

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTATÍSTICA E MODELAGEM
QUANTITATIVA**

**MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA ERVA-MATE (*Ilex
paraguariensis* A. St.-Hil.), NA REGIÃO NORDESTE DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: UMA ANÁLISE
ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE REGRESSÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Gabriel Dalla Costa Berger

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), NA REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE REGRESSÃO

por

Gabriel Dalla Costa Berger

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Especialista em Estatística e Modelagem Quantitativa

Orientador: Prof. Dr. Ivanor Müller

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Monografia de Especialização

**MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*
A. St.-Hil.), NA REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
SUL: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE REGRESSÃO**

elaborada por
Gabriel Dalla Costa Berger

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Estatística e Modelagem Quantitativa

COMISSÃO EXAMINADORA

**Ivanor Müller, Dr.
(Presidente/Orientador)**

Fernando de Jesus Moreira Junior, Ms. (UFSM)

Denis Altieri de Oliveira Moraes, Ms. (UFSM)

Santa Maria, 17 de dezembro de 2007.

AGRADECIMENTOS

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

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ivanor Müller, 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 ao 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.

RESUMO

Mongrafia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), NA REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE REGRESSÃO

Autor: Gabriel Dalla Costa Berger

Orientador: Dr. Ivanor Müller

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de Dezembro de 2007.

Este trabalho teve como objetivos a modelagem volumétrica para erva-mate através da análise de regressão, selecionando o modelo que melhor se ajuste aos dados utilizados; bem como determinar o volume rigoroso ou real de cada árvore pelo método analítico. Foram avaliadas trinta (30) árvores. Em cada árvore foram medidas as variáveis biométricas 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 (rc), área de copa em metros quadrados (ac). Para a construção das equações para estimar o volume de madeira com casca e sem casca utilizou-se o pacote estatístico Statistical Analysis 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^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. A média da altura, diâmetro, raio de copa, área de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 2,9650 m, 4,4696 cm, 1,1607 m, 4,1382 m², 0,0139 m³, e 0,0108 m³. O desvio padrão para a altura, diâmetro, raio de copa, área de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 0,5600 m, 0,8997 cm, 0,2299 m, 1,5895 m², 0,0075 m³, 0,0050 m³. O valor mínimo para a altura, diâmetro, raio de copa, área de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 2,0000 m, 2,9600 cm, 0,7502 m, 1,7789 m², 0,0055 m³, 0, 0,0042 m³. O valor máximo para a altura, diâmetro, raio de copa, área de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 4,5000 m, 6,1300 cm, 1,7600 m, 8,1433 m², 0,0367 m³, 0,0231 m³. A equação selecionada para estimar o volume com casca foi a seguinte: $vcc = 0,01273 \cdot \ln(h)$. A equação selecionada para estimar o volume sem casca foi a seguinte: $vsc = 0,00076 \cdot hd$.

Palavras chave: Erva-mate, Análise de Regressão, Modelagem.

ABSTRACT

Monografia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

VOLUMETRIC MODELS FOR MATÉ TEA (*Ilex paraguariensis* A. St .- Hil.), NORTH-EAST REGION IN STATE OF THE RIO GRANDE DO SUL: THROUGH AN ANALYSIS OF TECHNIQUES FOR REGRESSION

Author: Gabriel Dalla Costa Berger

Advisor: Dr. Ivanor Müller

Date and Place of Defense: Santa Maria, Dezember 17th, 2007.

This work aimed at the volumetric modeling for maté tea by the regression analysis, selecting the model that best fit the data used, and determine the volume of each tight or real tree by analytical method. Were evaluated thirty (30) trees. in each tree were measured variables biometric total height in meters (ht), the diameter of the trunks 0.60 meters above the ground (d 0.6 meters), medium radius of crown in meters (rc), the crown area in square metres (ac). For the construction of the equations to estimate the volume of wood with no bark and bark used in the statistical package Analsys Statistical System version 8. Stepwise was used the method of selection of independent variables, which limited the maximum the inclusion of three variables in the equations selected, and the R^2 part of the independent variable over 1% to consider it significant. The test of selection of equations was performed with and without intercept. The results presented by the equations without intercept was higher than equations with intercept, and was then despised these latest. The average height, diameter, radius of crown, the crown area, volume and volume in shell shelled were respectively: 2.9650 m, 4.4696 cm, 1,1607 m, 4,1382 m², 0,0139 m³, and 0.,0108 m³. The standard deviation for height, diameter, radius of crown, the crown area, volume and volume in shell shelled were respectively: 0,5600 m, 0,8997 cm, 0,2299 m, 1,5895 m², 0,0075 m³, 0,0050 m³. The minimum value for height, diameter, radius of crown, the crown area, volume and volume in shell shelled were respectively: 2,0000 m, 2,9600 cm, 0,7502 m, 1,7789 m², 0,0055 m³, 0,0042 m³. The maximum value for the height, diameter, radius of crown, the crown area, volume and volume in shell shelled were respectively: 4,5000 m, 6,1300 cm, 1,7600 m, 8,1433 m³, 0,0367 m³, 0,0231 m³. The equation selected to estimate the volume with bark was: $vcc = 0,01273 * \ln (h)$. The equation selected to estimate the volume without bark was: $vsc = 0,00076 * hd$.

Keywords: Maté tea, Regression Analysis, Modeling

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Locais de ocorrência natural da erva-mate.....	17
FIGURA 2 – Localização da área de estudo.....	31
FIGURA 3 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar o volume com casca.....	40
FIGURA 4 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar o volume sem casca.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Divisão da madeira em classes de diâmetro.....	33
TABELA 2 - Variáveis dependentes e independentes utilizadas na modelagem...	34
TABELA 3 – Valores exatos do volume com casca e volume sem casca para as 30 (trinta) árvores amostradas.....	37
TABELA 4 - Principais estatísticas das trinta (30) árvores amostradas.....	38
TABELA 5 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para o volume com casca.....	39
TABELA 6 – Resultado da estimativa dos parâmetros para o volume com casca.	39
TABELA 7 – Resultado da análise da variância para o volume com casca.....	39
TABELA 8 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico stepwise para o volume sem casca.....	41
TABELA 9 – Resultado da estimativa dos parâmetros para o volume sem casca.	41
TABELA 10 – Resultado da análise da variância para o volume sem casca.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB: área basal de um determinado povoamento;

