

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTIMATIVA DA EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES FOLIARES EM
DIFERENTES TIPOS DE PODA NA CULTURA DA ERVA-MATE
(*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**

CURITIBA

2005

CLAURIANE STELE WOLF

**ESTIMATIVA DA EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES FOLIARES EM
DIFERENTES TIPOS DE PODA NA CULTURA DA ERVA-MATE
(*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

CURITIBA

2005

DEDICATÓRIA

**A Deus pela graça de ter nos dado
a vida, e tudo que temos e somos.**

**Ao Geferson por ser esta pessoa
maravilhosa, que é o meu amor.**

**Aos meus pais Clóvis e Arlene
pela integridade e amor eu dedico.**

AGRADECIMENTOS

- A UFPR/Setor de Ciências Agrárias/Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
- Um especial agradecimento ao meu professor e orientador Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, pela motivação, orientação e por sua organização e detalhamento que me auxiliaram nas diferentes etapas do trabalho, e por me aceitar como orientada.
- Ao meu co-orientador o professor Dr. Agenor Maccari Júnior pela sua enorme capacidade para o trabalho, para fazer amigos, pelo seu entusiasmo, por conectar e projetar seus alunos para o mercado de trabalho, enfim, pela confiança depositada em mim.
- Ao meu co-orientador o professor Dr. Carlos Bruno Reissmann pelo seu carisma, sua generosidade, humildade, prudência, que além da orientação na dissertação é um exemplo de vida e de fé.
- Ao CNPq, pela concessão da bolsa.
- Ao Sr. Antônio Fagundes Schier, Sra. Neide Schier e filhos, por ceder a área para o experimento e por nos receber e abrigar com tanto conforto e gentileza em sua casa.
- Agradeço ao meus pais, Clovis e Arlene, que me deram estudo e bons exemplos, e sogros Alcemir e Darli que também compreenderam o significado deste trabalho para mim.
- Ao Gerson Novicki que tantas vezes me informava sobre datas, redigia declarações e repetidamente transmitia informações com muito carinho.
- À colega de mestrado Joseliz Robassa pela amizade sincera, e minhas irmãs Clariely e Claire que estavam sempre comigo lendo meus textos e compartilhando com muito carinho em todos os momentos.
- Aos meus irmãos Júnior e Clauberth que me incentivaram e se interessaram pelo meu trabalho.
- Ao companheirismo da querida Fabíola Stella, aos amigos Kléber Alves Berté e Lauren Roncato Maccari com grande carinho pela importante ajuda no meu trabalho.
- Jorge Mazuchowski e Neusa de Almeida pela ajuda técnica e de coleta de dados da primeira etapa do trabalho e aos colegas André Rosseto, Silmara Schier, César Muller e Aline pelo auxílio na coleta de material da segunda etapa.
- Agradeço também aos que eu injustamente tenha esquecido, pessoas que nos bastidores de seus serviços também foram indispensáveis para realização do meu trabalho (“tarefeiros” ou podadores de erva, motoristas, funcionários da biblioteca, auxiliares de laboratório, colegas de turma, entre outros)
- Sabendo que não é possível estabelecer uma ordem de importância nestes agradecimentos, deixo para o final com muito carinho ao Geferson, meu esposo, pois além da sua ajuda por ter um enorme experiência com a cultura de erva-mate, é meu maior incentivador, compartilhando todas as fases deste trabalho e me dando o que realmente é importante na vida, o seu amor.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 A CULTURA DA ERVA-MATE	4
3.2 ASPECTOS ECOLÓGICOS DA ERVA-MATE	6
3.3 IMPLANTAÇÃO E TRATOS SILVICULTURAIS DA ERVA-MATE	8
3.3.1 Implantação de ervais	8
3.3.2 Poda.....	9
3.3.3 Produtividade e rendimento.....	11
3.4 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM FUNÇÃO DO TIPO DE EXPLORAÇÃO	12
3.4.1 Considerações sobre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg	13
3.4.2 Considerações sobre exportação de nutrientes	16
3.4.3 Considerações gerais sobre nutrição da cultura da erva-mate	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	21
4.1.1 Localização, características do solo e clima da região.....	21
4.1.2 Características da área experimental.....	22
4.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	22
4.2.1 Primeiro ensaio experimental (Ensaio 1).....	22
4.2.2 Segundo ensaio experimental (Ensaio 2).....	26
4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES EXPORTADOS	29
4.3.1 Consideração gerais sobre a análise do solo.....	29
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	34
5.1 PESO FRESCO DAS FOLHAS E GALHOS DE ERVA-MATE NO ENSAIO 1 .	34

5.2 PESO FRESCO E SECO DAS FOLHAS DE ERVA-MATE NO ENSAIO 2.....	37
5.2.1 Peso fresco e quantificação dos nutrientes das plantas de erva-mate do Ensaio 2, conforme os terços e orientação geográfica	40
5.3 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE NUTRIENTE EXPORTADO EM FUNÇÃO DO TIPO DE PODA.....	45
5.3.1 Análise estatística dos resultados obtidos no Ensaio 2 (em função dos terços e orientação geográfica)	48
5.4 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO (N, P, K) EM FUNÇÃO DA ANÁLISE DO SOLO.....	55
5.4.1 Nutrientes (N, P, K) exportados pelas folhas de erva-mate e quantidades destes nutrientes em função da análise do solo realizada nos blocos	57
6 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Taxonomia da erva-mate	4
Tabela 3.2. Principais funções e compostos formados pelos macronutrientes e micronutrientes nas plantas.	13
Tabela 3.3. Quantidade de nutrientes na biomassa de povoamento de <i>Ilex paraguariensis</i> com 12 anos de idade.....	17
Tabela 3.4. Teores de nutrientes em folhas de erva-mate, no meio e no fim da safra convencional.....	19
Tabela 4.1. Fatores de variação e tratamentos obtidos através da poda das plantas de erva-mate, em diferentes intensidades, empregando cinco tipos de poda.	23
Tabela 4.2. Recomendações de adubação nitrogenada para a erva-mate, no plantio e crescimento, conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994)..	30
Tabela 4.3. Interpretação geral dos resultados de análise do solo, para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).	31
Tabela 4.4. Interpretação dos resultados da determinação de fósforo “extraível” do solo para as principais culturas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conforme as recomendações de COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989).	31
Tabela 4.5. Recomendações de adubação fosfatada e potássica para a erva-mate, no plantio e reposição, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).	32
Tabela 5.1. Peso fresco das folhas e galhos das plantas de erva-mate, considerando os diferentes tipos de poda e blocos do Ensaio 1.....	34
Tabela 5.2. Análise de variância do Ensaio 1, seguindo um delineamento em blocos ao acaso, obtida através de cinco tratamentos envolvendo tipos de poda da erva-mate e três blocos.	36
Tabela 5.3. Teste de Duncan, a 1% e 5% de significância, em um delineamento em blocos ao acaso, realizados em folhas de erva-mate para comparação das medias de cinco tratamentos envolvendo tipos de poda e três blocos.....	36
Tabela 5.4. Peso fresco, seco e relação entre o peso seco e fresco de 100 folhas de erva-mate, coletadas para cada planta, terço e orientação geográfica, analisada no Ensaio 2.	38
Tabela 5.5. Quantidade de água em 100 folhas de erva-mate, coletadas para cada planta (I, II e III), terço (inferior, médio e superior) e orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste), analisada no Ensaio 2	39
Tabela 5.6. Peso médio das folhas de erva-mate, coletado em função dos terços e orientação geográfica, analisado no Ensaio 2.....	40
Tabela 5.7. Valores dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) obtidos das três plantas analisadas no Ensaio 2, conforme a orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste) e terços (inferior, médio e superior).	42
Tabela 5.8. Teores de nutrientes em folhas de erva-mate, no meio e no fim da safra convencional.....	43

