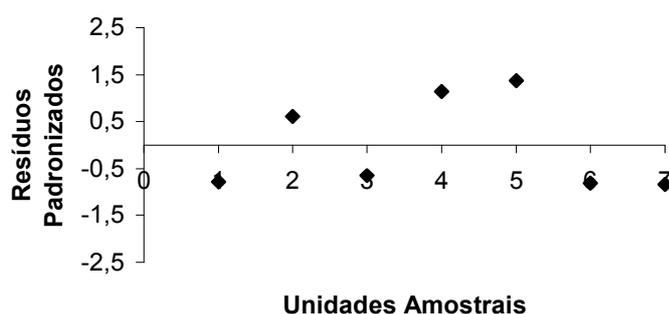
As distribuições dos resíduos padronizados das equações selecionadas estão apresentados nos Gráficos 4 e 5. Pode-se observar pontos isolados, os quais prejudicam o ajuste, justifica-se pela mesma razão com o que ocorreu nos povoamentos de *Pinus taeda*.

GRÁFICO 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DE REGRESSÃO SELECIONADO PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

GRÁFICO 5 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO DE REGRESSÃO SELECIONADO PARA ESTIMAR O CARBONO ARBÓREO EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

4.4.2.3 Ajuste e Seleção de Equações de Biomassa e Carbono Orgânico Arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana

Na seleção e ajuste das equações para gerar as estimativas de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana, obteve-se um comportamento diferenciado dos povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, visto que a mesma possui um número maior de observações (20), podendo-se assim gerar modelos utilizando-se todas as variáveis independentes juntas. Ressalta-se que foi possível realizar o ajuste individual para cada variável independente.

Os resultados estatísticos do ajuste das funções testadas para a Floresta Ombrófila Mista Montana são apresentados nas Tabelas 27 e 28. Para ambas Tabelas os modelos nº 1 e 2 mostraram melhores ajustes, com coeficientes de determinação superiores a 0,70 e menores valores do erro padrão da estimativa. Sem mostrar uma diferença significativa entre os modelos, pode-se considerar que as equações nº 2 (utilizando o método *stepwise*), foram as melhores. A escolha levou em consideração o coeficiente de determinação superior e erro padrão da estimativa inferior serem levementes melhores nos ajustes dos dados, bem como apresentaram uma melhor distribuição dos resíduos.

Com a análise das Tabelas 27 e 28, pode-se perceber, à primeira vista que os modelos nos quais a variável independente é formada por MS-4, bem como utilização do método *stepwise*, o qual selecionou como variáveis independentes o MS-4, SAVI e NDVI, permitem bons ajustes dos modelos, fato este facilmente explicado devido à variável MS-4 (infravermelho próximo) estar estreitamente relacionada com a vegetação (interação da energia incidente com a estrutura celular e a quantidade de água na folha).

TABELA 27 – MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL BIOMASSA ARBÓREA ($BIO = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº	Modelo de Regressão	F	R ² _{Ajust}	Syx	Syx (%)
1	3301,7568 + 6284,8662.(MS-1) + 7755,8697.(MS-2) - 10547,9589.(MS-3) - 2005,2401.(MS-4) - 7,5451.(RAZÃO) - 2097,5826.(NDVI) - 1669,5917.(SAVI)	5,19**	0,71	113,96	30,87
2	3433,3835 - 2286,5529.(MS-4) - 2174,4045.(NDVI) - 1627,3167.(SAVI)	13,71**	0,73	98,43	22,59
3	728,4601 - 19404,6326.(MS-1)	1,40	0,02	227,25	61,55
4	1024,0111 - 21123,9864.(MS-2)	2,64	0,08	220,31	59,68
5	1231,9013 - 34972,4901.(MS-3)	9,20**	0,30	191,90	51,98
6	1835,6299 - 5881,4361.(MS-4)	32,01**	0,67	141,54	38,34
7	1606,1715 - 117,3002.(RAZÃO)	18,28**	0,47	166,17	45,01
8	4737,0448 - 5329,7874.(NDVI)	22,35**	0,53	157,58	42,69
9	2085,2693 - 3921,5884.(SAVI)	25,98**	0,57	150,94	40,89