DAP: diâmetro medido a altura de 1,30 metros sobre o nível do solo;

g: área seccional à altura do peito;

h: altura;

l: comprimento;

v: volume.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo Geral.....	12
1.1.2 Objetivos Especificos.....	12
1.2 Justificativa e importância do trabalho	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.)	13
2.1.1 Evolução histórica.....	13
2.1.2 Produção atual.....	14
2.1.3 Taxonomia e nomenclatura.....	15
2.1.4 Descrição botânica.....	15
2.1.5 Aspectos ecológicos.....	16
2.1.6 Ocorrência natural.....	16
2.1.7 Solos.....	17
2.1.8 Clima.....	18
2.1.9 Aspectos reprodutivos.....	18
2.2 Estudo do diâmetro	19
2.3 Estudo da altura	21
2.4 Estudo do volume	21
2.4.1 Cubagem rigorosa de árvores por procedimentos analíticos.....	23
2.4.1.1 Cubagem por Smalian.....	23
2.4.1.2 Cubagem por Huber.....	24
2.4.1.3 Cubagem por Newton.....	26
2.4.1.4 Cubagem por Hohenadl.....	27
2.5 Estudo do modelo de regressão (linear) para previsão volumétrica	28
2.5.1 Coeficiente de determinação.....	28
2.5.2 Erro padrão residual.....	29
2.5.3 Análise de distribuição dos resíduos.....	30
3 METODOLOGIA	31

3.1 Caracterização da área em estudo	31
3.2 Coleta dos dados	32
3.2.1 Determinação do volume.....	33
3.3 Seleção das variáveis e construção das equações para estimar o volume com casca e sem casca	34
3.3.1 Modelagem para a construção das equações de volume com casca e volume sem casca.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Volume total com e sem casca calculado pelo método analítico	37
4.2 Valores médios, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo dos parâmetros dendrométricos	38
4.3 Equações para estimar o volume com casca	38
4.3.1 Seleção das variáveis para estimar a equação de volume com casca.....	38
4.3.2 Estimativa dos parâmetros para o volume com casca.....	39
4.3.3 Análise da variância para estimativa do volume com casca.....	39
4.3.4 Equação selecionada para volume com casca.....	40
4.3.5 Análise dos resíduos para volume com casca.....	40
4.4 Equações para estimar o volume sem casca	41
4.4.1 Seleção das variáveis para estimar a equação de volume sem casca...	41
4.4.2 Estimativa dos parâmetros para o volume sem casca.....	41
4.4.3 Análise da variância para estimativa do volume sem casca.....	42
4.4.4 Equação selecionada para volume sem casca.....	42
4.4.5 Análise dos resíduos para volume sem casca.....	42
5. CONCLUSÃO	44
6. BIBLIOGRAFIA	45

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo descrevem-se as linhas que serão seguidas para o desenvolvimento deste trabalho, com a justificativa, objetivos, importância, relatando-se também a importante função da *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.

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 quanto 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.

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.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Escolha do melhor modelo para de terminação do volume com casca e sem casca através de regressão e determinar o volume rigoroso ou real de cada árvore pelo método analítico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Modelagem volumétrica para erva-mate através da análise de regressão para a estimativa do volume com casca e sem casca, selecionando o modelo que melhor se ajuste aos dados utilizados;
- Determinação do volume rigoroso ou real para cada árvore pelo método analítico através das fórmulas de Newton e Huber.

1.2 Justificativa e importância do trabalho

A escolha do presente tema teve ênfase, principalmente, pela grande representatividade da *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil no setor florestal.

O plantio da erva-mate, juntamente com o do Eucalipto, Pinus e Acácia-negra está entre os mais expressivos entre as florestas plantadas. A concentração de plantio dessa importante espécie se dá no Estado do rio Grande do Sul e em outros Estados onde vem sendo explorada por milhares de pequenos produtores que suprem empresas ervateiras, visando o atendimento de demanda tanto no Brasil como do exterior, gerando emprego, renda e milhares de empregos diretos e indiretos,

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.

2 REVISÃO DE LITERATURA

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 a 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 toneladas 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\$ 180.000,00 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 Cronquist¹, 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

¹ Arthur John Cronquist (1919 - 1992), botânico norte-americano, foi o maior responsável por uma nova classificação botânica das angiospermas, em 1981 e 1988, com os textos *An Integrated System of Classification of Flowering Plants* (1981) e *The Evolution and Classification of Flowering Plants* (1988) - Sistema Integrado de Classificação de Plantas com Flores e A Evolução e Classificação das Plantas com Flores. Foi o Sistema de Cronquist que dividiu as angiospermas em monocotiledôneas e em dicotiledôneas, baseando-se nas características anatômicas e morfológicas.

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:

- 1 – erva-mate com folhas pequenas, coriáceas e talo branco;
- 2 – erva-mate com folhas pequenas, coriáceas e talo roxo;
- 3 – erva-mate com folhas grandes, membranáceas e talo branco;
- 4 – erva-mate com folhas grandes, membranáceas e talo roxo.

2.1.5 Aspectos ecológicos

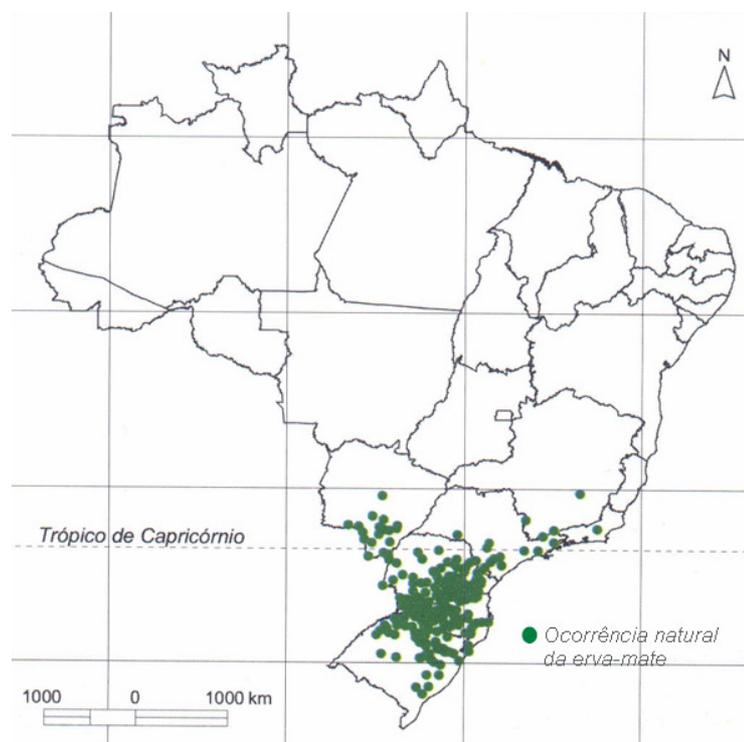
A erva-mate é uma espécie clímax, tolerante à sombra. Seu crescimento se dá nas associações mais evoluídas dos pinhais. É uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), sempre em associações nitidamente evoluídas com a *Araucaria angustifolia* (Carvalho, 2003).

