

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIENCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA FLORESTAL**

**BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE ERVA-  
MATE (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), NO MUNICÍPIO  
DE NOVA PRATA, RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Gabriel Berger**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2006**

**BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE ERVA MATE  
(*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), NO MUNICÍPIO DE NOVA  
PRATA, RS**

**por**

**Gabriel Berger**

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

Orientador: Prof. Dr. Doádi Antônio Brena

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**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 EM PLANTIOS DE ERVA MATE (*Ilex  
paraguariensis* A. St.-Hil.), NO MUNICÍPIO DE NOVA PRATA, RS**

elaborada por  
**Gabriel Berger**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Doádi Antônio Brena, Dr.  
(Presidente/Orientador)**

**Ivanor Müller, Dr. (UFSM)**

**Mauro Valdir Schumacher, Dr. (UFSM)**

**Santa Maria, 23 de outubro de 2006.**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha noiva Andressa, pelo carinho, compreensão e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Doádi Antonio Brena, pelo apoio, empenho dedicado a mim durante a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos Carlos Roberto Santos da Silva, Mário Terra Leite, Tarso Mastela, Lamaisson dos Santos e funcionário Jorge Luiz Puhales, pela ajuda, companheirismo e amizade durante a coleta de dados.

Ao doutorando Eduardo Pagel Floriano, pela ajuda no processamento dos dados.

À minha família, pela força e estímulo.

À Capes, pela bolsa concedida.

## RESUMO

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

### **BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), NO MUNICÍPIO DE NOVA PRATA, RS**

Autor: Gabriel Berger

Orientador: prof. Dr. Doádi Antônio Brena

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 23 de outubro de 2006.

Este trabalho teve como objetivos estimar a biomassa total da erva-mate, produzida na colheita, determinar a concentração de nutrientes nos componentes da biomassa, quantificar os nutrientes exportados na colheita da erva-mate e ajustar modelos matemáticos que quantificassem por meio de equações a biomassa de colheita, residual e total. Inicialmente foram avaliadas trinta parcelas circulares, sendo que cada parcela possuía uma área de 44,18m<sup>2</sup>. Foram amostradas no total 306 árvores. Nessas parcelas, foram medidas as seguintes variáveis biométricas de cada planta: altura total em metros (ht), diâmetro dos troncos a 0,60 metros acima do solo (d 0.6 metros), raio médio de copa em metros, área de copa em metros quadrados, comprimento médio de copa em metros e avaliou-se a biomassa de colheita composta de folhas mais talos e biomassa residual. Em seguida, em cada parcela amostrada foi avaliada uma planta situada fora desta, que apresentou a média das características dendrométricas das árvores incluídas nas parcelas. Nessas 30 árvores foram determinadas novamente as variáveis biométricas e biomassa de colheita e residual. Após isto cada árvore foi decepada ao nível do solo, determinando o peso verde de madeira, casca e raiz. A biomassa área acrescida da biomassa de raízes constitui a biomassa total. Posteriormente retirou-se amostras verdes, de folhas mais talos, resíduos, madeira, casca e raiz as quais foram secadas em estufa, para posterior determinação da biomassa e a concentração de nutrientes. A construção das equações para estimar a biomassa, utilizou-se o pacote estatístico Sas System versão 8. Foi utilizado o método Stepwise de seleção de variáveis independentes, em que se limitou ao máximo a inclusão de três variáveis nas equações selecionadas, e o R<sup>2</sup> parcial da variável independente superior a 1% para considerá-la significativa. O teste de seleção de equações foi realizado com e sem intercepto. Os resultados apresentados pelas equações sem intercepto foram superiores às equações com intercepto, tendo sido então desprezados esses últimos. A determinação do teor de nutrientes foi realizada na matéria seca de folhas mais talos, madeira, resíduos, casca e raiz. A biomassa média verde e seca de folhas mais talos, amostradas nas 30 unidades amostrais em kg/árvore e kg/ha foram respectivamente: 7,849; 18577,34; 3,081; 7585,22. A biomassa média verde e seca de resíduos nas 30 unidades amostrais em kg/árvore e kg/ha foram respectivamente: 2,583; 6195,71; 1,009; 3052,01. A biomassa média verde e seca de folhas mais talos, amostradas nas 30 árvores abatidas em kg/árvore foram respectivamente: 7,713 e 3,174. A biomassa média verde e seca de resíduos, amostradas nas 30 árvores abatidas em kg/árvore foram respectivamente: 2,708 e 1,358. A biomassa média verde e seca de madeira, amostradas nas 30 árvores abatidas em kg/árvore foram respectivamente: 13,609 e 6,785. A biomassa média verde e seca de casca, amostradas nas 30 árvores abatidas em kg/árvore foram respectivamente: 1,427 e 0,847. A biomassa média verde e seca de raiz, amostradas nas 30 árvores abatidas em kg/árvore foram respectivamente: 7,678 e 4,693. A biomassa total média verde por árvore abatida em kg/árvore foi de 33,135. A biomassa total média seca por árvore abatida em kg/árvore foi de 16,857. As equações estimadas para as diferentes biomassas secas da erva-mate foram as seguintes: biomassa de madeira =  $0,28329.rm + 0,07082.dh^2$ ; biomassa de casca =  $0,44728.lnm + 1,33596.im^2$ ; biomassa de raiz =  $2,32270.lnm + 12,81476.im^2$ ; biomassa de resíduos =  $0,34026.m - 2,61245.ln^2m + 0,43581.rm$ ; biomassa de folhas mais talos =  $0,56043.ac + 2,06004.ln^2d$ ; biomassa total =  $11,29406.rm + 0,10522.dh^2$ . A biomassa seca total do povoamento foi de 41.078,03 kg/ha, sendo assim distribuídas madeira 16.654,49 kg/ha; raízes 11.973,01 kg/ha; folhas mais talos 7.582,22 kg/ha; resíduos 3.052,01 kg/ha e casca com 2.113,30 kg/ha. Os macronutrientes exportados do povoamento obedecem a seguinte ordem: nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > enxofre > fósforo. Os componentes que apresentam as maiores quantidades de macronutrientes por hectare são: folhas mais talos (404,26 kg/ha), seguido pela raiz (313,50 kg/ha), madeira (149,93 kg/ha), resíduo (104,75

kg/ha) e por último a casca (93,16 kg/ha). Os micronutrientes exportados do povoamento obedece à seguinte ordem: ferro > manganês > zinco > boro > cobre. Os componentess que apresentam as maiores quantidades de micronutrientes por hectare são: raiz (19,31 kg/ha), seguido pela folhas mais talos (6,43 kg/ha), madeira (2,50 kg/ha), casca (2,24 kg/ha) e por ultimo os resíduos (1,08 kg/ha).

Palavras chave: Erva-mate, Biomassa, Nutrientes.

## ABSTRACT

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

### **BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), NO MUNICÍPIO DE NOVA PRATA, RS**

### **BIOMASS AND NUTRIENTS IN HERBAL TEA (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) STANDS, IN NOVA PRATA COUNTY, RS**

Author: Gabriel Berger

Adviser: Doádi Antônio Brena

Date and Place of Defense: Santa Maria, October 23<sup>th</sup>, 2006.

This study had as objective to quantify the total herbal tea biomass, to quantify the biomass produced in harvesting, to determine the nutrients amount in biomass compartments, to quantify the exported nutrients in herbal tea harvesting and to adjust mathematic models to quantify, due to equations, the harvest, residual and total biomass. Thirty plots were evaluated, totalizing 306 trees, where each circular plot had 44,18 m<sup>2</sup> as area. In these plots, the biometric variables of each tree were measured: total height (ht), trunk diameters at 0,60 m above the soil (d 0.6 meters), height from the first branch or trunk, live crown length and crown projection rays. The harvest biomass, composed by leaves, stems and residue was evaluated too. After that, a plant located outside the plot was evaluated, that had the average dendrometric characteristics as the ones included in the plots. Later, each tree was cut at soil level, the leaves and stems, residues, wood, bark and roots weight were determined. The above ground biomass plus the roots biomass consisted in total biomass. The samples taken were dried in an oven to dry biomass and nutrients amount determination. The equations to estimate biomass, were done through SAS System version 8. The Stepwise method of independent variables selection was used, where at maximum 3 variables were included in the selected equations, and the partial R<sup>2</sup> from the independent variable was higher to 1% to be considerable significant. The selection test from equations was done with and without intercept. The results showed by the equations without intercept were higher, being rejected these last ones. The nutrients amount determination was done in leaves and stem, wood, residues, bark and roots dried matter. The average fresh and dried biomass plus stems, sampled in the 30 units in kg/tree and kg/ha were: 7,849; 18577,34; 3,081; 7585,22 respectively. The average fresh and dried biomass residues in the 30 units in kg/tree and kg/ha were: 2,583; 6195,71; 1,009; 3052,01. The average fresh and dried leaves and stems biomass sampled in the 30 felled trees in kg/tree were: 7,713 and 3,174 respectively. The average fresh and dried biomass residues, sampled in 30 felled trees in kg/tree were: 2,708 and 1,358 respectively. The average fresh and dried biomass in wood, sampled in the 30 felled trees in kg/tree were: 13,609 and 6,785 respectively. The average fresh and dried roots biomass, sampled in the 30 felled trees were: 7,678 and 4,693 respectively. The total average fresh biomass per felled tree in kg/tree was 33,135. The total average dried biomass in kg/tree was 16,857. The estimated equations for different herbal tea dried biomasses were: wood biomass = 0.28329.rm + 0.07082.dh<sup>2</sup>; bark biomass = 0,44728.lnm + 1,33596.im<sup>2</sup>; root biomass = 2,32270.lnm + 12,81476.im<sup>2</sup>; residues biomass = 0,34026.m - 2,61245.ln2m + 0,43581.rm; leaves plus stems biomass = 0,56043.ac + 2,06004.ln2d; total biomass = 11,29406.rm + 0,10522.dh<sup>2</sup>. The total stand dried biomass was 41.078,03 kg/ha, being distributed: 16.654,49 kg/ha in the wood; 11.973,01 kg/ha in the roots; 7.582,22 kg/ha in leaves plus stems; 3.052,01 kg/ha in residues and 2.113,30 kg/ha in the bark. The macronutrients exported outside the stand follow this order: nitrogen > potassium > calcium > magnesium > sulphur > phosphorus. The components that show the higher amounts per hectare are: leaves plus stems (404,26 kg/ha), followed by roots (313,50 kg/ha), wood (149,93 kg/ha), residue (104,75 kg/ha) and bark (93,16 kg/ha). The micronutrients exported followed this order: iron > manganese > zinc > boron > copper. The compartments that show the higher amounts per hectare are: roots (19,31 kg/ha),

followed by leaves plus stems (6,43 kg/ha), wood (2,50 kg/ha), bark (2,24 kg/ha) and residues (1,08 kg/ha).

Key-words: Herbal tea, Biomass, Nutrients.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Locais de ocorrência natural da erva mate.....	23
FIGURA 2 – Localização da área de estudo.....	35
FIGURA 3 – Aspecto da parcela antes da poda.....	37
FIGURA 4 – Aspecto da parcela após sofrer poda.....	37
FIGURA 5 – Aspecto da biomassa resultante da colheita.....	38
FIGURA 6 – Aspecto da biomassa residual.....	39
FIGURA 7 – Madeira pertencentes ao CD4.....	41
FIGURA 8 – Aspecto da peneira utilizada para separar as raízes da terra.....	42
FIGURA 9 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de madeira.....	51
FIGURA 10 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de casca.....	54
FIGURA 11 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de raiz.....	56
FIGURA 12 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de resíduos.....	59
FIGURA 13 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de folhas mais talos.....	62
FIGURA 14 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa total.....	64
FIGURA 15 – Porcentagem dos macronutrientes em relação a cada componente da erva-mate.....	70
FIGURA 16 – Porcentagem dos micronutrientes em relação a cada componente da erva-mate.....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Quantidades médias de N, P, K, Ca e Mg em kg/ha, acumuladas pelos diversos componentes de árvores de <i>Eucalyptus saligna</i> , cultivados na região de Curvelo, MG, no espaçamento de 3 x 2 m, aos 9 anos de idade.....	33
TABELA 2 – Quantidades médias de N, P, K, Ca e Mg em kg/ha, acumuladas pelos diversos componentes de árvores de <i>Eucalyptus citriodora</i> , cultivados na região de Curvelo, MG, no espaçamento de 3 x 2 m, aos 9 anos de idade.....	33
TABELA 3 – Divisão do fuste em classes de diâmetro.....	40
TABELA 4 – Número de amostras avaliadas por componentes da erva-mate.....	45
TABELA 5 –Valores das variáveis mensuradas nas trinta unidades amostrais e para as trinta árvores abatidas .....	47
TABELA 6 – Biomassa verde e seca em kg/árvore e kg/ha para as folhas mais talos e resíduos amostrados nas trinta unidades amostrais e seus respectivos teores de umidade.....	48
TABELA 7 – Biomassa verde e seca média de folhas mais talos, resíduos, madeira, casca e raiz nas 30 árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.....	48
TABELA 8 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de madeira.....	49
TABELA 9 – Resultado da análise da variância para a biomassa da madeira.....	49
TABELA 10 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa da madeira.....	50

TABELA 11 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de casca.....	52
TABELA 12 – Resultado da análise da variância para a biomassa de casca.....	52
TABELA 13 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de casca.....	53
TABELA 14 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de raiz.....	54
TABELA 15 – Resultado da análise da variância para a biomassa de raiz.....	55
TABELA 16 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de raiz.....	55
TABELA 17 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de resíduos.....	57
TABELA 18 – Resultado da análise da variância para a biomassa de resíduos.....	57
TABELA 19 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de resíduos.....	58
TABELA 20 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de folhas mais talos.....	60
TABELA 21 – Resultado da análise da variância para a biomassa de folhas mais talos.....	60
TABELA 22 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de folhas mais talos.....	61
TABELA 23 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa total.....	62
TABELA 24 – Resultado da análise da variância para a biomassa total.....	63
TABELA 25 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa total.....	63
TABELA 26 – Biomassa seca em kg/ha nos diferentes componentes da erva-mate.....	65

TABELA 27 – Teores dos macronutrientes nos componentes da erva- mate.....	66
TABELA 28 – Teores dos micronutrientes nos componentes da erva- mate.....	68
TABELA 29 – Quantidade dos macronutrientes na biomassa total.....	69
TABELA 30 – Quantidade dos micronutrientes na biomassa total.....	71

## ANEXOS

ANEXO 1 – Valores das variáveis mensuradas nas trinta unidades amostrais.....	83
ANEXO 2 – Valores das variáveis mensuradas nas trinta árvores abatidas.....	84
ANEXO 3 – Biomassa verde e seca de folhas mais talos, amostradas nas trinta unidades amostrais, com seus respectivos teores de umidade.....	85
ANEXO 4 – Biomassa verde e seca de resíduos nas trinta unidades amostradas, com seus respectivos teores de umidade.....	86
ANEXO 5 – Biomassa verde e seca de folhas mais talos nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.....	87
ANEXO 6 – Biomassa verde e seca de resíduos nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.....	88
ANEXO 7 – Biomassa verde e seca de madeira nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.....	89
ANEXO 8 – Biomassa verde e seca de casca nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.....	90
ANEXO 9 – Biomassa verde e seca de raiz nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.....	91
ANEXO 10 – Biomassa verde total nas trinta árvores abatidas.....	92
ANEXO 11 - Biomassa seca total nas trinta árvores abatidas.....	93

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
<b>2.1 A erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.)</b> .....	19
2.1.1 Evolução histórica.....	19
2.1.2 Produção atual.....	20
2.1.3 Taxonomia e nomenclatura.....	21
2.1.4 Descrição botânica.....	21
2.1.5 Aspectos ecológicos.....	22
2.1.6 Ocorrência natural.....	22
2.1.7 Solos.....	23
2.1.8 Clima.....	24
2.1.9 Aspectos reprodutivos.....	24
<b>2.2 Estudo da biomassa</b> .....	25
2.2.1 Biomassa acima do solo.....	26
2.2.2 Biomassa abaixo do solo.....	27
<b>2.3 Nutrientes na Erva-mate</b> .....	28
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	35
<b>3.1 Caracterização da área em estudo</b> .....	35
<b>3.2 Avaliação da biomassa</b> .....	36
3.2.1 Biomassa avaliada nas parcelas.....	36
3.2.2 Biomassa avaliada nas 30 árvores abatidas.....	39
3.2.3 Variáveis amostradas nas parcelas.....	43
3.2.4 Variáveis amostradas nas 30 árvores abatidas.....	44
<b>3.3 Seleção das variáveis e construção das equações para estimar a biomassa seca</b> .....	44

3.3.1 Modelagem para a construção das equações de biomassa de folhas mais talos, madeira, casca, raiz e biomassa total. ....	44
<b>3.4 Análise dos nutrientes na erva-mate.....</b>	<b>45</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Parâmetros dendrométricos.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 Equações para estimar a biomassa seca.....</b>	<b>48</b>
4.2.1 Seleção das variáveis para estimar a equação de biomassa de madeira.....	48
4.2.1.1 Análise da variância para a biomassa de madeira.....	49
4.2.1.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de madeira.....	49
4.2.1.3 Equação selecionada para a biomassa de madeira.....	50
4.2.1.4 Análise dos resíduos para a biomassa de madeira.....	50
4.2.2 Seleção das variáveis para estimar a equação de biomassa de casca.....	51
4.2.2.1 Análise da variância para a biomassa de casca.....	52
4.2.2.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de casca.....	53
4.2.2.3 Equação selecionada para a biomassa de casca.....	53
4.2.2.4 Análise dos resíduos para a biomassa de casca.....	53
4.2.3 Seleção das variáveis para estimar a equação de biomassa de raiz.....	54
4.2.3.1 Análise da variância para a biomassa de raiz.....	55
4.2.3.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de raiz.....	55
4.2.3.3 Equação selecionada para a biomassa de raiz.....	55
4.2.3.4 Análise dos resíduos para a biomassa de raiz.....	56
4.2.4 Seleção das variáveis para estimar a equação de resíduos.....	56
4.2.4.1 Análise da variância para a biomassa de resíduos.....	57
4.2.4.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de resíduos.....	57
4.2.4.3 Equação selecionada para a biomassa de resíduos.....	58
4.2.4.4 Análise dos resíduos para a biomassa de resíduos.....	58
4.2.5 Seleção das variáveis para estimar a equação de folhas mais talos.....	59
4.2.5.1 Análise da variância para a biomassa de folhas mais talos.....	60

4.2.5.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de folhas mais talos.....	61
4.2.5.3 Equação selecionada para a biomassa de folhas mais talos.....	61
4.2.5.4 Análise dos resíduos para a biomassa de folhas mais talos .....	61
4.2.6 Seleção das variáveis para estimar a equação de biomassa total.....	62
4.2.6.1 Análise da variância para a biomassa total.....	63
4.2.6.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa total.....	63
4.2.6.3 Equação selecionada para a biomassa total.....	63
4.2.6.4 Análise dos resíduos para a biomassa total.....	64
<b>4.3 Quantificação da biomassa seca.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4 Concentração de nutrientes na erva-mate.....</b>	<b>66</b>
4.4.1 Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos componentes da erva-mate.....	66
4.4.2 Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos componentes da erva-mate.....	68
4.5 Conteúdo dos macronutrientes e micronutrientes na biomassa total.....	69
4.5.1 Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) presentes na biomassa total.....	69
4.5.2 Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) presentes na biomassa total.....	71
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A erva-mate como tantas outras espécies nativas, ainda é carente de estudos e pesquisas que possibilitem aumentar os benefícios de sua exploração econômica.

