



**Dissertação de Mestrado**

**BIOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA  
ESTACIONAL DECIDUAL, EM SANTA TEREZA, RS**

Eleandro José Brun

**PPGEF**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2004**

**BIOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA  
ESTACIONAL DECIDUAL, EM SANTA TEREZA, RS**

---

**por**

**Eleandro José Brun**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**PPGEF**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2004**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**BIOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA ESTACIONAL  
DECIDUAL, EM SANTA TEREZA, RS**

elaborada por

**Eleandro José Brun**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. nat techn Mauro Valdir Schumacher - UFSM  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira - FURB

---

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick - UNICENTRO

Santa Maria, 25 de setembro de 2004.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo tempo de Bolsa concedida e financiamento parcial desta pesquisa. A todos os colegas, professores e funcionários que, de alguma forma, contribuíram para a execução deste trabalho.

À FAPERGS – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, pelo financiamento concedido.

Ao orientador Professor Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher e aos Professores Dr. Juarez Martins Hoppe, Dr. Solon Jonas Longhi e Dr. Alessandro Dal’Col Lúcio, pelo apoio, dedicação e amizade.

Ao amigo Eng. Ftal. Dr. Sandro Vaccaro e sua família, pela acolhida em sua residência, convívio e incentivo constante na realização deste trabalho e de outros que se seguem.

Aos colegas da Pós-Graduação, pela parceria, e especialmente a Cibele, pela correção de inglês, o meu muito obrigado.

Aos acadêmicos dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Florestal - Robson Schaff Correa, Diogo Fernando Heck, Diógenes Maurice de Oliveira, Darlan Michel Bonacina, Leonardo Zanella Giacomolli, Júlio César Wojciechowski, Ricardo Kilca, Lizandro Bonatto, André Camatti, Jankiel Moreira Rosa, Gelson Pase Dal Ross, Márcio Viera, Jéferson de Oliveira, Antônio Augusto Machado e Cristian Perin -

pelo auxílio na coleta e processamento das amostras e dados desta pesquisa, e a todos os demais colegas que auxiliaram de alguma forma na realização da mesma.

Aos irmãos João, Luiz, Vitória e Marlene Brun, pela liberação de acesso a sua propriedade, permitindo a realização da pesquisa; à família de Paulo Bettinelli, pela calorosa acolhida em sua casa na última fase do trabalho de campo; e especialmente ao Michel, pelo apoio fundamental nos trabalhos de coleta de dados.

Aos meus pais Luiz Antonio e Glaci Maria, aos meus irmãos e irmãs, enfim, a toda a minha família, que sempre me incentivou em meus estudos.

À Flávia, minha noiva e grande fonte de incentivo, constante apoio, amor e dedicação.

Muito Obrigado.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>i</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>001</b>
<b>1.1 Justificativa.....</b>	<b>003</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>004</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>005</b>
<b>2.1 Floresta Estacional Decidual.....</b>	<b>005</b>
<b>2.2 Ciclagem de nutrientes em florestas.....</b>	<b>007</b>
<b>2.3 Acúmulo de biomassa em ecossistemas florestais.....</b>	<b>009</b>
2.3.1 Biomassa acima do solo.....	009
2.3.2 Biomassa abaixo do solo.....	014
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>023</b>
<b>3.1 Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>023</b>
3.1.1 Localização.....	023
3.1.2 Clima.....	025
3.1.3 Solos.....	025
3.1.4 Vegetação.....	026
<b>3.2 Metodologia.....</b>	<b>027</b>
3.2.1 Biomassa acima do solo.....	027
3.2.2 Biomassa abaixo do solo.....	034
3.2.3. Serapilheira.....	036

<b>3.3 Coleta das amostras de solo.....</b>	<b>037</b>
<b>3.4 Processamento das amostras.....</b>	<b>037</b>
3.4.1 Processamento das amostras de biomassa acima do solo.....	037
3.4.2 Processamento das amostras de raízes.....	039
3.4.3 Processamento das amostras de serapilheira.....	040
3.4.4 Processamento das amostras de solo.....	041
<b>3.5 Análises estatísticas.....</b>	<b>041</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>042</b>
<b>4.1. Parâmetros gerais das áreas estudadas.....</b>	<b>042</b>
4.1.1 Caracterização florística e fitossociológica das unidades amostrais.....	042
4.1.2 Caracterização dendrométrica das unidades amostrais.....	049
<b>4.2 Biomassa.....</b>	<b>052</b>
4.2.1 Biomassa acima do solo.....	052
4.2.1.1 Comparação entre as unidades amostrais.....	060
4.2.1.2 Comparação entre as fases sucessionais.....	063
4.2.2 Biomassa abaixo do solo.....	066
4.2.3 Serapilheira acumulada.....	071
<b>4.3 Nutrientes na biomassa.....</b>	<b>075</b>
4.3.1 Teores de nutrientes na biomassa acima do solo.....	075
4.3.2 Quantidade de nutrientes na biomassa acima do solo.....	088
4.3.3 Teores de nutrientes nas raízes.....	092
4.3.4 Quantidade de nutrientes nas raízes.....	096
4.3.5 Teores de nutrientes na serapilheira.....	097
4.3.6 Quantidade de nutrientes na serapilheira.....	100
<b>4.4 Características e estoque de nutrientes no solo.....</b>	<b>101</b>

<b>4.5 Distribuição dos nutrientes nas fases sucessionais.....</b>	<b>110</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>120</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Parâmetros gerais das duas fases sucessionais estudadas. Santa Tereza, RS. 2003.....	024
TABELA 2: Composição florística e fitossociologia quanto aos indivíduos arbóreos (CAP $\geq$ 10,0 cm) abatidos na determinação de biomassa, no capoeirão. Santa Tereza, RS. 2003.....	043
TABELA 3: Composição florística e fitossociologia quanto aos indivíduos arbóreos (CAP $\geq$ 10,0 cm) abatidos na determinação de biomassa, na floresta secundária. Santa Tereza, RS. 2003.....	044
TABELA 4: Composição florística quanto aos indivíduos componentes da regeneração (estrato arbustivo e herbáceo) (CAP: capoeirão; FS: floresta secundária).....	047
TABELA 5: Valores médios, mínimos e máximos das variáveis dendrométricas medidas nos indivíduos do estrato arbóreo ( $\geq$ 10 cm CAP ou 3,18 cm DAP) das duas <i>subseres</i> ou fases sucessionais. Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS. 2003.....	051
TABELA 6: Biomassa acumulada acima do solo (kg ha <sup>-1</sup> ), em sua quantidade total e nas suas diferentes frações, no capoeirão e na floresta secundária. Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS. 2003.....	053
TABELA 7: Variâncias dos dados de biomassa acima do solo, para cada fração, nas diferentes parcelas das duas fases sucessionais, e decisão baseada no Teste de homogeneidade de variâncias.....	061

TABELA 8: Médias de biomassa acima do solo (kg/árvore) obtidas em cada fração das parcelas nas duas fases sucessionais, e hipótese aceita como verdadeira após o teste de comparação de médias.....	063
TABELA 9: Teste de homogeneidade das variâncias entre as duas fases sucessionais (Estrato arbóreo em kg/árvore; demais estratos em kg/parcela).....	064
TABELA 10: Comparação entre as médias das duas fases sucessionais (estrato arbóreo: kg/árvore; demais estratos: kg/parcela).....	066
TABELA 11: Biomassa de raízes finas e grossas (kg ha <sup>-1</sup> ) nas duas fases sucessionais da Floresta Estacional Decidual. Santa Tereza, RS. 2003.....	067
TABELA 12: Serapilheira acumulada sobre o solo (Kg ha <sup>-1</sup> ) das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	072
TABELA 13: Teores de macronutrientes e carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> ) na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	078
TABELA 14: Teores de micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> ) na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	084
TABELA 15: Quantidade de macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> ) na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	089
TABELA 16: Quantidade de micronutrientes na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	091
TABELA 17: Teores de macro (g kg <sup>-1</sup> ) e micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> ) e carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> ) na biomassa de raízes das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	093
TABELA 18: Quantidade de nutrientes na biomassa de raízes finas e grossas (kg ha <sup>-1</sup> ) nas duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	096

TABELA 19: Teores de macro ( $\text{g kg}^{-1}$ ), micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na serapilheira (serapilheira fina + material lenhoso) das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	098
TABELA 20: Quantidade de nutrientes na serapilheira sobre o solo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	100
TABELA 21: Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em função da profundidade nas duas <i>subseres</i> . Santa Tereza, RS. 2003.....	102
TABELA 22: Características do solo das duas <i>subseres</i> de estudo. Santa Tereza, RS. 2003.....	105
TABELA 23: Quantidade de nutrientes disponíveis no solo das duas <i>subseres</i> de estudo. Santa Tereza, RS. 2003.....	109
TABELA 24: Coeficientes de utilização biológica dos nutrientes para a biomassa de folhas, fuste (madeira + casca) e total das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	112
TABELA 25: Distribuição relativa (%) da biomassa e macronutrientes entre os diferentes componentes, para o capoeirão e floresta secundária. Santa Tereza, RS. 2003.....	117
TABELA 26: Distribuição relativa (%) dos micronutrientes entre os diferentes componentes da biomassa viva, para o capoeirão e floresta secundária. Santa Tereza, RS. 2003.....	118