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 km², 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 latosolos (Oliveira & Rotta, 1985).

2.1.8 Clima

Segundo a classificação de Köppen², 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 diclíneas, 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 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 erveiras femininas para uma masculina.

A erva-mate é uma planta totalmente alógama ou de fecundação cruzada, sua

² Classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia. A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen.

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 anos após o plantio, e em árvores provenientes de sementes por volta dos cinco anos de idade, em sítios adequados.

A dispersão é zoocórica sobretudo ornitocórica (Carvalho 2003).

2.2 Estudo do diâmetro

Para Finger (1992), o diâmetro consiste na medida de comprimento de uma linha reta que, passando através do centro de um círculo ou esfera, termina ao atingir seus limites externos. As medidas mais comuns de diâmetro requeridas na atividade florestal são feitas sobre a porção lenhosa das árvores: o tronco principal de uma árvore em pé, seus galhos, ou porções cortadas. A importância básica da medição desta variável é que se trata de uma dimensão diretamente mensurável a partir da qual pode-se calcular a área de secção transversal e o volume de uma árvore.

Machado e Figueiredo Filho (2003) também comentam que o diâmetro está entre as variáveis dendrométricas mais importantes, pois constitui uma medida necessária para o cálculo da área transversal, área basal, volume, crescimento e quocientes de forma.

Para estes autores, nos processos estimativos envolvendo o uso de equações de regressão, o diâmetro sempre se constitui na primeira variável independente, por ser de fácil acesso e normalmente apresentar alta correlação com o volume, peso e com outras variáveis dependentes.

O diâmetro é também usado como uma das variáveis independentes em funções de forma ou funções de afilamento de fuste. Constitui-se na única variável independente em várias funções estimativas, tais como na relação hipsométrica, na distribuição diamétrica e na estimativa do diâmetro de copa.

Soares et al. (2006) afirma que embora seja possível medir vários diâmetros ao longo do fuste de uma árvore, e até mesmo de galhos, a medida mais usual refere-se ao diâmetro com casca à altura do peito, denominado DAP. Os autores confirmam que o DAP (medido a altura de 1,30 metros sobre o nível do solo) é o elemento mais

importante medido em uma árvore, pois fornece a base para muitos outros cálculos. Serve para a obtenção da área seccional à altura do peito (g), medida importante no cálculo do volume das árvores e de povoamentos, a qual é dada pela seguinte expressão:

$$g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4}$$

Onde: g = área seccional à altura do peito; $\pi = 3,14159$; DAP = diâmetro a altura do peito (em metros).

Com o DAP , pode-se calcular a área basal do povoamento (AB), pelo somatório das áreas seccionais das árvores, de acordo com a expressão abaixo:

$$AB = \sum_{i=1}^n g_i$$

Onde: AB = área basal do povoamento (m^2/ha), g = área seccional à altura do peito.

A área basal é um importante parâmetro da densidade do povoamento. Normalmente é expressa em m^2/ha , fornecendo o grau de ocupação de determinada área por madeira. A preferência da altura do peito como uma referência de altura tem duas razões:

- a) À altura do peito, os instrumentos de medição de diâmetro são facilmente manuseados;
- b) Em muitas árvores, as deformações, normalmente presentes na base do fuste das árvores, estão bem reduzidas acima da altura do peito.

2.3 Estudo da altura

Segundo Finger (1992), a altura, tal como o diâmetro, é uma característica importante da árvore e/ou do povoamento, necessária para a determinação do volume.

Em sua expressão mais simples, é definida como a distância linear entre o nível do solo e o ápice (altura total). No entanto, podem ser definidas outras alturas ao longo do tronco, dependendo do tipo de estudo a ser realizado.

O autor acrescenta que a variável altura adquire também importância fundamental no estudo de sítios, ou seja, quando se deseja conhecer o comportamento de uma espécie em um determinado local, ao longo do tempo. Para o manejo florestal, é importante o conhecimento desta variável, pois traduz as respostas em crescimento das árvores segundo os fatores do meio em que vegetam.

De acordo com Soares et al. (2006) a altura de uma árvore pode ser obtida por medição ou estimação. Ela serve para computar o volume de árvores individuais e, em conexão com a idade, determinar a qualidade de um local para a produção de madeira.

2.4 Estudo do volume

Para Soares et al (2006) na execução de inventários florestais, torna-se necessário definir “*a priori*” a unidade de medida em que o volume será expresso, bem como a referências para a obtenção dos volumes, ou seja, os diâmetros mínimos de inclusão das árvores, e quais as partes destas serão incluídas nas estimativas de volume.

Os mesmos autores ainda complementam que na maioria do casos, apenas o volume acima do solo é considerado, sendo expresso em metros cúbicos (m^3/ha). Os principais fatores que afetam a forma dos fuste das árvores são:

- a) Espécie: a forma do fuste das árvores varia de espécie para espécie, principalmente devido à taxa de crescimento e às características genéticas;
- b) Idade: a conicidade do fuste das árvores tende a ser menor em árvores mais velhas;
- c) Espaçamento: em povoamentos com espaçamento entre as árvores mais reduzido, os fustes tendem a ser menos cônicos;

d) Qualidade do local: em locais piores, os fustes apresentam crescimento mais irregular e, conseqüentemente, são mais irregulares.

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais. A medição de todas as árvores de uma floresta com a finalidade de conhecer seus volumes é uma tarefa impraticável. Por isso, quase sempre, ela é inventariada por amostragem. Uma parte da população (amostra) é medida, extrapolando-se as características dessa amostra para toda a floresta. Naturalmente, quando mais representativas da floresta for a amostra, melhores serão as estimativas obtidas (Machado e Figueiredo Filho, 2003).