Tabela 5.9. Teores médios de macronutrientes foliares de <i>Ilex.paraguariensis</i> e de algumas espécies florestais	44
Tabela 5.10. Resumo das principais informações provenientes dos Ensaio 1 e 2, para quantificar os nutrientes exportados em função do tipo de poda, com a Equação 4.1.	46
Tabela 5.11. Quantidade de nutriente (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) exportado pela cultura de erva-mate, em função dos terços (inferior, médio e superior) e dos diferentes tipos poda (sem poda – T ₀ , Toalete – T ₁ , Poda 70% – T ₂ , Recepta – T ₃ , Desfolha – T ₄ , Schier – T ₅).....	47
Tabela 5.12. Exportações de nutrientes para a cultura de <i>Ilex paraguariensis</i> verificada em um ano para diferentes sistemas de cultivo	47
Tabela 5.13. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o nutriente nitrogênio (N).....	49
Tabela 5.14. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o fósforo (P).	50
Tabela 5.15. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o potássio (K).....	51
Tabela 5.16. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o cálcio (Ca).....	53
Tabela 5.17. Teste de Duncan, a 1% e 5% de significância, para comparação das medias do nutriente cálcio (Ca), obtidas no Ensaio 2, no Tratamento A (terços da altura).	53
Tabela 5.18. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o magnésio (Mg).	54
Tabela 5.19. Resultado da análise do solo, realizada para o local onde se encontram as plantas I, II e III do Ensaio 2.....	55
Tabela 5.20. Recomendação de adubação nitrogenada para o plantio e crescimento da erva-mate, em função da análise de solo realizada no local do Ensaio 2.....	55
Tabela 5.21. Recomendação de adubação fosfatada para o plantio e crescimento da erva-mate, em função da análise de solo realizada no local do Ensaio 2.....	56
Tabela 5.22. Recomendação de adubação potássica para o plantio e crescimento da erva-mate, em função da análise de solo realizada no local do Ensaio 2.....	56
Tabela 5.23. Teores de N, P, K exportados pelas folhas de erva-mate e teores destes mesmos nutrientes obtidos a partir da análise do solo onde se encontra o experimento (T ₁ - Toalete, T ₂ - Poda 70%, T ₃ - Recepta, T ₄ - Desfolha, T ₅ - Schier)..	57

LISTA DE FIGURAS

- Figura 4.1 – Maior área produtora de erva-mate no Estado do Paraná, incluindo a cidade de Guarapuava, onde o experimento de campo foi instalado. 21
- Figura 4.2 – Esquema da área experimental situada na Fazenda São José, Serra da Esperança, município de Guarapuava–PR, contendo: (a) 3 blocos e 5 tratamentos do primeiro ensaio experimental; (b) área útil do experimento contendo as plantas colhidas dentro dos blocos (*) e as existentes na área de bordadura (+); e, (c) parcela contendo a representação das 12 plantas colhidas dentro de cada bloco e tratamento.. 24
- Figura 4.3 – Esquema contendo: (a) Terços (inferior, médio e superior); e, (b) Orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste) das plantas de erva-mate do Ensaio 2..... 28
- Figura 5.1 – Valores médios dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg exportados por kg de matéria seca nas plantas I, II e III e terços inferior, médio e superior..... 43

ESTIMATIVA DA EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES FOLIARES EM DIFERENTES TIPOS DE PODA NA CULTURA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)

AUTORA: CLAUDIANE STELE WOLF

ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

RESUMO

Este estudo foi realizado com a cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), cujo manejo retira grande quantidade de biomassa nas operações de poda. O presente trabalho tem como objetivo quantificar a exportação de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) realizada pelas plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em diferentes sistemas de poda, posição e orientação geográfica da copa. O experimento foi conduzido em Guarapuava-PR, na latitude de 25°23'36" e longitude de 51°27'19", em um plantio (erval) com 15 anos de idade. O trabalho foi realizado em dois ensaios. No primeiro ensaio foi analisada a quantidade de biomassa retirada das plantas de erva-mate a partir de cinco tipos de poda (T₁ – toalete, T₂ – poda 70%, T₃ – recepa, T₄ – poda 90% e T₅ – Schier). O segundo ensaio consistiu em uma análise para determinar o teor de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) nas folhas da erva-mate em função dos terços (inferior, médio e superior) e orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste). As análises mostraram que: **(a)** a relação média entre o peso seco e fresco nos terços ficou em 0,4463; **(b)** com exceção do cálcio, verificou-se que as plantas de erva-mate não exportam diferentes quantidades do nutriente em relação à posição da copa e orientação geográfica; **(c)** 35,45% das folhas de erva-mate encontram-se no terço inferior, 36,84% no terço médio e 27,71% no terço superior; **(d)** as concentrações totais dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) obtidos nas folhas da erva-mate foram menores do que os encontrados em ervais nativos do Paraná; **(e)** a poda Recepa exportou cerca de 70%, 9,9%, 45,8% e 31,6% a mais de biomassa e nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) do que as podas Toalete, Poda 70%, Desfolha 90% e Schier, respectivamente; **(f)** em relação à adubação recomendada a partir da análise do solo e teores de nutrientes exportados pelas folhas, constatou-se coerência para os nutrientes N (Poda Schier) e K (Poda 70% e Recepa), contudo, os valores de P apresentaram incoerência, independente do tipo de poda testada; **(g)** na Poda 70%, a mais utilizada na região de Guarapuava-PR, constatou-se déficit de 19,0% para o nutriente N.

LEAF NUTRIENT EXPORTATION IN DIFFERENT PRUNNING SYSTEMS OF *Ilex paraguariensis* TREES

AUTHOR: CLAURIANE STELE WOLF

ADVISER: Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

ABSTRACT

The cultivation and management of *Ilex paraguariensis* exports a large plant biomass through the pruning operation. The objective of this paper was to quantify the nutrients uptake (N, P, K, Ca and Mg) for *Ilex paraguariensis* trees in different pruning systems, considering canopy position and geographical orientation. The experiment was accomplished in Guarapuava-PR, with latitude of 25°23'36" and longitude of 51°27'19", in a stand with 15 years of age. In the first step of this study, five different systems of pruning were used to prune *Ilex paraguariensis* plants: T₁ - Cleaning Pruning, T₂ - 70% Pruning, T₃ - Reduction Pruning, T₄ - 90% Pruning and T₅ - "Schier". In a second step, were analyzed about content of nutrients (N, P, K, Ca and Mg) in the leaves of the *Ilex paraguariensis* considering thirds (inferior, medium and superior) and geographical orientation (north, south, east and west) of canopy position. The analyses showed that: **(a)** the medium relationship among the dry and fresh weight of leaves in the canopy position was in 0,4463; **(b)** except for the calcium, the *Ilex Paraguariensis* trees do not export different amounts of the nutrient in relation to the canopy position and geographical orientation; **(c)** 35,45% of the leaves are in the lower canopy position, 36,84% in the medium and 27,71% in the upper; **(d)** the concentrations of the nutrients (N, P, K, Ca and Mg) found in the leaves were smaller than values verified in native *Ilex paraguariensis* trees; **(e)** the Reduction pruning treatment exported approximately 70%, 9.9%, 45.8% and 31.6% more biomass and nutrients (N, P, K, Ca and Mg) than Cleaning Pruning, 70% Pruning, 90% Pruning and "Schier" Pruning treatments, respectively; **(f)** related to the amount of nutrients recommended by fertilization based on soil analysis and the amount of nutrients exported by the leaves, it was observed similar results for N ("Schier" pruning) and K (70% Pruning and Reduction), however, the P values were not similar, regardless of the pruning system tested; **(g)** in the 70% Pruning system, the most used in the region of Guarapuava-PR, was observed a deficit of 19.0% for N.

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate já representou uma importante fonte de riquezas para o Estado do Paraná, fazendo prosperar muitas cidades, concedendo direitos e autonomia aos chamados “Barões do Mate”. O sistema de utilização dos ervais nativos entrou em decadência e atualmente, com novas tendências de mercado e de consumo, a demanda aumentou e permitiu o ressurgimento da atividade ervateira. O declínio da produção dos ervais nativos estimulou o plantio da erva-mate adotando-se a prática de adensamento, florestamento e reflorestamento de áreas em toda a Região Sul do Brasil. Entretanto, apesar das alterações no sistema de produção da erva-mate, ainda persistem práticas inadequadas de manejo. A falta de informações e o “conservadorismo” preservam aspectos arcaicos do manejo, fazendo com que o potencial produtivo da planta seja reduzido. Desta forma, existe a necessidade do desenvolvimento de tecnologias adequadas, que permitam a exploração sustentável dos ervais. Para tanto, são necessárias pesquisas em diversos segmentos da cadeia produtiva da erva-mate, buscando atender às demandas do mercado quanto à quantidade e qualidade, com menores custos e garantia de sustentabilidade.

O Estado do Paraná, em especial a região de Guarapuava, dispõe de muitos produtores de erva-mate para chimarrão e este produto tem grande aceitação no mercado. No entanto, este mesmo mercado torna-se a cada ano mais exigente, fazendo com que a produção de erva-mate de qualidade seja uma preocupação constante para os produtores rurais. A melhor qualidade implica em melhor conhecimento da planta e de seu cultivo. São inúmeros os fatores que podem de alguma forma alterar a qualidade, em especial o sabor final do produto. Como exemplo de alteração pode-se citar a região de procedência da erva-mate, o sistema de produção agrícola e o processamento do produto.