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

TABELA 28 – MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS E AJUSTADOS PARA ESTIMAR A VARIÁVEL CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ($CARB = \beta_0 + \beta_1(MS-1) + \beta_2(MS-2) + \beta_3(MS-3) + \beta_4(MS-4) + \beta_5(RAZÃO) + \beta_6(NDVI) + \beta_7(SAVI)$) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

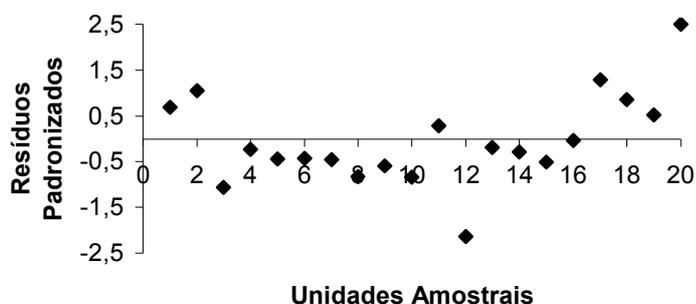
Nº	Modelo de Regressão	F	R ² _{Ajust}	Syx	Syx (%)
1	1368,2739 + 1390,2258.(MS-1) + 4782,1924.(MS-2) - 5688,4445.(MS-3) - 807,5335.(MS-4) - 2,4135.(RAZÃO) - 865,1181.(NDVI) - 720,7273.(SAVI)	5,33**	0,71	48,32	32,05
2	1413,7854 - 937,7168.(MS-4) - 732,6434.(SAVI) - 864,6647.(NDVI)	13,10**	0,75	33,21	22,13
3	326,9066 - 9513,4005.(MS-1)	1,93	0,04	94,75	62,85
4	390,3755 - 7729,6014.(MS-2)	1,92	0,05	94,81	62,89
5	524,3028 - 15142,3195.(MS-3)	9,92**	0,31	80,09	53,12
6	766,0470 - 2467,6959.(MS-4)	30,75**	0,68	60,59	40,19
7	657,6408 - 48,0656.(RAZÃO)	16,19**	0,44	72,35	47,99
8	1968,3458 - 2217,8638.(NDVI)	20,87**	0,52	67,86	45,01
9	877,6503 - 1661,0740.(SAVI)	26,25**	0,57	63,60	42,18

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

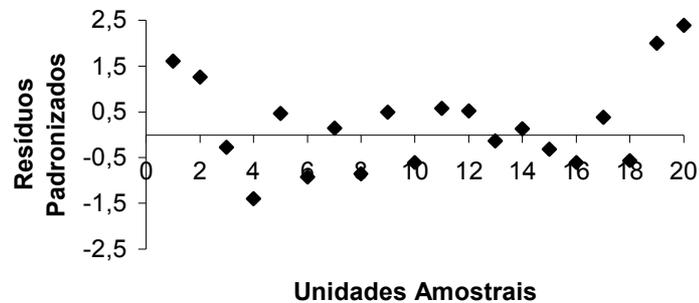
As análises gráficas da distribuição dos resíduos, conforme pode-se visualizar nos Gráficos 6 e 7, utilizando-se todas as variáveis para o ajuste dos modelos, e nos Gráficos 8 e 9 utilizando-se o método *stepwise*, pode-se perceber que os modelos utilizando-se o método *stepwise* apresentam uma distribuição dos resíduos mais uniforme, sem tendenciosidade, justificando-se assim a escolha dos mesmos para gerar as estimativas de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo.