A amostragem raramente ultrapassa 2% da floresta. As unidades amostrais (parcelas) que constituem a amostra são distribuídas aleatoriamente ou sistematicamente de forma a representar a população. Nessas unidades de amostras, os diâmetros com casca de todas as arvores são medidos. As alturas totais de todas as árvores ou apenas de algumas são também tomadas. A partir destas medições, os volumes são estimados através de técnicas indiretas, tais como: fator de forma, equações de volume e funções de afilamento.

Do ponto de vista puramente físico pode-se dizer que a árvore é constituída de quatro partes: raíz, toco, fuste e copa. A parte comercialmente mais importante geralmente é o fuste, mas a escassez do produto florestal, tem tornado atraentes as outras porções do tronco, notadamente a copa.

A maioria dos estudos para determinar o volume das árvores foi e ainda é direcionada ao tronco principal, evidentemente, como uma decorrência do pouco uso comercial das demais partes que compõe a árvore. No entanto, mais recentemente, técnicas para avaliar a biomassa vêm sendo estudadas com maior freqüência.

Sendo a árvore um sólido irregular, seu volume pode ser determinado analiticamente, através da cubagem rigorosa (divisão do tronco em pequenas seções ou toras), graficamente, pelo deslocamento da água, ou ainda, através de seu peso (Machado e Figueiredo Filho, 2003).

2.4.1 Cubagem rigorosa de árvores por procedimentos analíticos

Finger (1992) comenta que a determinação rigorosa do volume é entendida como a cubagem de uma árvore. Os troncos das árvores não são perfeitamente regulares, e por isso, costuma-se dividi-los em seções e cubá-los individualmente.

Em geral as medições diamétricas (médias de dois diâmetros cruzados) são efetuadas a partir do nível do solo nas posições 0,1, 0,3, 1,3 metros e a partir daí, de 2,0 m em 2,0 m ou 1,0 m em 1,0 m para cada seção. Outros níveis poderão ser estabelecidos dependendo da precisão desejada e regularidade do tronco.

O volume da tora é obtido pelo somatório dos volumes parciais das seções e, quanto menor o comprimento da seção, tanto mais próximo será o volume calculado do volume verdadeiro.

2.4.1.1 Cubagem por Smalian

Os métodos de cubagem seccionam a árvore em n seções (toras). Sobre as seções são medidos os diâmetros ou as circunferência com e sem casca, não havendo a necessidade de dividir as seções, cortando-as. A fórmula de Smalian mede os diâmetros ou as circunferências nas extremidades de cada seção e calcula o volume como segue:

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l$$

Onde: v = volume da tora (seção); g_1 = área transversal na base da tora; g_2 = área transversal no topo da tora; l = comprimento da tora.

Tendo a árvore sido dividida em n seções, o volume total da árvore é obtido como segue:

$$v_1 = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l_1 ;$$

$$v_2 = \left(\frac{g_2 + g_3}{2} \right) \cdot l_2 ;$$

$$v_3 = \left(\frac{g_3 + g_4}{2} \right) \cdot l_3 ;$$

$$v_n = \left(\frac{g_n + g_n}{2} \right) \cdot l_n$$

Quando se considera o volume inteiro do tronco é comum expressar o volume da última porção ou volume da ponta (v_p) como sendo um cone:

$$v_p = \frac{g_n \cdot l_p}{3}$$

Assim sendo, o volume total da árvore será:

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n + v_p$$

2.4.1.2 Cubagem por Huber

A fórmula de Huber prevê a medição do diâmetro ou da circunferência na metade da seção (tora). Assim sendo, o volume da tora ou seção é determinado como segue abaixo:

$$v = g_m \cdot l$$

Onde: v = volume da tora (seção); g_m = área transversal no meio da tora (seção); l = comprimento da tora.

O volume inteiro do tronco com seções de comprimentos diferentes é calculado da seguinte maneira:

$$v_1 = g_{m1} \cdot l_1;$$

$$v_2 = g_{m2} \cdot l_2;$$

$$v_3 = g_{m3} \cdot l_3;$$

$$v_n = g_{mn} \cdot l_n$$

Assim como no método de Smalian, quando se considera o volume inteiro do tronco é comum expressar o volume da última porção ou volume da ponta (v_p) como sendo um cone:

$$v_p = \frac{g_n \cdot l_p}{3}$$

Portanto o volume total calculado através do método de Huber é dado através de:

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n + v_p$$

2.4.1.3 Cubagem por Newton

O método de Newton exige que os diâmetros ou circunferências sejam medidas em três posições ao longo de cada seção, sendo, portanto mais trabalhoso seu uso, mas também o volume da tora ou seção será freqüentemente mais acurado, sendo calculado da seguinte maneira:

$$v = \left(\frac{g_1 + 4g_m + g_2}{6} \right) \cdot l$$

Onde: v = volume da tora (seção); g_1 = área transversal na base da tora; g_m = área transversal no meio da tora; g_2 = área transversal no topo da tora; l = comprimento da tora.

O volume inteiro do tronco com seções de comprimentos diferentes é calculado da seguinte maneira:

$$v_1 = \left(\frac{g_1 + 4g_{m1} + g_2}{6} \right) \cdot l_1;$$

$$v_2 = \left(\frac{g_2 + 4g_{m2} + g_3}{6} \right) \cdot l_2;$$

$$v_3 = \left(\frac{g_3 + 4g_{m3} + g_4}{6} \right) \cdot l_3;$$

$$v_n = \left(\frac{g_{n-1} + 4g_{mn} + g_n}{6} \right) \cdot l_n$$

Assim como nos métodos anteriores, quando se considera o volume inteiro do tronco é comum expressar o volume da última porção ou volume da ponta (v_p) como sendo um cone:

$$v_p = \frac{g_n \cdot J_p}{3}$$

Portanto o volume total calculado através do método de Newton é dado através de:

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n + v_p$$

2.4.1.4 Cubagem por Hohenadl

Originalmente, a fórmula proposta por Hohenadl consistia na divisão do tronco em cinco seções de comprimentos iguais. O volume era então calculado a partir de apenas uma medida, seja através do diâmetro ou circunferência no centro de cada seção como adotado por Huber. Este método difere dos anteriores porque os comprimentos das seções são estabelecidos em função da altura total. Neste caso o volume é obtido da seguinte maneira:

$$v = \frac{h}{5} \cdot (g_{0,1} + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9})$$

Onde; v = volume da tora (seção); h = altura total; $g_{0,i}$ = áreas transversais calculadas a 10, 30, 50, 70, 90% de h .