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Localização das áreas de estudo. Santa Tereza, RS.....	023
FIGURA 2: Retirada do estrato herbáceo ( $h < 1,3$ m) (A) e do arbustivo ( $> 1,30$ m de altura e $< 10$ cm de CAP) (B). Santa Tereza, RS. 2003.....	029
FIGURA 3: Retirada do estrato arbóreo (A: derrubada; B: corte de cipós e galhos; C: cubagem com medição de circunferência do tronco). Santa Tereza, RS. 2003.....	030
FIGURA 4: Coleta de biomassa acima do solo (A: retirada das folhas dos galhos vivos; B: pesagem das folhas; C: pesagem da madeira; D: separação casca e madeira; E: pesagem da casca e madeira). Santa Tereza, RS. 2003.....	033
FIGURA 5: Parcela para amostragem de raízes grossas (A); B: escavação para a retirada das raízes e a peneiração (C), que visa separar o solo das raízes escavadas. Santa Tereza, RS. 2003.....	035
FIGURA 6: Densidade de raízes finas ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em função da profundidade do solo nas duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.....	070
FIGURA 7: Distribuição dos nutrientes entre os diferentes compartimentos estudados, para o capoeirão (A) e floresta secundária (B). Santa Tereza, RS. 2003.....	111

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **BIOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL, EM SANTA TEREZA, RS**

Autor: Eleandro José Brun

Orientador: Prof. Dr. nat techn Mauro Valdir Schumacher

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de setembro de 2004.

Foram estimados a biomassa acumulada acima e abaixo do solo em duas fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual (capoeirão e floresta secundária) em Santa Tereza, RS, e as concentrações e quantidades de macro, micronutrientes e carbono orgânico na biomassa, aliadas ao estudo das características físicas e químicas do solo das áreas e ao cálculo da eficiência de utilização dos nutrientes pelas florestas. Com o uso de 03 parcelas aleatórias de 10 m x 10 m em cada área, foram divididos os indivíduos nos estratos: herbáceo, arbustivo, arbóreo e lianas. Todas as frações foram pesadas e subamostradas para análise laboratorial (secagem, pesagem e análise química). A percentagem de casca foi determinada com base na retirada de 3 discos (na base, no meio e no final) de cada tronco. A biomassa acumulada acima do solo foi de 102,3 Mg ha<sup>-1</sup> no capoeirão (2,25% folhas; 20,68% galhos vivos; 0,80% galhos mortos; 49,95% madeira do fuste; 7,51% casca; 0,24% folhas do estrato arbustivo; 3,40% madeira/galhos do estrato arbustivo; 0,92% estrato herbáceo e 14,24% lianas) e, na floresta secundária, de 157,6 Mg ha<sup>-1</sup> (2,23% folhas; 28,37% galhos vivos; 1,94% galhos mortos; 52,41% madeira do fuste; 6,76% casca; 0,19% folhas do estrato arbustivo; 2,65% madeira/galhos do estrato arbustivo; 0,48% estrato herbáceo e 4,97% lianas). A biomassa de raízes grossas teve acúmulo superior na floresta secundária (38,83 Mg ha<sup>-1</sup>) em relação ao capoeirão (24,95 Mg ha<sup>-1</sup>). As raízes finas apresentaram biomassa superior no capoeirão (7,93 Mg ha<sup>-1</sup> contra 2,84 Mg ha<sup>-1</sup> na floresta secundária). A densidade de raízes finas foi superior na primeira camada de solo, onde, no

capoeirão, 45,5% e 67,8% das raízes finas estão entre 0-10 e 0-20 cm de solo, respectivamente, contra 29,9% e 52,1% na floresta secundária. A serapilheira acumulada sobre o solo atingiu 7,25 Mg ha<sup>-1</sup> no capoeirão e 9,81 Mg ha<sup>-1</sup> na floresta secundária. As frações que apresentam os maiores teores de nutrientes são as foliares. A biomassa acima do solo acumula, no capoeirão (kg ha<sup>-1</sup>): 41808,1 (C); 1097,7 (N); 67,2 (P); 743,4 (K); 1681,4 (Ca); 132,6 (Mg); 77,6 (S); 1,96 (B); 0,70 (Cu); 6,47 (Fe); 3,01 (Mn) e 2,19 (Zn). Na floresta secundária, o acúmulo de nutrientes na biomassa acima do solo alcança (kg ha<sup>-1</sup>): 65473,6 (C); 1531,5 (N); 94,0 (P); 1005,7 (K); 2443,3 (Ca); 288,8 (Mg); 114,7 (S); 2,54 (B); 1,09 (Cu); 27,91 (Fe); 23,96 (Mn) e 4,34 (Zn). As raízes apresentam (kg ha<sup>-1</sup>): 13520,7 C; 434,0 N; 19,8 P; 161,2 K; 549,2 Ca; 59,2 Mg; 19,8 de S; 1,22 B; 0,33 Cu; 93,8 Fe; 4,68 Mn e 1,23 de Zn para o capoeirão. Na floresta secundária, as raízes acumulam: 17156,9 C; 566,7 N; 29,2 P; 237,5 K; 579,3 Ca; 129,2 Mg; 58,4 S; 1,51 B; 0,45 Cu; 119,6 Fe; 10,32 Mn e 2,31 Zn. A serapilheira apresenta, no capoeirão, um estoque de (kg ha<sup>-1</sup>): 2825,6 (C); 95,0 (N); 3,6 (P); 18,1 (K); 156,0 (Ca); 13,8 (Mg); 6,5 (S); 0,28 (B); 0,08 (Cu); 9,83 (Fe); 2,83 (Mn) e 0,37 (Zn). Na floresta secundária, o acúmulo de nutrientes na serapilheira é de (kg ha<sup>-1</sup>): 3762,4 (C); 115,8 (N); 4,9 (P); 26,5 (K); 220,7 (Ca); 15,7 (Mg); 6,9 (S); 0,31 (B); 0,11 (Cu); 9,94 (Fe); 1,82 (Mn) e 0,38 (Zn). A densidade do solo atingiu valores menores na camada superficial de solo, aumentando até 30 cm, e, após isso, apresentou valores variáveis, para as duas fases sucessionais, com valores maiores no capoeirão. O solo das duas *subseres* apresentou características de boa ou suficiente fertilidade, em que apenas os teores de P, nas duas áreas, e os teores de K, no capoeirão, são considerados baixos. A quantidade de nutrientes acumulados no solo do capoeirão, até 60 cm de profundidade, em kg ha<sup>-1</sup>, foi de: 112855,8 (C); 9728,2 (N); 24,6 (P); 298,8 (K); 35794,9 (Ca) e 5222,4 (Mg). Na floresta secundária, o acúmulo foi de: 112579,3 (C); 9704,3 (N); 25,3 (P); 553,3 (K); 30930,2 (Ca) e 4402,2 (Mg). A eficiência de utilização dos nutrientes tende a aumentar com a idade da sucessão vegetal, para a maioria dos nutrientes, implicando em melhor aproveitamento dos mesmos. A fração da biomassa total com maior acúmulo é a madeira, aumentando sua participação com o transcorrer da idade da floresta.