No que se refere ao manejo e produção agrícola da erva-mate pode-se dar destaque especial à poda. A operação de poda constitui-se basicamente na colheita

comercial, com o corte de parte das folhas e ramos da planta. O objetivo da poda consiste em retirar algumas partes da planta para permitir melhor arejamento e iluminação e dar condição para a sua estruturação e desenvolvimento. A poda geralmente torna a planta mais produtiva, ou seja, possuindo maior volume de folhas, parte da árvore de maior interesse comercial.

As modalidades de poda estão intimamente relacionadas às fases de crescimento da planta e podem ser realizadas desde a fase de planta jovem até a sua decrepitude. Entre as diferentes modalidades de poda destacam-se as podas de formação em viveiro, formação a campo, de exploração e de rejuvenescimento (DA CROCE e FLOSS, 1993). A modalidade de poda denominada exploração é mais utilizada e está mais próxima da realidade dos produtores da região de Guarapuava. No entanto, ainda faltam informações mais detalhadas e precisas que indiquem ao produtor a melhor forma de manejar o erval.

Estudos visando uma avaliação nutricional da planta da erva-mate são importantes também, visto que na realização da poda ocorre grande exportação de material, o que justifica uma análise de macronutrientes para verificar a necessidade de adubação para manter a capacidade produtiva da planta. A exportação de nutrientes durante a poda da erva-mate, dentro dos padrões comerciais, retira entre 10 a 20 toneladas de matéria fresca por hectare em um ano.

Outro importante ponto a ser avaliado e quantificado refere-se à disposição dos ervais, ou seja, se ele está a pleno sol ou a sombra, como ocorre em regiões onde existem ervais nativos. A bibliografia comenta que a forma de exposição do erval ao sol causa diferenças na qualidade da erva-mate. Desta forma, é importante transformar dados experimentais desta natureza em benefícios diretos para o produtor.

A exploração ecológica e economicamente sustentável da erva-mate é possível e poderá viabilizar o aumento de rendimentos dos agricultores, com menores custos e maior eficiência produtiva. A planta de erva-mate fornecerá um produto sem perder sua capacidade produtiva, representando para o produtor uma alternativa de renda estável, com longo período de exploração.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo quantificar a exportação de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) realizada pelas plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em diferentes sistemas de poda, posição (denominados terços inferior, médio e superior) e orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste) da copa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com a realização deste estudo objetiva-se:

- Determinar possíveis variações no teor de nutrientes nas folhas de erva-mate em função da posição da copa (terços) em que as mesmas se encontram na planta;
- Determinar possíveis variações no teor de nutrientes nas folhas de erva-mate, em função da face de exposição dos terços ou orientação geográfica em que as mesmas se encontram na planta;
- Determinar a biomassa exportada em cada sistema de poda, estimando os nutrientes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A CULTURA DA ERVA-MATE

Segundo a literatura, em 1822 o naturalista francês August de Saint Hilaire, coletou nas proximidades de Curitiba e classificou botanicamente a erva-mate como *Ilex paraguariensis*, pertencente à família *Aquifoliaceae*. A família *Aquifoliaceae* é representada por aproximadamente 660 espécies, sendo a maioria do gênero *Ilex*. No Brasil ocorrem em torno de 60 espécies do gênero *Ilex*, cada uma delas com diferentes variedades (LINHARES, 1969; URBAN, 1986). As *aqüifoliáceas* são fundamentalmente tropicais, mas também são encontradas em zonas temperadas (EDWIN e REITZ, 1967). A Tabela 1 apresenta a taxonomia da erva-mate segundo o sistema empregado por dois autores.

Tabela 3.1 Taxonomia da erva-mate

Sistema de “ENGLER (1964)”	Sistema de “CRONQUIST (1981)”
Divisão: Angiospermae	Divisão: Magnoliophyta
Classe: Dicotyledoneae	Classe: Magnoliopsida
Subclasse: Archichlamydeae	Subclasse: Rosidae
Ordem: Celastrales	Ordem: Celastrales
Família: Aquifoliaceae	Família: Aquifoliaceae
Gênero: <i>Ilex</i> L.	Gênero: <i>Ilex</i> L.
Espécie: <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.	Espécie: <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.

Fonte: EDWIN e REITZ, 1967

A erva-mate é considerada um produto de origem florestal não madeirável, com cultivo denominado silvicultura. É uma árvore perene semelhante a uma laranjeira, sendo nativa da América do Sul. A área de ocorrência compreende o noroeste Argentino, leste do Paraguai e sul do Brasil (SANTOS, 2004).

O uso da planta de erva-mate como bebida tônica e estimulante era conhecida pelos Aborígenes da América do Sul, conforme folhas da planta que foram encontradas em túmulos Incas, no Peru. Desde os primórdios das colonizações espanhola e portuguesa é referido o seu uso pelos indígenas, antes da comercialização pelos Jesuítas para a Europa, a partir de 1610. Os Bandeirantes paulistas introduziram o hábito do consumo da erva-mate entre os portugueses, principalmente na forma de chá mate, tererê e chimarrão. O processo histórico-geográfico da erva-mate está atrelado aos ciclos econômicos e ao sistema de transporte, denominado de tropeirismo. Em conexão com o gado, a madeira e a produção agrícola dos núcleos coloniais decorrentes dos fluxos imigratórios, determinaram a preponderância da erva-mate durante o século XIX e início do século XX. A erva-mate prosperou o comércio e monopolizou o capital e trabalho durante este período. A influência social e econômica foi tão acentuada que o Paraná teve a sua emancipação política da província de São Paulo, no ano de 1853, devido à prosperidade do ciclo da erva-mate (SOUZA, 1947).

Até o início da primeira guerra mundial, a erva-mate era considerada o esteio econômico do Paraná. Nesta época havia no Estado mais de noventa engenhos para beneficiamento da erva mate, sendo o produto exportado sobre tudo para o mercado latino (ANDRADE,1999). No entanto, durante séculos, a exploração econômica dos ervais foi realizada de forma extrativista, levando grande parte das áreas produtoras à degeneração (SOUZA, 1947). Com a degradação dos ervais o Brasil passou da condição de exportador para importador de erva-mate, principalmente da Argentina, que possui maior potencial de produção e pode competir no mercado com menores preços.

REDIG (1985) comenta que na década de 70 ocorreu um enfraquecimento na economia ervateira pela diminuição das exportações, houve o desenvolvimento da pecuária e da agricultura onde os proprietários estavam erradicando grandes áreas de ervais nativos para a implantação de culturas, principalmente a da soja. Nesse período, a agroindústria se fortaleceu e ocorreu também a substituição de ervais nativos pelos plantados ou cultivados.

A área ocupada pelos ervais no Paraná abrange 283.000 ha, sendo que 91,2% da área são de ervais nativos e 8,8% correspondem aos ervais plantados.

Das 51.000 propriedades produtoras, 64,4% ainda preservam os ervais nativos e 35,6% dedicam-se ao adensamento e, ou, plantio de ervais. Dessas propriedades, 62% são pequenas (10 ha a 20 ha), 21,4% são médias (20 ha a 100 ha) e 16,6% são consideradas grandes (acima de 100 ha). As regiões de União da Vitória, Pato Branco, Guarapuava e Irati destacam-se como as maiores produtoras, concentrando 81% da produção do Estado (SEAB,1997a).

O Estado do Paraná apresenta 176 municípios ervateiros, distribuídos em 11 núcleos regionais de administração. São eles: Campo Mourão, Cascavel, Curitiba, Francisco Beltrão, Guarapuava, Irati, Ivaiporã, Pato Branco, Ponta Grossa, Toledo e União da Vitória (SEAB, 1997b). A erva-mate tem importância sócio-econômica muito grande para a região de Guarapuava e representa uma das principais fontes de renda para os agricultores e trabalhadores rurais da região (RODIGHERI et al., 1995).

A erva produzida é vendida para as indústrias que beneficiam o material nos seguintes produtos: bebidas (chimarrão, tererê, chá mate queimado/verde/solúvel, refrigerantes), corante natural, conservante alimentar, medicamentos diversos, produtos de higiene, cosméticos e produtos de despoluição ambiental.