O cultivo da erva-mate sempre constitui uma atividade importante, alternativa na geração de emprego, renda aos produtores e propriedades rurais situados na região de ocorrência da espécie.

As exigências ecológicas da erva-mate quando às condições de solo, clima, suprimento de água e nutrientes, para o cultivo da espécie ainda são pouco conhecidas. Grandes variações de crescimento e produção de biomassa são observadas quando se cultiva e produz erva-mate em diferentes tipos de solo.

A maioria das pesquisas existentes se refere aos solos onde a espécie possui ocorrência natural. A interpretação da análise do solo e respectivas recomendações ainda não têm apoio de dados experimentais.

Geralmente os trabalhos dendrométricos são relacionados com espécies introduzidas de rápido crescimento, principalmente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. A erva-mate quando cultivada para fins econômicos também apresenta um crescimento rápido, mas, apenas suas folhas juntamente com os talos apresentam importância econômica, e são alvos de estudo.

É importante saber nesta fase o estado nutricional bem como a quantidade de biomassa extraída a fim de que seja possível quantificar o quanto de nutrientes é exportado do ecossistema e fazer de maneira correta uma adubação de reposição para garantir a longevidade dos ervais.

Muitas vezes ela deixa de ser estudada devido à inexistência de informações relativas ao seu crescimento e biometria, o que muitas vezes deixa de contribuir para o correto manejo dos ervais. Portanto, a constante busca por informações atualizadas sobre espécies florestais referindo-se ao crescimento e produção, e fornecimento de informações para um correto manejo dos ervais proporcionou a realização desta pesquisa, que teve por objetivos:

- a. quantificar a biomassa total da erva-mate;
- b. quantificar a biomassa de erva-mate produzida na colheita;
- c. determinar a concentração de nutrientes nos componentess da biomassa;

- d. quantificar os nutrientes exportados na colheita da erva-mate;
- e. ajustar modelos matemáticos que quantifiquem através de equações a biomassa de colheita, residual e total.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.)

#### 2.1.1 Evolução histórica

A erva-mate é conhecida desde épocas pré-colombianas, sendo hoje a bebida estimulante provavelmente mais usada na América do sul. Tanto a infusão quente (chimarrão) ou fria (tererê) têm seu uso crescentemente difundido. No Rio Grande do Sul onde é costume ritualístico e cultural importante, a espécie é a árvore símbolo do Estado.

O uso dessa planta como bebida tônica e estimulante já era conhecida pelos aborígenes da América do sul. Os primeiros jesuítas estabelecidos no Paraguai fundaram várias feitorias, nas quais o uso das folhas da erva-mate já era difundido entre os índios guaranis. Os jesuítas se aprofundaram no estudo do sistema vegetativo da planta, visto que as sementes caídas das erveiras não germinavam naturalmente. Os jesuítas definiram preceitos sobre época de colheita de sementes, do preparo e cultivo da erva-mate.

Atualmente existem aproximadamente de 550 a 660 espécies do gênero *Ilex*. Apesar de haver tantas espécies do gênero *Ilex* distribuídas nas zonas temperadas e subtropicais do mundo inteiro, tendo sua dispersão na América do Sul, cerca de 150 a 170 delas ocorrem no Brasil e apenas dez no Rio Grande do Sul. Destas, somente três são espécies erváveis, isto é, prestam-se à produção de erva-mate: *Ilex angustifolia*, que é a erva-mate periquita, existente na região de Sarandi/Erechim; *Ilex amara*, a erva-mate crioula, como o nome indica um pouco mais amarga, e a *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. também conhecida como erva-mate argentina (Anuário Brasileiro da erva-mate, 2000).

### 2.1.2 Produção atual

A erva-mate compõe um dos sistemas agro-florestais mais antigos da Região Sul do Brasil e desempenha um importante papel socioeconômico, ocorrendo de forma nativa em solos ácidos e com baixa fertilidade e quando cultivada possuem solos com melhor fertilidade. A comercialização dos produtos oriundos da erva-mate tem aumentado entre os países integrantes do Mercosul constituindo em uma excelente opção para os pequenos proprietários rurais.

Atualmente, a Argentina é o maior produtor e exportador de erva-mate, com 780 mil e 38 mil toneladas respectivamente. O Brasil é o segundo com 550 mil toneladas produzidas e 24.422 exportadas. A erva-mate também é consumida no Chile e Uruguai, este apresentando maior consumo per capita 8-10 kg/hab/ano, na Argentina é de 6,5 kg/hab/ano e, na Região Sul do Brasil, consome entre 3 e 5 kg/hab/ano (Anuário Brasileiro da Erva Mate, 1999).

A produção mundial gira em torno de 1,3 milhão de toneladas por ano, sendo a China um dos maiores consumidores, pois os orientais consumidores de chás têm-se mostrado adeptos também da erva-mate, e também na Síria, onde o seu consumo foi incentivado em consequência da II Guerra Mundial, em que a população local migrou para a Argentina e, com o fim da guerra, retornou ao seu país de origem, levando consigo esse novo hábito (Vülfing, 2004).

No Brasil, os Estados da Região Sul, juntamente com o Mato Grosso do Sul são os estados que concentram a grande maioria dos ervais. A atividade ervateira tem uma grande importância econômica, em especial para os três estados do sul, estando presente em 180 mil propriedades rurais, abastecendo aproximadamente 725 indústrias, gerando 710 mil empregos e movimentando R\$ 180 milhões de recursos por ano. Esses estados concentram quase 98% da produção da erva-mate do Brasil e mais de 80% dos ervais nativos existentes em toda a América do Sul. Somente o Rio Grande do Sul possui uma área de aproximadamente 44.480 ha cobertos por ervais (Anuário Brasileiro da Erva Mate, 1999).

### 2.1.3 Taxonomia e nomenclatura

De acordo com o Sistema de Classificação de Cronquist, a taxonomia da *Ilex paraguariensis* obedece à seguinte hierarquia:

Divisão: Magnoliophyta (Angiospermae)

Classe: Magnoliopsida (Dicotyledonae)

Ordem: Celastrales

Família: Aquifoliaceae

Espécie: *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire; Mém. Must. d' Hist. Nat. Paris 9: 351, 1822.

Sinonímia botânica: *Ilex domestica* Reissek; *Ilex mate* Saint-Hilaire

Etimologia: *Ilex* é o nome antigo da azinheira usada pelos escritores Horácio, Plínio, etc. Trata-se da carrasqueira-mansa, que é uma espécie de carvalho (*Quercus ilex*); *paraguariensis*: o botânico francês Augusto de Saint-Hilaire coletou um exemplar em Curitiba que, naquela época, pertencia a São Paulo e publicou o nome científico em 1825. Nessa época, a planta era conhecida por “erva-do-paraguai”, razão do nome específico, homenagem do coletor e descritor botânico. Já *mate* vem da palavra quíchua mati, que significa cuia (Edwin & Reitz, 1967 apud Carvalho, 2003).

### 2.1.4 Descrição botânica

A erva-mate varia de arvoreta à árvore perenifólia. A altura dessa espécie é variável; quando cultivada, oscila de 3 a 5 metros, mas, na floresta, pode atingir até 30 metros e 100 cm de DAP, na idade adulta. Apresenta tronco reto ou pouco tortuoso. Fuste geralmente curto, mas, na mata, pode atingir até 11 metros de comprimento. Apresenta ramificação racemosa, quase horizontal. Copa baixa, com folhagem verde-escura; casca com espessura de até 20 mm, sendo a casca externa cinza-clara acastanhada, áspera a rugosa, com lenticelas formando linhas longitudinais com cicatrizes transversais (Carvalho, 2003); casca interna com textura arenosa e cor branco-amarelada que, após incisão e com contato com o ar, escurece (Ivanchechen, 1988 apud Carvalho, 2003).

Apresentam folhas simples, alternas, geralmente estipuladas, subcoriáceas, glabras, verde-escuras em cima e claras em baixo; limbo foliar obovado com 5 a 10 cm de comprimento, por 3 a 4 cm de largura; margem irregular serrilhada ou dentada; pecíolo relativamente curto com 7 a 15 mm de comprimento; flores brancas, pequenas; fruto do tipo globoso (Carvalho, 2003); apresenta floração de outubro a dezembro, e frutificação de janeiro a março (Backes & Irgang, 2002).

De acordo com Bittencourt Filho (1983), a erva-mate diferencia-se em quatro (4) tipos:

- erva-mate com folhas pequenas, coriáceas e talo branco;
- erva-mate com folhas pequenas, coriáceas e talo roxo;
- erva-mate com folhas grandes, membranáceas e talo branco;
- erva-mate com folhas grandes, membranáceas e talo roxo.

#### 2.1.5 Aspectos ecológicos

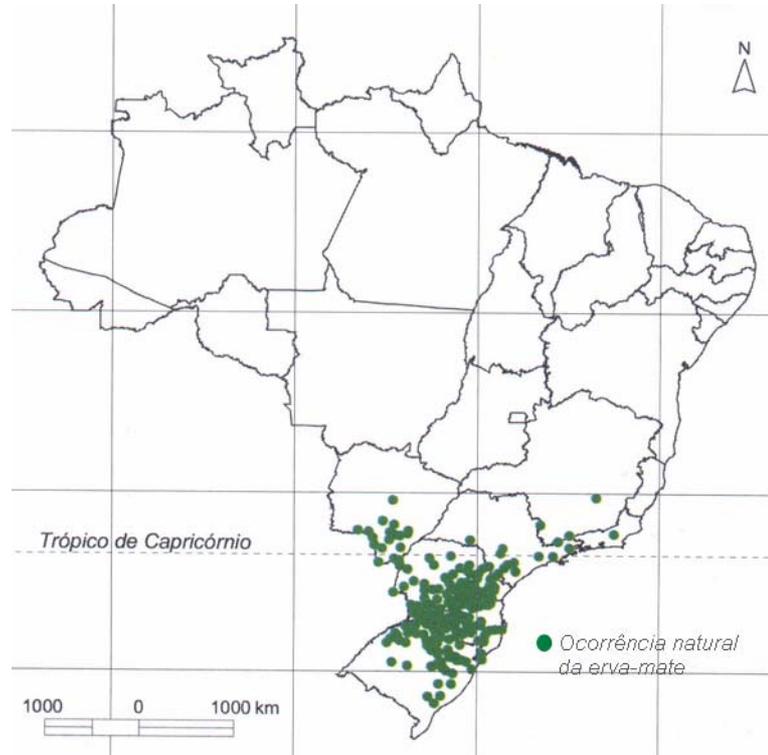
A erva-mate é uma espécie clímax, tolerante à sombra. Seu crescimento se dá nas associações mais evoluídas dos pinhais. É uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), sempre em associações nitidamente evoluídas com a *Araucaria angustifolia* (Carvalho, 2003).

#### 2.1.6 Ocorrência natural

A *Ilex paraguariensis* ocorre numa ampla região compreendida entre 12° e 35° Sul e 40° e 65° Oeste, dentro do qual se pode definir uma zona menor, delimitada pelos paralelos 18° e 30° e os meridianos de 47° e 58°, onde a presença da erva-mate é mais freqüente, conforme apresentado na Figura 1. Segundo Oliveira & Rotta (1985), no Brasil, a ocorrência natural da erva-mate compreende 450.000 km<sup>2</sup>, ou seja, 5% do território brasileiro.

Ocorre em associações com a araucária desde Campos de Jordão, a leste de São Paulo, região sudeste de Minas Gerais e ao sul do Rio Grande do Sul. A erva-

mate é ausente em campos naturais, com exceção dos pontos de contato com as matas nativas anteriormente existentes (Oliveira & Rotta, 1985)



Fonte: Carvalho (2003).

**FIGURA 1 – Locais de ocorrência natural da erva-mate.**

### 2.1.7 Solos

A espécie ocorre em solos de baixa fertilidade, apresentando normalmente baixos teores de cátions trocáveis, altos teores de alumínio e pH baixo, não ocorre em solos hidromórficos. Seu plantio deve ser evitado em solos úmidos não-permeáveis; preferência por solos profundos e textura argilosa (Carvalho, 2003). Grande parte da área de ocorrência natural dessa cultura é formada por basalto, com presença predominante dos lato solos (Oliveira & Rotta, 1985).

### 2.1.8 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante para o desenvolvimento dessa espécie é o temperado úmido (Cfb), seguido pelo subtropical úmido (Cfa), ocorrendo ainda em menor grau em clima subtropical de altitude (Cwa) e (Cwb) e em clima tropical (Aw). As chuvas são distribuídas uniformemente na maior parte da sua área, com precipitações médias de 1.200 a 1.500 mm ao ano, apresentando uma temperatura média de 13,2°C a 21,9°C (Carvalho 2003).

### 2.1.9 Aspectos reprodutivos

A erva-mate é uma planta dióica, com flores diclínicas, com um dos sexos abortivos, havendo indivíduos com flores pistiladas (e estaminódios) e indivíduos com flores estaminadas (e pistilódios) (Mattos, 1985; Winge et al., 1995, apud Carvalho, 2003). Sturion et al. (1995) estudando procedências oriundas das regiões de Cascavel, Toledo e Campo Mourão, localizadas no Paraná, encontraram a proporção de oito árvores masculinas para cinco femininas, aos cinco (5) anos de idade.

Ferreira et al. (1983 apud Fossati, 1997), estudando erva-mate, encontraram também uma proporção de sete indivíduos masculinos para cinco femininos e que os insetos, em especial as abelhas têm papel importante na polinização, podendo também haver alguma influência do vento.

Zanon (1988 apud Fossati, 1997) descreve que, para aumentar a produção de sementes, se deve observar a manutenção de proporção de três erva-mates femininas para uma masculina.

A erva-mate é uma planta totalmente alógama ou de fecundação cruzada, sua floração ocorre de setembro a outubro, os frutos amadurecem de dezembro a abril. O processo reprodutivo inicia em árvores plantadas oriundas de propagação vegetativa, dois (2) anos após o plantio, e em árvores provenientes de sementes por volta dos cinco (5) anos de idade, em sítios adequados. A dispersão é zoocórica sobretudo ornitócorica (Carvalho 2003).

## 2.2 Estudo da biomassa

De acordo com Sanquetta (2002), biomassa refere-se a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. O termo biomassa florestal significa a biomassa existente na floresta ou em porções arbóreas desta. Já Martinelli et al. (1994) dizem que biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível na floresta. Segundo Watzlawick et al. (2002), o termo biomassa vegetal refere-se à massa de vegetal viva de um determinado ecossistema, em um dado intervalo de tempo, podendo também ser considerados a biomassa morta, (árvores caídas e em pé), sendo a soma das duas a biomassa total.

Para Araújo et al. (1999), biomassa arbórea é definida como a quantidade expressa em unidades de massa, do material vegetal existente por área em uma floresta. Em geral, os componentes da biomassa são: biomassa vertical ou biomassa da árvore em pé viva, composta de árvores e arbustos (não considerando as raízes), biomassa morta composta por material caído, composto de raízes. A soma de todos esses compostos resultam na biomassa total.

Salati (1994) explica que há uma diferença entre determinar (métodos diretos) e estimar (métodos indiretos) a biomassa.

Os métodos diretos implicam em determinações que levam em consideração o corte raso de uma determinada área florestal, mensurando o volume e a massa da população ali presente. Determinações não são possíveis em grande área florestal, sendo mais recomendados e utilizados uma fração da população para ajustar e calibrar modelos para estimativa de biomassa. Em razão disso a maioria dos trabalhos relativos a biomassa florestal gera estimativas e não determinações (Sanquetta, 2002).

Os métodos indiretos são utilizados para estimar a biomassa de grandes extensões florestais que, muitas vezes, dependendo das informações, são usadas relações empíricas entre biomassa e outras variáveis, determinando o valor da biomassa seca por hectare para extrapolação da área total considerada (Salati, 1994). O mesmo autor comenta que as principais variáveis relacionadas com a biomassa são dap, altura e volume.

Higuchi et al. (1998), descreve que é muito difícil determinar a biomassa para cada árvore. Em consequência desse fato utiliza-se a análise de regressão para

determinar modelos estatísticos e assim determinar a biomassa de árvores em pé.

Para Koehler et al. (2002), o procedimento mais comum para estimar biomassa em povoamentos florestais é o ajuste de equações pelo uso de técnicas de regressão, em que algumas árvores são amostradas, o peso de cada componente é determinado e relacionado por meio de regressão com variáveis dendrométricas.

### 2.2.1 Biomassa acima do solo

A estimativa de componentes da biomassa é essencial para estudo da produção e proteção florestal, ciclagem de nutrientes, hidrologia, ambientes naturais e comportamento do fogo. Frequentemente, equações alométricas ou razões são usadas, relacionando a biomassa com variáveis de fácil obtenção e mensuração simples, como o diâmetro do tronco ou a área da seção quadrado do alburno (St. Clair, 1993 apud Fleig, 2002).

Para Sanquetta (2002), a relação alométrica é uma boa maneira de relacionar a biomassa e outras variáveis da floresta. O mesmo autor, citando Wendling (1998), propõe o uso de algumas funções:

$$p = a + b \cdot dap + c \cdot dap^2$$

$$p = a + b \cdot dap + c \cdot dap^2 \cdot h$$

$$p = a + b \cdot dap + c \cdot dap^2 + d \cdot (dap^2 \cdot h)$$

$$p = a + b \cdot dap^2 + c \cdot dap^2 \cdot h$$

$$p = a + b \cdot dap + c \cdot h$$

$$p = a + b \cdot dap + c \cdot dap^2$$

$$p = a \cdot dap^b \cdot h^c$$

em que: a, b, c, d= coeficientes estimados por regressão;

dap = diâmetro a altura do peito (1.30 metros);

h = altura total em metros;

p = peso da biomassa.

Regressões logarítmicas foram utilizadas por Krapfenbauer & Andrae (1983 apud Campos, 1991), tomando dap, altura, projeção de copa, combinação dap e altura e biomassa total com variáveis independentes. O mesmo autor, citando Reis et al. (1985), obteve equações para cada componente pelo método stepwise,

utilizando as seguintes variáveis independentes: dap (cm), altura total (m), e a idade (meses) e suas combinações.