## ABSTRACT

Master's dissertation  
Masters degree Forestry Program  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **BIOMASS AND NUTRIENTS IN TWO SUCCESSIVELY PHASES OF A SEASONAL DECIDUOUS FOREST, SANTA TEREZA, RS**

Author: Eleandro José Brun

Advisor: Prof. Dr. nat techn Mauro Valdir Schumacher

**Date and place of Defense: Santa Maria, september, 25<sup>th</sup> 2004.**

It had been esteemed the accumulated biomass above and below the soil in two succession phases of a Seasonal Deciduous Forest (brushwood and secondary forest) located in Santa Tereza, RS, and the concentrations and contents of macronutrients, micronutrients and organic carbon in the biomass, allied to the study of the physical and chemistries characteristics of the soil in this areas and to the calculation of the forests nutrients efficiency use. Using three random 10 m x 10 m stands in each area, the individuals had been divided in stratum: herbaceous, bush, arboreal and lianas. All the fractions had been weighted and sub-sampling for sending to the laboratory (fractions had been dried, weighted and analyzed). For the bark percentage determination, it had been removed three disks from each tree (one at the base, other at the middle and the last one at the log's end). The accumulated biomass above the soil reached 102,3 Mg ha<sup>-1</sup> in the brushwood (2.25% leaves; 20.68% alive branches; 0.80% branches died; 49.95% wood; 7.51% bark; 0.24% leaves of the bush stratum; 3.40% wood/branches of the bush stratum; 0.92% herbaceous stratum and 14.24% lianas) and, in the secondary forest, of 157,6 Mg ha<sup>-1</sup> (2.23% leaves; 28.37% alive branches; 1.94% died branches; 52.41% wood; 6.76% bark; 0.19% leaves of the bush stratum; 2.65% wood/branches of the bush stratum; 0.48% herbaceous stratum and 4.97% lianas). The biomass of thick roots had superior accumulation in the secondary forest (38.83 Mg ha<sup>-1</sup>) in relation to the brushwood (24.95 Mg ha<sup>-1</sup>). The fine roots presented superior total biomass in the brushwood (7.93 Mg ha<sup>-1</sup> against 2.84 Mg ha<sup>-1</sup> in the

secondary forest). The density of fine roots had been superior at the first soil layer, where, in the brushwood, 45.5% and 67.8% of fine roots are between 0-10 and 0-20 cm of soil, respectively, against 29.9% and 52.1% in the secondary forest. The accumulated litter on the soil reached 7.25 Mg ha<sup>-1</sup> in the brushwood and 9.81 Mg ha<sup>-1</sup> in the secondary forest. The fraction that present the largest macronutrients contents is the foliar. The biomass above the soil accumulates, in the brushwood (kg ha<sup>-1</sup>): 41808.1 (C); 1097.7 (N); 67.2 (P); 743.4 (K); 1681.4 (Ca); 132.6 (Mg); 77.6 (S); 1.96 (B); 0.70 (Cu); 6.47 (Fe); 3.01 (Mn) and 2.19 (Zn). In the secondary forest, the nutrients accumulation in biomass above the soil reaches (kg ha<sup>-1</sup>): 65473.6 (C); 1531.5 (N); 94.0 (P); 1005.7 (K); 2443.3 (Ca); 288.8 (Mg); 114.7 (S); 2.54 (B); 1.09 (Cu); 27.91 (Fe); 23.96 (Mn) and 4.34 (Zn). The roots present (kg ha<sup>-1</sup>): 13520.7 C; 434.0 N; 19.8 P; 161.2 K; 549.2 Ca; 59.2 Mg; 19.8 of S; 1.22 B; 0.33 Cu; 93.8 Fe; 4.68 Mn and 1.23 of Zn for the brushwood. In the secondary forest, the roots accumulate: 17156.9 C; 566.7 N; 29.2 P; 237.5 K; 579.3 Ca; 129.2 Mg; 58.4 S; 1.51 B; 0.45 Cu; 119.6 Fe; 10.32 Mn and 2.31 Zn. The litter had been presented, in the brushwood, a stock of (kg ha<sup>-1</sup>): 2825.6 (C); 95.0 (N); 3.6 (P); 18.1 (K); 156.0 (Ca); 13,8 (Mg); 6.5 (S); 0.28 (B); 0.08 (Cu); 9.83 (Fe); 2.83 (Mn) and 0.37 (Zn). In the secondary forest, the nutrients accumulation in the litter is (kg ha<sup>-1</sup>): 3762.4 (C); 115.8 (N); 4.9 (P); 26.5 (K); 220.7 (Ca); 15.7 (Mg); 6.9 (S); 0.31 (B); 0.11 (Cu); 9.94 (Fe); 1.82 (Mn) and 0.38 (Zn). The soil density reached smaller values in the superficial soil layer, increasing up to 30 cm and after that presenting values variables, for two sucesion phases, with larger values in the brushwood. The two *subseres* soil had been presented characteristics of good or enough fertility, where just the contents of P, in two areas, and the K contents, in the brushwood, had been considered low. The amount of accumulated nutrients in the brushwood soil, up to 60 cm of depth, in kg ha<sup>-1</sup>, was: 112855.8 (C); 9728.2 (N); 24.6 (P); 298.8 (K); 35794.9 (Ca) and 5222.4 (Mg). In the secondary forest, the accumulation was: 112579.3 (C); 9704.3 (N); 25.3 (P); 553.3 (K); 30930.2 (Ca) and 4402.2 (Mg). The nutrients efficiency use tends to increase with the age of the vegetable succession, for most of the nutrients, implicating in a better nutrients use. The total biomass fraction with larger accumulation is the wood increasing your participation with elapsing of the forest age.



## 1 INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul, até meados do século XIX, a cobertura florestal natural atingia patamares superiores a 30% de sua área. A partir dessa época, a alocação dos imigrantes europeus (principalmente alemães e italianos) nas áreas de florestas virgens (encosta da Serra Geral e posteriormente o Planalto Riograndense e a região do Alto Uruguai) fez com que estas pagassem um alto preço pelo desenvolvimento econômico dessas regiões, uma vez que a sua madeira foi extraída, de forma não sustentável, para os mais diversos fins, tanto domésticos como comerciais, e também para dar lugar à agricultura de subsistência (Vaccaro, 1997).

Esse profundo impacto sobre nossas florestas fez com que, no início da década de 80, a cobertura florestal atingisse apenas 5,6% do território Riograndense, segundo dados do Inventário Florestal Nacional – Rio Grande do Sul (Brasil, 1983).

Com a realização do Inventário Florestal Contínuo do RS (Sema-RS, 2001), constatou-se a ocorrência de um aumento na cobertura florestal do estado em relação a década de 80, atingindo um índice de 17,53%. Tais florestas, na maioria das vezes, foram regeneradas de antigas lavouras abandonadas em virtude do intenso êxodo rural verificado nas últimas décadas e também pela mecanização das lavouras, que direcionou o foco de produção para as áreas mais planas, deixando em segundo plano áreas declivosas, de difícil acesso com máquinas. Também é importante ressaltar o aumento gradativo do rigor das leis ambientais, que protegem a

vegetação original de certas áreas e determinam reposições em empreendimentos que causam impacto sobre os ecossistemas.

Esta realidade pode ser considerada como semelhante a outros estados do Brasil e também outras partes do mundo, principalmente em relação aos ecossistemas florestais. A época atual poderia ser chamada de “era da vegetação secundária”, pois a biota nativa encontra-se em processo de extinção ou de adaptação às novas condições, tendo como causa principal a atividade humana (Gómez-Pompa, 1971). O autor relata que, em nível mundial, estima-se que 1,1 milhão de hectares de florestas tropicais, secundárias e energéticas sejam destruídas anualmente ou seriamente degradadas pela expansão agropecuária.

A degradação dos recursos naturais, como solo, vegetação, água, ar, etc, devido ao intenso desmatamento e ao uso de técnicas inadequadas de manejo tem ocasionado graves problemas ambientais, havendo muitas áreas que necessitam e aguardam a implantação de medidas de recuperação.

Desta forma, o interesse é crescente por estudos sobre dinâmica da sucessão florestal, aspecto imprescindível na recuperação de áreas degradadas, monitoramento de áreas de preservação permanente, implantação de florestas comerciais com essências nativas e atividades de manejo sustentável dos recursos florestais (Gandolfi, 1991).

Vale ressaltar que um dos aspectos a que está vinculada a exploração controlada refere-se a atividades de pesquisa sobre a estrutura e o funcionamento do ecossistema, as quais irão dimensionar o grau de intensidade que as atividades de exploração poderão ter para não afetarem o equilíbrio do bioma em questão.

Estudos sobre ciclagem dos nutrientes e o próprio balanço nutricional em um ecossistema devem considerar a determinação da biomassa das plantas e o conteúdo de nutrientes, uma vez que a mesma representa um dos mais importantes estoques de elementos minerais, depois do solo, de forma que é um dos primeiros compartimentos a ser afetado pelas atividades antrópicas em uma floresta, sendo, portanto, indicador de impactos ambientais, bem como do *status* nutricional do sítio. Tal conhecimento é de vital importância para o entendimento da estrutura de um determinado ecossistema.

Os estudos de biomassa acima e abaixo do solo podem fornecer estimativas para a exploração controlada das florestas, sem comprometer o equilíbrio do sistema e o *status* nutricional do sítio para o crescimento da regeneração, bem como fornecer subsídios para o planejamento de outras atividades como o turismo e a visitação pública.

## **1.1 Justificativa**

Há uma escassez de estudos pertinentes à ciclagem de nutrientes em florestas nativas do estado do Rio Grande do Sul. Além disso, existe uma carência de informações sobre as mudanças na dinâmica nutricional no decorrer de uma sucessão florestal, acarretando assim a falta de bases científicas sobre técnicas silviculturais adequadas para a implantação e manejo de povoamentos com espécies nativas.