Mediante as colocações dispostas nos parágrafos anteriores, pela sua importância, verifica-se que é necessário que haja avanços nos estudos com a cultura da erva-mate a fim de unir conhecimentos e interpretar dados com mais exatidão, para que o setor ervateiro possa se desenvolver com a qualidade dos produtos seguindo a tendência do mercado atual.

3.2 ASPECTOS ECOLÓGICOS DA ERVA-MATE

A área de distribuição natural da erva-mate no Brasil é de aproximadamente 450.000 km² (5% do país). No Paraná ela avança pela região centro-sul, estendendo-se a nordeste para o Estado de São Paulo, limitando-se a pequena zona da região sudeste e a oeste segue em direção ao sul do Mato Grosso do Sul. A erva-mate vegeta preferencialmente em regiões de altitudes maiores, como dos planaltos sul-brasileiros, na faixa de variação entre 500 m e 1500 m, podendo ocorrer em outros pontos isolados. No mapeamento climático, segundo Koeppen, a distribuição predominante da erva-mate é abrangida pelos tipos climáticos Cfb,

seguido pelo Cfa. Toda esta área está compreendida na região sul-americana de climas pluviais temperados. Podem ocorrer também em pequenas áreas, nos tipos Cwa e Aw (OLIVEIRA e ROTTA, 1985). As chuvas nestas áreas, em sua maioria, são regulares com precipitação média anual variando de 1250 mm a 2500 mm, distribuídas por todos os meses do ano, promovendo um clima sempre úmido. As temperaturas médias anuais variam geralmente entre 12 °C a 24 °C (GOLFARI et al., 1978).

A parte que comercialmente interessa na erva-mate são as folhas, estas estão distribuídas de forma alternada, são sub-coriáceas até coriáceas, estreitas na base e ligeiramente obtusas no vértice. Suas bordas possuem pequenos dentes, visíveis da metade do limbo para a extremidade. O pecíolo é relativamente curto, medindo mais ou menos 15 milímetros, e mostra-se um tanto retorcido. A folha inteira mede geralmente de oito a dez centímetros de comprimento por quatro a cinco de largura. Em áreas de matas nativas, onde há menor intensidade de luz, as folhas podem chegar a uma dimensão bem maior, cerca de 23 cm de comprimento com 8 cm a 10 cm de largura (BRAGAGNOLO et al., 1980).

A erva-mate floresce entre os meses de setembro e dezembro e sua frutificação ocorre nos meses de janeiro a março. Sua árvore possui caule de cor acinzentada, geralmente com 20 cm a 25 cm de diâmetro, podendo atingir 50 cm. Conforme o sítio e a idade podem chegar aos 15 m de altura, mas quando recebem poda não passam dos 7 m. A produtividade média das árvores estabiliza-se entre 10 e 12 anos, sendo em torno de 14 kg a 20 kg por árvore. Erveiras nativas, de maior porte, chegam a produzir entre 80 kg e 180 kg de matéria fresca por árvore em podas realizadas entre 3 e 5 anos (BRAGAGNOLO et al., 1980).

Com relação à umidade do solo, a erva-mate vegeta preferencialmente em solos úmidos e permeáveis, mas não é encontrada em solos hidromórficos. A espécie é considerada como tolerante a solos de baixa fertilidade natural, resistindo a solos degradados. A presença da erva-mate é mais freqüente em solos com baixo teor de nutrientes trocáveis e alto teor de alumínio. A textura dos solos da região de ocorrência da erva-mate é muito variável, preferindo as terras que mostram equilíbrio na presença de areia, argila e silte. É freqüente em solos de texturas médias (entre 15% e 35% de argila) e argilosa (acima de 35%). A erva-mate prefere os solos

medianamente profundos, não ocorrendo (ou com ocorrência esparsa) em solos rasos (litólicos) ou com impedimentos. O plantio em solos muito revolvidos por lavouras geralmente é evitado, uma vez que há ausência de endomicorrizas, o que determina menor desenvolvimento para as plantas (OLIVEIRA e ROTTA,1985).

3.3 IMPLANTAÇÃO E TRATOS SILVICULTURAIS DA ERVA-MATE

3.3.1 Implantação de ervais

ANDRADE (1999) descreve que se deve aplicar técnicas de manejo específicas para cada tipo diferenciado de cultivo da erva-mate e comenta que os ervais podem ser classificados como:

- Nativos: ervais formados e mantidos pela natureza;
- Adensados: quando o plantio das mudas e feito nas clareiras de ervais nativos;
- De conversão: quando se transforma a vegetação existente (mato) em erval;
- Homogêneos: são plantios não consorciados de erva-mate a pleno sol;
- Consorciados: plantios de mudas em condições de sombreamento com lavoura e, ou, sub-bosques de matas, ou ainda a pleno sol com lavoura/pastagens.

Para EMATER (1991), de acordo com a disponibilidade dos recursos de cada propriedade (terra, capital e mão-de-obra), os seguintes sistemas de plantio poderão ser adotados aos ervais cultivados:

- Erval a céu aberto: Consiste no plantio solteiro ou plantio consorciado com lavouras ou pastagens. As mudas de erva-mate são expostas diretamente ao sol.
- Erval sob cobertura: Consiste no plantio sob mata raleada, ou então, aproveitando o sombreamento de plantas como o milho.
- Erval em leiras ou curvas de nível: Consiste na abertura de faixas com largura entre 1,0 m e 1,2 m em capoeiras leves, ou então, entre 1,5 m e 2,5 m de capoeiras pesadas. Posteriormente, os plantios das mudas são feitos nessas leiras ou faixas. O correto é efetuar a abertura dessas faixas em curva de nível.

3.3.2 Poda

A função econômica das erveiras é produzir folhas e para isso é necessário estimular a formação e o crescimento de novos ramos e folhas. O aumento da produção de folhas numa erveira é obtido pela renovação dos galhos (DA CROCE e FLOSS, 1999).

A colheita da erva-mate (poda) é feita com a retirada de galhos e ramos para aproveitamento das folhas e ramos finos, que são utilizados na preparação da erva cancheada. A operação de colheita no Brasil é feita basicamente de forma manual, sendo que na Argentina a prática da colheita mecanizada é realizada com grande frequência.

Segundo TORROBA e GAMIETEA (1975) a poda tem um papel decisivo na produtividade e longevidade das plantas. RASEIRA e CARVALHO (1988) complementam que o objetivo da poda é manter o crescimento equilibrado da planta, eliminando ramos secos, dificultando o ataque de pragas e doenças, facilitando a entrada de luz e raios solares dentro da planta. A retirada de algumas partes da planta permite melhorar o arejamento e iluminação da planta, melhorando sua estrutura e permitindo um desenvolvimento que a torne mais produtiva, isto é, com mais folhas, já que as mesmas representam a parte da árvore de interesse comercial.

3.3.2.1 Poda de formação da erveira a campo

A poda de formação permite que se projete o formato da erveira, dando-lhe uma copa tipo cálice. Consiste em aparar-se a haste principal da erveira e eliminar todos os galhos tortos e entrelaçados. Também são cortados os brotos e os galhos que nascem na base do tronco e os galhos que tomam a direção vertical. Este tipo de poda geralmente é realizado no final do inverno, durante os meses de agosto e setembro, em que são mínimos os riscos de geadas e a rebrota das plantas ainda não foi iniciada (DA CROCE e FLOSS, 1999).

- **Primeiro corte:** É efetuado ao final do primeiro ano de campo e consiste, basicamente, no corte da haste principal entre 10 cm e 15 cm acima do terreno. Além desse procedimento, três ramos vigorosos são selecionados, despontando-

os para serem os galhos-guia da futura copa da erveira. Quando a muda já tem bifurcação de galhos, faz-se a poda 5 cm acima da mesma. Posteriormente, abaixo deste corte, nascem diversos brotos. É importante observar que a inclinação do corte dos galhos deve ser orientada de forma a deixar o maior comprimento para fora. Os novos brotos irão surgir mais do lado de fora dos galhos podados, abrindo a copa da erveira (DA CROCE e FLOSS, 1999).

- **Segundo corte:** Geralmente é efetuado ao final do segundo ano de campo da erveira. Consiste na escolha de três galhos vigorosos e voltados para fora da copa, a partir de cada galho-guia. Podam-se os galhos selecionados a uma distância entre 10 cm e 40 cm de sua base. Os ramos verticais ou varões são eliminados e os demais são despontados (DA CROCE e FLOSS, 1999).