GRÁFICO 6 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO UTILIZANDO TODAS AS VARIÁVEIS PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



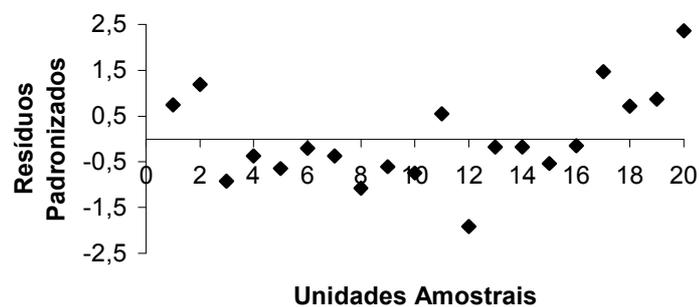
FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

GRÁFICO 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO *stepwise* (Nº 2) PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



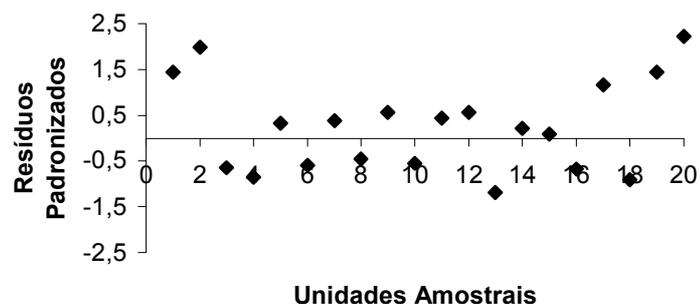
FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

GRÁFICO 8 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO UTILIZANDO TODAS AS VARIÁVEIS PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

GRÁFICO 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO *stepwise* PARA ESTIMAR O CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001



FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

4.5 MAPEAMENTO DA BIOMASSA E O ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO

No presente estudo um dos objetivos é o referenciamento geodésico espacialização e quantificação da biomassa e o carbono orgânico arbóreo na área de estudo, apresentando o mapeamento dos povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e da Floresta Ombrófila Mista Montana em função da aplicação dos modelos matemáticos ajustados para as variáveis biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo.

Utilizando as equações ajustadas e selecionadas foram geradas novas imagens, onde cada pixel passou a representar a quantidade estimada da variável biomassa arbórea ou carbono orgânico arbóreo.

No mapeamento foram utilizados intervalos de classes para fins de melhor avaliar e verificar a aplicação e a interação dos modelos matemáticos com as imagens, os quais tiveram por bases os levantamentos realizados em campo.

As Tabelas 29 e 30 apresentam a comparação dos resultados de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo para os povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Para obtenção dos valores reais foi realizada a classificação dos povoamentos da área de estudo, nas mesmas classes de produção (Mg ha^{-1}), conforme consta nas Tabelas, levando-se em consideração informações fornecida pela empresa, tais como: idade, densidade, espécie e condições de manejo, bem como mapas confeccionados pela empresa AEROSAT (2000), nos quais consta as informações de área e idade em cada povoamento. De posse dos povoamentos classificados, os mesmos foram agrupados nas classes consideradas, calculando-se a quantidade de área existente em cada classe de produção (Mg ha^{-1}).

As estimativas foram obtidas após a aplicação dos modelos selecionados para cada tipologia florestal, classificada dentro de cada intervalo de classe considerada, realizando-se após a quantificação em área das mesmas, conforme consta nas Tabelas 29 e 30.

TABELA 29 – BIOMASSA ARBÓREA REAL E ESTIMADA EM HECTARE (ha) NOS POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* E *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Classe (Mg ha ⁻¹)	Área de <i>Pinus taeda</i>		Classe (Mg ha ⁻¹)	Área de <i>Araucaria angustifolia</i>	
	Real (ha)	Estimada (ha)		Real (ha)	Estimada (ha)
50 – 220	218,02	220,39	50 – 220	12,21	6,27
220 – 390	348,16	318,89	220 – 390	74,50	75,98
> 390	0,00	11,06	> 390	0,00	1,35
TOTAL	566,18	550,34	TOTAL	86,71	83,60