Valeri et al. (1989) afirmam que a biomassa do compartimento aéreo tem sido estimada por meio de equações de regressão, sendo baseadas em relações logarítmicas entre o peso de cada componente e uma ou mais variáveis independentes, sendo a variável dap a mais simples de ser obtida para estimar o peso de matéria seca dos componentes das árvores.

Para estimativa da biomassa aérea de bracinga, Baggio et al. (1995) verificaram que a função composta com a variável DAP apresentou a maior precisão, indicando o modelo  $y = a \cdot \text{dap}^b$  para estimar as frações e a biomassa aérea total.

Vale et al. (2002) determinaram que a melhor equação para estimar a biomassa do cerrado em função do diâmetro foi à equação quadrática do tipo  $y = a - bx + cx^2$ .

Barichello (2003) determinou que, para a quantificação da biomassa em uma floresta de *Acacia mearnsii* De Wild na região Sul do Brasil, a equação  $\ln y = b_0 + b_1 \cdot \ln d$ , estimou com precisão a biomassa nos diferentes componentes da árvore.

Pinheiro & Soares (1983) concluíram que a equação  $\log P = a + b \log \text{dap}$  estimou com precisão o peso seco dos resíduos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* na região de Sacramento, MG.

### 2.2.2 Biomassa abaixo do solo

Segundo Marengo & Lopes (2005), em condições normais, a biomassa das raízes corresponde a cerca de 20 a 50% de biomassa total da planta. No entanto, em plantas com estresse hídrico ou falta de nitrogênio mineral, a biomassa das raízes pode representar até 90% da matéria seca total da planta. Em culturas hidropônicas ou solos com adequado suprimento de nutrientes, a proporção de raízes pode ser de apenas 3 a 5% de biomassa total.

O mesmo autor relata que os principais fatores que influenciam a absorção de

nutrientes minerais pelas raízes são temperatura, luz concentração de O<sub>2</sub>, pH, estado nutricional e idade da planta.

Conforme Gonçalves & Mello (2000), os fatores que determinam o crescimento das raízes são o estado nutricional, disponibilidade de O<sub>2</sub> no solo, carboidratos, e a sua alocação relativa e parte aérea.

Os mesmos autores ainda comentam que o conhecimento da configuração do sistema radicular é imprescindível como fonte de subsídios para explicar processos ecofisiológicos básicos, principalmente aqueles relacionados com a nutrição mineral e balanço hídrico das árvores.

Witschoreck et al. (2003) estimaram a biomassa contida nas raízes finas em uma população de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, e concluíram que a maior quantidade encontra-se nos primeiros 20 centímetros de profundidade do solo.

### **2.3 Nutrientes na Erva-mate**

De acordo com Lourenço (1997), a erva-mate possui um comportamento igual às outras plantas, ou seja, tem baixa seletividade absorvendo o que encontra à sua disposição.

Conforme Mazuchowski (1991), em solos com fertilidade natural alta, livre de erosão, a produtividade do erval é constante por muito tempo. Em ervais com longa data de exploração, estes se tornam pouco produtivos e necessitam de adubação.

Segundo Pritchett (1979 apud Haag, 1985), a adubação é um meio de incrementar as taxas do ciclo de nutrientes e de crescimento das árvores em talhões que apresentam diferenças nutricionais. O mesmo autor concluiu que a adição de P e N em povoamento de *Pinus taeda*, corrigiu a presença de copas escassas no povoamento e alterou a funcionalidade do ciclo de nutrientes. Durante os 15 anos do cultivo, a energia fixada na biomassa foi aumentada de 42,5 toneladas por hectare para 224 toneladas por hectare.

Geralmente não se faz adubação nos ervais nativos, pois o solo se beneficia da cobertura de folhas e outros materiais de outros vegetais. Já nos ervais cultivados, no início, o rendimento da erva situa-se em um nível elevado. Porém, ao passar do tempo, o solo vai perdendo a fertilidade natural e a produção começa a

decair. Então é aconselhável a adubação orgânica ou química (Bittencourt Filho, 1983).

De acordo com Lourenço (1997), a adubação de erva-mate ocorre em três fases. Primeiramente, na adubação em viveiro, Sturion (1988 apud Lourenço, 1997) testou dosagens de 0, 2, 4 e 6 g de superfosfato triplo e dos adubos fórmula (6-15-16) e (14-10-5), e concluiu que as mudas tiveram seu desenvolvimento acelerado nos recipientes que receberam doses iguais ou superiores a 4,0 g de superfosfato triplo ou de NPK.

Em outro experimento, em que se fizeram cinco ensaios em viveiros (CNPQ, IAP, Araúpel S.A., Irani Celulose e Papel, EPAGRI) testaram cinco tratamentos de N, P, K, B e Zn . Só houve resposta à adição de fósforo na parte aérea e raiz no viveiro de IAP, e para o boro na raiz na Araúpel S.A. Mudas produzidas por meio de material orgânico com esterco de gado bovino também apresentaram um desenvolvimento satisfatório. Já para a adubação de plantio, observou-se o uso de 60 g de adubo 10-20-10 e aproximadamente 1 kg de esterco orgânico. Após o plantio, nos primeiros dois anos, recomenda-se não utilizar a adubação. Para a adubação de produção, o autor cita Sosa (1994), baseado em pesquisas na Argentina, afirmando que o erval tem resposta positiva à aplicação de NPK na proporção 4:1:1, mais precisamente, a aplicação, em fevereiro, de 200 g de uréia, 50 g de superfosfato triplo e 50 g de cloreto de potássio, por planta.

No Brasil, a utilização da cobertura morta é viável, mas a adubação nitrogenada só é recomendada para solos de textura média. A adubação com nitrogênio e potássio é importante para a produção constante dos ervais, pois esses dois elementos são os que sofrem redução com as colheitas intensivas.

Para a adubação e calagem da erva-mate no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1995) enfatiza que a adubação nitrogenada deve ser realizada no plantio na quantidade de 60 kg de N/ha, quando o teor de matéria orgânica no solo for menor ou igual a 2,5%. Quando o teor de matéria orgânica estiver entre 2,6 e 5,0%, adubar com 40 kg de N/ha. Acima de 5,0% de matéria orgânica adubar com aproximadamente 20 kg de N/ha.

A adubação fosfatada leva em consideração o teor de P no solo. Quando este for limitante na hora do plantio, devem-se aplicar 130 kg  $P_2O_5$ /ha; quando seu teor for muito baixo, aplicar 90 kg de  $P_2O_5$ /ha; quando seu teor for baixo aplicar 60 kg de  $P_2O_5$ /ha; quando seu teor for médio aplicar 40 kg de  $P_2O_5$ /ha; quando seu teor for

suficiente aplicar 20 kg de  $P_2O_5$ , e quando seu teor for alto aplicar menos de 20 kg de  $P_2O_5$ /ha. As reposições de fósforo são de 120 kg para todos os teores de fósforos encontrados.

Para a adubação de potássio quando este for limitante na hora do plantio devem-se aplicar 50 kg  $K_2O$ /ha; quando seu teor for muito baixo, aplicar 40 kg de  $K_2O$ /ha; quando seu teor for baixo aplicar 30 kg de  $K_2O$ /ha; quando seu teor for médio aplicar 20 kg de  $K_2O$ /ha; e quando seu teor for alto aplicar menos de 10 kg de  $K_2O$ /ha. Na reposição recomenda-se 60 kg de  $K_2O$ /ha ou menos quando o potássio no solo for alto.

A comissão comenta que a adubação de plantio deve ser realizada tanto na cova como em sulco. As adubações de crescimento facilitam as rebrotas das plantas após os períodos das colheitas. A adubação de reposição é indicada para repor os nutrientes exportados na colheita, e deve ser reposta após a colheita. A calagem não é necessária, pelo fato de a erva-mate se adaptar às condições de acidez do solo.

Kramer & Koslowski (1960 apud Pereira et al. 1984) enfatizam que a nutrição mineral é extremamente importante na fisiologia da árvore em razão do suprimento adequado dos elementos minerais.

Marenco & Lopes (2005) retratam que a composição química da biomassa vegetal varia com a espécie, os órgãos (raiz, folha, caule, flor, fruto e semente), a idade da planta, a disponibilidade de elementos minerais e as condições ambientais. No total, são dezessete (17) os elementos essenciais para o desenvolvimento da planta, dos quais carbono, oxigênio e hidrogênio representam normalmente mais de 90% da matéria seca.

Os elementos químicos ligados à nutrição mineral de plantas são classificados em dois grupos: elementos benéficos e elementos essenciais. Os elementos benéficos são aqueles que melhoram o desenvolvimento de algumas espécies vegetais, como o silício, o sódio e o selênio. Em média, a matéria seca contém 45% de carbono, 45% de oxigênio e 6% de hidrogênio. Portanto, os elementos minerais em conjunto constituem em média 4% da matéria seca do vegetal. Convencionalmente, aqueles elementos requeridos em altas concentrações ( $\geq 1g\ kg^{-1}$  MS) são chamados de macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S), e os de baixas concentrações ( $\leq 400\ mg\ kg^{-1}$  MS), micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, Cl, Mo, B, Ni).

Para Primavesi (1997 apud, Borsol, 2000), as plantas necessitam de 42 a 45 minerais diferentes para formar todas as substâncias necessárias. Somente doses elevadas de NPK forçam a extração dos demais nutrientes em maior quantidade. Utilizando-se dessa extração, o solo se esgota na média de sete (7), ao máximo de dez (10) anos. E à medida que os nutrientes se esgotam do solo as plantas não conseguem produzir proteínas, flavonoides, vitaminas, hormônios e enzimas para o seu desenvolvimento.

Ferri (1985) diz que a ordem dos elementos químicos de maior importância para as plantas são: Macronutrientes – N, P, K, Ca, Mg e S; Micronutrientes – B, Cl, Fe, Mn, Mo e Zn.

Na classificação, um determinado elemento pode ser considerado essencial se preencher pelo menos um dos seguintes requisitos: (1) o elemento deve ser essencial ao crescimento e ao desenvolvimento da planta, de forma que, na sua ausência, esta seja incapaz de completar o seu ciclo de vida, não produzindo sementes viáveis; (2) a essencialidade deve ser absolutamente específica, não podendo o elemento ser substituído na sua totalidade por outro (parcialmente o  $\text{Na}^{2+}$  pode substituir o  $\text{K}^+$ , o  $\text{Mn}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$ ); (3) o elemento deve ter uma função específica dentro da célula, como ser parte de algum composto essencial (nitrogênio nas proteínas, fósforo nos ácidos nucleicos, magnésio nas clorofilas), catalisador enzimático ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ .) ou regulador osmótico ( $\text{K}^+$ ); e (4) o elemento deve ser essencial à maioria das plantas.

Bellote & Sturion (1985) estudaram o quadro sistematológico de deficiências minerais de erva-mate. As mudas de erva-mate foram cultivadas em vasos contendo areia lavada como substrato na qual se adicionou uma solução nutritiva. Os tratamentos utilizados foram o completo e omissão isolada de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, cobre, ferro e zinco, além de testemunha sem nutrientes. De todos os elementos, o nitrogênio foi o elemento limitante à produção de matéria seca, com resposta semelhante à do tratamento testemunha, ao qual não foi aplicado nenhum nutriente. A ordem decrescente em relação à carência dos nutrientes foi a seguinte: Ca, P, K, Mg, Zn, Cu, Fe.

Na ausência de nitrogênio, houve paralisação do desenvolvimento das mudas e clorose nas folhas. Na ausência de ferro, as folhas apresentaram coloração esbranquiçada. Para o magnésio, ocorreram manchas cloróticas. No cálcio, manchas necróticas arredondadas. No zinco, ocorreram ondulações dos bordos e

encurvamento das folhas mais novas. No cobre, ocorreu crestamento do limbo foliar.

Para Reissmann et al. (1985), em sítios de boa qualidade onde há uma exploração restrita ao fuste, ficando no local folhas e talos, não ocorre um empobrecimento em nutrientes, pois as folhas e talos que possuem uma maior quantidade de nutrientes permanecem no local.

Na erva-mate, ocorrem podas regulares no período de 2 a 4 anos havendo grande exportação de nutrientes nas folhas e ramos, pois são as folhas e os talos que possuem a maior parte de nutrientes necessários para o seu desenvolvimento, daí a necessidade de uma adubação de compensação.

Haag (1985) comenta que, nas florestas exóticas manejadas inadequadamente, ocorre perda de grande quantidade de nutrientes, acarretando em uma perda de produtividade, a menos que pesadas adubações sejam efetuadas. Para as florestas naturais, se a exploração é feita de modo racional, a exportação de nutrientes é mínima. O mesmo autor comenta que a quantidade de nutrientes exportados depende da espécie utilizada, da idade de corte e da utilização total ou parcial da árvore. A biomassa da copa representa uma pequena parcela da árvore total, mas com um elevado teor de elementos minerais.

Segundo Marengo & Lopes (2005), a maioria das espécies aloca a maior parte dos seus assimilados na parte aérea, exceto algumas espécies de regiões desérticas que priorizam as raízes. Portanto, a absorção de sais minerais está relacionada com o funcionamento dessa parte, porque seu rápido crescimento aumenta a absorção de sais minerais necessários para a síntese de compostos essenciais e macromoléculas em geral.

De acordo com Gonçalves (1995), a quantidade de nutrientes contidos na copa (folhas e galhos), na casca e serrapilheira, os quais são os principais componentes dos resíduos culturais, representam uma percentagem muito significativa do estoque de nutrientes de uma plantação florestal. O mesmo autor verificou que cerca de 51 a 82% dos nutrientes estudados (N, P, K, Ca) presentes acima da superfície do solo, estavam contidos nos resíduos culturais.

Para Van den Driessche (1984 apud Campos, 1991), o armazenamento de nutrientes é uma função da distribuição de biomassa e concentração de nutrientes dentro dos vários tecidos e órgãos. Os nutrientes nas árvores podem ser armazenados nos seus diferentes compartimentos em razão das necessidades fisiológicas imediatas ou como reserva para o uso posterior, em outros órgãos. O

mesmo autor ainda retrata que a quantidade de nutrientes nas folhas pode representar mais do que 30% do total da árvore.

As Tabelas 1 e 2 representam respectivamente a quantidade média de nutrientes nas espécies de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora*, em kg/ha.

**TABELA 1 – Quantidades médias de N, P, K, Ca e Mg em kg/ha, acumuladas pelos diversos componentes de árvores de *Eucalyptus saligna*, cultivados na região de Curvelo, MG, no espaçamento de 3 x 2 m, aos 9 anos de idade.**

Componentes da árvore	N	P	K	Ca	Mg
Tronco	87,82	22,89	60,77	40,51	43,55
Casca	59,97	12,93	29,39	142,93	31,98
Galho	49,96	5,27	23,04	86,41	28,80
Folha	183,74	15,26	27,94	90,99	46,79
Total	381,49	56,35	141,14	360,54	151,12

Fonte: Pereira et al. (1984).

**TABELA 2 – Quantidades médias de N, P, K, Ca e Mg em kg/ha, acumuladas pelos diversos componentes de árvores de *Eucalyptus citriodora*, cultivados na região de Curvelo, MG, no espaçamento de 3 x 2 m, aos 9 anos de idade.**

Componentes da árvore	N	P	K	Ca	Mg
Tronco	118,17	36,27	90,90	72,72	37,27
Casca	51,97	7,21	77,91	143,84	53,94
Galho	25,30	5,06	25,37	22,20	12,68
Folha	129,70	20,07	141,09	59,96	38,80
Total	325,14	68,61	335,27	298,72	142,69

Fonte: Pereira et al. (1984).

Kramer & Kozlowski (1974 apud Drumond e Poggiani, 1993), relatam que as elevadas concentrações de nutrientes encontradas nas folhas deve-se ao fato de ser a localização da maioria das células vivas, que tendem a acumular maiores quantidades de nutrientes, em razão dos processos de transpiração e fotossíntese. Os mesmos autores, em seu estudo sobre a distribuição de nutrientes em plantações puras e consorciadas de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaca hondurensis*, descreveram que as copas das árvores acumularam entre 32% a 61% do total de nutrientes contidos na biomassa das árvores. Os nutrientes nas árvores de *Liquidambar styraciflua* concentram-se de forma decrescente na folhas>casca>galhos>lenho, sendo que as folhas concentraram em média 20,2 vezes mais nutrientes que o lenho.

Em Pinus, a maior concentração foi nas folhas, seguida pelos galhos>casca>lenho, as folhas concentram, em média 10,6 vezes mais nutrientes que o lenho.

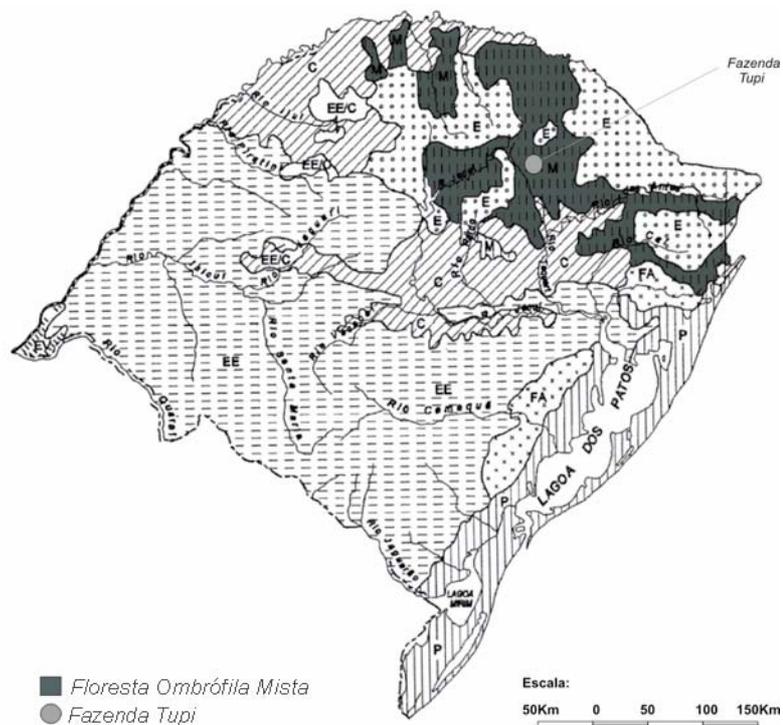
Freitas (2000) também chegou a essa conclusão no estudo sobre os conteúdos de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* ex Maiden, verificando que se concentram de forma decrescente nas folhas>casca>galhos vivos>galhos mortos>madeira.

Schumacher & Caldeira (2001) estudando a estimativa de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus globulus*, encontraram, respectivamente, na madeira do tronco 29; 29; 40; 12,5 e 34% de N, P, K, Ca e Mg respectivamente. Para a copa das árvores, esses elementos representaram 64; 56; 48,5; 32 e 39%.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área em estudo

Este trabalho foi realizado na Fazenda Tupi, município de Nova Prata, RS, localizada na região nordeste do Estado (Figura 2), propriedade pertencente a Paludo Agropecuária S.A., empresa do grupo VIPAL.