Um dos grandes desafios da pesquisa científica atual se revela na necessidade da constituição de métodos de manejo sustentado para as florestas naturais inequívocas, os quais deverão se mostrar eficientes

econômica e ecologicamente. É inegável, para tanto, que se deve primeiramente acumular conhecimentos técnico-científicos sobre a fitossociologia, fisiologia, fitofisionomia, banco genético e de sementes, ecologia das espécies ou comunidades e forma de exploração dos produtos madeiráveis e não-madeiráveis do ecossistema considerado. A importância destes tópicos na exploração sustentada das florestas naturais se mostra na necessidade de manutenção do caráter dinâmico do ecossistema.

## **1.2 Objetivos**

Com a realização do presente estudo, objetivou-se:

- Estimar a biomassa vegetal acima e abaixo do solo em duas fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza, RS;
- Determinar os conteúdos de macro (C, N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e B) na biomassa amostrada em cada fase sucessional da Floresta Estacional Decidual;
- Avaliar as características físicas e químicas do solo nas fases sucessionais da Floresta Estacional Decidual;
- Estudar a composição florística e estrutura fitossociológica das fases sucessionais estudadas;
- Discutir aspectos relacionados à dinâmica sucessional, com ênfase no acúmulo de biomassa, da Floresta Estacional Decidual estudada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Floresta Estacional Decidual

No Sul do Brasil podem ser distinguidos três tipos de ecossistemas florestais distintos: Floresta Ombrófila Densa (mata atlântica), Floresta Ombrófila Mista (mata de Araucária) e Floresta Estacional (mata latifoliada da bacia hidrográfica Paraná-Uruguai) (Klein, 1984).

De acordo com Klein (1984), a Floresta Estacional pode ser subdividida, de acordo com sua fisionomia, em Semidecidual ou Decidual. Assim, quando apenas aproximadamente 20% a 50% das árvores do estrato superior perdem as folhas durante o período do inverno, a floresta é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (Ex: floresta do Rio Paraná). Quando a proporção de árvores que perdem as folhas no inverno for superior a 50%, a floresta é denominada de Floresta Estacional Decidual.

No Estado do Rio Grande do Sul, a Floresta Estacional Decidual estende-se desde o Rio Ibicuí, no oeste, até o Rio Caí, ao leste. Na região denominada “Fralda da Serra Geral”, predomina com, mais ou menos, 70% a 90% das árvores emergentes, as quais perdem completamente as folhas durante o inverno (Klein, 1984).

De acordo com Veloso & Góes Filho (1982), o conceito ecológico de Floresta Estacional Decidual está relacionado ao clima, caracterizado por duas estações distintas em relação à precipitação e à temperatura, ou seja, uma estação chuvosa e outra seca, ou com acentuada variação térmica, com

estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes do estrato emergente, os quais têm adaptação à deficiência hídrica ou à queda de temperatura nos meses frios, que atua como seca fisiológica nas espécies tropicais.

Klein (1983) afirma que a estrutura deste tipo florestal pode ser caracterizada por três estratos arbóreos distintos, além de um estrato arbustivo e um herbáceo. O estrato das árvores dominantes, que pode atingir de 30 a 35 metros de altura, não forma uma cobertura contínua, ocorrendo como árvores emergentes. Fisionomicamente, é o estrato de maior importância, caracterizando a floresta como estacional, uma vez que quase todos os indivíduos são decíduos. O estrato co-dominante, geralmente entre 20 e 25 metros de altura, é bastante denso e contínuo, formado por um número pequeno de espécies características, as quais apresentam valores sociológicos elevados, sendo composto, em sua maioria, por espécies perenifólias. O estrato inferior possui um número relativamente elevado de árvores medianas, comumente entre 5 e 12 metros de altura, dentre as quais algumas apresentam valores sociológicos elevados, sendo as restantes bastante raras.

Reitz *et al.* (1988) identificaram, para o estado do RS, em virtude das diferenças observadas na vegetação, oito regiões fitogeográficas como unidades para o zoneamento ecológico-florestal, sendo elas: Floresta Pluvial da Encosta Atlântica, Área do Sudeste ou Escudo Riograndense, Bacia do Rio Jacuí ou Depressão Central, Área do sudoeste ou Parque do Espinilho, Bacia do Rio Uruguai, Bacia do Rio Ibicuí, Área do Planalto ou Floresta com Araucária e Restinga Litorânea. A formação de Floresta Estacional Decidual, que recobre as vertentes dos morros do município de

Santa Tereza, RS, até uma altitude aproximada de 500 m, onde entra em contato com área de Floresta Ombrófila Mista, pertence à região fitogeográfica da Bacia do Rio Jacuí.

Quanto à composição florística da Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, Vaccaro *et al.* (1992) identificaram 93 espécies com CAP (Circunferência à Altura do Peito)  $\geq 10$  cm. Estas espécies são pertencentes a 73 gêneros e 37 famílias botânicas. As famílias Leguminosae (11 espécies), Myrtaceae (9 espécies), Lauraceae (8 espécies), Euphorbiaceae (7 espécies) e Meliaceae (6 espécies) se destacaram como sendo as mais representativas da floresta, totalizando 44% das espécies amostradas.

## **2.2 Ciclagem de nutrientes em florestas**

A ciclagem de nutrientes é um dos principais processos que sustenta a produção de material orgânico. O conhecimento desses processos permite aprender sobre o funcionamento de um ecossistema, possibilitando medidas adequadas ao seu manejo (Golley *et al.*, 1978).

De acordo com Andrade (1997), a ciclagem de minerais refere-se basicamente ao processo de absorção pelas plantas, translocação interna entre os tecidos vegetais e transferência desses elementos, acumulados na biomassa vegetal, novamente ao solo, à atmosfera e à hidrosfera, tornando-se disponíveis para serem reabsorvidos.

Os elementos químicos, incluindo todos os elementos essenciais do protoplasma, tendem a circular na biosfera por vias características, do ambiente para os organismos e destes novamente para o ambiente. Assim, define-se a ciclagem de nutrientes como sendo este movimento de

elementos e compostos inorgânicos essenciais à vida entre dois compartimentos: o de reserva, ou “pool” reservatório, componente maior, de movimentos lentos; e o compartimento de ciclagem, ou “pool” lábil, parcela menor, porém mais ativa, que se permuta rapidamente entre os organismos e seu ambiente imediato (Odum, 2001).

Principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, é de importância fundamental que se tenha maiores informações no que diz respeito à dinâmica dos nutrientes nos diferentes compartimentos de um ecossistema florestal, para assim empregar práticas silviculturais que venham realmente assegurar um manejo sustentado a longo prazo (Schumacher, 1996).

Em estudos de dinâmica sucessional de áreas florestais, o acúmulo de biomassa pelas plantas é fator de crescimento dos indivíduos e conseqüente desenvolvimento das fases serais, uma vez que o desenvolvimento de uma árvore está condicionado a diversos fatores, como luz, água, concentração de CO<sub>2</sub>, conteúdo de clorofila, temperatura, nutrientes, adaptação genética, competição, dentre outros (Andrae, 1978).

Em condições naturais, os principais fatores que interferem na ciclagem de nutrientes são o clima, a composição de espécies vegetais, o status sucessional da floresta e a fertilidade do solo (Vitousek & Sanford, 1986).

No ecossistema florestal, os nutrientes encontram-se distribuídos em quatro compartimentos básicos: a) compartimento orgânico constituído pelos organismos vivos e seus restos; b) compartimento de nutrientes disponíveis na solução do solo ou adsorvidos às superfícies do complexo argila-húmus; c) compartimento de minerais primários (nutrientes temporariamente não disponíveis); d) compartimento atmosférico, formado



pelos gases e partículas em suspensão (Bormann & Likens, 1970). Esses compartimentos ainda se subdividem em subcompartimentos mais específicos. Para efeito de pesquisas, a biomassa arbórea que integra o compartimento “a” poderia subdividir-se em folhas, ramos, casca, lenho, raízes, epífitas, etc. A camada de serapilheira também poderia ser subdividida em diferentes estratos, conforme seu estágio de decomposição. Do mesmo modo, o solo poderia ser dividido conforme as camadas que compõem o perfil. Para sistematizar o estudo de ciclagem de nutrientes em florestas, são usualmente considerados os ciclos *geoquímico*, *biológico* e *bioquímico* (Switzer & Nelson, 1972).

Leitão Filho (1993) comenta que a manutenção dos ecossistemas florestais depende da capacidade em circular e acumular os nutrientes existentes nos diferentes compartimentos. Portanto, a ciclagem de nutrientes em um ecossistema consiste no fluxo desses nutrientes entre os compartimentos e nas transferências entre os ecossistemas.

## **2.3 Acúmulo de biomassa em ecossistemas florestais**

### **2.3.1 Biomassa acima do solo**

Os ecossistemas florestais contêm cerca de 90% da biomassa da Terra e cobrem aproximadamente 40% de sua superfície (Gardner & Mankin, 1981).

A biomassa representa a matéria orgânica armazenada no ecossistema. Com a informação sobre a biomassa orgânica e o teor dos

elementos minerais pode-se calcular o reservatório dos nutrientes minerais da floresta (Golley *et al.*, 1978).