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

TABELA 30 – CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO REAL E ESTIMADO EM HECTARE (ha) NOS POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* E *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Classe (Mg ha ⁻¹)	Área de <i>Pinus taeda</i>		Classe (Mg ha ⁻¹)	Área de <i>Araucaria angustifolia</i>	
	Real (ha)	Estimada (ha)		Real (ha)	Estimada (ha)
20 – 70	218,02	214,11	20 – 70	12,21	6,63
70 – 120	348,16	352,83	70 – 120	74,50	79,58
> 120	0,00	6,59	> 120	0,00	1,49
TOTAL	566,18	573,53	TOTAL	86,71	87,70

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Pode-se observar nas Tabelas 29 e 30 que as diferenças totais quanto a área mapeada (real) e estimada com a utilização dos modelos, tanto na biomassa como no carbono orgânico, foram pequenas, sendo que para biomassa ocorreu uma subestimativa de 2,79% e 3,58%, e para o carbono orgânico uma superestimativa de 1,29% e 1,14%, respectivamente para os povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Os erros tanto de subestimativa como de superestimativa podem decorrer em função dos mapas utilizados terem sido confeccionados em 2000, que utilizou fotográfica aérea de 1992, podendo ter ocorrido erros de interpretação na etapa de mapeamento. Os erros, também podem ser decorrentes do processo de digitalização (interpretação visual) realizada no presente trabalho.

Nas diferenças dentro dos intervalos de classes (Mg ha⁻¹), deve-se chamar a atenção para os valores referentes a primeira classe nos povoamentos de *Araucaria angustifolia*, tanto nas estimativas de áreas para a biomassa arbórea como para o carbono orgânico arbóreo, que apresentam valores subestimados de 48,65% e 45,70%, respectivamente. Esta diferença ocorre em povoamentos que possuem as copas das árvores entreabertas e abaixo das mesmas existir vegetação arbustiva composta por

espécies folhosas, as quais contribuem aditivamente na reflectância espectral do pixel, ou problemas relacionados a sombras, que podem ter contribuído não fornecendo bons resultados no mapeamento e quantificação nesta classe.

Em relação aos povoamentos de *Pinus taeda* ressalta-se que os mesmos, em função de serem mais homogêneos, apresentaram melhores resultados se comparados aos povoamentos de *Araucaria angustifolia*. Porém nas estimativas de biomassa arbórea a segunda classe apresentou uma subestimativa de 8,41%, resultantes dos espaços entreabertos entre as copas das árvores, decorrentes dos desbastes realizados, permitindo que o solo e a vegetação arbustiva interajam conjuntamente com as árvores de *Pinus taeda*.

Nas áreas dos povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, em função de existirem árvores de espécies diferentes daquelas plantadas, tais como: *Ocotea porosa*, *Nectandra* sp e a *Araucaria angustifolia*. Optou-se por ter uma classe fora dos limites que foram encontrados, com finalidade de verificar se os modelos utilizados poderiam detectar esta variação, estas áreas com estas espécies não estariam sendo contabilizadas, podendo-se excluir as mesmas, bem como possíveis áreas com floresta natural que tenham sido digitalizadas conjuntamente com as áreas dos povoamentos. Pelos resultados encontrados na 3ª classe verifica-se que com a realização do procedimento obteve-se bons resultados.

Os mapeamentos da biomassa e do carbono orgânico arbóreo nos povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* podem ser visualizados nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

Os resultados referentes a Floresta Ombrófila Mista Montana encontram-se na Tabela 31, os quais apresentaram tanto para a biomassa arbórea como para o carbono orgânico arbóreo subestimativas de 2,81% e 3,91%, respectivamente. Os resultados obtidos foram comparados aos informados no relatório de execução planos de manejo florestal (PIZZATO, 1998). A fazenda possui 1.790,60 ha de Floresta Ombrófila Mista Montana manejada e 890,35 ha em áreas de preservação permanente ou reserva legal, as quais totalizam 2.680,95 ha.