Fonte: Leite (2002).

**FIGURA 2 – Localização da área de estudo.**

A propriedade possui 962 ha de área total, sendo 780 ha de Floresta Ombrófila Mista em estágio médio e avançado de desenvolvimento.

A unidade de relevo que ocorre na região é do tipo Planalto das Araucárias. O local está situado na parte intermediária da serra e as declividades médias do local

não ultrapassam 30% (Herrmann & Rosa, 1991).

A altitude média do local é de 750 m, o solo da região classificado como latossolo vermelho distrófico típico, sendo profundo, bem drenado. São solos que têm pouco incremento de argila e são imtemperizados (Streck, 2002).

O clima, segundo Moreno (1961), é classificado por Köppen como Cfb, caracterizado como temperado, com temperatura do mês mais quente inferior a 22°C e a do mês mais frio entre -3°C e 18°C, sendo a temperatura média anual inferior a 18,5°C. A precipitação média anual oscila entre 1.750 e 2.468 mm, regularmente distribuída todo o ano.

A vegetação na região, segundo Veloso et al. (1991), é do tipo fitogeográfico: Floresta Ombrófila Mista, com o domínio de *Myrtaceas* e *Nectandras* no sub-bosque e, no extrato superior, destaca-se a araucária.

Quanto à infra-estrutura local, a Fazenda Tupi possui vias de acesso asfaltado até 2 km da sede, serraria para uso próprio na manutenção da fazenda, energia elétrica, telefone, equipamentos básicos, etc.

## **3.2 Avaliação da biomassa**

### **3.2.1 Biomassa avaliada nas parcelas**

A biomassa da erva-mate foi avaliada em áreas onde as plantas estavam prontas para serem colhidas. Em cada ponto distinto, foi instalada uma parcela permanente de forma circular com 3,75 metros de raio totalizando uma área de 44,18 m<sup>2</sup>. No total foram avaliadas trinta parcelas, totalizando trezentas e seis (306) árvores avaliadas. As idades das árvores variavam de 10 a 12 anos de idade. O espaçamento entre as árvores era de 1 m X 2,5 m.

As plantas pertencentes a cada parcela foram podadas por um funcionário da empresa, o qual seguiu o critério aplicado na colheita pela empresa. As Figuras 3 e 4 mostram respectivamente aspecto da parcela antes da poda e aspecto da parcela após sofrer poda.



**FIGURA 3 – Aspecto da parcela antes da poda.**



**FIGURA 4 – Aspecto da parcela após sofrer poda.**

A biomassa resultante da poda de cada planta foi denominada de biomassa de colheita e biomassa residual.

A biomassa de colheita é aquela utilizada como matéria-prima para produção da erva-mate, composta de folhas e talos, os quais possuem diâmetro inferior a 1 cm (Figura 5).



**FIGURA 5 – Aspecto da biomassa resultante da colheita.**

À medida que era feito o desgalhamento, as folhas e talos eram colocados sobre sacos plásticos para facilitar a pesagem que ocorreu no local por meio de uma balança de gancho. Os ramos grossos ( $> 1$  cm) e miscelânea (frutos, musgos, líquens), denominados de biomassa de resíduos foram pesados da mesma forma e após foram deixados no local (Figura 6).



**FIGURA 6 – Aspecto da biomassa residual.**

### 3.2.2 Biomassa avaliada nas 30 árvores abatidas

Posteriormente, avaliou-se a biomassa total de uma planta situada fora da parcela, que apresentava a média das características das árvores incluídas nas mesmas.

O processo para determinação da biomassa de colheita e residual foi igual ao aplicado para as árvores incluídas dentro de cada parcela. Depois de determinada essas biomassas, as trinta árvores foram decepadas ao nível do solo e determinado respectivamente a biomassa de madeira, casca e raiz.

Para facilitar o processo de pesagem da biomassa de madeira, os galhos foram separados em classe de diâmetros (Tabela 3) e pesados separadamente com auxílio de uma balança de gancho (Figura 7). O volume de cada classe foi determinado por meio da cubagem por Newton. Em galhos inferiores a 15 cm de comprimento, foi utilizado o método de Huber. Após a cubagem de todas os galhos, obteve-se o volume total de cada erva.

**TABELA 3 – Divisão da madeira em classes de diâmetro.**

Classe de Diâmetro	Diâmetro (cm)
CD1	0,1 – 1,09
CD2	1,1 – 2,09
CD3	2,1 – 3,09
CD4	3,1 – 5,09
CD5	> 5,1

O método de Newton exige que os diâmetros sejam medidos em três posições ao longo de cada seção, uma na extremidade inferior ( $g_i$ ), uma no meio da seção ( $g_{mi}$ ), e outra na extremidade superior ( $g_{i+1}$ ) sendo, portanto, seu uso mais trabalhoso, porém o volume será mais acurado. Foi calculado da seguinte maneira:

$$V = \left( \frac{g_i + 4g_{mi} + g_{i+1}}{6} \right) \cdot l$$

em que:

$g_i, g_{i+1}$  = área basal das extremidades;

$g_{mi}$  = área basal no ponto central;

$l$  = comprimento da seção em metros;

$v$  = volume ( $m^3$ ).



**FIGURA 7 – Madeira pertencente ao CD4.**

De acordo com Husch et al. (1982 apud Machado e Figueiredo Filho 2003), a fórmula de Newton é exata para todas as formas que uma seção possa assumir, sendo mais indicada para trabalhos de pesquisa.

A cubagem de Huber prevê a medição do diâmetro na metade da seção e é calculado da seguinte maneira:

$$V = g_m \cdot l$$

em que:

$g_m$  = área basal no ponto central;

$l$  = comprimento da seção;

$v$  = volume ( $m^3$ ).

A avaliação da casca ocorreu da seguinte maneira, foram retiradas amostras de 3 cm de comprimento exatamente nos pontos onde foi feita a cubagem na madeira. As cascas foram pesadas com auxílio de uma balança eletrônica de precisão de 1 grama imediatamente após serem descascadas para evitar perda de umidade e colocadas dentro de sacos de papéis. Ao final o peso de casca foi calculado pela proporção da largura de casca retirada em razão do comprimento de cada tronco.

Por fim avaliou-se a biomassa de raiz, onde as raízes foram arrancadas em um retângulo de 2,5 metros de comprimento por 1,60 de largura e a uma profundidade de 60 centímetros.(área de influência). As raízes foram arrancadas manualmente com auxílio de pá, pá de corte e enxada.

Para a separação das raízes da terra utilizou-se uma peneira de malha de 0,5 cm (Figura 8).



**FIGURA 8 – Aspecto da peneira utilizada para separar as raízes da terra.**

Após a separação, as raízes foram lavadas com água para retirar o excesso de terra, para não subestimar o seu peso.

A biomassa acima do solo acrescida da biomassa de raízes constituiu a biomassa total.

### 3.2.3 Variáveis amostradas nas parcelas

Para caracterizar a produtividade do povoamento foram medidas as seguintes variáveis e respectivas abreviaturas e forma de mensuração:

a) ht – altura total da erva medida em metros (m), com auxílio de uma régua de 3 metros, com precisão de 0,1 m, do solo ao ápice da árvore;

b) d 0,6 – diâmetro a 0,6 metros de altura do solo, medido com auxílio de paquímetro (precisão de 0,01 cm). Por causa das podas regulares que são submetidas as ervas, não foi possível definir um tronco principal para cada planta, então definiu-se o d 0,6 como sendo a média aritmética dos troncos à altura de 0,60 m acima do solo;

c) rm – raio médio da copa, o qual foi obtido pela média aritmética de quatro medições à altura de 1,30 metros acima do solo nos sentidos norte, sul, leste e oeste;

d) ac – área de copa das ervas em  $m^2$ , calculada partindo do raio médio da copa (rm) aplicada a fórmula do círculo;

e) cm – comprimento médio da copa em metros;

f) bsf – peso da matéria seca de folhas mais talos (kg), o qual corresponde às frações constituídas de talos, brotos e folhas, isto é, a biomassa comumente comercializada. O peso foi determinado com precisão de 0,1 kg, com auxílio de balança mecânica com capacidade para 50 kg;

g) bsres – peso da matéria seca de resíduos (kg), o qual foi determinado com precisão de 0,1 kg com auxílio de balança mecânica com capacidade para 50 kg. É toda a biomassa não-aproveitada no momento da poda.

### 3.2.4 Variáveis amostradas nas 30 árvores abatidas

Nesta etapa, além das variáveis já citadas acima também foram determinadas as seguintes biomassas:

- a) bsm – peso de matéria seca da madeira (kg), o qual foi determinado com precisão de 0,1 kg com auxílio de balança mecânica com capacidade para 50 kg;
- b) bsc – peso de matéria seca da casca (kg), o qual foi determinado com precisão de 0,01 kg com auxílio de balança mecânica com capacidade para 3 kg;
- c) bsr – peso de matéria seca de raiz (kg), o qual foi determinado com precisão de 0,1 kg com auxílio de balança mecânica com capacidade para 50 kg.

### **3.3 Seleção das variáveis e construção das equações para estimar a biomassa seca**

#### 3.3.1 Modelagem para a construção das equações de biomassa de folhas mais talos, madeira, casca, raiz e biomassa total

Nesta etapa, para construção das equações para melhor representar a biomassa estimada utilizou-se o pacote estatístico Sas System versão 8. As variáveis dependentes obtidas, com base nas trinta árvores abatidas no campo, foram a biomassa seca da madeira, casca e raiz. As variáveis independentes utilizadas na modelagem foram: altura,  $d$ ,  $d^2$ ,  $d^3$ ,  $d^{-1}$ ,  $d^{-2}$ ,  $d^{-3}$ ,  $\ln d$ ,  $\ln d^2$ ,  $\ln d^3$  e também as transformações destas variáveis: quadrado, cubo, inverso do quadrado, logaritmo, duplo logaritmo. Utilizaram-se também as variáveis compostas  $d^2h$  e  $dh^2$ , e também as transformações dessas variáveis: inverso do  $d^2h$ , inverso  $dh^2$ , logaritmo do  $d^2h$  e logaritmo do  $dh^2$ .

Foi utilizado o método Stepwise de seleção de variáveis independentes, em que

se limitou ao máximo a inclusão de três variáveis nas equações selecionadas, e o  $R^2$  parcial da variável independente superior a 1% para considerá-la significativa.

O teste de seleção de equações foi realizado com e sem intercepto. Os resultados apresentados pelas equações sem intercepto foram superiores às equações com intercepto, tendo sido então desprezados esses últimos.

### 3.4 Análise dos nutrientes na erva-mate

A determinação do teor de nutrientes ocorreu da seguinte maneira: dentro de cada uma das trinta (30) parcelas, retirou-se uma amostra homogeneizada de folhas mais talos de todas as árvores que faziam parte da parcela. Misturou-se também a esta amostra uma certa quantidade de biomassa verde de folhas mais talos da árvore abatida que se localizava próximo de cada uma das trinta parcelas. O mesmo processo foi utilizado para a análise de nutrientes dos resíduos. Para a análise de nutrientes da madeira, retirou-se uma amostra representativa de biomassa verde de cada classe de diâmetro. O mesmo ocorreu para a casca. Na raiz, em cada árvore abatida retirou-se uma amostra. No total foram avaliadas 150 amostras (Tabela 4).

Cada amostra foi colocadas dentro de sacos de papel e pesadas com auxílio de uma balança eletrônica com precisão de 1 g. Após foram colocadas na estufa a uma temperatura constante de 75°C.

**TABELA 4 – Número de amostras avaliadas por componentes da erva-mate.**

Componentes avaliados	Nº de amostras
Folhas mais talos	30
Madeira	30
Resíduos	30
Casca	30
Raiz	30
Total	150

As análises de nutrientes foram realizadas no laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram realizados os seguintes métodos: para o nitrogênio foi utilizado o método de Kjeldahl; para o fósforo e boro foi utilizado o método de espectrometria visível; para o potássio foi utilizado o método de fotometria de chamas; para o enxofre foi utilizado o método de turbidimetria; para o cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros dendrométricos

A Tabela 5 abaixo mostram os valores médios para as variáveis altura (m), d 0,6 (cm), raio de copa (m) e área de copa (m<sup>2</sup>), para as 30 unidades amostrais e para as trinta árvores abatidas respectivamente mensuradas no campo.

As médias dendrométricas para altura, d 0,6, raio de copa e área de copa foram, respectivamente, 2,93 m, 4,46 cm, 1,09 m, 3,96 m<sup>2</sup>, para as árvores amostradas nas unidades amostrais. Para as árvores abatidas as médias da altura, d 0,6, raio de copa, área de copa foram, respectivamente, 2,92 m, 4,47 cm, 1,11 m, 4,07 m<sup>2</sup>. Campos (1991) avaliando também a biomassa e nutrientes em povoamentos de erva-mate encontrou para a altura total um valor médio de 2,12 m aos 10 anos e 2,70 m aos 12 anos de idade na safra.

**TABELA 5 – Valores das variáveis médias para as trinta unidades amostrais e para as trinta árvores abatidas.**

	Altura (m)	d 0,6 (cm)	raio de copa (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
trinta unidades amostrais	2,93	4,46	1,0934	3,9615
trinta árvores abatidas	2,92	4,47	1,1180	4,0714

A Tabela 6 mostra respectivamente os valores da biomassa verde e seca em kg/árvore e kg/ha para as folhas mais talos e resíduos amostrados nas trinta unidades amostrais e para as 30 árvores abatidas.

A biomassa média verde e seca de folhas mais talos, amostradas nas trinta unidades amostrais em kg/árvore e kg/ha, foram respectivamente, 7,849; 18577,34; 3,081; 7585,22. 4. A biomassa média verde e seca de resíduos nas trinta unidades amostradas em kg/árvore e kg/ha foram, respectivamente, 2,583; 6195,71; 1,009; 3052,01;

**TABELA 6 – Biomassa verde e seca em kg/árvore e kg/ha para as folhas mais talos e resíduos amostrados nas trinta unidades amostrais e seus respectivos teores de umidade.**

	biomassa verde		biomassa seca		teor de umidade (%)
	kg/árvore	kg/ha	kg/árvore	kg/ha	
folhas mais talos	7,849	18577,34	3,081	7585,22	60,32
resíduos	2,583	6195,71	1,009	3052,01	52,36

A Tabela 7 mostra os resultados da biomassa verde e seca para as 30 árvores abatidas, distribuídas em seus componentes. Notamos que a madeira é o componente com maior biomassa representando em torno de 40% da biomassa total por árvore.

**TABELA 7 – Biomassa verde e seca média de folhas mais talos, resíduos, madeira, casca e raiz em kg/árvore nas 30 árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.**

Componente	biomassa verde (kg/árvore)	biomassa seca (kg/árvore)	Teor de umidade (%)
folhas mais talos	7,713	3,174	58,84
resíduos	2,708	1,358	49,85
madeira	13,609	6,785	50,14
casca	1,427	0,847	40,64
raiz	7,678	4,693	38,87
total	33,135	16,857	47,66

## 4.2 Equações para estimar a biomassa seca

### 4.2.1 Seleção das variáveis para estimar a equação da biomassa de madeira

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos pelo procedimento stepwise para as variáveis selecionadas. Como critério, padronizou-se que, para uma determinada

variável ser significativa, o seu  $R^2$  parcial tinha que ser superior a 1% para considerá-la significativa. Com a inclusão da variável ac, observamos que ela não é significativa, pois a variável não aumenta o valor do  $R^2$  ajustado mais que 1%, conseqüentemente, é excluída.

**TABELA 8 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de madeira.**

Passo	variável inserida	$R^2$ parcial	$R^2$ aj	F	Pr>F
1	rm	0,8725	0,8725	198,40	<,0001
2	dh2	0,0283	0,9008	7,98	0,0086
3	ac	0,0091	0,9098	2,72	0,1106

$R^2$ parcial = coeficiente de determinação parcial;  $R^2$ aj = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F para a equação; Prob>F = nível de significância para F.

#### 4.2.1.1 Análise da variância para biomassa de madeira

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos para a análise da variância da biomassa da madeira. Observamos um alto valor do  $R^2$ parcial e um baixo valor do Syx.

**TABELA 9 – Resultado da análise da variância para a biomassa da madeira.**

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	$R^2$ parcial	$R^2$ aj
Modelo	2	1517,98	758,990	141,19	<,0001				
Erro	28	150,51	5,375			2,318	34,169	0,909	0,903
Total	30	1668.49							

GL = grau de liberdade do modelo; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F para a equação; Prob>F = nível de significância para F; Syx = erro padrão da estimativa em percentagem para equação; CV = coeficiente de variação;  $R^2$ parcial = coeficiente de determinação parcial;  $R^2$ aj = coeficiente de determinação ajustado.

#### 4.2.1.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de madeira

A Tabela 10 retrata as duas variáveis significativas com os seus respectivos parâmetros para a confecção da equação final.

**TABELA 10 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa da madeira.**

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
rm	0,28329	0,12	0,9052
dh <sup>2</sup>	0,07082	3,84	0,0006

t = valor de t para a equação, Pr>t = nível de significância para t.

#### 4.2.1.3 Equação selecionada para a biomassa de madeira

Após a seleção das variáveis, chegou-se à seguinte equação para determinar a biomassa de madeira para o povoamento:

$$\text{biomassa de madeira} = 0,28329*rm + 0,07082*dh^2$$

em que:

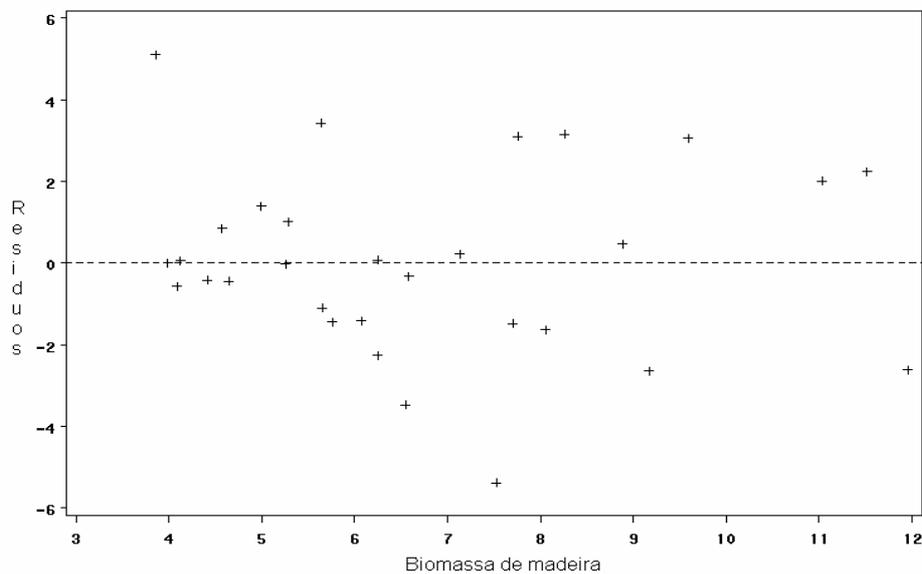
rm = raio médio de copa em metros,

d = diâmetro a 0,60 metros acima do solo,

h<sup>2</sup> = altura ao quadrado.