2.5 Estudo do modelo de regressão (linear) para previsão volumétrica

A determinação e seleção de um modelo de regressão, normalmente é realizada em três fases distintas segundo Loetsch et al. (1973):

- a) Cálculo do número de árvores amostrais suficientes e representativas, ou seja determinação do tamanho da amostra “n”;
- b) Medição e identificação das variáveis dependentes (y) e independentes (x);
- c) Seleção do melhor modelo, mediante critérios estatísticos.

Para selecionar o melhor modelo para a estimação do volume, serão utilizados os seguintes indicadores de ajuste:

- 1) Coeficiente de variação (CV)
- 2) Erro padrão residual (σ_e);
- 3) Coeficiente de determinação ajustado (R^2);
- 4) Análise de resíduos do modelo

De acordo com esses parâmetros, o melhor modelo será aquele que apresentar de forma conjunta o menor erro padrão residual, menor coeficiente de variação, maior coeficiente de determinação ajustado e não apresentar tendência dos resíduos.

2.5.1 Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão. Desta forma, na análise de modelos, seleciona-se aquela equação que apresenta o maior valor de R^2 , desde que este R^2 seja significativamente superior aos demais R^2 .

Este coeficiente é obtido pela expressão:

$$R^2 = \frac{SQ\text{Regressão}}{SQ\text{Total}}$$

Onde: $SQ\text{Regressão}$ = Soma de quadrados da regressão; $SQ\text{Total}$ = Soma de quadrados do total.

Este coeficiente é crescente à medida que se inclui uma nova variável ao modelo de regressão, por isso é perigoso usado-lo isoladamente como critério de seleção. Assim, geralmente é ajustado ao número de coeficientes da equação e ao tamanho da amostra, que é obtido pela expressão:

$$R_{aj.}^2 = R^2 - \left[\frac{\eta - 1}{N - \eta} \right] (1 - R^2)$$

Onde: η = Número de variáveis independentes da equação; N = Número de observações; R^2 = Coeficiente de determinação.

2.5.2 Erro padrão residual

O erro padrão residual é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão, sendo desejável aquele que possui o menor valor. Na comparação entre equações por esse critério, a melhor equação é aquela que apresentar o menor valor de erro padrão residual.

Entretanto, essa estatística só pode ser usada como comparativa entre várias equações com variáveis dependentes de mesma unidade. Para isto, Meyer (1938) apresenta o erro padrão, em percentagem, como alternativa para a comparação de equações com variáveis dependentes de diferentes unidades.

O erro padrão residual e o erro padrão em percentagem são obtidos através das fórmulas:

$$S_e = \sqrt{QM_{resíduo}}$$

$$S_e \% = \frac{S_{xy}}{\bar{Y}} \cdot 100$$

Onde: Se = Erro padrão residual; $Se\%$ = Erro padrão em percentagem; \bar{Y} = Média aritmética da variável dependente; $QM_{resíduo}$ = Quadrado médio do resíduo.

2.5.3 Análise de distribuição dos resíduos

Segundo Schneider (1998) a análise gráfica da distribuição dos resíduos, isto é a diferença entre os valores da variável dependente observada e os valores da estimada constitui-se de grande importância na seleção de modelos, por possibilitar a verificação da adequação do modelo ao longo de toda a amplitude dos dados observados, pois uma das exigências do modelo de regressão linear é que os resíduos da regressão distribuam-se normalmente com média zero e variância constante.

Essa análise permite detectar possíveis tendências de ajuste ao longo da linha de regressão para a tomada de decisão quanto à utilização ou não do modelo.

Os resíduos da regressão são obtidos pela expressão:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

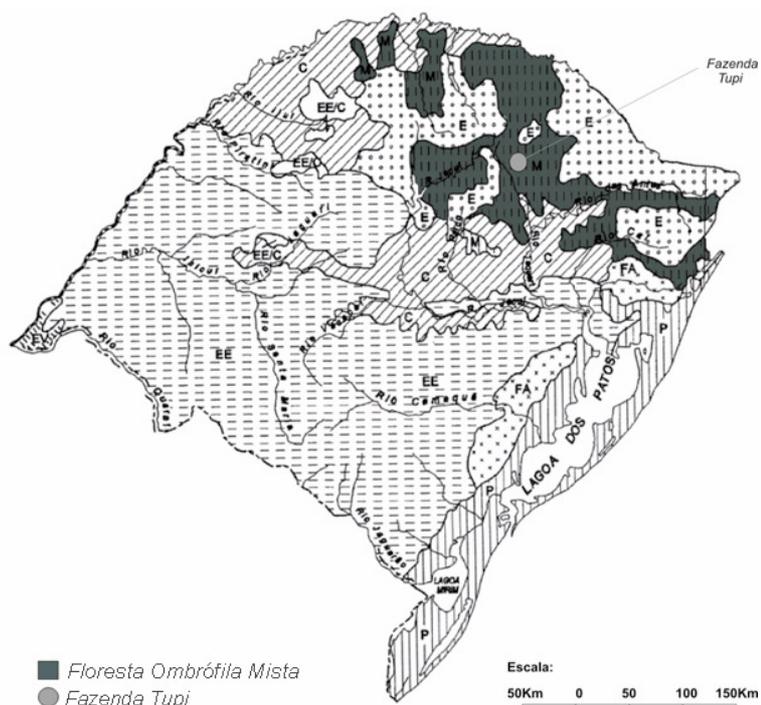
Onde: e_i = Resíduo da i -ésima observação; Y_i = Variável dependente observada; \hat{Y}_i = Variável dependente estimada pela regressão.

Esses resíduos, quando plotados exibem, a dispersão dos erros de previsão ao longo da amplitude de dados observados, possibilitando desta forma, a identificação de não-conformidade dos dados ao modelo de regressão linear.

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, e o solo da região classificado como

latossolo vermelho distrófico típico, profundo e bem drenado. São solos que têm pouco incremento de argila e são imtemperizados (Streck, 2002).

O clima, segundo Moreno (1961), é classificado por Köeppen 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 ao longo do 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, e equipamentos básicos, necessários ao plantio, manutenção e colheita da erva-mate.

3.2 Coleta dos dados

Nesta etapa, as 30 árvores amostradas foram escolhidas aleatoriamente em uma área de aproximadamente 400 hectares. As idades das árvores variavam de 10 a 12 anos de idade, sendo espaçamento entre as árvores de 1 m X 2,5 m.