3.3.2.2 Poda de renovação (recepta ou decepa)

A quantidade de ervais degradados no Brasil é muito grande e geralmente ocorre devido: a sucessivas colheitas que às vezes são feitas anualmente; o envelhecimento natural; as podas mal feitas que expõem as plantas em demasia ao sol; e, ocorrência de pragas e doenças. Para a renovação destes ervais, recomenda-se a retirada dos ramos piores ou até mesmo a renovação total das erveiras com a recepta ou decepa.

A recepta ou decepa é uma prática recomendada para aquelas árvores que produzem poucos galhos e folhas, além de serem altas (10 m a 15 m) e inviabilizarem a colheita. Consiste em se cortar o tronco da erveira na altura entre 1 m e 2 m, efetuando corte inclinado (em bisel), sem causar rachadura. Deve ser realizada no final do inverno (agosto). O decepamento do tronco somente é aconselhável quando se encontra muito atacado por brocas, ou quando começa a secar devido a qualquer problema específico, ou então, quando se deseja rebaixar erveiras adultas em meio a um erval de menor porte. Para indivíduos muito velhos, a recepta deve ser feita junto ao solo, para permitir a formação de brotos. Mais tarde, efetua-se a desbrota a fim de ficarem somente os dois melhores brotos no lugar da árvore derrubada (DA CROCE e FLOSS, 1999).

3.3.2.3 Poda de produção ou formação

Trata-se da verdadeira safra de erva, consistindo em cortar as erveiras plantadas e formadas a partir do quarto ou quinto ano de campo. A colheita consiste em despojar a árvore e seus ramos para aproveitamento das folhas e ramos pequeninos, que são as partes utilizáveis na elaboração da erva cancheada. A frequência da poda é realizada a cada dois anos (ou anualmente) nos ervais plantados. Retira-se em torno de 70% das folhas de cada erveira, deixando-se o restante dos galhos e folhas para manter a estrutura da árvore e acelerar a recuperação. A época ideal para podar as erveiras é no inverno, antes de ocorrer nova brotação. As folhas estão maduras e a erveira está em repouso fisiológico. Normalmente as erveiras são colhidas de maio a setembro, havendo concentração nos meses de junho e julho (EMATER, 1991).

Devido a uma série de dúvidas e hábitos culturais, a poda de produção ou formação é realizada por agricultores e técnicos empregando-se uma série de variações, tais como na poda tradicional, em nível, limpeza, entre outras, na tentativa de obter melhores colheitas e reduzir custos (DA CROCE e FLOSS, 1999).

A poda tradicional é utilizada nos ervais nativos e não é adequada para ervais cultivados. Como os ervais nativos possuem plantas muito altas os podadores utilizam o facão, lascando muitas vezes a planta e possibilitando a entrada de doenças. A poda em nível corta sempre os ramos parelhos a uma distância entre 10 cm e 15 cm do ponto de inserção. Este tipo de poda permite a exploração de plantas velhas (mais de 20 anos) possuindo base com altura de apenas 1,5 m. A poda de limpeza é realizada na parte mais baixa da planta, tentando evitar a perda do baixeiro devido á queda de folhas (DA CROCE e FLOSS, 1999).

3.3.3 Produtividade e rendimento

O rendimento varia conforme o solo, a região, a idade da planta e, principalmente, conforme as técnicas de manejo do erval. Nos ervais plantados, a erveira adulta atinge mais de 4 m de altura e um diâmetro máximo de copa de 3 m, o que contribui com um alto rendimento ao corte. A produtividade média das árvores estabiliza-se entre os 10 e 12 anos, sendo a média em torno de 15 kg a 20 kg por árvore na safra. Erveiras nativas de maior porte, chegam a dar entre 80 kg e 180 kg

de matéria fresca por árvore, em podas realizadas a cada três anos. O rendimento em erva-seca fica ao redor de 30% da colheita da erva verde (DA CROCE e FLOSS, 1999).

3.4 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM FUNÇÃO DO TIPO DE EXPLORAÇÃO

A colheita é sem dúvida o principal meio de exportação de nutrientes do ecossistema florestal, pois além da retirada de partes da árvore, a atividade pode propiciar condições para a ocorrência dos demais fatores como erosão, lixiviação, volatilização e retirada da manta orgânica (SANT'ANA, 1999). As quantidades exportadas dependem principalmente do nutriente, do componente da árvore a ser colhido, da idade de corte do povoamento, das condições edafoclimáticas, da espécie e da eficiência dos processos de ciclagem de nutrientes (CALDEIRA, 1998).

A idade das folhas afeta a distribuição de nutrientes em função da redistribuição dos nutrientes móveis para outros órgãos, como folhas novas, órgãos de reserva e regiões de crescimento, antes da abscisão ou eventual corte mecânico (VAN DEN DRIESSCHE, 1984).

Dentre as principais preocupações na exploração dos ervais estão sua produtividade e sustentabilidade. Como as partes extraídas da erva são suas folhas e ramos finos, existe grande exportação de nutrientes do ecossistema sendo que o elemento exportado em maior quantidade é o nitrogênio (REISSMANN et al., 1985), podendo chegar, em termos equivalentes, a cerca de 500 kg anuais de uréia por hectare (LOURENÇO et al., 1997).

BISSO e SALET (2000) comentam que a manutenção da alta produtividade de um sistema agrícola deve levar em conta os aspectos nutricionais das plantas e o esgotamento do solo. No caso da erva-mate, a exportação dos nutrientes mediante a realização de sucessivas podas ao longo dos anos pode levar a redução da sua produtividade caso não seja feita uma reposição adequada de nutrientes no solo.

MALAVOLTA (1980), compondo um livro texto sobre macronutrientes e micronutrientes, apresentou (Tabela 3.2) um resumo das principais funções e compostos formados pelos mesmos para as plantas em geral.

Tabela 3.2. Principais funções e compostos dependentes dos macronutrientes e micronutrientes nas plantas.

Nutriente	Função	Compostos
Nitrogênio (N)	Importante no metabolismo como composto orgânico; estrutural	Aminoácidos e proteínas, amins, aminoácidos, purinas e pirimidinas, alcalóides, coenzimas, vitaminas, pigmentos
Fósforo (P)	Armazenamento e transferência de energia; estrutural	Ésteres de carboidratos, nucleotídeos e ácidos nucleicos, coenzimas, fosfolipídios
Potássio (K)	Abertura e fechamento de estômatos, síntese e estabilidade de proteínas, relações osmóticas, síntese de carboidratos	Predomina em forma iônica, compostos desconhecidos
Cálcio (Ca)	Ativação enzimática, parede celular, permeabilidade	Pectato de cálcio, filato, carbonato, oxalato
Magnésio (Mg)	Ativação enzimática, estabilidade de ribossomos, fotossíntese	Clorofila
Enxofre (S)	Grupo ativo de enzimas e coenzimas	Cisteína, cistina, metionina e taurina, glutathione, glicosídios e sulfolipídios, coenzimas
Boro (B)	Transporte de carboidratos e coordenação com fenóis	Boratoc, compostos desconhecidos
Cloro (Cl)	Fotossíntese	Cloreto, compostos desconhecidos
Cobalto (Co)	Fixação de N ₂	Vitamina B12
Cobre (Cu)	Enzima, fotossíntese	Polifenoloxidase, plastocianina, Azurina, estelacianina; umecianina
Ferro (Fe)	Grupo ativo em enzimas e em transportadores de elétrons	Citrocromos, ferredoxina, catalase, peroxidase, reductase de nitrato, nitrogenase; reductase de sulfito
Manganês (Mn)	Fotossíntese, metabolismo de ácidos orgânicos	Manganina
Molibidênio (Mo)	Fixação do N ₂ , redução do NO ₃ ⁻	Reductase de nitrato; nitrogenase
Zinco (Zn)	Enzimas	Anidrase carbônica, aldolase

3.4.1 Considerações sobre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg

MALAVOLTA (1980) comenta que o nitrogênio é o macronutriente mais abundante nas plantas e também o mais exigido pela maioria das culturas. Os trabalhos com nutrição vegetal em erva-mate geralmente enfatizam a necessidade

do fornecimento de nitrogênio, cujas quantidades recomendadas são maiores que a dos elementos fósforo e potássio. BELLOTE e STURION (1985), após cultivarem erva-mate em solução nutritiva por seis meses, verificaram entre os elementos estudados que o nitrogênio foi o nutriente mais limitante na produção de matéria seca, seguido por cálcio, fósforo, potássio, magnésio, zinco, cobre e ferro. PRAT KRICUN e BELINGHERI (1995) estudando doses de nitrogênio em diferentes densidades de plantas de erva-mate em um trabalho conduzido na Argentina, concluíram para altas densidades de plantio que aplicações de até 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio resultaram em um aumento linear dos rendimentos de massa fresca de erva-mate. Para baixas densidades de plantio o aumento nos rendimentos ocorreu com uma adubação de até 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio. SOSA (1994) também observa que o nitrogênio e o potássio participam em maior porcentagem na composição nutricional da erva-mate e ressalta que a reposição adequada destes dois elementos pode aumentar em até 50% a produção normal de uma plantação.