#### 4.2.1.4 Análise dos resíduos para a biomassa de madeira

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar a biomassa de madeira pode ser observada na Figura 9.



**FIGURA 9 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de madeira.**

#### 4.2.2 Seleção das variáveis para estimar a equação da biomassa de casca

Observamos na Tabela 11 que obtivemos oito passos pelo procedimento estatístico Stepwise. Como critério de seleção já mencionado, observamos que apenas as variáveis  $l_{mn}$  e  $im^2$  são significativas, ou seja, contribuem com mais de 1% no valor de predição. Podemos observar que as demais variáveis contribuem em menos de 1% para o  $R^2_{ajustado}$ .

**TABELA 11 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de casca.**

4.2.2.1 Análise da variância para a biomassa de casca

A Tabela 12 mostra os resultados da análise da variância para a biomassa de casca. Observamos um alto valor do  $R^2_{\text{parcial}}$  e um baixo valor do Syx.

**TABELA 12 – Resultado da análise da variância para a biomassa de casca.**

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	$R^2_{\text{parcial}}$	$R^2_{\text{aj}}$
Modelo	2	23,16	11,584	199,18	<,0001				
Erro	28	1,62	0,0581			0,241	28,418	0,934	0,929
Total	30	24,79							

GL= grau de liberdade do modelo; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F para a equação; Pr>F = nível de significância para F; Syx = erro padrão da estimativa em porcentagem para equação; CV = coeficiente de variação;  $R^2_{\text{parcial}}$  = coeficiente de determinação parcial;  $R^2_{\text{aj}}$  = coeficiente de determinação ajustado.

4.2.2.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de casca

A Tabela 13 mostra os resultados para a estimativa dos parâmetros das variáveis que foram significativas.

**TABELA 13 - Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de casca.**

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
lnm	0,44729	16,11	<,0001
im <sup>2</sup>	1,33596	1,47	0,1520

t = valor de t para a equação, Pr>t = nível de significância para t.

#### 4.2.2.3 Equação selecionada para a biomassa de casca

Chegou-se então a seguinte equação para estimar a biomassa de casca no povoamento:

$$\text{biomassa de casca} = 0,44728 \cdot \ln m + 1,33596 \cdot im^2$$

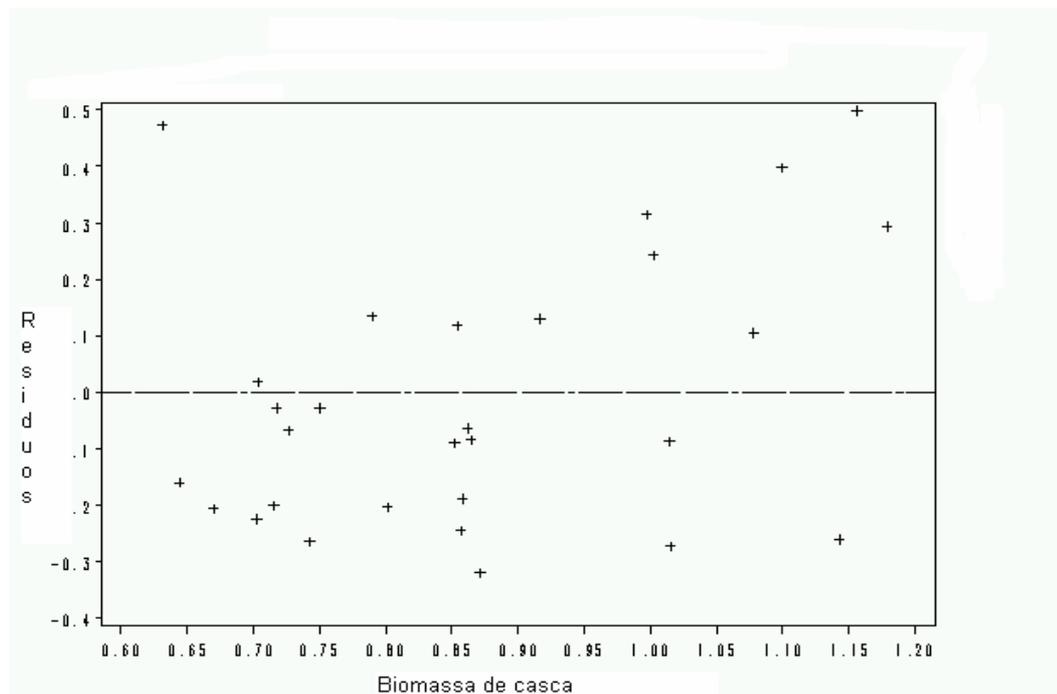
em que:

$\ln m$  = logaritmo da biomassa de madeira,

$im^2$  = inverso da biomassa de madeira ao quadrado.

#### 4.2.2.4 Análise dos resíduos para a biomassa de casca

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar a biomassa de casca pode ser observada na Figura 10.



**FIGURA 10 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de casca.**

#### 4.2.3 Seleção das variáveis para estimar a equação da biomassa de raiz

Observamos na Tabela 14 que obtivemos apenas dois passos pelo procedimento estatístico Stepwise. Como critério de seleção já mencionado, observamos que as variáveis  $\ln m$  e  $im^2$  são significativas, ou seja, contribuem com mais de 1% no valor de predição.

**TABELA 14 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de raiz.**

Passo	variável inserida	$R^2$ parcial	$R^2$ aj	F	Pr>F
1	$\ln m$	0,8842	0,8842	221,37	<,0001
2	$im^2$	0,0153	0,8995	4,26	0,0484

$R^2$ parcial = coeficiente de determinação parcial;  $R^2$ aj = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F para a equação, Pr>F = nível de significância para F.

#### 4.2.3.1 Análise da variância para a biomassa de raiz

A Tabela 15 mostra os resultados da análise da variância para a biomassa de raiz. Observamos um alto valor do  $R^2$ parcial e um baixo valor do Syx.

**TABELA 15 – Resultado da análise da variância para a biomassa de raiz.**

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	$R^2$ parcial	$R^2$ aj
Modelo	2	682,43	341,219	125,26	<,0001				
Erro	28	76,27	2,724			1,650	35,162	0,899	0,892
Total	30	758,71							

GL = grau de liberdade do modelo; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F para a equação; Pr>F = nível de significância para F; Syx = erro padrão da estimativa em porcentagem para equação; CV = coeficiente de variação;  $R^2$ parcial = coeficiente de determinação parcial;  $R^2$ aj = coeficiente de determinação ajustado.

#### 4.2.3.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de raiz

A Tabela 16 mostra os resultados para a estimativa dos parâmetros das variáveis que foram significativas.

**TABELA 16 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de raiz**

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
lnm	2,32270	12,23	<,0001
im <sup>2</sup>	12,81476	2,06	0,0484

t = valor de t para a equação, Pr>t = nível de significância para t.

#### 4.2.3.3 Equação selecionada para a biomassa de raiz

A equação selecionada para estimar a biomassa de raiz no povoamento foi a seguinte:

$$\text{biomassa de raiz} = 2,32270 \cdot \ln m + 12,81476 \cdot \text{im}^2$$

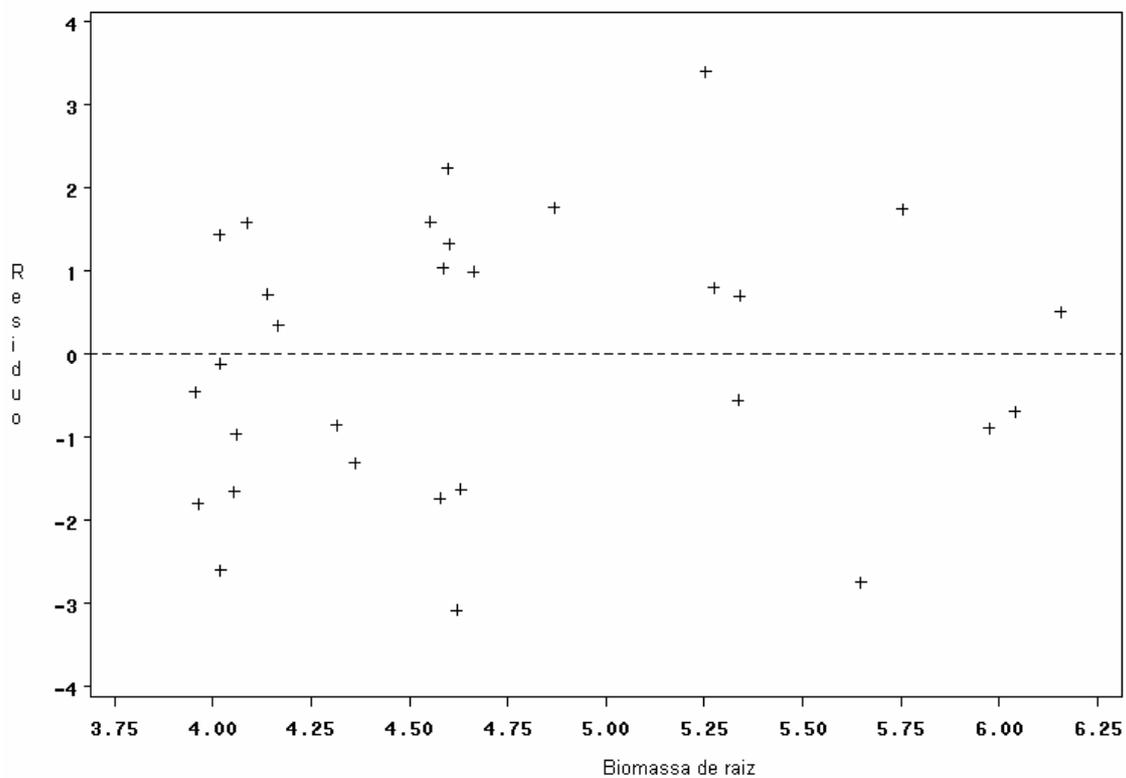
em que:

$\ln m$  = logaritmo da biomassa de madeira,

$\text{im}^2$  = inverso da biomassa de madeira ao quadrado.

#### 4.2.3.4 Análise dos resíduos para a biomassa de raiz

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar a biomassa de raiz pode ser observada na Figura 11.



**FIGURA 11 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de raiz.**

#### 4.2.4 Seleção das variáveis para estimar a equação da biomassa de resíduos

A Tabela 17 mostra que obtivemos três passos pelo procedimento estatístico Stepwise. Observamos que as variáveis  $m$ ,  $\ln^2 m$  e  $rm$  são significativas, ou seja, contribuem com mais de 1% no valor de predição.

**TABELA 17 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de resíduos.**

Passo	variável inserida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> aj	F	Pr>F
1	$m$	0,8398	0,8398	152	<,0001
2	$\ln^2 m$	0,0381	0,8778	8,72	0,0063
3	$rm$	0,0134	0,8913	3,33	0,0790

R<sup>2</sup>parcial = coeficiente de determinação parcial; R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F para a equação, Pr>F = nível de significância para F.

##### 4.2.4.1 Análise da variância para a biomassa de resíduos

A Tabela 18 mostra os resultados da análise da variância para a biomassa de resíduos. Observamos um alto valor do R<sup>2</sup>parcial e um baixo valor do Syx.

**TABELA 18 – Resultado da análise da variância para a biomassa de resíduos.**

FONTE	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> aj
Modelo	3	62,38	20,795	73,76	<,0001				
Erro	27	7,61	0,281			0,530	40,009	0,891	0,879
Total	30	69,99							

GL = grau de liberdade do modelo; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F para a equação; Prob>F = nível de significância para F; Syx = erro padrão da estimativa em percentagem para equação; CV = coeficiente de variação; R<sup>2</sup>parcial = coeficiente de determinação parcial; R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado.

##### 4.2.4.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de resíduos

A Tabela 19 mostra os resultados para a estimativa dos parâmetros das

variáveis que foram significativas.

**TABELA 19 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de resíduos.**

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
m	0,34026	4,16	0,0003
ln <sup>2</sup> m	-2,61245	-2,99	0,0059
rm	0,43571	1,83	0,0790

t = valor de t para a equação, Pr>t = nível de significância para t.

#### 4.2.4.3 Equação selecionada para a biomassa de resíduos

Chegou-se então a seguinte equação para estimar a biomassa de resíduos no povoamento:

$$\text{biomassa de resíduo} = 0,34026 * m - 2,61245 * \ln^2 m + 0,43571 * rm$$

em que:

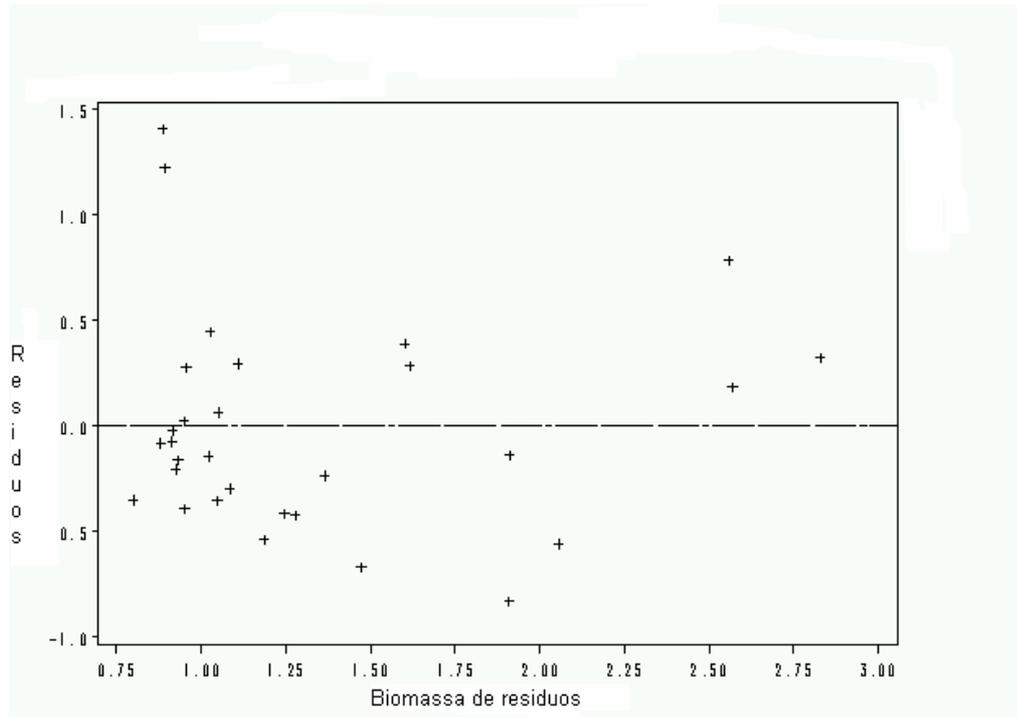
m = biomassa de madeira,

ln<sup>2</sup> m = logaritmo ao quadrado da biomassa de madeira,

rm = raio médio de copa em metros.

#### 4.2.4.4 Análise dos resíduos para a biomassa de resíduos

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar a biomassa de resíduos pode ser observada na Figura 12.



**FIGURA 12 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de resíduos.**

#### 4.2.5 Seleção das variáveis para estimar a equação da biomassa de folhas mais talos

A Tabela 20 mostra os resultados obtidos para determinar quais variáveis são significativas. Obtivemos um total de quinze passos, mas como critério adotado para limitarmos a inclusão de, no máximo, três variáveis e estas sendo superior a 1%. Observamos que as variáveis  $ac$  e  $ln^2d$  são significativas.

**TABELA 20 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa de folhas mais talos.**

Passo	variável inserida	variável removida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> aj	F	Pr>F
1	ac		0,8172	0,8172	1363,41	<,0001
2	ln <sup>2</sup> d		0,0125	0,8294	21,67	<,0001
3	cm <sup>2</sup>		0,0045	0,8338	8,17	0,0046
4	dh <sup>2</sup>		0,0033	0,9371	6,04	0,0145
5	lnh		0,0015	0,8386	2,78	0,0964
6	ln <sup>2</sup> dh		0,0041	0,8427	7,90	0,0053
7		ln <sup>2</sup> d	0,0005	0,8422	0,98	0,3228
8	vc		0,0023	0,8445	4,41	0,0366
9	h <sup>3</sup>		0,0020	0,8465	3,81	0,0518
10	cm		0,0013	0,8478	2,58	0,1093
11		cm <sup>2</sup>	0,0001	0,8476	0,29	0,5931
12	h		0,0011	0,8487	2,13	0,1455
13		lnh	0,0004	0,8483	0,86	0,3548
14	id <sup>2</sup> h		0,0031	0,8514	6,27	0,0128
15	id		0,0011	0,8525	2,29	0,1316

R<sup>2</sup>parcial = coeficiente de determinação parcial; R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F para a equação, Pr>F = nível de significância para F.

#### 4.2.5.1 Análise da variância para a biomassa de folhas mais talos

A Tabela 21 mostra os resultados da análise da variância para a biomassa de folhas mais talos. Observamos um alto valor do R<sup>2</sup>parcial e um baixo valor do Syx.

**TABELA 21 – Resultado da análise da variância para a biomassa de folhas mais talos.**

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> aj
Modelo	2	309,61	154,808	99,25	<,0001				
Erro	28	43,67	1,559			1,248	39,339	0,876	0,876
Total	30	353,29							

GL= grau de liberdade do modelo; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F para a equação; Pr>F = nível de significância para F; Syx = erro padrão da estimativa em percentagem para equação; CV = coeficiente de variação; R<sup>2</sup>parcial = coeficiente de determinação parcial; R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado.

#### 4.2.5.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa de folhas mais talos

A Tabela 22 mostra os resultados para a estimativa dos parâmetros das variáveis que foram significativas.

**TABELA 22 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa de folhas mais talos.**

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
ac	0,56043	5,11	<,0001
ln <sup>2</sup> d	2,06004	1,75	0,0918

t = valor de t para a equação, Pr>t = nível de significância para t.