TABELA 31 – BIOMASSA E CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO ESTIMADOS EM HECTARE (ha) NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Classe (Mg ha ⁻¹)	Biomassa Arbórea (ha)	Classe (Mg ha ⁻¹)	Carbono Orgânico Arbóreo (ha)
50 – 220	1.263,90	20 – 70	1.264,14
220 – 390	520,43	70 – 120	506,43
390 – 560	405,70	120 - 180	403,54
> 560	415,52	> 180	401,91
TOTAL	2.605,55	TOTAL	2.576,02

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

Pode-se supor que estas diferenças relacionadas para a área total sejam decorrentes de áreas que não tenham sido amostradas ou englobadas no presente trabalho, tais como: áreas de vegetação natural em estágio sucessional inicial, áreas com clareiras existentes no interior da floresta, áreas com sombras na imagem ou que apresentavam cobertura de nuvens, as quais foram desconsideradas.

As comparações relacionadas as classes estimadas com as classes previstas ficam prejudicadas em função de não existir dados, ou mapas com informação dos diferentes estágios de sucessão encontrados, para que se possa realizar comparações mais individualizadas. Optou-se então por realizar comparações com as unidades amostrais realizadas no campo, englobando-as nas mesmas classes utilizadas nas estimativas.

Ao realizar a classificação das 20 unidades amostrais inventariadas em campo, obteve-se tanto para biomassa como para o carbono orgânico os seguintes resultados: 60% das unidades estão na 1ª classe, 10% na 2ª, 15% na 3ª e 15% na 4ª classe. Ao realizar-se a comparação com aos valores estimados, constata-se que para a biomassa arbórea 48,51% está na 1ª classe, 19,97% na 2ª, 15,57% na 3ª e 15,94% na 4ª, e para o carbono orgânico arbóreo 49,07% na 1ª classe, 19,65% na 2ª, 15,66% na 3ª e 15,60% na 4ª. Observa-se que as diferenças ocorrem somente na 1ª e 2ª classes, resultados estes decorrentes talvez em função de diferenças entre os estágios sucessionais serem muito próximos.

Os resultados dos mapeamentos da biomassa arbórea e do carbono orgânico arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana encontram-se nas Figuras 10 e 11.

Através das Figuras 12 e 13 é possível visualizar os resultados obtidos com as aplicações dos modelos nas estimativas de biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo nas plantações florestais de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e na Floresta Ombrófila Mista Montana conjuntamente. Verifica-se que os mapas gerados para a biomassa arbórea e carbono orgânico arbóreo apresentam-se bastante similares, o que é atribuído à alta relação entre essas duas variáveis

Nas Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, na legenda as áreas que constam como “não quantificada”, são devido não ter sido realizado a quantificação da biomassa e o carbono orgânico de áreas com campo, povoamentos jovens, bem como áreas com edificações, em pousio, estradas, com cobertura de nuvens e sombras.

FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NOS POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NOS POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NOS POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NOS POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA ARBÓREA NOS POVOAMENTOS FLORESTAIS DE *Pinus taeda* E *Araucaria angustifolia* E NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO ARBÓREO NOS POVOAMENTOS FLORESTAIS DE *Pinus taeda* E *Araucaria angustifolia* E NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, pode-se dizer que a metodologia utilizada, bem como os objetivos propostos foram alcançados, concluindo-se que:

- As quantificações de biomassa e carbono, mediante a utilização do método destrutivo em plantações de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e na Floresta Ombrófila Mista Montana, apesar de serem extremamente trabalhosas originaram resultados satisfatórios para que todos os objetivos do presente estudo fossem atingidos;
- Para os povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* os estoques de biomassa e carbono arbóreo, arbustivo, na raiz e serapilheira nas diferentes idades consideradas variaram bastante, principalmente em função das diferenças existentes entre as idades, também relacionadas às condições de manejo, como desbastes, desramas e densidade de indivíduos por hectare;
- Os povoamentos de *Pinus taeda* se considerados a biomassa e o carbono em todos os compartimentos, possuem distribuição em média de 80,53% na vegetação arbórea, 1,51% no sub-bosque, 8,08% na serapilheira e 9,88% encontram-se nas raízes, dados estes de biomassa. Para o carbono orgânico os valores são semelhantes, sendo respectivamente 80,18%, 1,81%, 7,68% e 10,32%;
- Nos povoamentos de *Araucaria angustifolia* a distribuição percentual é bastante semelhante, sendo que para a biomassa os valores foram: 80,91%, 1,99%, 2,89% e 14,21%, para o carbono orgânico, 81,22%, 1,79%, 2,61% e 14,38%, respectivamente na vegetação arbórea, arbustiva, na serapilheira e na raiz;
- Na Floresta Ombrófila Mista Montana, os estoques de biomassa e carbono arbóreo, arbustivo, na serapilheira e na raiz também variaram bastante, devido

aos diferentes estágios de sucessão e a composição das espécies, conforme pode-se verificar com os resultados obtidos;

- Os percentuais de distribuição na Floresta Ombrófila Mista Montana foram de 74,96%, 7,78%, 2,86% e 14,40 para a biomassa, e 75,30%, 8,13%, 2,86% e 13,71% para o carbono orgânico, respectivamente na vegetação arbórea, arbustiva, na serapilheira e na raiz;
- De maneira geral fica evidente a importância de quantificação da biomassa e do carbono ser realizada nas diferentes idades em povoamentos florestais e diferentes estágios de sucessão das florestas naturais, bem como nos diferentes componentes de uma árvore e compartimentos do ecossistema florestal;
- A análise estatística mostrou existir uma alta relação entre as variáveis, biomassa arbórea e carbono arbóreo, as quais apresentam uma média correlação com as variáveis digitais. As variáveis que apresentaram melhores correlações foram o MS-4, RAZÃO, NDVI e SAVI;
- Com base nos resultados obtidos nos ajustes das equações selecionadas, podem ser considerados bons em função da quantidade pares de dados utilizados, principalmente em se tratando dos povoamentos de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*;
- Os resultados obtidos no mapeamento e quantificação a partir dos modelos selecionados e aplicados às imagens, demonstraram o potencial da utilização destas ferramentas na quantificação de biomassa e carbono arbóreo;
- As estimativas das variáveis consideradas utilizando dados provenientes das imagens do satélite IKONOS II, mostraram que os valores obtidos das mesmas propiciam realizar a quantificação de biomassa arbórea e carbono arbóreo;

- A realização desta metodologia, utilizando métodos destrutivos e não destrutivos possibilita estimativas em menor tempo, conseqüentemente com menores custos, bem como um mapeamento para áreas com a mesma tipologia, desde que, se disponha de informações prévias (levantamentos de biomassa, carbono e equações) do ecossistema considerado;
- O estudo realizado vem de encontro a carência e a necessidade de informações da quantidade de biomassa e carbono orgânico em povoamentos florestais e na Floresta Ombrófila Mista Montana, os quais não possuem levantamentos com tal envergadura;
- O presente desenvolvimento metodológico reforça ainda mais a utilização das técnicas de sensoriamento remoto em levantamentos florestais, considerando-se principalmente que o estudo foi realizado com imagens provenientes de um sensor de alta resolução. A utilização desta metodologia, vem de encontro a contribuir e subsidiar possíveis ações ligadas a quantificação e ao monitoramento de áreas com potencialidades de projetos de seqüestro de carbono, proporcionando a tomada de decisões e negociações com bases científicas;
- É importante salientar que os resultados deste estudo são válidos somente para o caso de plantações de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e na Floresta Ombrófila Mista Montana, nas condições aqui estudadas e consideradas, pois os resultados podem variar para outros tipos de vegetação e para outros métodos de determinação das variáveis (biomassa e carbono orgânico).