PANDOLFO et al. (2000) comentam que a aplicação de fósforo na cultura de erva-mate não proporciona diferença significativa na sua produção. Os autores concluíram que a baixa resposta da erva-mate ao fósforo está relacionada a alguns fatores como: grande variabilidade genética da espécie; bom desenvolvimento nos solos ácidos, com teor de alumínio considerado tóxico para a maioria das culturas; e, possível associação com micorrizas.

O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico e não desempenha função estrutural na planta. Este macronutriente atua na ativação de aproximadamente 50 enzimas, destacando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases (MENGEL e KIRKBY, 1978; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997; SILVEIRA e MALAVOLTA, 2003).

O potássio ainda está envolvido na síntese de proteínas. Plantas com baixos teores de potássio apresentam redução nessa síntese, ocorrendo acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas e nitratos. O potássio atua no controle osmótico das células, sendo que plantas deficientes deste macronutriente apresentam menor turgor da célula, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular (MENGEL e KIRKBY, 1978; MALAVOLTA et al., 1997).

Plantas bem nutridas são mais resistentes a secas e geadas, em função da maior retenção de água, efeito atribuído ao potássio. O potássio está envolvido também nos mecanismos de defesa das plantas a pragas e doenças. As plantas bem nutridas em potássio apresentam redução na incidência, severidade e danos causados por insetos e fungos. A explicação seria que altos teores de potássio nos tecidos favorecem a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos, os quais atuam como inibidores de insetos e fungos (PERRENOUD, 1990). As plantas com deficiência em potássio também podem apresentar tecidos menos enrijecidos, como conseqüência da menor espessura da cutícula e da parede celular, menor formação de tecidos esclerenquimáticos, menor lignificação e suberização (ELLET, 1973; PERRENOUD, 1990).

Além disso, na deficiência de potássio ocorre menor síntese de compostos de alto peso molecular (proteína, amido e celulose), favorecendo o acúmulo de compostos de baixo peso molecular (açúcares solúveis, aminoácidos e N solúvel) como resultado do aumento da atividade de enzimas decompositoras (amilase, sacarase, glucosidase e protease). O acúmulo desses compostos altera o equilíbrio osmótico das células e sua concentração é aumentada nos exsudados liberados pelas plantas, favorecendo o desenvolvimento de pragas e doenças (PRETTY, 1982). As plantas bem nutridas em potássio apresentam maior síntese de material para a formação da parede celular. Frequentemente, as paredes são mais espessas devido à maior deposição de celulose e compostos relativos, promovendo maior estabilidade e aumento da resistência das plantas ao acamamento e infestações de doenças e pragas (PRETTY, 1982; BERINGER e NOTHDURFT, 1985).

O potássio está envolvido na fotossíntese. Na sua carência, verifica-se redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar e, também, maiores taxas de respiração. A combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (PRETTY, 1982). Um suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO₂ nos cloroplastos, diminuindo conseqüentemente a taxa fotossintética.

O cálcio tem função na estrutura e funcionamento de membranas, absorção iônica, reações com hormônios vegetais, e ativação enzimática. O magnésio tem a

função de absorção iônica, fotossíntese e respiração. Uma das funções importantes do magnésio, como elemento central da molécula de clorofila, é a sua participação na fotossíntese. É também considerado específico na ativação de diversos sistemas enzimáticos das plantas, tais como ativação de enzimas relacionadas com o metabolismo dos carboidratos (CAMARGO e SILVA, 1975).

O magnésio (Mg) constitui o átomo central da clorofila e, por este motivo, é importante para a fotossíntese. Ele estimula também a formação de açúcares, proteínas, gorduras e vitaminas vegetais. Sua presença aumenta a resistência dos vegetais a fatores ambientais adversos, como seca, doenças, entre outros. Devido a sua influência positiva sobre o engrossamento das paredes e permeabilidade das membranas celulares, a suplementação de magnésio (Mg) via foliar em presença com o fósforo (P) acelera consideravelmente a translocação dos nutrientes aplicados. Os efeitos interiônicos entre K, Ca e Mg ocorrem na forma de inibição competitiva, normalmente na membrana celular (EPSTEIN e BLOOM, 2004).

3.4.2 Considerações sobre exportação de nutrientes

A quantidade de nutrientes removidos para fora do sítio através da colheita florestal não é proporcional à quantidade de biomassa. Isto porque os teores de nutrientes nos tecidos são diferentes em cada componente de uma árvore. A exportação de nutrientes também depende fundamentalmente, da espécie, idade de corte, densidade das árvores, biomassa produzida e das técnicas e intensidade de exploração (CALDEIRA e SCHUMACHER, 1999).

Estimar a exportação de nutrientes através das diferentes intensidades de utilização da biomassa acima do solo é importante para a compreensão e definição do manejo a ser adotado, visando à manutenção da capacidade de produção dos povoamentos nos diferentes tipos de solos em uso. Contudo, a fertilidade do solo pode ser diminuída pela remoção excessiva de biomassa viva, particularmente se as copas das árvores forem removidas na colheita ou na preparação do sítio (GOMES et al., 1997).

Durante a colheita florestal, dependendo da intensidade de aproveitamento da biomassa florestal produzida, pode-se causar grandes e diferentes impactos sobre a fertilidade do solo nos diferentes sítios. Medidas especiais devem ser tomadas sobre

a quantidade e forma de adubação de reposição para que seja assegurada uma produtividade sustentável a longo prazo (CALDEIRA et al., 2001).

O teor de nutrientes no tronco é sempre menor que o teor de nutrientes na copa, cuja biomassa sempre representa pequena parcela da árvore total (HAAG, 1985).

A medição de biomassa é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas. Ela é apresentada na literatura como sendo o peso de matéria seca por unidade de área (ODUM, 1986). Diversos métodos são utilizados para a medição da biomassa, de acordo com as características da área em estudo. O procedimento básico consiste na seleção das árvores para constituírem a amostra, nas medições e pesagens realizadas nestas árvores e nas identificações das variáveis medidas.

A Tabela 3.3 apresenta a quantidade de nutriente (N, P, K, Ca e Mg) extraído na safra e safrinha em um povoamento de *Ilex paraguariensis*, possuindo 12 anos de idade (CAMPOS, 1991).

Tabela 3.3. Quantidade de nutrientes na biomassa de povoamento de *Ilex paraguariensis* com 12 anos de idade.

Colheita	Componentes da biomassa	Matéria seca kg ha ⁻¹	Nutrientes do total de matéria seca (kg ha ⁻¹)				
			N	P	K	Ca	Mg
Safra	Folhas	3846,28	93,50	4,46	46,81	28,15	23,15
Safrinha	Folhas	6865,98	150,57	7,14	92,00	39,00	34,12

Fonte: CAMPOS (1991).

LOURENÇO et al. (1997) comenta que a cultura da erva-mate, tendo suas folhas como produto, é grande exportadora de nutrientes dos campos de produção. Porém, apesar deste fato, o autor acrescenta que são escassos os trabalhos de pesquisa sobre nutrição mineral e adubação da cultura. O estado nutricional do solo e das plantas é o componente que determina o rendimento de uma plantação de erva-mate e sua sustentabilidade a médio e longo prazo. Sendo assim, é necessário adequar o nível nutricional do solo e da planta, a fim de incrementar a produtividade e manter a conservação dos recursos solo-planta.

3.4.3 Considerações gerais sobre nutrição da cultura da erva-mate

Apesar de ser uma das atividades mais antigas na região sul do país, como ocorre com várias espécies nativas, CARPANEZZI (1997) comenta que existem lacunas técnicas na “matecultura” (cultura de erva-mate), e acrescenta que existem muitas dúvidas quanto à condução do manejo das plantas e adubações de reposição. Segundo o autor, estes fatos mostram a necessidade de mais estudos a respeito do assunto, visando principalmente a sustentabilidade ambiental e a rentabilidade do produtor agrícola.