A estimativa da biomassa é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas (Russo *apud* Campos, 1991), conversão de energia e ciclagem de nutrientes (Golley *et al.*, 1971), absorção e armazenagem de energia solar (Andrae & Krapfenbauer, 1983b), possibilitando conclusões para a exploração racional dos mesmos.

Para o desenvolvimento e o conseqüente acúmulo de biomassa por parte das plantas superiores, estas necessitam da energia solar na forma de compostos de energia como ATP e NADPH, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, água e elementos como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, cloro, ferro, manganês, molibdênio e zinco (Haag, 1987).

Conforme Pritchett (1990), a absorção de nutrientes por uma árvore é influenciada pela espécie, pela cobertura e pelas condições de solo e clima. A absorção anual de nutrientes é da mesma ordem da apresentada pelas culturas agrícolas; mas, como a maior parte dos nutrientes absorvidos são devolvidos ao piso florestal, quantidades relativamente pequenas são retidas no acréscimo anual de biomassa arbórea.

A ciclagem de nutrientes em florestas tropicais é diferente daquela que ocorre em zona temperada. Nesta última, grande parte dos nutrientes encontram-se no solo enquanto que, na zona tropical, a maior parte dos elementos está na biomassa (Odum, 2001).

A acumulação de biomassa é afetada por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração (Kramer & Kozlowski, 1972), incluindo fatores climáticos, do sítio, adaptação genética da espécie, estágio sucessional, competição, altitude, procedência, umidade do solo,

espaçamento e desbaste (Schumacher, 1995; Caldeira, 1998; Caldeira et al., 2001).

Larcher (2000) relata que as árvores, dependendo de seu nível de organização fisiológica e morfológica, distribuem os fotoassimilados produzidos entre os diferentes componentes da biomassa (folhas, galhos, troncos e raízes) de forma distinta, de espécie para espécie, conforme suas funções ecológicas na sucessão.

O rápido crescimento das espécies pioneiras é consequência do contínuo e eficiente desenvolvimento da superfície foliar, o que dá a essas espécies grande eficiência fotossintética (Coombe, 1960). Gómez-Pompa & Vasquez-Yanes (1981) acrescentam que as pioneiras utilizam os fotoassimilados para a construção de suas estruturas arbóreas de forma distinta àquela observada para as espécies dos estágios sucessionais subsequentes. De acordo com esses autores, essas espécies investem uma menor quantidade de energia para a síntese de madeira. Conseqüentemente, seus tecidos são mais claros e ricos em celulose, mas pobres em lignina.

Em um plantio de essências nativas de 17 meses, observadas por Gonçalves *et al.* (1992a), o crescimento em biomassa acima do solo, estimado através da produção de matéria seca, foi muito superior nas pioneiras, seguido das secundárias e por fim das espécies clímax. Além disso, os percentuais de peso seco de tronco mais galho nas pioneiras e secundárias foram superiores ao das clímax, apresentando as clímax uma superioridade percentual em termos de folhas.

Durante o início do desenvolvimento de um povoamento florestal, o crescimento é primeiro concentrado nas folhas, brotos novos e raízes finas, resultando em um acúmulo muito rápido de nutrientes. Durante esta fase,

existe um efeito bem distinto entre espécies; após o fechamento das copas, a absorção de nutrientes torna-se uma função da taxa de crescimento, indiferente da espécie. Com o fechamento do dossel, até 2/3 dos nutrientes requeridos para o crescimento das árvores podem ser obtidos pela retranslocação dos tecidos mais velhos ou senescentes (Miller, 1995).

Schumacher (1992) comenta que durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta, grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Entretanto, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e ramos diminui gradativamente. Neste sentido, Snedaker (1980) relata que apesar da rápida imobilização de nutrientes durante uma sucessão florestal, a quantidade de nutrientes imobilizados nas folhas, praticamente, não é aumentada, devido à estabilização da biomassa foliar, já nos estágios iniciais de sucessão. Dessa forma, a quantidade de nutrientes, elevada durante a sucessão ficaria estocada na madeira.

Willians-Linera (1983), estudando o aumento de biomassa e as variações na concentração de nutrientes na planta e solo de dois estágios sucessionais de uma floresta tropical, encontrou variações significativas na concentração e conteúdo de nutrientes entre espécies, compartimentos e estágios sucessionais. Os resultados evidenciaram um aumento da imobilização de nutrientes na madeira com o passar do tempo, embora a concentração de nutrientes por unidade de biomassa sintetizada tenha sido maior no estágio sucessional mais jovem.

Conforme Vitousek (1986), a eficiência com que uma floresta utiliza nutrientes é definida como a quantidade de matéria orgânica perdida das

plantas ou permanentemente estocada dentro das mesmas, por unidade de nutriente perdido ou permanentemente estocado. Logo, a eficiência de utilização de nutrientes pode ser calculada para a biomassa viva ou morta.

Gonçalves *et al.* (1992b) verificaram que espécies pioneiras apresentaram maiores taxas de absorção de N, P, K e Ca, bem como maior eficiência na utilização destes nutrientes, em comparação com espécies secundárias e clímax.

Brubacher *et al.* (1989) estudaram o acúmulo de nutrientes durante os três primeiros anos de um pousio em Belize. A vegetação natural da região era uma floresta semidecídua seca. Os níveis de N, P e K alocado para as folhas atingiu um equilíbrio logo no primeiro ano, aumentando pouco nos sítios com 2 ou 3 anos de idade. O acúmulo de N e P nos caules aumentou em taxas constantes durante os três anos de desenvolvimento do pousio. As concentrações de nutrientes foram maiores nas espécies sucessionais iniciais do que nas espécies com um status sucessional mais avançado.

Estudos de estimativa de biomassa arbórea aérea em florestas plantadas já existem em maior número, porém, em florestas nativas, principalmente do estado do RS, tais estudos, apesar de sua grande importância na busca do entendimento do balanço nutricional do ecossistema, são praticamente inexistentes. Isso se agrava ainda mais em se tratando da estimativa da biomassa em Floresta Estacional Decidual, quando se desconhece a existência de referências a respeito.

### 2.3.2 Biomassa abaixo do solo

De acordo com Andrade (1997), o sistema radicular das plantas, além de promover a ancoragem da árvore, em estreita interação com o solo, absorve água e nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, auxilia na retenção do solo contra a ação da erosão, aumenta a capacidade de infiltração de água no solo, fornece exsudados para os microorganismos e participa ativamente do processo pedogenético. O solo, por sua vez, condiciona o desenvolvimento e a arquitetura das raízes em função de suas características intrínsecas.

O conhecimento da biomassa de raízes e a sua distribuição no solo é um importante aspecto que auxilia no entendimento das relações existentes entre estas, a parte aérea das plantas e as características edáficas, principalmente no que se refere aos padrões de absorção de água e nutrientes por parte dos indivíduos (Sainju & Good, 1993).

O padrão de crescimento do sistema radicular é um processo complexo, influenciado por características genéticas das plantas e por fatores do ambiente, principalmente das condições edáficas. Aspectos como o grau de ramificação, crescimento e padrão morfológico dos sistemas radiculares de absorção e sustentação apresentam variações inter e intraespecíficas, as quais podem ocorrer num mesmo ambiente, indicando forte influência da genética da planta (Gonçalves *et al.*, 1992a).

O desenvolvimento do sistema radicular, conforme Esau (1974), em plantas provenientes de sementes, ocorre a partir do promeristema da raiz do embrião, quando, primeiramente, é formada a raiz pivotante (raiz primária), depois formam-se as raízes laterais e suas ramificações,

constituindo-se assim o sistema radicular das gimnospermas e dicotiledôneas. Nas monocotiledôneas, a primeira raiz vive pouco tempo e a formação do sistema radicular se dá através de raízes adventícias provenientes do caule. Essas raízes também apresentam ramificação, formando um sistema radicular fasciculado que, em geral, ocupa as camadas mais superficiais do solo, enquanto que o sistema radicular pivotante penetra mais profundamente.

Para que se tenha um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas, além do recebimento de quantidades equilibradas de metabólitos sintetizados na parte aérea, este necessita de um meio adequado para se desenvolver e suprir a planta de água e nutrientes. As propriedades químicas, físicas e biológicas do solo afetam o desenvolvimento das raízes, refletindo este efeito na relação raiz/parte aérea. Existe uma grande interdependência entre a raiz e a parte aérea dos vegetais, sendo que a proporção entre estas partes é controlada por hormônios, cuja quantidade e o tipo podem estimular ou reprimir o desenvolvimento de ambas ou de uma delas (Andrade, 1997).