6 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se em estudos semelhantes aumentar a intensidade amostral na determinação utilizando métodos destrutivos, ou realizar uma melhor interação com o desenvolvimento de equações alométricas;
- Realizar estudos na Floresta Ombrófila Mista Montana que contemplem os diferentes estágios de sucessão separadamente, bem como diferentes níveis de intervenção antrópica;
- Sugere-se nos povoamentos florestais desenvolver estudos com as diferentes idades do ciclo de rotação em diferentes espécies;
- Realizar análises verificando a intensidade de vegetação arbustiva em plantações florestais e nas florestas naturais, verificando qual a real interação e contribuição desta no processo de reflectância aditiva;
- Utilizar outros Índices de Vegetação, bem como diferentes imagens provenientes de diferentes sensores, com diferentes resoluções espacial e espectral.

APÊNDICE A – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) DOS COMPONENTES ARBÓREOS NOS POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Componentes				
	Acículas	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca	Madeira
14	455,33	429,03	445,07	406,67	442,17
16	433,40	446,07	435,30	422,23	467,03
19	457,30	432,40	439,70	426,60	455,80
21	441,70	432,97	428,53	399,37	430,27
22	440,73	430,03	437,27	408,57	461,67
23	451,40	431,70	436,80	412,75	453,80
32	463,10	431,00	425,00	366,70	473,30

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

APÊNDICE B – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) NO SUB-BOSQUE, SERAPILHEIRA ACUMULADA E RAIZ NOS POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	g Kg^{-1}		
	Sub-bosque	Serapilheira	Raiz
14	384,21	372,51	462,51
16	391,15	384,29	429,77
19	401,82	384,27	416,64
21	435,42	372,58	412,01
22	381,38	407,69	426,62
23	394,31	369,64	438,31
32	400,30	412,02	420,78

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

APÊNDICE C – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) DOS COMPONENTES ARBÓREOS NOS POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	Componentes				
	Acículas	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca	Madeira
23	446,40	401,03	411,00	401,03	428,03
24	453,87	402,27	399,83	402,27	445,10
25	442,88	401,10	416,10	401,10	444,30
29	432,97	394,93	429,67	394,93	454,87
30	436,80	405,82	421,02	405,82	451,68
31	437,53	369,94	417,48	369,94	419,56
32	430,00	405,17	424,67	405,17	449,03

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

APÊNDICE D – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) NO SUB-BOSQUE, SERAPILHEIRA ACUMULADA E RAIZ NOS POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Idade (anos)	g Kg^{-1}		
	Vegetação Arbustiva	Serapilheira	Raiz
23	391,15	420,71	417,82
24	401,82	371,18	141,94
25	391,56	353,62	372,51
29	372,63	433,92	400,32
30	390,15	379,81	403,21
31	428,19	397,58	432,41
32	382,83	352,16	393,02