REISSMANN et al. (1983) também observaram que a taxa de entrada natural dos nutrientes bem como as quantidades que permanecem disponíveis em um ecossistema contendo a cultura de erva-mate ainda não foram estudados suficientemente. Os autores recomendaram que a exportação de nutrientes através da colheita deve ser compensada para manter a capacidade produtiva da cultura. Porém, é preciso caracterizar adequadamente o estado nutricional, bem como a quantidade de biomassa exportada através da análise química dos nutrientes, a fim de que seja possível quantificar a exportação de nutrientes do ecossistema.

Para VETTORI (1969), a análise de solo é o procedimento que permite determinar o grau de suficiência e deficiência de nutrientes no solo e, ou, condições adversas que possam prejudicar as plantas. As informações advindas das análises podem ser usadas para monitorar o sistema de produção e avaliar as mudanças dos nutrientes no solo e, assim, manter o programa geral de fertilidade passo a passo com outros insumos de produção, para sustentabilidade e maior potencial de lucro. MARQUES e BENGHI (2003) complementam que a análise de solos, por si só, não possibilita avaliar o estado nutricional das plantas, mas constitui-se em um importante instrumento de interpretação, quando conjugada à análise foliar, desde que também se observem cuidados metodológicos de coleta e determinação.

A análise química foliar consiste na determinação dos teores de elementos em tecidos vegetais (principalmente folhas) visando o diagnóstico do estado nutricional da cultura. Vários casos de deficiência e toxidez de nutrientes em plantas foram identificados graças à utilização da técnica de análise foliar. A análise foliar auxilia no conhecimento do estado nutricional da cultura, na interpretação nos efeitos da adubação já efetuada e estimar, indiretamente, o grau de fertilidade do

solo. Permite ainda, distinguir sintomas provocados por agentes patogênicos decorrentes de uma nutrição inadequada (TRANI et al., 1983).

FOSSATI (1997) observando teores médios de K, Ca e Mg nos tecidos de erva-mate em plantio comercial, comenta que existem poucas informações sobre as quantidades de nutrientes de reposição e adubação para esta cultura, visto que ela sofre variação nos teores de seus elementos em relação às estações do ano e de sua idade.

REISSMANN et al. (1985) avaliaram as exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate, em Mandirituba, no Estado do Paraná. Baseando-se no peso médio da copa, os autores estimaram o montante das exportações de nutrientes durante o período da safra, demonstrando que as exportações através da coleta da copa foram sensivelmente influenciadas pela época da exploração. Neste sentido, considerando-se a igualdade de biomassa coletada, observou-se a exportação de 15% de N, 41% de P e 28% de K a mais em outubro do que em junho (Tabela 3.4). Assim, como a maior exportação de N, P e K (como função dos altos níveis destes elementos) coincidiu com a fase de maior atividade fisiológica, verificou-se que a exploração deve se restringir ao período de maio a agosto, quando a planta se acha em relativo repouso vegetativo. Os autores observaram ainda que o nível de fósforo (P) decresce muito a partir de outubro, atingindo níveis abaixo de 0,08% do peso da matéria seca, o que pode indicar que a produção possa estar sendo limitada em função de uma possível deficiência de fósforo.

Tabela 3.4. Teores de nutrientes em folhas de erva-mate, no meio e no fim da safra convencional.

Mês	----- Nutrientes em folhas e erva-mate (g/100g) -----				
	N	P	K	Ca	Mg
Julho	1,92	0,17	1,59	0,61	0,42
Outubro	2,2	0,12	1,86	0,43	0,33

Fonte: Adaptado de REISSMANN et al. (1985).

Os teores de nutrientes são específicas não somente para a espécie, idade e tecido, como também, dependem do ambiente. Diversos fatores controlam o teor de minerais nos vegetais, principalmente o genético (ANDRAE e KRAPFENBAUER, 1983; MALAVOLTA, 1980). Conforme ZÖTTL (1973), com exceção dos frutos, são as folhas que detêm a maior teor de nutrientes.

Dentro dos diferentes temas abordados pela nutrição florestal, é comum encontrar estudos que tratem da variação do teor de nutrientes das folhas no decorrer do ano. Porém, ressalta-se que informações sobre a extração de nutrientes considerando diferentes sistemas de poda e partes da copa (terços) da planta de erva-mate, ainda não foram encontrados na literatura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

4.1.1 Localização, características do solo e clima da região

A área experimental foi previamente escolhida com o auxílio técnico da EMATER-PR e Universidade Federal do Paraná. O experimento foi instalado e conduzido na Fazenda São José, situada na Serra da Esperança, município de Guarapuava–PR, a 25°23'36" de latitude, 51°27'19" de longitude, 1.120 m de altitude e 286 km de Curitiba. Ao norte, limita-se com os municípios de Campina do Simão e Turvo, ao Oeste com Goioxim, Cantagalo e Cândói, ao leste com Prudentópolis e Inácio Martins, e ao Sul com Pinhão (IPARDES,1996). A região de Guarapuava é a maior produtora de erva-mate no Estado do Paraná (Figura 4.1), possui clima Cfb segundo classificação climática de Koeppen, e o solo é caracterizado como LATOSSOLO BRUNO ÁLICO (EMBRAPA, 1999).



Figura 4.1 – Maior área produtora de erva-mate no Estado do Paraná, incluindo a cidade de Guarapuava, onde o experimento de campo foi instalado.

4.1.2 Características da área experimental

A Fazenda São José, onde foi instalado o experimento, possui como atividade principal a exploração da erva-mate, havendo ervais nativos, adensados e cultivados (pleno sol). A fazenda possui aproximadamente um milhão de pés de erva-mate e trabalha também com pecuária e agricultura (lavouras anuais).

O talhão onde o experimento encontra-se instalado foi plantado no ano de 1988, empregando o espaçamento 2 m x 3 m (entre plantas, entre linhas) e o sistema de cultivo utilizado é a pleno sol. O erval encontra-se em plena fase produtiva.

4.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Conforme foi enfatizado na Revisão Bibliográfica, quantificar a extração de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) pelas plantas de erva-mate submetidas a diferentes sistemas de poda, considerando porções da altura e a orientação geográfica da planta é importante para compreender e definir o manejo a ser adotado, visando à manutenção da capacidade de produção, a rentabilidade do produtor agrícola e principalmente a sustentabilidade ambiental.

Desta forma, para avaliar a exportação de nutrientes, diferentes sistemas de poda e informações sobre o teor de nutrientes em diferentes posições e orientações na planta foram necessários. Este fato gerou a necessidade de realização do presente trabalho (experimento) empregando-se dois ensaios experimentais que serão detalhadas nos subitens a seguir.

4.2.1 Primeiro ensaio experimental (Ensaio 1)

A coleta de material do primeiro ensaio experimental foi realizada entre os dias 13 e 16 de agosto de 2002. Neste ensaio foi realizada a poda das plantas de erva-mate empregando-se cinco tipos de cortes. Basicamente, os tipos de poda constituíram os fatores de variação e tratamentos deste primeiro ensaio experimental, conforme pode ser observado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Fatores de variação e tratamentos obtidos na poda das plantas de erva-mate, em diferentes intensidades, empregando cinco tipos de poda.

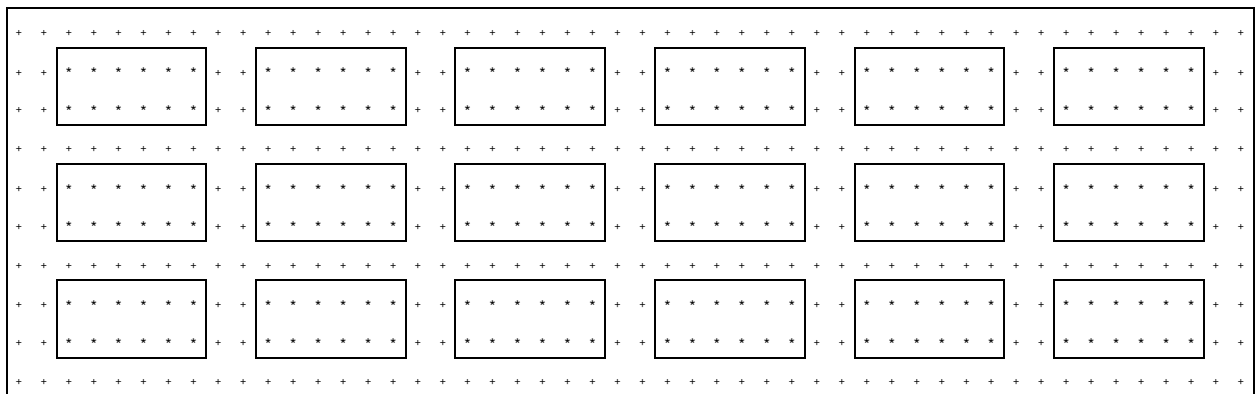
Tratamentos	Tipo de poda	Especificação
T ₀	Sem poda	Tratamento testemunha, onde não foi realizada a poda;
T ₁	Poda toalete (limpeza)	No tratamento poda de limpeza (toalete ou suave), poucos ramos foram removidos, entre 10% e 20% do volume total, procurando melhorar a condução das plantas;
T ₂	Poda 70%	Esta é considerada a poda tradicional, na qual é removida aproximadamente 50% a 70% da planta;
T ₃	Recepa (Rebaixamento)	É uma poda drástica, com a remoção de todas as folhas e ramos da planta;
T ₄	Desfolha 90%	Nesta poda apenas 10% das folhas são deixadas;
T ₅	Poda Schier (comercial)	É realizada em duas etapas. A primeira etapa é realizada a colheita, onde é feita a desfolha deixando apenas 10% das folhas. A segunda etapa é realizada no final do inverno, fazendo-se a remoção dos galhos.