Em cada uma destas 30 árvores, foram medidas as seguintes variáveis biométricas: diâmetro dos troncos a 0,60 m acima do solo ($d_{0,6}$), altura total da erva (ht), e área de copa (ac). O diâmetro foi obtido com auxílio de um 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. A altura de cada árvore foi determinada através de uma régua de 3 metros, com precisão de 0,1 m, do solo ao ápice da árvore. O raio médio da copa em metros (rc), foi obtido pela média aritmética de quatro medições à altura de 1,30 metros acima do solo nos sentidos norte, sul, leste e oeste. A área de copa (ac) das ervas em m^2 , foi calculada partindo do raio médio da copa (rc) e aplicada a fórmula do círculo.

Posteriormente, após medidas essas variáveis em todas as 30 árvores, estas foram cortadas ao nível do solo.

3.2.1 Determinação do volume

Após o corte destas árvores, estas foram separadas em cinco classes de diâmetros para facilitar a coleta de dados para mensuração do volume, como mostra a Tabela 1.

TABELA 1 – 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 volume rigoroso com casca e sem casca de cada classe foi determinado por meio da cubagem de Newton e Huber. Pelo método de cubagem por Newton, em cada fuste foi realizado a leitura do diâmetro em três pontos distintos, uma no topo, uma no centro e uma na base. Com estas leituras, foi possível calcular o volume com casca de cada fuste. Em seguida, nas mesmas posições onde foi feito a leitura do diâmetro com casca, foram retiradas as cascas para a leitura do diâmetro. Estas leituras nos deram o diâmetro sem casca, o que conseqüentemente foi possível calcular o volume sem casca de cada fuste. Em galhos inferiores a 15 cm de comprimento, foi utilizado o método de Huber.

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.

Os mesmos autores ainda comentam que a fórmula de Newton é, sem dúvida, a mais acurada para todas as formas de fuste.

De posse destes valores, volume com casca e volume sem casca, foi possível calcular o volume de casca e a porcentagem de casca existente na erva-mate.

3.3 Seleção das variáveis e construção das equações para estimar o volume com casca e sem casca

3.3.1 Modelagem para a construção das equações de volume com casca e volume sem casca

Nesta etapa, para construção das equações para melhor representar o volume com casca e sem casca utilizou-se o pacote estatístico Statistical Analysis System versão 8. As variáveis dependentes obtidas, com base nas trinta árvores abatidas no campo, foram o volume com casca e volume sem casca. As variáveis dependentes e as variáveis independentes (d 0,6 m, h , ac) utilizadas na modelagem e suas transformações estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 – Variáveis dependentes e independentes utilizadas na modelagem.

variáveis dependentes		
Y_1	vcc	volume com casca
Y_2	vsc	volume sem casca
variáveis independentes		
X_1	d 0,6 m	média dos diâmetros a 60 cm do nível do solo
X_2	h	altura total da erva
X_3	ac	área de copa
X_4	h^2	altura total ao quadrado
X_5	h^3	altura total ao cubo
X_6	d^2	diâmetro ao quadrado
X_7	d^3	diâmetro ao cubo
X_8	hd	altura vezes diâmetro
X_9	ac^2	área de copa ao quadrado
X_{10}	ac^3	área de copa ao cubo
X_{11}	dh^2	diâmetro vezes altura ao quadrado
X_{12}	d^2h	diâmetro ao quadrado vezes altura
X_{13}	dh^3	diâmetro vezes altura ao cubo

**TABELA 2 – Variáveis dependentes e independentes utilizadas na modelagem.
Continuação...**

variáveis independentes		
X ₁₄	hd ³	altura vezes diâmetro ao cubo
X ₁₅	d ² h ²	diâmetro ao quadrado vezes altura ao quadrado
X ₁₆	d ³ h ³	diâmetro ao cubo vezes altura ao cubo
X ₁₇	ach	área de copa vezes altura
X ₁₈	acd	área de copa vezes diâmetro
X ₁₉	ach ²	área de copa vezes altura ao quadrado
X ₂₀	acd ²	área de copa vezes diâmetro ao quadrado
X ₂₁	ln d	logaritmo neperiano do diâmetro
X ₂₂	ln h	logaritmo neperiano da altura
X ₂₃	ln ac	logaritmo neperiano da área de copa
X ₂₄	ln ac ²	logaritmo neperiano da área de copa ao quadrado
X ₂₅	ln ac ³	logaritmo neperiano da área de copa ao cubo
X ₂₆	ln ² d	logaritmo neperiano ao quadrado vezes diâmetro
X ₂₇	ln ² h	logaritmo neperiano ao quadrado vezes altura
X ₂₈	1/h	inverso da altura
X ₂₉	1/d	inverso do diâmetro
X ₃₀	1/hd	inverso da altura vezes o diâmetro
X ₃₁	1/h ²	inverso da altura ao quadrado
X ₃₂	1/d ²	inverso do diâmetro ao quadrado
X ₃₃	1/h ³	inverso da altura ao cubo
X ₃₄	1/d ³	inverso do diâmetro ao cubo
X ₃₅	1/d ² h	inverso do diâmetro ao quadrado vezes altura
X ₃₆	1/dh ²	inverso do diâmetro vezes altura ao quadrado
X ₃₇	1/d ² h ²	inverso do diâmetro ao quadrado vezes altura ao quadrado
X ₃₈	1/d ³ h ³	inverso do diâmetro ao cubo vezes altura ao cubo

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 aos resultados das equações com intercepto, tendo sido então desprezados esses últimos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Volume total com e sem casca calculado pelo método analítico

A Tabela 3 apresenta os valores dos volumes com casca e volumes sem casca para as 30 (trinta) árvores calculados pelo método analítico.

TABELA 3 – Valores exatos do volume com casca e volume sem casca para as 30 (trinta) árvores amostradas.