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

APÊNDICE E – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg⁻¹) DOS COMPONENTES ARBÓREOS DAS ESPECIES NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Espécie	Componentes					
	Folhagem	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca	Madeira	Miscelânea
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.- Hil. <i>et al.</i>) Radlk.	389,54	398,84	393,03	375,91	408,53	370,62
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	416,45	412,77	432,43	407,21	441,22	272,72
<i>Calyptanthus concinna</i> DC.	394,86	412,75	*-	375,56	403,92	393,74
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	397,81	396,97	387,12	352,23	403,94	383,53
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	416,83	405,18	425,96	351,67	420,23	385,42
<i>Clethra scabra</i> Pers.	416,94	401,70	416,47	409,72	420,75	385,29
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	394,47	402,22	382,75	340,48	409,58	393,73
<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.**	419,55	-	-	-	390,08	409,11
<i>Drimys brasiliensis</i> Miers	370,06	391,51	431,10	425,16	441,21	375,53
<i>Ilex dumosa</i> Reissek	470,43	406,50	423,75	377,46	414,23	403,21
<i>Ilex microdonta</i> Reissek	423,00	421,71	412,00	363,71	416,84	377,89
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St. - Hil.	457,72	414,23	433,93	400,30	420,71	397,82
<i>Ilex theezans</i> Mart.	443,78	418,42	432,41	391,53	412,03	383,74
<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	460,29	425,93	425,17	407,92	427,34	384,20
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	427,31	387,10	404,71	375,43	409,01	406,92
<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	393,00	403,74	394,46	362,38	413,91	387,16
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	438,77	402,43	412,57	388,62	425,09	375,93
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	441,23	409,16	418,82	372,85	413,40	405,49
Morta*	-	-	-	-	420,83	-
<i>Myrcia</i> sp.	449,00	384,58	419,38	356,94	404,23	399,32
<i>Myrsine ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	461,01	422,00	421,51	420,71	412,05	395,72
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	452,22	408,72	452,21	401,99	428,84	388,65
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	401,58	391,34	452,29	378,47	407,62	385,71
<i>Ocotea porosa</i> (Ness & Mart. ex Ness) L. Barroso	458,25	372,78	427,19	411,13	427,62	409,18
<i>Ocotea puberula</i> (A. Rich.) Ness	462,61	428,56	433,94	420,73	420,32	391,57
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	431,78	407,67	362,38	432,45	428,83	393,09
<i>Persea major</i> (Ness) Kopp.	381,36	393,00	403,42	395,64	411,23	395,92
<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén	431,78	414,45	433,91	408,66	426,15	401,31
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schlechtr.) D. Dietr.	473,37	433,94	428,07	404,71	438,36	400,30
<i>Quillaja brasiliensis</i> (A. St.-Hil. et Tul.) Mart.	436,84	403,22	422,26	387,18	428,09	384,49
<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax.	367,75	391,07	402,82	364,28	424,63	349,87
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	413,46	407,62	416,47	353,38	395,92	375,46
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	425,18	403,87	416,42	393,08	414,95	374,65
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	362,34	423,73	384,99	343,39	394,56	368,17
<i>Sloanea lasiocoma</i> K. Schum.	426,65	436,87	410,11	399,57	426,67	374,08
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	413,81	391,58	417,82	377,37	406,52	388,64
<i>Symplocos celastrina</i> Mart. ex Miq.	372,52	401,73	393,81	363,82	419,31	-
<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl)Bent.	426,93	402,14	423,21	386,81	422,27	379,83
<i>Vernonia discolor</i> (Spreng.) Less.	401,74	414,98	436,85	409,12	407,68	388,67
<i>Xylosma</i> sp.	410,16	403,21	401,18	374,90	413,42	400,32

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

* Não foi coletado material devido não existir

** Xaxim, os ramos (galhos) foram coletados juntamente com a folhagem

*** Material foi considerado somente como madeira

APÊNDICE F – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO (g Kg^{-1}) NO SUB-BOSQUE, SERAPILHEIRA ACUMULADA E RAIZ NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA, GENERAL CARNEIRO (PR), 2001

Nº Unidade Amostral	g Kg^{-1}		
	Sub-bosque	Serapilheira	Raiz
1	428,00	378,41	357,90
2	394,44	387,15	394,44
3	385,71	390,18	387,42
4	403,24	384,23	401,70
5	393,00	395,91	368,81
6	379,85	353,58	394,48
7	393,05	390,18	404,71
8	387,18	356,49	393,00
9	401,78	400,38	406,15
10	388,64	389,24	412,32
11	423,74	356,43	369,62
12	395,91	366,72	369,60
13	390,10	378,40	403,20
14	388,67	372,59	425,12
15	361,19	371,11	412,00
16	385,72	403,20	378,48
17	409,00	353,50	374,52
18	382,70	385,72	374,82
19	394,48	406,12	385,76
20	407,64	387,10	404,73

FONTE: WATZLAWICK, Curitiba-PR, 2003.

“O homem não é senão o seu projeto,
e só existe na medida em que se
realiza”

Jean-Paul Sartre

FORMA DE CITAÇÃO:

WATZLAWICK, L.F. Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II. Curitiba: UFPR, 2003. 120f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.