O tempo necessário para a formação completa do sistema radicular, depende, em parte, de características inerentes a cada espécie e em parte do manejo e/ou do meio na qual se desenvolve. Mesmo em árvores adultas, onde a estrutura do sistema radicular já está bem desenvolvida, existe ainda uma taxa de renovação de algumas raízes, principalmente, as de menor diâmetro, cuja vida útil em geral é curta (Singh & Srivastava, 1985). Os pêlos radiculares quase sempre são destruídos em poucos dias ou semanas pelas alterações associadas ao desenvolvimento secundário, tais como a suberificação ou a lenhificação da epiderme ou da hipoderme. Entretanto,

em algumas espécies, esses pêlos podem suberificar e persistir por meses e anos. De forma geral, o crescimento das raízes nas espécies arbóreas e arbustivas é mais lento e mais superficial do que em espécies herbáceas (Bonner & Galston, 1973).

Várias características do solo e da forma pela qual é manejado afetam o desenvolvimento radicular. Destacam-se a diminuição da porosidade, devido ao adensamento natural formado por processos pedológicos ou por compactação com o manejo, a toxicidade de alguns elementos químicos, a falta de nutrientes e o excesso de água (Demattê, 1981).

Em solos compactados, os espaços entre as partículas de solo são reduzidos, tanto em quantidade como em tamanho, dificultando a penetração do sistema radicular devido à resistência mecânica e à baixa aeração do solo. A taxa de raízes nestas condições é bastante reduzida, sendo comum ocorrer uma maior concentração e engrossamento das raízes acima da camada compactada. De acordo com o tipo de sistema radicular a penetração em camadas compactadas e/ou adensadas é mais difícil. Em geral, raízes pivotantes, de grandes diâmetros, são menos eficientes na penetração de solos com tais características (Gonçalves et al., 2000).

As limitações que porventura venham ocorrer no crescimento do sistema radicular podem promover um desequilíbrio na relação raiz/parte aérea, alterando profundamente as respostas fisiológicas das plantas (Feldman, 1988). Neste sentido, Jusoff (1991), estudando o crescimento em altura e diâmetro de plântulas de *Acacia mangium* em diferentes níveis de densidade do solo, relata correlação negativa entre o crescimento das plântulas e o aumento da compactação do solo.



As espécies que apresentam uma contínua expansão do sistema radicular tendem a se adaptar melhor sob condições limitantes de desenvolvimento, uma vez que a zona de absorção mais eficiente se encontra geralmente localizada próxima à extremidade da raiz. Assim, quanto maior o número de extremidades radiculares, maiores são as chances da planta se desenvolver em solos com baixos teores de água e nutrientes (Kramer & Kozlowski, 1972).

Em condições de déficit hídrico, o sistema radicular se desenvolve mais do que quando há disponibilidade de água. Entretanto, solos com excesso de água, em virtude da drenagem imperfeita ou de lençol freático elevado por grandes períodos, dificultam o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das espécies arbóreas, devido à falta de oxigenação destes ambientes, com exceção de espécies adaptadas a estas condições, as quais possuem raízes adventícias. De acordo com Gray & Leiser (1982), a maior concentração de raízes próximas à superfície apresentada pela maioria das espécies arbóreas se deve à baixa concentração de oxigênio em profundidade.

Tais aspectos podem ser também verificados com relação à sazonalidade de crescimento do sistema radicular durante o ano, atribuída principalmente a variações no teor de umidade do solo.

O regime hídrico do solo e/ou a presença de camadas de impedimento ao crescimento radicular são provavelmente as características físicas que mais influenciam o desenvolvimento das raízes de espécies arbóreas.

Outras características físicas do solo que exercem influência marcante no crescimento de raízes são a textura e a estrutura. Solos com

textura arenosa, sem estrutura, apresentam menor resistência à penetração das raízes do que solos argilosos, com estrutura forte. A presença da rocha matriz à baixa profundidade, de cascalhos, horizontes adensados e/ou camadas endurecidas são obstáculos que também interferem na arquitetura e no desenvolvimento radicular (Andrade, 1997).

Entre as características químicas do solo que influenciam o desenvolvimento das raízes, a acidez e a deficiência ou o excesso de nutrientes são as principais. Em condições de baixo pH, o alumínio tóxico se encontra em maior quantidade e muitos nutrientes em baixa disponibilidade na solução do solo, podendo restringir o crescimento de raízes de espécies sensíveis. Porém, existem espécies que toleram altos teores de Al, são pouco exigentes em nutrientes e/ou são mais eficientes em seu uso (Pritchett, 1990).

Algumas espécies arbóreas apresentam crescimento vigoroso em solos de baixa fertilidade, o que provavelmente é consequência do extenso sistema radicular que desenvolvem, explorando grande volume de solo (Pritchett, 1979).

Apesar de cada espécie arbórea ter uma forma radicular herdada, dependendo das suas características genéticas e do substrato no qual as raízes irão se desenvolver, alterações na produção de biomassa e arquitetura radicular poderão surgir no decorrer do tempo, em função da idade ou fase de desenvolvimento, das condições edafoclimáticas locais e das práticas de cultivo usadas (Atkinson, 1983).

Ocorre grande variação na biomassa total de raízes em espécies arbóreas de diferentes idades e locais e na sua relação com a parte aérea. A relação raiz/parte aérea não é constante durante o desenvolvimento da

árvore, podendo variar com sua idade, fase fenológica, mudanças no ambiente, ou ser alterada apenas temporariamente quando uma das partes é afetada, por exemplo, com as podas ou com o ataque severo de pragas em uma das partes (Castle, 1978).

Atualmente, já se tem conhecimento para as espécies arbóreas mais utilizadas, do melhor espaçamento ou densidade de plantas, em função da finalidade da produção de biomassa. Contudo, há ainda a necessidade de estudos que enfoquem não só outras espécies, mas também que avaliem a contribuição da biomassa radicular para a manutenção da sustentabilidade de sistemas agroflorestais e/ou para a recuperação de ecossistemas degradados.

Conforme Andrade (1997), cada ecossistema possui características peculiares que permitem que uma variada gama de espécies vegetais acumulem diferentes quantidades de biomassa. Uma avaliação adequada da biomassa acumulada nas raízes e do teor de nutrientes de seus tecidos pode auxiliar bastante no manejo de espécies arbóreas para os mais variados fins.

A grande maioria das avaliações realizadas na biomassa do sistema radicular de espécies arbóreas descrevem apenas o total deste material, sendo poucos os trabalhos que mensuram a biomassa de raízes de diferentes classes de diâmetro.

Em condições de campo, a metodologia mais usual para a mensuração individual da biomassa radicular de espécies arbóreas é a escavação com posterior retirada do sistema radicular para sua pesagem e determinação do teor de umidade e nutrientes. Dependendo da resistência do tecido radicular, da quantidade de raízes finas presentes, do tipo de solo (textura e estrutura) e da distribuição do sistema radicular, especialmente

em profundidade, podem ocorrer perdas significativas de raízes, devido aos danos causados durante a operação de escavação e extração do sistema radicular. Desta forma, quanto mais cuidadosas forem a escavação e a retirada, mais preciso será o valor da biomassa auferida (Sanquetta, 2002).

Quando se pretende avaliar a biomassa de raízes em um determinado ecossistema, no qual convivem várias espécies vegetais, como em florestas nativas, e/ou grande densidade populacional de uma ou de algumas espécies arbóreas, a escavação individual do sistema radicular se torna mais complicada, uma vez que ocorre uma mistura de raízes de uma planta com as de outra. Nestas situações, tem-se optado pela retirada de amostras de solo e raízes com volume e/ou área conhecida, para posterior separação e pesagem das raízes (Golley *et al.*, 1978). Este método também tem sido utilizado para avaliação da distribuição do sistema radicular sem derrubar a árvore, retirando-se apenas amostras em diferentes direções e distâncias da planta e em variadas profundidades de solo (Cintra *et al.*, 1996).

Conforme a biomassa radicular acumulada e o teor de nutrientes contidos em seus tecidos, ter-se-á um maior ou menor estoque de nutrientes armazenados nesta fração vegetal. Com a decomposição das raízes senescentes, parte destes nutrientes retornam ao solo e são aproveitados pela própria árvore e/ou outros componentes do sistema.

O retorno dos nutrientes contidos no sistema radicular depende da morte da planta e posterior decomposição desse material orgânico. A velocidade com que este processo irá se concretizar vai depender das características climáticas, da atividade dos macro e microorganismos decompositores do solo e da composição química da raiz, a qual pode

variar com a espécie, com as condições edafoclimáticas e com a fase de desenvolvimento da planta (Golley et al., 1978).

De acordo com Pritchett (1979), análises dos teores de nutrientes das raízes de diferentes tamanhos de *Pinus radiata* e *Pinus taeda* revelaram um maior teor de quase todos os nutrientes nas raízes de menor diâmetro.

A composição química das raízes também pode variar em função da estação do ano. A concentração de alguns elementos na biomassa radicular de uma Floresta Tropical Úmida no Panamá variou bastante em função das mudanças climáticas durante o ano, sendo encontrados maiores teores de Al, Mn, Fe e Mo e menores de P no período de menor precipitação (Golley et al., 1978).