árvores	Vcc (m ³)	Vsc (m ³)
1	0,00801419	0,00656154
2	0,02478937	0,01915714
3	0,00682490	0,00528245
4	0,00694851	0,00568982
5	0,02442999	0,01959348
6	0,00963965	0,00768003
7	0,00550612	0,00423562
8	0,01289662	0,01082392
9	0,00892017	0,00731787
10	0,01749325	0,01320593
11	0,00955512	0,00746076
12	0,00969213	0,00780685
13	0,00785269	0,00661912
14	0,00607958	0,00486730
15	0,03670862	0,01380348
16	0,01175751	0,00943961
17	0,00988174	0,00749018
18	0,01240578	0,01065253
19	0,02873999	0,02318255
20	0,01954865	0,01655432
21	0,02149765	0,01839286
22	0,00963413	0,00776118
23	0,02120586	0,01743125
24	0,00927421	0,00779800
25	0,01636113	0,01387370
26	0,01911161	0,01539584
27	0,01137584	0,00916408
28	0,01313644	0,01064102
29	0,01316206	0,01086627
30	0,00739815	0,00571899

4.2 Valores médios, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo dos parâmetros dendrométricos

A Tabela 4 apresenta os valores médios, desvio padrão, valores mínimos e valores máximos médios das trinta (30) árvores amostradas. A média da altura, diâmetro, raio de copa, cc, vcc e vsc foram respectivamente: 2,9650 m, 4,4696 cm, 1,1607 m, 4,1382 m, 0,0139 m³, e 0,0108 m³.

TABELA 4 – Principais estatísticas das trinta (30) árvores amostradas.

	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
h (m)	2,9650	0,5600	2,0000	4,5000
d 60 (cm)	4,4696	0,8997	2,9600	6,1300
rc (m)	1,1607	0,2299	0,7502	1,7600
cc (m)	4,1382	1,5895	1,7789	8,1433
vcc (m ³)	0,0139	0,0075	0,0055	0,0367
vsc (m ³)	0,0108	0,0050	0,0042	0,0231

h = altura em metros; d 60 = diâmetro a 60 centímetros do solo; rc = raio de copa em metros; cc = comprimento de copa em metros; vcc = volume com casca em metros cúbicos; vsc = volume sem casca em metros cúbicos

4.3 Equações para estimar o volume com casca

4.3.1 Seleção das variáveis para estimar a equação de volume com casca

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos pelo procedimento *stepwise* para a variável selecionada. Como critério, convencionou-se que, para uma determinada variável ser significativa, o seu R² parcial tinha que ser superior a 1%. Observamos que apenas a variável ln h é inserida, pois não houve outra variável que aumentasse o valor do R² ajustado em mais de 1%, conseqüentemente, foram excluídas.

TABELA 5 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico *stepwise* para o volume com casca.

Passo	variável inserida	R ² parcial	R ² aj	F	Pr>F
1	Inh	0.7613	0.7531	92.50	<,0001

R²parcial = coeficiente de determinação parcial; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F para a equação, Pr>F = nível de significância para F.

4.3.2 Estimativa dos parâmetros para o volume com casca

A Tabela 6 retrata a variável significativa com o seu respectivo parâmetro para a confecção da equação final.

TABELA 6 – Resultado da estimativa dos parâmetros para o volume com casca.

variável	parâmetro estimado	t	Pr>t
Inh	0.01273	9.62	<0.0001

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

4.3.3 Análise da variância para estimativa do volume com casca

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para a análise da variância para a estimativa do volume com casca. Observamos um baixo valor do R² parcial bem como um baixo valor do Syx.

TABELA 7 – Resultado da análise da variância para o volume com casca.

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	R ² parcial	R ² aj
Modelo	1	0.0057	0.00573	92.50	<,0001				
Erro	29	0.0018	0.00006			0.0079	56.246	0.7613	0.7531
Total	30	0.0075							

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; R²parcial = coeficiente de determinação parcial; R²aj = coeficiente de determinação ajustado.

4.3.4 Equação selecionada para volume com casca

Após a seleção das variáveis, chegou-se à seguinte equação para determinar o volume com casca para o povoamento:

$$vcc = 0.01273 \cdot \ln(h)$$

em que:

vcc = volume com casca em metros cúbicos;

lnh = logaritmo neperiano da altura.

4.3.5 Análise dos resíduos para volume com casca

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar o volume com casca pode ser observada na Figura 3.

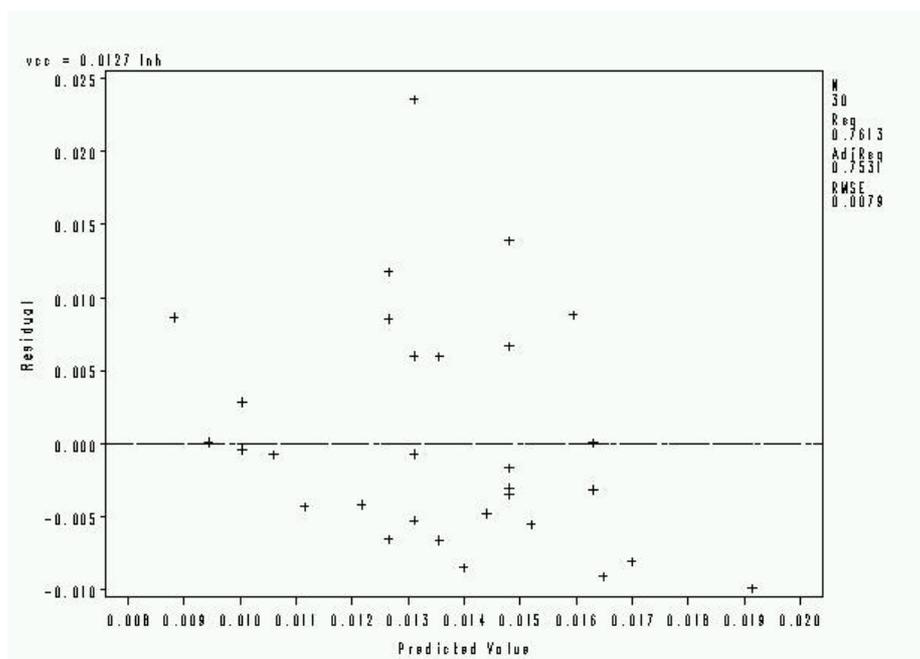


FIGURA 3 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar o volume com casca.

4.4 Equações para estimar o volume sem casca

4.4.1 Seleção das variáveis para estimar a equação de volume sem casca

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos pelo procedimento *stepwise* para a variável selecionada. Como critério, foi determinado que, para uma determinada variável ser significativa, o seu R^2 parcial tinha que ser superior a 1% para considerá-la significativa. Observamos que apenas a variável *hd* é inserida, pois não houve outra variável que aumentasse o valor do R^2 ajustado em mais de 1%, conseqüentemente, foram excluídas.