#### 4.2.5.3 Equação selecionada para a biomassa de folhas mais talos

A equação selecionada para estimar a biomassa de folhas mais talos no povoamento é a seguinte:

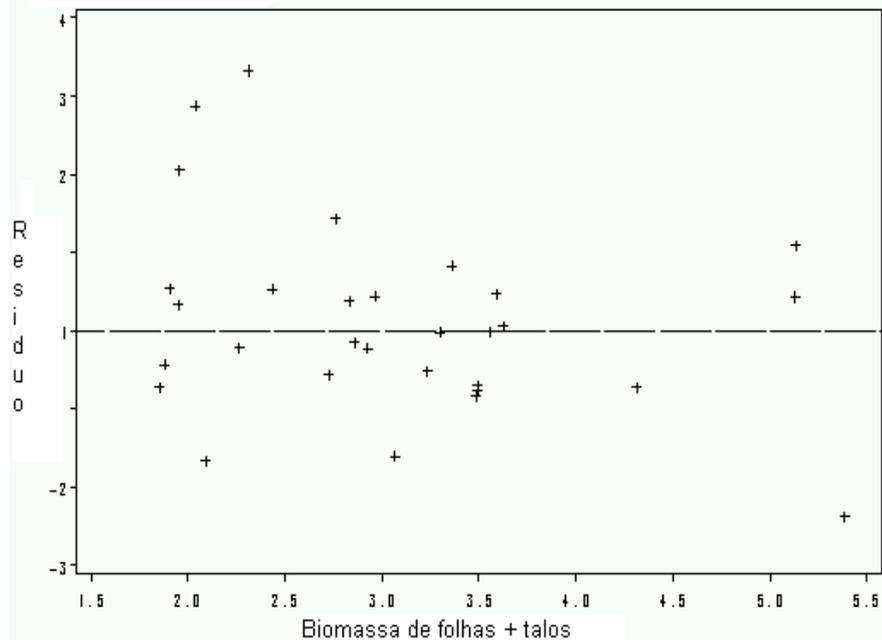
$$\text{biomassa de folha} = 0,56043 \cdot \text{ac} + 2,06004 \cdot \text{ln}^2 \text{d}$$

em que:

ac = área de copa em metros quadrados,  
logaritmo ao quadrado do diâmetro.

#### 4.2.5.4 Análise dos resíduos para a biomassa de folhas mais talos

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar a biomassa de folhas mais talos pode ser observada na Figura 13.



**FIGURA 13 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa de folhas mais talos.**

#### 4.2.6 Seleção das variáveis para estimar a equação da biomassa total

A Tabela 23 mostra os dois passos obtidos pelo procedimento estatístico Stepwise. Observamos que as variáveis selecionadas são  $rm$  e  $dh^2$ . Observamos que as variáveis contribuem com mais de 1% no valor de predição.

**TABELA 23 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para biomassa total.**

Passo	variável inserida	$R^2$ parcial	$R^2$ aj	F	Pr>F
1	$rm$	0,9289	0,9284	379,06	<,0001
2	$dh^2$	0,0143	0,9433	7,08	0,0128

$R^2$ parcial = coeficiente de determinação parcial;  $R^2$ aj = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F para a equação, Pr>F = nível de significância para f.

#### 4.2.6.1 Análise da variância para a biomassa total

A Tabela 24 mostra os resultados da análise da variância para a biomassa total, em que temos um alto valor para o  $R^2_{\text{parcial}}$  e um baixo valor para o Syx.

**TABELA 24 – Resultado da análise da variância para a biomassa total.**

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	$R^2_{\text{parcial}}$	$R^2_{\text{aj}}$
Modelo	2	8932,39	4466,196	232,78	<,0001				
Erro	28	537,21	19,186			4,380	26,028	0,943	0,939
Total	30	9469,60							

GL= grau de liberdade do modelo; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F para a equação; Pr>F = nível de significância para F; Syx = erro padrão da estimativa em percentagem para equação; CV = coeficiente de variação;  $R^2_{\text{parcial}}$  = coeficiente de determinação parcial;  $R^2_{\text{aj}}$  = coeficiente de determinação ajustado.

#### 4.2.6.2 Estimativa dos parâmetros para a biomassa total

A Tabela 25 mostra as variáveis selecionadas e seus respectivos parâmetros estimados para a construção da equação para a biomassa total.

**TABELA 25 – Resultado da estimativa dos parâmetros para a biomassa total.**

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
rm	11,29406	7,17	<,0001
dh <sup>2</sup>	0,10522	2,66	0,0128

t = valor de t para a equação, Pr>t = nível de significância para t.

#### 4.2.6.3 Equação selecionada para a biomassa total

A equação selecionada para estimar a biomassa total do povoamento é a seguinte:

$$\text{biomassa total} = 11,29406 \cdot \text{rm} + 0,10522 \cdot \text{dh}^2$$

em que:

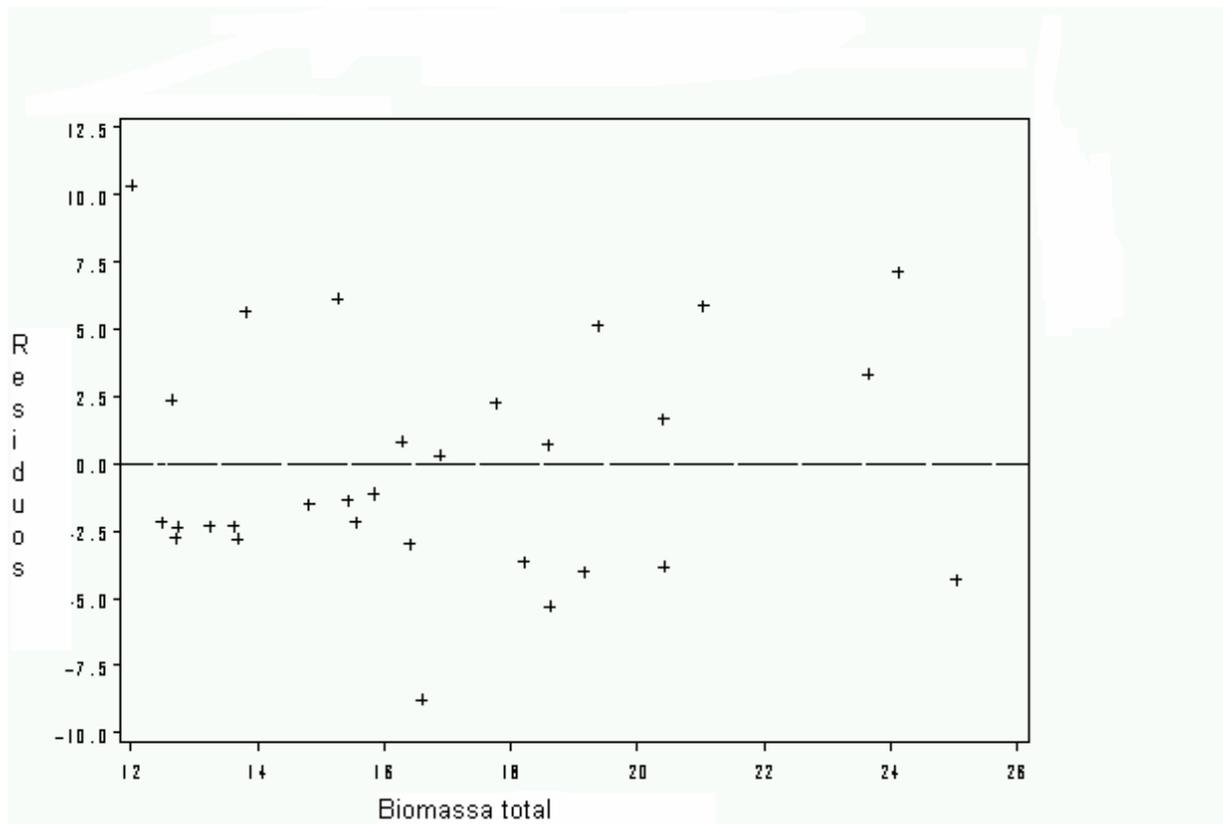
rm = raio médio da copa em metros,

d = diâmetro a 0,60 metros acima do solo,

$h^2$  = altura em metros ao quadrado.

#### 4.2.6.4 Análise dos resíduos para a biomassa total

A análise dos resíduos para a equação selecionada para estimar a biomassa total pode ser observada na Figura 14.



**FIGURA 14 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar a biomassa total.**

### 4.3 Quantificação da biomassa seca

A biomassa seca total do povoamento foi de 41.078,03 kg/ha. A madeira representa a maior porcentagem de contribuição, seguida pelas raízes, folhas mais talos, resíduos e casca conforme pode ser observado na Tabela 26.

**TABELA 26 – Biomassa seca em kg/ha nos diferentes componentes da erva-mate.**

Componentes da Biomassa	Kg/ha	%
Madeira	16.654,49	40,54
Raiz	11.673,01	28,41
Folhas mais talos	7.582,22	18,46
Resíduos	3.052,01	7,42
Casca	2.113,30	5,14
Total	41.078,03	100

A Tabela 26 mostra que a madeira contribui com 40,54 % do peso seco total da biomassa. Folhas mais talos que é a parte comercializável representa 18,46% da biomassa total. A casca representa a menor fração com 5,14%.

Campos (1991), estudando a biomassa em dois povoamentos de erva-mate com 9 e 12 anos de idade em avaliações realizadas na safra (maio-outubro) e safrinha (dezembro-janeiro), encontrou valores para a biomassa estimada de 13.898,62 kg/ha e 15.414,13 kg/ha respectivamente aos 9 e 12 anos na safra. Para a safrinha, a biomassa foi superior, totalizando 20.927,92 kg/ha para o povoamento com 9 anos de idade e 22.981,04 kg/ha para o povoamento de 12 anos.

Caldeira (1998) estudando a quantificação da biomassa em diferentes procedências de *Acácia mearnsii* De Wild., igualmente encontrou uma maior concentração de biomassa no fuste de 45,9, 45,0 e 49,5% respectivamente para as procedências de Batemans Bay, Bodalla e Lake George Bunge Dore.

Sanqueta et al. (2001) avaliaram árvores de *Araucária angustifolia*, e observaram também uma maior concentração de biomassa no fuste (54,22%).

Higuchi et al. (1998) estudando a biomassa de uma floresta tropical úmida, determinaram que do peso total de uma árvore, 65,6% é tronco e 34,4% é copa. A contribuição de cada compartimento da árvore em seu peso total é de 65,6% para o tronco, 17,8% para galhos grossos, 14,5% para galhos finos, 2,03% para folhas e

0,01% para flores/frutos.

#### 4.4 Concentração de nutrientes na Erva-mate

##### 4.4.1 Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos componentes da erva-mate

As concentrações dos macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa estão representados na Tabela 27.

**TABELA 27 - Teores dos macronutrientes nos componentes da erva-mate.**

Componente/Dm	Macronutrientes (g/kg)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Folha	21,87	1,66	16,13	6,95	5,54	1,18
*Dm	± 2,24	± 0,37	± 2,35	± 0,60	± 0,66	± 0,20
Casca	14,02	0,97	10,18	12,80	5,56	0,54
*Dm	± 1,67	± 0,27	± 2,29	± 2,53	± 0,57	± 0,10
Madeira	3,84	0,63	4,61	2,44	1,69	0,40
*Dm	± 1,00	± 0,21	± 1,38	± 2,36	± 0,74	± 0,27
Raiz	8,15	0,74	5,87	4,61	4,05	3,43
*Dm	± 1,29	± 0,22	± 1,56	± 1,41	± 0,75	± 0,87
Resíduo	9,74	1,08	9,65	8,96	4,30	0,60
*Dm	± 0,96	± 0,20	± 1,81	± 1,98	± 0,68	± 0,13

\*Dm: Desvio médio em relação à média de cada concentração dos macronutrientes.

Para as folhas mais talos, as concentrações desses macronutrientes segue a seguinte ordem decrescente: nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > fósforo > enxofre. Na casca, obteve-se a seguinte ordem: nitrogênio > cálcio > potássio > magnésio > fósforo > enxofre. A madeira foi o componente que apresentou a menor concentração de todos os macronutrientes, obedecendo à seguinte ordem decrescente: potássio > nitrogênio > cálcio > magnésio > fósforo > enxofre. A raiz apresentou a seguinte ordem decrescente de teores: nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > enxofre > fósforo. E para os resíduos, obteve-se a seguinte ordem

decrecente de teores: nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > fósforo > enxofre.

Para Gonçalves e Mello (2000), essa maior concentração de elementos nas folhas ocorre, porque as folhas são as partes mais ativas metabolicamente das plantas, em razão do seu ativo envolvimento em reações enzimáticas e compostos bioquímicos de transferência de energia.

Para Schumacher (1992), cada parte de uma árvore apresenta diferentes concentrações de elementos químicos em seus tecidos, e em geral, o acúmulo de nutrientes nos tecidos apresenta a seguinte ordem: folhas > casca > ramos > lenho.

O nitrogênio é o elemento que apresenta uma maior concentração nos componentes, com exceção no componente da madeira, o qual apresenta o potássio como o elemento de maior concentração. Já o elemento que apresenta uma menor concentração é o enxofre com exceção no componente da raiz a qual apresenta o fósforo como tendo a menor concentração.

Reissmann et al. (1983) e Radomski et al. (1992) também encontraram valores muito baixo para o elemento P. Apesar dos baixos níveis encontrados nas folhas, não foram constatados sintomas de deficiência desse elemento, o que para os autores pode indicar uma característica nutricional da espécie.

Campos (1991) em um povoamento de erva-mate aos 9 anos, encontrou as maiores concentrações de macronutrientes nas folhas, seguidas pelos talos, casca, galhos e madeira. Aos 12 anos, as maiores concentrações estão nas folhas, seguido pela casca, talos, galhos e madeira.

O mesmo autor encontrou maiores valores de nitrogênio para as folhas e, para a casca, um maior teor de cálcio em ambas as idades.

Radomski et al. (1992) avaliaram os teores de macronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate e também obtiveram um maior teor de nitrogênio.

Reissmann et al. (1983) estudaram bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate e encontraram uma diferença nítida entre os teores de macronutrientes nas folhas e hastes. Para os autores, os teores encontrados são satisfatórios quando comparados com outras folhosas, com uma clara exceção do elemento fósforo o qual apresentou valores muito baixos.

Para a realização deste trabalho, como já foi descrito anteriormente, seguimos rigorosamente os passos da empresa para a realização da poda. Muitos autores que já realizaram pesquisas envolvendo nutrientes em erva-mate,

geralmente separaram as folhas dos talos, ou seja, tiveram amostras de nutrientes para as folhas e para os talos. Nesta pesquisa, as folhas e talos formaram um componente para avaliação (amostra), daí as possíveis diferenças nas concentrações de nutrientes nas folhas. Isso vale tanto para os macronutrientes quando para os micronutrientes.

#### 4.4.2 Teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos componentes da erva-mate

As concentrações dos micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa estão representados na Tabela 28.

**TABELA 28 – Teores dos micronutrientes nos componentes da erva-mate.**

Componente/Dm	Micronutrientes (mg/kg)				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folhas mais talos	43,33	7,97	118,65	653,51	24,73
*Dm	± 7,20	± 0,79	± 12,59	± 388,92	± 7,61
Casca	29,20	9,34	627,47	279,75	115,23
*Dm	± 5,72	± 1,77	± 222,63	± 104,66	± 32,34
Madeira	8,68	2,66	23,19	82,43	32,96
*Dm	± 4,09	± 1,11	± 13,73	± 53,28	± 16,88
Raiz	13,66	9,84	1456,37	63,66	110,91
*Dm	± 2,09	± 2,58	± 506,37	± 28,04	± 44,25
Resíduo	15,91	6,62	91,42	200,49	38,09
*Dm	± 4,36	± 1,38	± 36,78	± 99,28	± 9,70

\*Dm: Desvio médio em relação à média de cada concentração dos macronutrientes.

Para as folhas mais talos, os micronutrientes apresentam a seguinte ordem decrescente de concentração: manganês > ferro > boro > zinco > cobre. Na casca, temos a seguinte ordem decrescente de concentração: ferro > manganês > zinco > boro > cobre. Na madeira, ocorre a seguinte ordem: manganês > zinco > ferro > boro > cobre. A raiz apresentou a seguinte ordem decrescente de teores: ferro > zinco >

manganês > boro > cobre. Nos resíduos, obteve-se a seguinte ordem decrescente de teores: manganês > ferro > zinco > boro > cobre.

Nos diferentes componentes da erva-mate, observamos que na raiz temos um elevado teor do elemento ferro.

A madeira é o componente que apresenta os menores valores nos teores com exceção do elemento manganês e zinco. A raiz apresenta o menor concentração e o elemento manganês, enquanto folha mais talo apresenta a menor concentração de zinco

#### 4.5 Conteúdo dos macronutrientes e micronutrientes na biomassa total

##### 4.5.1 Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) presentes na biomassa total

Analisando a Tabela 29, observamos que os totais de macronutrientes retirados obedece à seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > S > P.

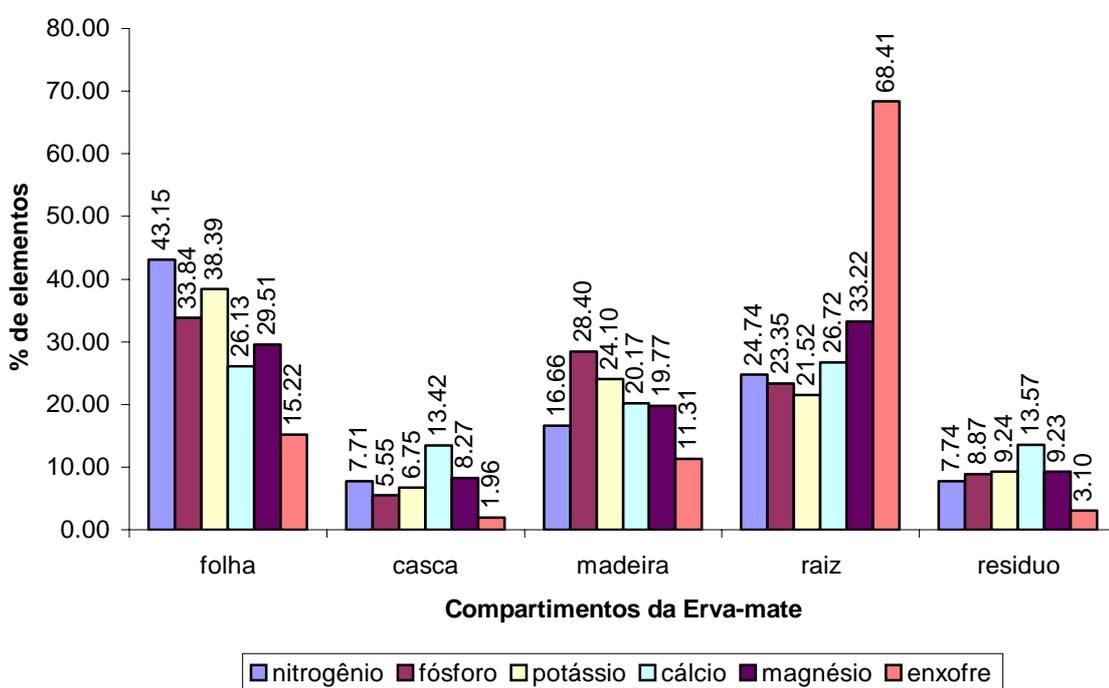
**TABELA 29 – Quantidade de macronutrientes na biomassa total.**

Componentes da biomassa	Biomassa seca (kg/ha)	kg/ha					
		N	P	K	Ca	Mg	S
madeira	16654.49	64,00	10,55	76,77	40,66	28,11	6,62
raiz	11673.01	95,08	8,67	68,55	53,87	47,25	40,08
folha	7582.22	165,81	12,57	122,31	52,69	41,97	8,91
resíduo	3052.01	29,73	3,29	29,44	27,35	13,12	1,82
casca	2113.30	29,62	2,06	21,52	27,05	11,76	1,15
total	41078.03	384,24	37,14	318,59	201,6	142,2	58,59

Os componentes que apresentam os maiores teores de macronutrientes por hectare seguem a seguinte ordem decrescente: folhas mais talos (404,26 kg/ha), seguido pela raiz (313,50 kg/ha), madeira (149,93 kg/ha), resíduo (104,75 kg/ha) e, por último, a casca (93,16 kg/ha).