A quantificação da biomassa total de raízes no solo é base para a determinação da quantidade de nutrientes totais encontrados neste compartimento. Assim, Schumacher et al. (1999), analisando a biomassa de raízes finas em um povoamento de Acácia-negra (*Acacia mearnsii*) com 2 anos de idade no RS, relatam uma biomassa total de 1819,7 kg ha<sup>-1</sup> de raízes finas (< 1 mm) até a profundidade de 40 cm, destacando que a maior parte destas raízes (1186,47 kg ha<sup>-1</sup>) encontra-se na camada de 0 a 10 cm.

Andrae & Krapfenbauer (1983a) avaliaram a distribuição vertical e horizontal de raízes finas em *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, relatando que a primeira espécie apresenta uma concentração máxima de raízes nos primeiros 5 cm de solo, e a segunda espécie possui igualmente grandes quantidades de raízes também na camada de 5 a 10 cm. Os autores ainda destacam que, abaixo de 10 cm de profundidade, a ocorrência de raízes finas se torna mínima para as duas espécies e a

redução da intensidade de enraizamento dá-se de acordo com o teor de matéria orgânica média dos horizontes correspondentes do solo.

Cavelier (1991), estudando a biomassa de raízes finas ( $<1\text{mm}$ ) em duas Florestas Tropicais do Panamá, encontrou valores iguais a  $2,0\text{ Mg ha}^{-1}$  e  $1,44\text{ Mg ha}^{-1}$ , ocorrendo nas mesmas uma redução exponencial na biomassa de raízes com o aumento de profundidade.

Com a quantificação da biomassa e do teor de elementos em seus tecidos, pode-se calcular o estoque de minerais neste material. De acordo com Pritchett (1979), um povoamento de *Pinus* com 5 anos de idade acumulou na sua biomassa de raízes  $53\text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $11\text{ kg ha}^{-1}$  de P,  $12\text{ kg ha}^{-1}$  de K e  $23\text{ kg ha}^{-1}$  de Ca.

No estudo de Golley *et al.* (1978), em duas florestas tropicais no Panamá, as raízes continham, em média, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , cerca de: 6 de P, 81 de K, 208 de Ca, 27 de Mg, 3 de Na, 12 de Al, 0,1 de B, 0,5 de Ba, 0,2 de Co, 0,2 de Cs, 0,1 de Cu, 3,7 de Fe, 0,5 de Mn, 0,4 de Pb, 1,1 de Sr, 0,2 de Ti e 0,4 de Zn. Porém, os maiores estoques de nutrientes se encontravam nos caules e os menores nas estruturas reprodutivas.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

#### 3.1.1 Localização

O presente estudo foi realizado em área do município de Santa Tereza, região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

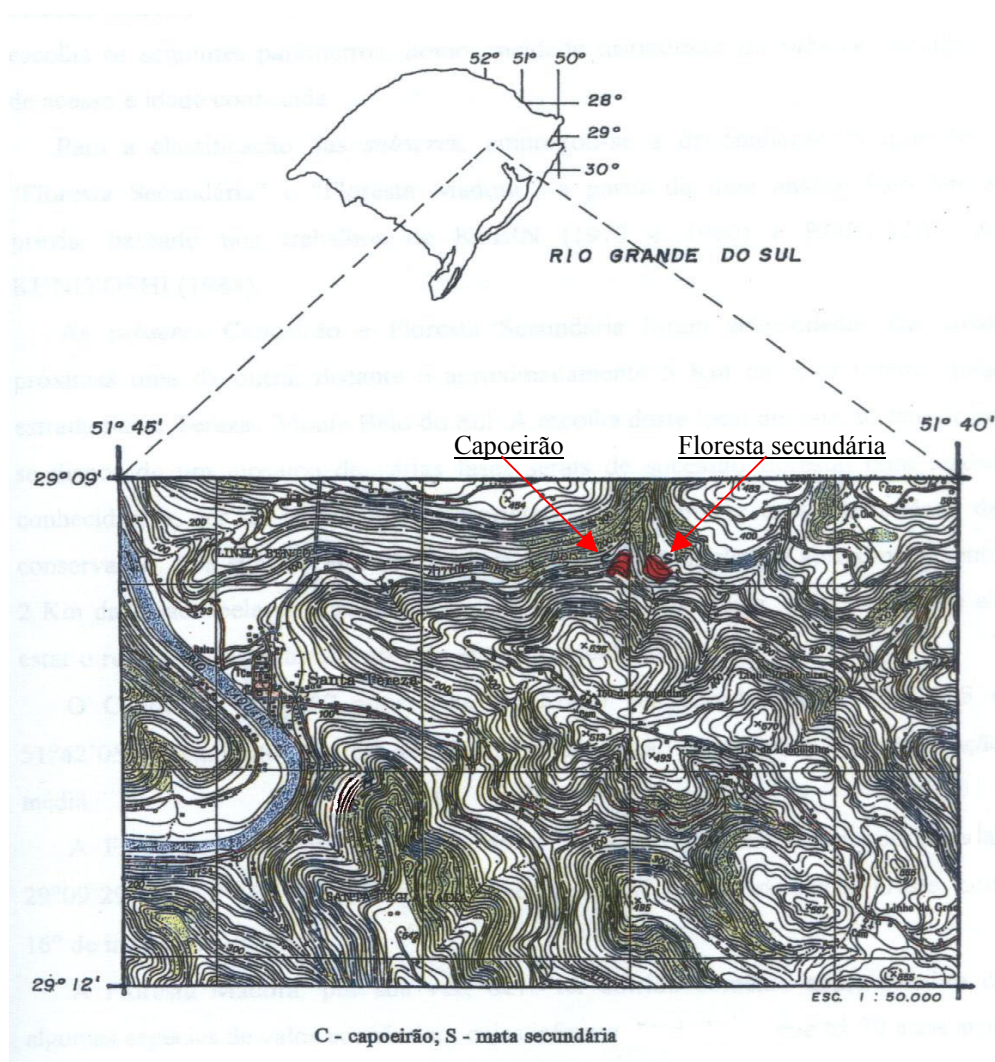


FIGURA 1: Localização das áreas de estudo. Santa Tereza, RS.

A zona urbana de Santa Tereza situa-se em terreno plano a suavemente ondulado, pois se encontra às margens do Rio Taquari, a cerca de 100 metros de altitude. A pequena cidade é rodeada por elevações montanhosas que atingem em torno de 500 a 600 metros de altitude, propiciando a formação de vales que são permeados por diversos arroios que abastecem o Rio Taquari. As vertentes dos morros são cobertas por vegetação pertencente à Floresta Estacional Decidual, em vários estágios sucessionais, entremeadas por poucas áreas cultivadas. Nos topos dos morros, em altitudes superiores a 500 metros, já se nota a ocorrência da Floresta Ombrófila Mista, com a presença de *Araucaria angustifolia*.

Para este estudo, foram utilizadas duas das três áreas trabalhadas por Vaccaro (1997), ou seja, duas fases sucessionais de porte arbóreo de uma Floresta Estacional Decidual. O autor teve como critério de escolha das áreas os seguintes parâmetros: homogeneidade fisionômica da *subsere* e idade conhecida. Denominou as *subseres* ou fases sucessionais de “capoeirão” e “floresta secundária”. As características gerais de localização destas áreas estão expostas na Tabela 1.

TABELA 1: Parâmetros gerais das duas fases sucessionais estudadas. Santa Tereza, RS. 2003.

Subsere	Idade (anos)	Coordenadas	Altitude (m)	Exposição	Inclinação
Capoeirão	33	29°09'28''S 51°42'05''W	215	Norte	5°
Floresta secundária	53	29°09'29''S 51°41'49''W	180	Oeste	16°



Os dados relativos à localização geográfica das áreas foram obtidos com o uso de GPS de navegação, junto ao centro aproximado de cada área. A idade média das fases sucessionais foi obtida em entrevista aos mais antigos moradores do município.

### 3.1.2 Clima

A região onde se situam as áreas de estudo encontra-se sob clima **Cfa** segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961), caracterizado por clima subtropical úmido, chuvas bem distribuídas ao longo do ano, temperaturas do mês mais frio entre  $-3^{\circ}$  e  $18^{\circ}\text{C}$  e temperatura média do mês mais quente superior a  $22^{\circ}\text{C}$ .

Em virtude de não se ter dados meteorológicos específicos de Santa Tereza ou de município vizinho, em que o mesoclima seja semelhante, influenciado pelas formações de vales e riqueza de cursos d'água, tomou-se as isotermas e as isoietas apresentadas por Moreno (1961), as quais caracterizam a temperatura média anual da região girando em torno de  $18^{\circ}\text{C}$  e a precipitação média anual de aproximadamente 1800 mm, com distribuição uniforme durante o ano.