TABELA 8 – Resultados obtidos com o procedimento estatístico *stepwise* para o volume sem casca.

Passo	variável inserida	R^2 parcial	R^2 aj	F	Pr>F
1	hd	0.7976	0.7907	114.31	<,0001

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.

4.4.2 Estimativa dos parâmetros para o volume sem casca

A Tabela 9 retrata a variável significativa com o seu respectivo parâmetro para a confecção da equação final.

TABELA 9 – Resultado da estimativa dos parâmetros para o volume sem casca.

variável	Parâmetro estimado	t	Pr>t
hd	0.00076	10.69	<0.0001

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

4.4.3 Análise da variância para estimativa do volume sem casca

A Tabela 10 mostra os resultados obtidos para a análise da variância para a estimativa do volume sem casca. Como já retratado para o volume com casca, observamos novamente um baixo valor do R^2 parcial bem como um baixo valor do Syx.

TABELA 10 – Resultado da análise da variância para o volume sem casca.

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr>f	Syx	CV	R^2 parcial	R^2 aj
Modelo	1	0.00340	0.00340	114.31	<,0001				
Erro	29	0.00086	0.00002			0.0054	50.422	0.7976	0.7907
Total	30	0.00426							

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.

4.4.4 Equação selecionada para volume sem casca

Após a seleção das variáveis, chegou-se à seguinte equação para determinar o sem casca para o povoamento:

$$vsc = 0.00076*hd$$

em que:

vsc = volume sem casca em metros cúbicos;
hd = diâmetro vezes altura.

4.4.5 Análise dos resíduos para volume sem casca

A distribuição dos resíduos para a equação selecionada para estimar o volume sem casca pode ser observada na Figura 4.

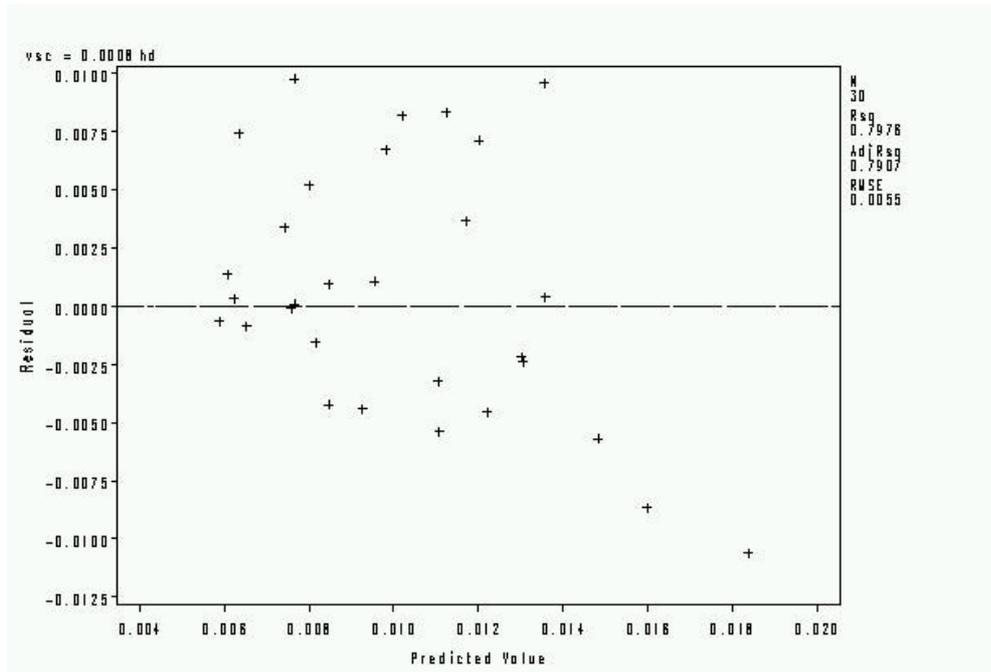


FIGURA 4 – Distribuição dos resíduos da equação selecionada para estimar o volume sem casca.

5 CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho, ficou evidenciado que a espécie em questão, *Ilex paraguariensis*, conhecida regionalmente por erva-mate possui uma importância econômica muito grande na região sul do Brasil. Além de suprir tanto o mercado interno e externo, emprega e é fonte de renda para muitas famílias. Após a coleta e processamento dos dados e tendo definido os objetivos chegou-se as seguintes conclusões: a média da altura, diâmetro, raio de copa, comprimento de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 2,9650 m, 4,4696 cm, 1,1607 m, 4,1382 m², 0,0139 m³, e 0,0108 m³. A média para o desvio padrão da altura, diâmetro, raio de copa, comprimento de copa, volume com casca e volume sem casca dos dados foram os seguintes: 0,5600 m, 0,8997 cm, 0,2299 m, 1,5895 m², 0,0075 m³, 0,0050 m³. Os valores mínimos absolutos para altura, diâmetro, raio de copa, comprimento de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 2,0000 m, 2,9600 cm, 0,7502 m, 1,7789 m², 0,0055 m³, 0,0042 m³. Os valores máximos absolutos para altura, diâmetro, raio de copa, comprimento de copa, volume com casca e volume sem casca foram respectivamente: 4,5000 m, 6,1300 cm, 1,7600 m, 8,1433 m², 0,0367 m³, 0,0231 m³. Para a estimação da equação do volume com e sem casca utilizou-se o procedimento Stepwise. A equação selecionada para a estimação do volume com casca foi $vcc = 0,01702 \cdot \ln(h)$. Para o volume sem casca a equação selecionada foi $vsc = 0,00105 \cdot hd$. Com estes resultados espera-se continuidade de pesquisas científicas com o intuito de melhor conhecer o crescimento destas espécies tão importantes economicamente, e fornecer subsídios para um melhor manejo destes plantios.

6 BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF - FATEC, 1992. 269 p.

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

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.

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). 152 p.

LOETSCH, F., ZOEHRER, F., HALLER, K.E. **Forest inventory**. München: BLV, 1973. 469 p.. v. 2.

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

MEYER, H.A . The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. **Jour. Forestry**, v. 36, p. 340-342, 1938.

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

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).

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria – UFSM/CEPEF, 1998. 236 p.

SOARES, C.P.B; PAULA NETO, F; SOUZA, A.L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Editora. UFV, 2006.

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 paraguaiensis* St. Hil.) **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p. 19-27, 1995.

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. 165 p.

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