Para Campos (1991), na safrinha, a estimativa do estoque de nutrientes (kg/ha) na biomassa para o povoamento com 9 anos de idade, foi de 151,74 de N, 11,09 de P, 98,20 de K, 58,18 de Ca e 35,69 de Mg. Na safra, o estoque foi de 213,99 de N, 12,53 de P, 175,64 de K, 88,31 de Ca e 46,65 de Mg. No povoamento com 12 anos de idade, o estoque de nutrientes estimados (kg/ha), na safra, foi de 182,28 de N, 11,87 de P, 107,99 de K, 53,60 de Ca e 43,54 de Mg. Na safrinha, estimaram-se 244,88 de N, 16,85 de P, 199,08 de K, 91,73 de Ca e 60,65 de Mg.

A Figura 15 enfatiza a porcentagem dos elementos em cada componente.



**FIGURA 15 – Porcentagem dos macronutrientes em relação a cada componente da erva-mate.**

Podemos observar que a raiz é responsável por 32,99% de nutrientes, sendo muito significativos a concentração do elemento S.

As folhas mais talos juntamente com os resíduos que formam a copa da erva-mate concentram respectivamente 31,04% e 8,62% de nutrientes.

A madeira, por sua vez, concentra aproximadamente 20,06% de nutrientes, e é o componente que apresentou maior biomassa total. A casca concentra 7,27% de nutrientes.

Poggiani et al. (1984) em um estudo para diferentes espaçamentos e

espécies de Eucalipto, encontraram que o lenho do tronco representa entre 50% a 67% da biomassa total, mas contém aproximadamente 12,87% a 17,69 % dos elementos estudados. As folhas representaram apenas 16,26% a 28% da biomassa total, conteve uma porcentagem de nutrientes que variou de 50% a 65%.

#### 4.5.2 Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) presentes na biomassa total

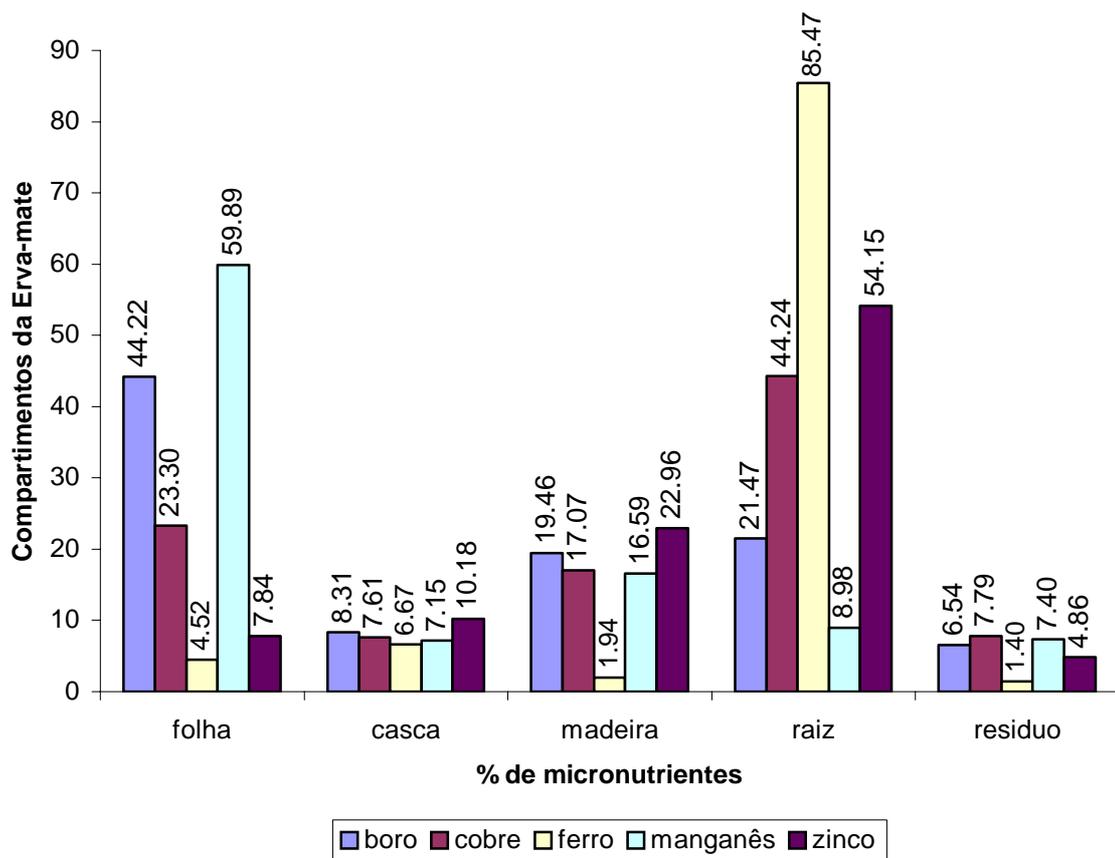
Analisando a Tabela 30, observamos que os totais de micronutrientes retirados obedece à seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > B > Cu.

**TABELA 30 – Quantidade micronutrientes na biomassa total.**

Componentes da biomassa	Biomassa seca (kg/ha)	kg/ha				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
madeira	16654,49	0,14	0,04	0,39	1,37	0,55
raiz	11673,01	0,16	0,11	17,00	0,74	1,29
folha	7582,22	0,33	0,06	0,90	4,96	0,19
resíduo	3052,01	0,05	0,02	0,28	0,61	0,12
casca	2113,30	0,06	0,02	1,33	0,59	0,24
total	41078,03	0,74	0,26	19,90	8,27	2,39

Os componentes que apresentam os maiores teores de micronutrientes por hectare seguem a seguinte ordem decrescente: raiz (19,31 kg/ha), seguido pela folhas mais talos (6,43 kg/ha), madeira (2,50 kg/ha), casca (2,24 kg/ha) e, por último, os resíduos (1,08 kg/ha).

A Figura 16 mostra a porcentagem de elementos presente em cada componentes.



**FIGURA 16 – Porcentagem dos micronutrientes em relação a cada componente da erva-mate.**

Novamente observamos que a raiz representa a maior percentagem (42,86%) de nutrientes, sendo muito significativos a concentração do elemento Fe. A copa por sua vez representa 33,55 %, sendo as folhas mais talos (27,95%) e os resíduos (5,60). Em menores concentrações temos a madeira com (15,60%), casca (7,98%) e resíduos (5,60%).

## 5 CONCLUSÕES

A biomassa total média verde por árvore abatida em kg/árvore foi de 33,135;

A biomassa total média seca por árvore abatida em kg/ha foi de 16,857;

As equações para estimar as diferentes biomassas secas da erva-mate foram as seguintes:

– biomassa de madeira =  $0,28329 \cdot r_m + 0,07082 \cdot d_h^2$ ;

– biomassa de casca =  $0,44728 \cdot \ln m + 1,33596 \cdot \ln^2 m$ ;

– biomassa de raiz =  $2,32270 \cdot \ln m + 12,81476 \cdot \ln^2 m$ ;

– biomassa de resíduos =  $0,34026 \cdot m - 2,61245 \cdot \ln^2 m + 0,43581 \cdot r_m$ ;

– biomassa de folhas mais talos =  $0,56043 \cdot a_c + 2,06004 \cdot \ln^2 d$ ;

– biomassa total =  $11,29406 \cdot r_m + 0,10522 \cdot d_h^2$ ;

A biomassa seca total do povoamento foi de 41.078,03 kg/ha, sendo que a madeira representa 40,54% (16.654,49 kg/ha) da biomassa total, seguida de raízes com 28,41% (11.673,01 kg/ha), folhas mais talos com 18,46% (7.582,22 kg/ha), resíduos com 7,42% (3.052,01 kg/ha) e casca com 5,14% (2.113,30 kg/ha);

Os teores de macronutrientes nos diferentes componentes da erva-mate obedecem à seguinte ordem decrescente:

– folhas mais talos – nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > fósforo > enxofre;

– casca – nitrogênio > cálcio > potássio > magnésio > fósforo > enxofre;

– madeira – potássio > nitrogênio > cálcio > magnésio > fósforo > enxofre;

– raiz – nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > enxofre > fósforo;

– resíduos – nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > fósforo > enxofre;

A madeira foi que apresentou a menor teor de macronutrientes em todos os componentes avaliados;

O nitrogênio é o elemento que apresenta uma maior teores nos componentes, com exceção no componente da madeira, o qual apresenta o potássio como o elemento de maior concentração. Já o elemento que apresenta uma menor concentração é o enxofre com exceção no componente da raiz, a qual apresenta o fósforo como tendo a menor concentração;

Os teores de micronutrientes nos diferentes componentes da erva-mate obedecem à seguinte ordem decrescente:

– folhas mais talos – manganês > ferro > boro > zinco > cobre;

– casca – ferro > manganês > zinco > boro > cobre;

– madeira – manganês > zinco > ferro > boro > cobre;

– raiz – ferro > zinco > manganês > boro > cobre;

– resíduos – manganês > ferro > zinco > boro > cobre;

A madeira é o componente que apresenta os menores valores nos teores com exceção do elemento manganês e zinco. A raiz apresenta menor concentração do elemento manganês, e o elemento zinco apresenta a menor concentração no componente folhas mais talos;

Os totais de macronutrientes exportados para fora do povoamento obedece à seguinte ordem: nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > enxofre > fósforo;

Os componentes que apresentam as maiores quantidades de macronutrientes por hectare seguem a seguinte ordem decrescente: folhas mais talos (404,26 kg/ha), seguido pela raiz (313,50 kg/ha), madeira (149,93 kg/ha), resíduo (104,75 kg/ha) e por último a casca (93,16 kg/ha);

A raiz representa 32,99% do total de nutrientes, sendo muito significativo à concentração do elemento S. As folhas mais talos representam 31,04%. A madeira por sua vez concentra aproximadamente 20,06%. Os resíduos concentram 8,62% de nutrientes, e a casca concentra 7,27 % de nutrientes;

Os totais de micronutrientes exportados obedece à seguinte ordem: ferro > manganês > zinco > boro > cobre;

Os componentes que apresentam as maiores quantidades de micronutrientes por hectare seguem a seguinte ordem decrescente: raiz (19,31 kg/ha), seguido pelas folhas mais talos (6,43 kg/ha), madeira (2,50 kg/ha), casca (2,24 kg/ha) e por último os resíduos (1,08 kg/ha).

A raiz representa a maior percentagem (42,86%) de micronutrientes, sendo muito significativo à concentração do elemento Fe. As folhas mais talos concentram (27,95%). A madeira concentra 15,60% de elementos. A casca concentra 7,98%, e por fim os resíduos que concentram 5,60%.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRAE, F. **Ecologia Florestal**, Santa Maria. UFSM, 1978. p. 231.

Anuário Brasileiro da Erva Mate. **Gazeta Grupo de Comunicações**, Santa Cruz do Sul, RS. 1999. 64p.

Anuário Brasileiro da Erva Mate. **Gazeta Grupo de Comunicações**, Santa Cruz do Sul, RS. 2000. 79p.

ARAUJO, T. M., HIGUCHI, N., JUNIOR, J. A. C. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain Forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**. n. 117. 1999. p. 43-52.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul**. Guia de Identificação e Interesse Ecológico, Instituto Souza Cruz, RS. 2002. 325p.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. & SANMIGUEL, A. A. Equações para estimativa de peso da biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 30/31, p. 37-49, jan.dez. 1995.

BARICHELLO, L. R. **Quantificação da Biomassa e dos Nutrientes em Floresta de *Acácia mearnsii* De Wild. Na região sul do Brasil**. 2003. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BELLOTE, A. F. J., STURION, J. A. Deficiências minerais em erva mate (*Ilex paraguayensis* St Hil). Resultados preliminares. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA MATE. **Anais**. Curitiba: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, 1985. p.124-127. (documento,15).

BITTENCOURT FILHO, A. **Manual Técnico de Plantio de erva mate**. In: Programa Planalto Verde, Centro Agropecuário Municipal, Guarapuava, PR, 1983. p. 10.

BORSOI, G. A. **Avaliação Nutricional de Plantas de erva-mate atacadas e não Atacadas pela broca *Hedypathes betulinus* (Klug, 1825)**, 2000. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2000.

CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia Negra (*Acácia Mearnsii* De Wild)**. 96 p. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1998.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguayensis*. Avaliação na safra e safrinha**. Curitiba, 1991. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1991.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2003. 1039p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3ª edição, Passo Fundo:SBSC-Nucleo Regional SUL, 1995. 224p.

DRUMOND, M. A.; POGGIANI, F. Distribuição da biomassa e dos nutrientes em plantações puras e consorciadas de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea hondurensis*. **Anais...** 1º Congresso Florestal Panamericano e 7º Congresso Florestal Brasileiro. Setembro de 1993. p. 234-237.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal 1**. 2ª edição revisada e atualizada, São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1985.

FLEIG, F. D. **Morfometria e Quantificação da biomassa comercial e residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguayensis* St. Hil.) em Reflorestamentos**. 2002, 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva mate (*Ilex paraguayensis* St. Hil.) em função do sítio e da Dióica**. 113p. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1997.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no município de Alegrete-RS.** 2000. 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2000.

GONÇALVES, J. L. M. MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas e estudos florestais., 2000. p. 219-267.

GONÇALVES, J. L. M. Efeito do Cultivo Mínimo sobre a Fertilidade do Solo e Ciclagem de Nutrientes. **Anais...** In: 1ª Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas. Curitiba. 1995. p. 44-60.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.** Campinas: Fundação Cargil, 1985. 144p.

HERRMANN, M. L. P. & ROSA, O. R. **Geografia do Brasil: Região Sul.** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991, p. 55-84. v. 2.

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

IEDE, E. T., MACHADO, D. C. Pragas da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) e seu controle. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 18/19, p. 51-60, 1989.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erro nas estimativas do potencial de fixação de carbono. . In: **As Florestas e o Carbono.** Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 251-264

LEITE, F. P. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do Sul do Brasil. In: Fitogeografia do Sul da América. **Revista Ciência e Ambiente.** UFSM – Vol. 24, (janeiro/junho 2002). 152p.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva mate. In: I Congresso Sul-Americano da erva-mate e II Reunião Técnica do Cone Sul sobre a Cultura da erva-mate. Embrapa, **Anais..** Curitiba, 1997. p. 299-316.

MACHADO, S. A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Curitiba, 2003. 309p.

MARENCO, L.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal**, Viçosa: Ed UFV, 2005. 451p.

MARTINELLI, L. A., MOREIRA, M. Z., BROWN, I. F. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CARBONO DE CO<sub>2</sub> – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGOCIOS PARA O BRASIL, 1994, RIO de Janeiro. **Anais...** Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 197-221.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Manual da erva mate**. Curitiba: Emater, 1991. 104p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, RS, 1961. 48p.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural da erva-mate. In: X Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais: Silvicultura da Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). EMBRAPA – CNPF, **Anais...** Curitiba, 1985. 145p. p.17-36. (Documento 15).

PENTEADO, S. R. C.; IEDE, E. T.; LEITE, M. S. P. Pragas da erva-mate: Perspectivas de Controle. **Anais...** In: II Congresso Sul-Americano da erva-mate e III Reunião Técnica da erva-mate. Porto Alegre: 2000. p. 27-28.

PEREIRA, A. R.; ANDRADE, D. C.; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 15, p. 8-16.1984.

PINHEIRO, G. S.; SOARES, R. V. Tabelas de peso da biomassa de copas de pinus tropicais na região de Sacramento, MG. **Revista Floresta**. Curitiba, n. 1 v. 14, p. 14-23.1983.

POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; FRANÇA, F. S. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, (27): 17-30. 1984.

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micro nutrientes em folhas jovens e velhas de erva-

mate nativa. In: **Anais...** do 2ª Congresso Nacional sobre essências Nativas. p. 452-456, 1992.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalipto. In: BARROS, N. F.; Novais, **Revista Floresta**. Relação solo-eucalipto. Viçosa: UFV, 1990. p. 265-301.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva mate. In: **Anais...** do X Seminário sobre perspectivas florestais: Silvicultura da erva mate (*Ilex paraguaiensis* St Hil). Curitiba, Embrapa-CNPf, p. 128-139, 1985.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O.; KOEHLER, C. W.; CLADAS, R. L. S.; HILDEBRAND, E. E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguaiensis* St Hil) sobre cambisolos na região de Mandirituba-PR. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 14, p. 49-54.1983.

SALATI, E. Emissão X Sequestro de Carbono de Co2 – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil. In: Seminário Emissão X Seqüestro de CO2 – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil 1994, RIO de Janeiro. **Anais...** Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 197-221.

SANQUETTA, C. R. Métodos de Determinação de Biomassa Florestal. In: **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 119-140

SANQUETA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V. et al. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná. In: 2ª Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, 2001, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2001. p. 415-427.

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

SCHUMACHER, V. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell.** 1992. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Editora Ufrgs. 2002. p.108.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; MENDES, S. Proporção de sexo e produtividade de massa foliar em erva mate (*Ilex paraguayensis* St. Hil.) **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p. 19-27, 1995.

VALE, A. T.; FIEDLER, N. C.; SILVA, G. F. Avaliação energética da biomassa do cerrado em função do diâmetro das árvores. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, 2002 v. 12, n. 2, p.115-126.

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

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A.. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE/PROJETO RADAM BRASIL, 1991. 165p.