### 3.1.3 Solos

Os solos são derivados de Rochas Efusivas Básicas da Formação Serra Geral, apresentando basalto como substrato.

Para a realização da classificação do solo das áreas de estudo, Vaccaro (1997) fez a abertura de uma trincheira para estudo de perfis,

próximo ao centro de cada *subserie*. Os solos das referidas áreas foram classificados, com base em Streck *et al.* (2002), como:

- Capoeirão: Neossolo Litólico, eutrófico, A moderado, textura média, relevo ondulado;
- Floresta Secundária: Cambissolo Húmico alumínico típico, eutrófico, A chernozêmico, textura média, relevo forte ondulado.

### 3.1.4 Vegetação

Quanto à composição florística das duas fases sucessionais, Vaccaro (1997) expõe o que se segue.

No Capoeirão, foram encontradas 42 espécies, distribuídas em 37 gêneros e 21 famílias botânicas. Em termos de riqueza florística, destacaram-se as famílias Leguminosae (8 espécies), Solanaceae (4 espécies), Euphorbiaceae, Sapindaceae e Myrtaceae (3 espécies cada). Estas 5 famílias abrangeram 50% das espécies levantadas. Quanto ao número de indivíduos, sobressaíram-se as famílias Leguminosae (45,2%), Sapindaceae (15,8%) e Tiliaceae (14,0%).

Dentre as espécies mais características desta *subserie* destacam-se *Luehea divaricata* Mart., *Bauhinia forficata* Benth., *Cupania vernalis* Camb., *Lonchocarpus campestris* Mart. Ex Benth., *Allophylus edulis* (St. Hil.) Radlk., *Casearia silvestris* Sw., *Machaerium paraguariense* Vogel, *Diospyrus inconstans* (Jacq.) Griseb. e *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan.

Na Floresta Secundária, o referido autor encontrou 48 espécies, pertencentes a 39 gêneros e 23 famílias. As famílias com maior riqueza de

espécies foram Leguminosae (8 espécies), Lauraceae (5 espécies), Flacourtiaceae, Myrtaceae e Sapindaceae (4 espécies cada). Estas 5 famílias abrangeram 52,1% das espécies amostradas. No que se refere ao número de indivíduos, a família Sapindaceae representou 46,2% dos indivíduos, seguida da família Leguminosae (16,8%) e Meliaceae (10,2%).

As espécies mais características da Floresta Secundária foram *Cupania vernalis* Camb., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, *Ocotea puberula* Nees, *Allophylus edulis* (St. Hil.) Radlk, *Trichilia elegans* A. Juss., *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Machaerium paraguariense* Vogel, *Matayba elaeagnoides* Radlk. e *Luehea divaricata* Mart.

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Biomassa Acima do Solo

Em cada uma das fases sucessionais, foram instaladas, aleatoriamente, três (03) unidades amostrais de formato quadrado, medindo 10 m x 10 m de área, visou-se, com isso, adequar a localização e o formato das mesmas em relação a outras unidades amostrais permanentes instaladas nas florestas, as quais apresentam pequena área total, entre 2 e 3 hectares cada.

As unidades amostrais foram dimensionadas com o uso de trena e demarcadas com estacas de madeira nas extremidades e circuladas com fita plástica. Após isso, todos os indivíduos com CAP  $\geq 10$  cm (estrato arbóreo) foram medidos em relação a esta variável e identificados quanto à espécie. Também se procedeu a uma identificação generalista, para a obtenção de

uma lista geral das espécies mais encontradas, para os estratos regenerativos (arbustivo e herbáceo). Os dados foram coletados durante o primeiro semestre de 2003.

No momento do abate dos indivíduos, em cada unidade amostral, as plantas foram agrupadas por estrato vegetativo, concomitante com classes de altura e CAP, ou seja:

- 1) Estrato herbáceo - ervas, plântulas e arbustos com altura  $\leq 1,30$  m;
- 2) Estrato arbustivo - arbustos e árvores com altura  $> 1,30$  m e circunferência à altura do peito (CAP)  $< 10,0$  cm;
- 3) Estrato arbóreo - árvores com CAP  $\geq 10,0$  cm;
- 4) Estrato das lianas – cipós e epífitas de todos os tamanhos.

Com base nos dados da composição de espécies e CAPs foram calculados os parâmetros fitossociológicos (Densidade, Dominância e Frequência Relativas e Absolutas e o Índice de Valor de Importância (IVI).

A estimativa da biomassa acima do solo foi feita por estrato, sendo que a remoção dos espécimes e quantificação de biomassa ocorreu no sentido do estrato herbáceo para o estrato arbóreo. Todas as plantas foram cortadas ao nível do solo.

Nos estratos herbáceo e das lianas, os indivíduos foram cortados e quantificados em relação a sua massa fresca total, sem separação em indivíduos ou frações. No estrato arbustivo, os indivíduos foram abatidos e segregados em duas frações, ou seja, caule/galhos e folhas, de forma total para cada parcela (Figura 2).

As lianas eram retiradas à medida que iam “aparecendo” na parcela, uma vez que boa parte dos cipós estava associada à copa das árvores

maiores da unidade amostral, o que permitia que apenas parte dos mesmos pudesse ser retirada quando da remoção dos estratos regenerativos (herbáceo e arbustivo).



FIGURA 2: Retirada do estrato herbáceo ( $h < 1,3$  m) (A) e do arbustivo ( $> 1,30$  m de altura e  $< 10$  cm de CAP) (B). Santa Tereza, RS. 2003.

No estrato arbóreo, as plantas eram abatidas com o uso de moto-serra e retirava-se os seus galhos e cipós associados. Antes da determinação da sua biomassa, cada árvore era cubada rigorosamente segundo o método de Smalian (Finger, 1992), podendo-se obter com isso a altura total e do tronco, CAP e DAP, área basal e volume (Figura 3). Estas variáveis foram obtidas com o intuito de, futuramente, serem utilizadas para formulação de modelos capazes de prescrever os dados de biomassa, uma vez que as mesmas apresentam relativa facilidade de obtenção.

Após a cubagem, as árvores foram segregadas nas frações madeira do tronco, casca do tronco, galhos e folhas. Os galhos foram separados do

tronco e classificados como vivos (verdes) e mortos (secos); dos galhos vivos coletaram-se todas as folhas. A partir do tronco, foram considerados como galhos todo o material lenhoso acima do ponto de inversão morfológica.



**C** FIGURA 3: Retirada do estrato arbóreo (A: derrubada; B: corte de cipós e galhos; C: cubagem com medição de circunferência do tronco). Santa Tereza, RS. 2003

A massa fresca das folhas, galhos vivos e mortos, casca e madeira do tronco do estrato arbóreo, bem como as frações dos demais estratos, foi determinada a campo, com auxílio de balança de gancho.

Das frações segregadas no estrato arbóreo (folhas, galhos vivos e mortos, casca e madeira do fuste), arbustivo (madeira/galhos e folhas), herbáceo e lianas, foram retiradas amostras, as quais tiveram suas massas frescas aferidas a campo.

Para a amostragem das frações madeira e casca do fuste, foram retirados, com o uso de moto-serra, três discos de 5 cm de espessura de cada tronco, sendo um na base, outro no meio e outro no final do comprimento do tronco. Destes três discos, separou-se a casca da madeira e aferiu-se igualmente a massa fresca de ambos. A partir da relação massa seca / massa fresca das amostras destas frações, estimou-se primeiro o percentual de madeira e de casca de cada amostra e depois a massa seca total das mesmas, para o tronco inteiro.

Cada amostra foi acondicionada em saco plástico, devidamente identificado, sendo posteriormente levados ao Laboratório de Ecologia Florestal, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais – Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, visando a determinação da massa seca e teor de nutrientes. Visando evitar o aparecimento de fungos nas amostras, após cada dia de coleta, as mesmas eram postas a secar ao sol para uma pré-secagem.

De forma a dar maior representatividade à amostragem realizada a campo, em virtude da determinação da percentagem de massa seca e teor de nutrientes, a constituição das amostras para cada parcela, no momento da coleta, foi organizada da seguinte forma: nos estratos herbáceo e das

lianas, após a coleta dos mesmos, foi retirada uma amostra que contemplasse a maioria, senão todas as espécies da parcela, com uma proporcionalidade também em relação a galhos/tronco e folhas. No estrato arbustivo, o mesmo princípio foi seguido na formulação das amostras das duas frações deste estrato.

Para os estratos inferior, médio e superior, a biomassa foi coletada de forma separada para cada árvore, com as cinco frações sendo levadas ao laboratório e aferida a massa seca da mesma forma, somente as amostras sendo reunidas em uma para cada fração/parcela para a realização das análises químicas.

A Figura 4 apresenta os demais passos da metodologia de coleta de biomassa acima do solo, com aspectos relacionados à separação de folhas e galhos, pesagem das frações e amostragem de madeira e casca.