VÜLFING, A. F.; O poder da erva. **Zero Hora**, Porto Alegre, 7 nov. 2004. Caderno Economia, p. 24.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETA, C. R et al. Fixação de carbono orgânico em floresta Ombrófila Mista em Diferentes estágios de regeneração. In: **As florestas e o Carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 89-102.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**. v. 27 n.2 Viçosa. 2003.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1 – Valores das variáveis mensuradas nas trinta unidades amostrais.**

Unidade amostral	Altura (m)	d 0,6 (cm)	Raio da copa (m)	Área da copa (m <sup>2</sup> )
1	2,96	4,34	1,0967	4,0587
2	3,44	5,46	1,2195	5,0184
3	2,15	3,37	0,6825	1,5349
4	2,42	4,61	0,9620	3,0723
5	2,92	5,78	1,2172	4,6753
6	2,65	4,61	1,1463	4,2471
7	2,86	4,56	0,9884	3,2688
8	2,63	4,36	1,2070	4,7337
9	3,72	6,32	1,3693	5,9338
10	2,57	4,20	1,1471	4,1795
11	2,25	3,78	0,8383	2,3259
12	3,05	4,65	1,1022	3,8916
13	2,14	4,03	0,8805	2,5736
14	2,90	4,75	1,0582	3,6931
15	2,83	4,56	1,0250	3,3517
16	3,08	3,98	1,1254	4,1214
17	2,94	4,6	1,0300	3,4545
18	2,44	3,87	0,9223	2,7978
19	3,83	6,55	1,2458	4,9711
20	3,39	4,85	1,2247	4,9022
21	2,75	3,93	1,0475	3,5278
22	2,95	4,25	1,1483	4,2548
23	2,45	3,72	0,9991	3,2613
24	3,93	5,57	1,2001	4,5838
25	3,11	4,79	1,1333	4,2538
26	2,35	3,46	0,9052	2,6776
27	4,27	1,46	1,4188	6,4684
28	3,25	3,77	1,2300	5,1020
29	3,00	5,01	1,1038	3,8745
30	2,70	4,80	1,1362	4,0789
MÉDIA	2,93	4,46	1,0934	3,9615

**ANEXO 2 – Valores das variáveis mensuradas nas trinta árvores amostras abatidas.**

Árvore	Altura (m)	d 0,6 (cm)	Raio copa (m)	Área copa (m <sup>2</sup> )
1	2,60	3,15	0,9750	2,9864
2	3,50	4,52	1,0975	3,7840
3	2,40	3,23	0,9325	2,7317
4	2,90	2,96	1,1350	4,0470
5	2,70	5,48	0,7502	1,7789
6	3,10	5,18	1,7600	1,8145
7	3,00	3,71	1,2625	5,0074
8	2,20	4,45	0,9200	2,6590
9	3,80	5,53	1,3500	5,7255
10	2,00	5,27	1,1150	3,9057
11	2,10	3,81	0,9725	2,9711
12	3,30	4,40	1,2500	4,9087
13	2,80	3,83	1,0975	3,7840
14	2,70	4,51	1,0450	3,4307
15	2,80	2,98	0,9900	3,0790
16	3,20	3,48	1,1625	4,2455
17	2,30	4,34	1,2400	4,8305
18	2,80	6,13	1,0225	3,2845
19	3,20	5,57	1,1150	3,9057
20	2,90	4,45	1,0925	3,7496
21	3,20	4,19	1,2500	4,9087
22	2,20	4,58	1,6025	8,0676
23	2,70	3,73	1,6100	8,1433
24	4,50	5,37	1,2050	4,5616
25	3,60	4,96	1,5375	7,4264
26	2,80	5,50	1,0000	3,1415
27	3,20	6,10	1,1350	4,0470
28	3,20	3,93	0,8375	2,2035
29	3,60	4,76	1,2325	4,7722
30	3,65	3,99	1,1265	4,2457
MÉDIA	2,92	4,47	1,1180	4,0714

**ANEXO 3 – Biomassa verde e seca de folhas mais talos, amostradas nas trinta unidades amostrais, com seus respectivos teores de umidade.**

Unidade Amostrai	Números de árvores	Biomassa verde		Biomassa seca		Teor de umidade (%)
		kg/árvore	kg/ha	kg/árvore	kg/ha	
1	10	4,735	10717,51	1,851	4187,78	60,91
2	12	7,875	21389,76	2,792	7585,82	64,60
3	9	1,956	3984,60	0,780	1598,78	60,12
4	11	6,509	16206,20	2,870	7138,63	56,03
5	9	10,789	21978,49	4,102	8353,47	61,97
6	11	9,473	23586,01	5,543	13788,33	41,48
7	13	7,838	23063,37	3,190	9381,45	59,30
8	10	10,650	24105,93	4,922	11136,43	53,78
9	8	10,475	18967,85	3,928	7116,17	62,50
10	7	10,143	16070,84	3,944	6250,40	61,11
11	12	3,450	9370,75	1,375	3735,96	60,14
12	12	7,775	21118,15	2,753	7479,85	64,59
13	5	3,320	3757,35	1,292	1461,09	61,08
14	13	5,277	15527,61	1,846	5428,96	65,01
15	10	9,000	20371,20	3,615	8778,28	59,83
16	12	8,425	22883,65	3,272	8891,30	61,16
17	10	6,270	14191,94	2,899	6556,05	53,76
18	13	7,808	22975,10	3,467	10197,74	55,59
19	12	10,317	28022,63	3,586	9745,70	65,24
20	10	11,830	26776,82	4,247	9609,05	64,09
21	9	6,367	12970,34	2,363	4812,17	62,88
22	12	6,750	18334,08	2,499	6789,18	62,97
23	9	7,267	14803,75	2,790	5683,18	61,60
24	13	10,658	31361,24	3,857	11345,48	63,81
25	9	12,267	24989,36	4,956	10094,73	59,59
26	11	5,191	12924,62	2,182	5426,73	57,96
27	11	11,141	27739,02	3,924	9760,52	64,77
28	8	8,000	14486,19	2,739	4962,86	65,76
29	11	8,555	21300,36	3,315	8246,72	61,25
30	11	5,360	13345,40	2,321	5778,85	56,69
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>7,849</b>	<b>18577,34</b>	<b>3,081</b>	<b>7585,22</b>	<b>60,32</b>

**ANEXO 4 – Biomassa verde e seca de resíduos nas trinta unidades amostradas, com seus respectivos teores de umidade.**

Unidade amostral	Números de árvores	Biomassa verde		Biomassa seca		Teor de umidade (%)
		kg/árvore	kg/ha	kg/árvore	kg/ha	
1	10	2,880	6518,78	1,337	3025,11	53,57
2	12	3,000	8148,48	1,296	3521,29	56,80
3	9	1,222	2489,36	0,552	1125,37	54,82
4	11	0,945	2352,87	0,512	1274,31	45,72
5	9	4,000	8148,48	2,327	4739,08	41,82
6	11	2,618	6518,33	1,467	3649,25	43,96
7	13	2,546	7491,62	1,513	4448,87	40,57
8	10	2,140	4843,82	1,212	2742,76	43,36
9	8	4,388	7945,67	2,017	3654,44	54,03
10	7	2,657	4209,82	1,157	1833,14	56,45
11	12	1,500	4074,24	0,716	1946,33	52,26
12	12	2,208	5997,28	1,054	2863,45	52,26
13	5	1,010	1143,05	0,478	540,05	52,67
14	13	1,481	4357,85	0,631	1855,88	57,39
15	10	2,960	6699,86	1,442	3261,76	51,28
16	12	1,900	5160,70	0,898	2441,12	52,73
17	10	2,255	5104,11	1,067	2413,12	52,68
18	13	2,858	8409,68	1,534	4510,86	46,32
19	12	3,242	8805,79	1,351	3670,74	58,32
20	10	3,510	7944,77	1,520	3438,46	56,69
21	9	1,633	3326,61	0,730	1487,21	55,29
22	12	2,425	6586,69	1,086	2951,77	55,21
23	9	2,011	4096,65	0,895	1823,26	55,49
24	13	5,250	15448,16	2,145	6309,13	59,14
25	9	3,989	8126,07	1,786	3638,61	55,22
26	11	1,450	3610,23	0,729	1812,75	49,74
27	11	4,773	11883,88	2,161	5375,40	54,72
28	8	3,669	6643,73	1,511	2738,00	58,81
29	11	2,455	6112,49	1,302	3239,48	46,96
30	11	1,475	3672,47	0,637	1586,01	56,81
<b>MÉDIA</b>	11	2,583	6195,71	1,009	3052,01	52,36

**ANEXO 5 – Biomassa verde e seca de folhas mais talos nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.**

Árvore	Biomassa verde folhas + talos/kg/árvore	Biomassa seca folhas + talos/kg/árvore	Teor de umidade (%)
1	7,100	4,020	43,38
2	8,400	3,404	59,47
3	2,400	1,130	52,94
4	7,400	2,964	59,94
5	1,050	0,427	59,33
6	9,470	4,913	48,12
7	8,900	4,192	52,90
8	9,670	5,643	41,65
9	7,400	3,595	51,42
10	7,400	2,720	63,25
11	4,300	2,048	52,38
12	9,400	3,552	62,22
13	5,400	2,165	59,91
14	8,400	4,203	49,96
15	6,200	2,453	60,44
16	7,900	3,219	59,26
17	7,400	2,806	62,07
18	3,900	1,461	62,54
19	6,700	3,284	50,98
20	6,400	2,699	57,83
21	5,720	2,719	52,46
22	6,223	3,009	51,65
23	14,400	5,565	61,36
24	7,400	3,683	50,23
25	15,900	6,221	60,87
26	7,400	2,705	63,45
27	6,400	2,645	58,68
28	4,300	1,447	66,35
29	10,900	4,060	62,75
30	5,700	2,287	59,88
<b>MÉDIA</b>	<b>7,713</b>	<b>3,174</b>	<b>58,84</b>

**ANEXO 6 – Biomassa verde e seca de resíduos nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.**

Unidade amostral	Biomassa verde resíduos/kg/árvore	Biomassa seca resíduos/kg/árvore	Teor de umidade (%)
1	1,700	0,773	54,54
2	3,600	1,770	50,82
3	1,600	0,842	47,38
4	2,800	1,236	55,85
5	1,040	1,420	56,76
6	2,618	0,800	69,44
7	1,700	0,832	51,09
8	4,404	2,300	47,77
9	5,000	3,347	33,05
10	2,600	0,972	62,61
11	1,900	0,881	53,63
12	3,400	1,406	58,65
13	1,200	0,560	53,36
14	1,600	0,807	49,58
15	1,800	0,896	50,20
16	2,100	1,117	46,83
17	1,600	0,698	56,35
18	1,400	0,645	53,93
19	1,700	1,081	36,41
20	2,600	1,476	43,22
21	2,258	0,789	65,06
22	2,230	0,854	61,70
23	6,100	2,755	54,84
24	3,500	1,993	43,06
25	5,500	3,155	42,64
26	4,100	2,121	48,26
27	2,700	1,497	44,54
28	1,800	0,721	59,92
29	4,200	1,905	54,65
30	2,500	1,133	54,68
MÉDIA	2,708	1,358	49,85

**ANEXO 7 – Biomassa verde e seca de madeira nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.**

Unidade amostral	Biomassa verde madeira/kg/árvore	Biomassa seca madeira/kg//árvore	Teor de umidade (%)
1	7,350	3,996	45,63
2	4,037	2,148	46,79
3	8,250	3,995	51,58
4	9,040	4,557	49,59
5	12,100	5,417	55,23
6	13,300	6,297	52,66
7	14,570	7,349	49,56
8	8,750	4,174	52,30
9	25,800	13,036	49,47
10	11,000	5,242	52,34
11	6,400	3,514	45,10
12	14,350	6,426	55,22
13	7,750	4,334	44,07
14	16,600	9,065	45,39
15	8,700	4,198	51,74
16	11,950	6,258	47,63
17	9,666	3,987	58,75
18	6,450	3,081	52,23
19	19,450	10,859	44,17
20	13,500	6,320	53,18
21	12,480	6,228	50,09
22	14,130	6,546	53,67
23	25,580	12,645	50,57
24	20,600	9,340	54,66
25	25,830	13,746	46,78
26	8,550	4,668	45,40
27	23,000	11,422	50,34
28	12,550	6,393	49,06
29	19,050	9,354	50,90
30	17,500	8,965	48,77
Média	13,609	6,785	50,14

**ANEXO 8 – Biomassa verde e seca de casca nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.**

Unidade amostral	Biomassa verde casca/kg/árvore	Biomassa seca casca/kg/árvore	Teor de umidade (%)
1	1,293	0,721	44,21
2	1,470	1,105	24,81
3	0,708	0,479	32,34
4	0,840	0,479	42,98
5	1,177	0,598	49,19
6	1,314	0,612	53,44
7	2,108	1,047	50,32
8	0,886	0,515	41,87
9	2,395	1,655	30,88
10	1,943	0,924	52,43
11	0,643	0,465	27,68
12	1,461	0,780	46,58
13	0,936	0,659	29,59
14	1,750	1,245	28,83
15	1,226	0,690	43,70
16	1,468	0,972	33,79
17	1,065	0,478	55,13
18	0,836	0,484	42,11
19	1,586	1,184	25,36
20	1,378	0,670	51,40
21	1,604	0,762	52,48
22	1,050	0,551	47,51
23	1,231	0,883	28,25
24	1,521	0,927	39,03
25	2,377	1,473	38,02
26	1,259	0,723	42,56
27	2,337	1,497	35,95
28	1,583	0,799	49,55
29	1,365	0,742	45,64
30	2,018	1,312	34,99
MÉDIA	1,427	0,847	40,64

**ANEXO 9 – Biomassa verde e seca de raiz nas trinta árvores abatidas, com seus respectivos teores de umidade.**

Unidade amostral	Biomassa verde raiz/kg/árvore	Biomassa seca raiz/kg/árvore	Teor de umidade (%)
1	2,950	1,420	51,86
2	9,500	6,149	35,27
3	6,100	3,906	35,97
4	7,750	4,861	37,28
5	5,850	3,055	47,78
6	11,800	6,836	42,07
7	11,650	6,632	43,07
8	4,350	2,398	44,88
9	8,350	5,346	35,98
10	6,500	3,467	46,66
11	5,100	3,500	31,38
12	5,150	3,007	41,60
13	8,100	5,675	29,94
14	8,550	6,081	28,88
15	4,950	3,102	37,34
16	8,300	5,626	32,21
17	9,080	5,455	39,92
18	3,880	2,164	44,22
19	4,450	2,901	34,80
20	10,400	5,935	42,93
21	5,950	2,846	52,17
22	9,600	5,658	41,06
23	8,100	5,091	37,15
24	8,350	4,784	42,71
25	9,480	6,662	29,73
26	7,750	4,515	41,74
27	12,550	7,499	40,25
28	3,450	1,546	55,17
29	8,900	6,043	32,10
30	13,450	8,657	35,64
MÉDIA	7,678	4,693	38,87

**ANEXO 10 – Biomassa verde total nas trinta árvores abatidas.**

Biomassa verde (kg/árvore)						
Unidade amostral	Folhas + talos	Madeira	Casca	Raízes	Resíduos	Total
1	7,100	7,350	1,293	2,950	1,700	20,393
2	8,400	4,037	1,470	9,500	3,600	27,007
3	2,400	8,250	0,708	6,100	1,600	19,058
4	7,400	9,040	0,840	7,750	2,800	27,830
5	1,050	12,100	1,177	5,850	1,040	21,217
6	9,470	13,300	1,314	11,800	2,618	38,502
7	8,900	14,570	2,108	11,650	1,700	38,928
8	9,670	8,750	0,886	4,350	4,404	28,060
9	7,400	25,800	2,395	8,350	5,000	48,945
10	7,400	11,000	1,943	6,500	2,600	29,443
11	4,300	6,400	0,643	5,100	1,900	18,343
12	9,400	14,350	1,461	5,150	3,400	33,761
13	5,400	7,750	0,936	8,100	1,200	23,386
14	8,400	16,600	1,750	8,550	1,600	36,900
15	6,200	8,700	1,226	4,950	1,800	22,876
16	7,900	11,950	1,468	8,300	2,100	31,718
17	7,400	9,666	1,065	9,080	1,600	28,811
18	3,900	6,450	0,836	3,880	1,400	16,466
19	6,700	19,450	1,586	4,450	1,700	33,886
20	6,400	13,500	1,378	10,400	2,600	34,278
21	5,720	12,480	1,604	5,950	2,258	28,012
22	6,223	14,130	1,050	9,600	2,230	33,233
23	14,400	25,580	1,231	8,100	6,100	55,411
24	7,400	20,600	1,521	8,350	3,500	41,371
25	15,900	25,830	2,377	9,480	5,500	59,087
26	7,400	8,550	1,259	7,750	4,100	29,059
27	6,400	23,000	2,337	12,550	2,700	46,987
28	4,300	12,550	1,583	3,450	1,800	23,683
29	10,900	19,050	1,365	8,900	4,200	44,415
30	5,700	17,500	2,018	13,450	2,500	41,168
Média	7,713	13,609	1,427	7,678	2,708	33,135

**ANEXO 11 - Biomassa seca total nas trinta árvores abatidas.**

Biomassa seca (kg/árvore)

Unidade amostral	Folhas + talos	Madeira	Casca	Raízes	Resíduos	Total
1	4,020	3,996	0,721	1,420	0,773	10,930
2	3,404	2,148	1,105	6,149	1,770	14,576
3	1,130	3,995	0,479	3,906	0,842	10,349
4	2,964	4,557	0,479	4,861	1,236	14,097
5	0,427	5,417	0,598	3,055	1,420	10,917
6	4,913	6,297	0,612	6,836	0,800	19,458
7	4,192	7,349	1,047	6,632	0,832	20,052
8	5,643	4,174	0,515	2,398	2,300	15,030
9	3,595	13,036	1,655	5,346	3,347	26,979
10	2,720	5,242	0,924	3,467	0,972	13,325
11	2,048	3,514	0,465	3,500	0,881	10,408
12	3,552	6,426	0,780	3,007	1,406	15,171
13	2,165	4,334	0,659	5,675	0,560	13,393
14	4,203	9,065	1,245	6,081	0,807	21,401
15	2,453	4,198	0,690	3,102	0,896	11,339
16	3,219	6,258	0,972	5,626	1,117	17,192
17	2,806	3,987	0,478	5,455	0,698	13,424
18	1,461	3,081	0,484	2,164	0,645	7,835
19	3,284	10,859	1,184	2,901	1,081	19,309
20	2,699	6,320	0,670	5,935	1,476	17,100
21	2,719	6,228	0,762	2,846	0,789	13,344
22	3,009	6,546	0,551	5,658	0,854	16,618
23	5,565	12,645	0,883	5,091	2,755	26,057
24	3,683	9,340	0,927	4,784	1,993	20,727
25	6,221	13,746	1,473	6,662	3,155	31,257
26	2,705	4,668	0,723	4,515	2,121	14,732
27	2,645	11,422	1,497	7,499	1,497	24,560
28	1,447	6,393	0,799	1,546	0,721	10,906
29	4,060	9,354	0,742	6,043	1,905	22,104
30	2,287	8,965	1,312	8,657	1,133	22,354
Média	3,174	6,785	0,847	4,693	1,358	16,857