As análises estatísticas foram realizadas seguindo um delineamento em blocos ao acaso, conforme as recomendações de PIMENTEL GOMES (2000). Os dados obtidos para o peso fresco e seco foram submetidos à análise de variância e teste de Duncan para comparação de médias. Uma planilha eletrônica foi utilizada para armazenar e organizar os dados e as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se seqüencialmente os programas “*Microsoft Excel*” e “*Sirichai’s Statistcs*” versão 3.0 (1987). Desta forma, conforme apresenta a Figura 4.2:

- O experimento teve o delineamento: 3 blocos, 5 tratamentos, 12 repetições;
- Os tipos de poda foram sorteados dentro de cada bloco (blocos ao acaso), conforme está apresentado no esquema da área experimental;
- Cada tratamento ou parcela foi constituído por 12 plantas podadas, perfazendo um total de 72 plantas em cada bloco, ou seja, um total de 216 plantas em todo o experimento. Cada bloco possui 6 metros de largura por 12 de comprimento, compreendendo uma área de 72 m²;
- Uma fileira de árvores de erva-mate foi deixada como bordadura.

Bloco I-T ₂	Bloco I-T ₀	Bloco I-T ₄	Bloco I-T ₅	Bloco I-T ₁	Bloco I-T ₃
Bloco II-T ₃	Bloco II-T ₅	Bloco II-T ₁	Bloco II-T ₀	Bloco II-T ₄	Bloco II-T ₂
Bloco III-T ₁	Bloco III-T ₄	Bloco III-T ₂	Bloco III-T ₃	Bloco III-T ₀	Bloco III-T ₅

(a) Blocos e tratamentos do delineamento experimental



(b) Área útil contendo as plantas dentro dos blocos (*) e área de bordadura (+).

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	+	+
+	+	Planta 7	Planta 8	Planta 9	Planta 10	Planta 11	Planta 12	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

(c) Parcela experimental de cada bloco e tratamento

Figura 4.2 – Esquema da área experimental situada na Fazenda São José, Serra da Esperança, município de Guarapuava–PR, contendo: (a) 3 blocos e 5 tratamentos do primeiro ensaio experimental; (b) área útil do experimento contendo as plantas colhidas dentro dos blocos (*) e as existentes na área de bordadura (+); e, (c) parcela contendo a representação das 12 plantas colhidas dentro de cada bloco e tratamento.

É importante observar que o experimento instalado faz parte de um projeto experimental que tem a previsão de duração mínima de cinco anos, período compreendido entre a realização de duas podas recepa (rebaixamento) de uma mesma planta de erva-mate, para possibilitar um contraste entre os diferentes tipos de poda. Os objetivos do projeto justificaram o delineamento experimental utilizado (blocos, tratamentos) e a necessidade da testemunha. Desta forma, o tratamento sem poda (T_0) aparece no delineamento experimental porque será necessário ao longo de todo período experimental mínimo de cinco anos do projeto e servirá de parâmetro para a continuidade da pesquisa. Para o presente estudo, que faz parte da primeira fase experimental do projeto (primeiro ano de coleta de dados), o tratamento sem poda (T_0) não tem efeito nas análises sobre a exportação de nutrientes.

- Os trabalhos de campo na área experimental envolveram os seguintes passos:
 - Demarcação e identificação das árvores de erva-mate com estacas;
 - Para a poda utilizou-se material apropriado, tal como “ponchos”, tesouras de poda, podão para alcançar as partes altas das árvores e serrote para os galhos;
 - A coleta das folhas e galhos foi realizada de acordo com os diferentes tipos de poda, isto é, poda toalete (limpeza), poda 70%, recepa (rebaixamento), desfolha 90% e poda Schier (comercial);
 - O material recolhido das plantas foi acondicionado em redes de “nylon” ou “ponchos” e as folhas e galhos foram dispostos separadamente;
 - Em seguida, todo o material fresco coletado foi separado em folhas e galhos para serem pesados em uma balança de campo de capacidade 20 kg;
 - Posteriormente, todas as anotações medidas e registradas em campo foram dispostas em um microcomputador pessoal com o auxílio de uma planilha eletrônica.

4.2.2 Segundo ensaio experimental (Ensaio 2)

O segundo ensaio experimental (Ensaio 2) foi realizado em setembro de 2003 e consistiu na determinação do teor de nutrientes foliares da planta da erva-mate em função dos terços da altura e orientação geográfica. Para isso, três plantas de erva-mate em fase produtiva foram escolhidas aleatoriamente no mesmo local onde ocorreu o Ensaio 1 e posteriormente procedeu-se uma coleta. As três plantas escolhidas correspondem a uma amostra das árvores de erva-mate que foram deixadas entre os blocos do Ensaio 1, perfazendo fileiras representativas de plantas testemunhas que não foram podadas.

Os trabalhos de campo na área experimental com o Ensaio 2 envolveram os seguintes passos:

- Com o auxílio de uma bússola, identificou-se e marcou os quadrantes (norte, sul, leste e oeste) das três plantas de erva-mate, ou seja, as quatro posições geográficas de interesse;
- Os quadrantes mencionados foram marcados com fitas coloridas estabelecendo-se o local da coleta das folhas para cada posição geográfica ou quadrante. As folhas foram coletadas respeitando os quadrantes médios apresentados na bússola (Figura 4.3b);
- Com o auxílio de um metro e fitas, marcou-se também a altura dos terços inferior, médio e superior da copa das três árvores de erva-mate e posteriormente coletou-se todo o material (folhas). A denominação terço inferior corresponde à altura entre a base da copa até $1/3$ da altura da mesma, a denominação terço médio corresponde à altura entre $1/3$ e $2/3$ da altura da copa, e a denominação terço superior corresponde a $2/3$ da altura da copa até o ápice da planta (Figura 4.3a);
- Após a realização das atividades de campo, o material colhido e acondicionado adequadamente em embalagens plásticas etiquetadas foi levado para o Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA 1)/DSEA/SCA/UFPR, onde, aleatoriamente, de acordo com a metodologia de REISSMANN et al. (1985), coletou-se uma amostra de 100 folhas para cada planta, terço e orientação geográfica, totalizando 1200 folhas por árvore;

- No laboratório, as amostras de 100 folhas para cada planta, terços e orientação geográfica, tiveram o peso da massa fresca determinado. Logo após, as mesmas foram colocadas em sacos de papel e dispostas para secagem em uma estufa tipo Bipolar, modelo B80SA (850 W, 220 V, 3,5 A) à 60 °C, onde permaneceram por um período de três semanas até atingirem a completa estabilização do peso da massa seca das folhas, que foram determinados com uma balança *Instrutherm* BD-14 (500 g x 0,1 g);
- Determinado o peso da massa fresca e seca das amostras, as mesmas foram trituradas e encaminhadas para o Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas/DSEA/SCA/UFPR, onde se determinou para cada planta, considerando os terços e orientação geográfica, os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) das folhas;
- As análises laboratoriais para determinar os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram realizadas pelo método de absorção atômica. O potássio (K) foi determinado por emissão, seguindo as recomendações de PERKIN ELMER (1976). As análises dos teores de nitrogênio (N) foram realizadas utilizando-se o método de Kjeldahl, conforme recomendação de BREMER (1960). O fósforo (P) foi determinado por colorimetria do vanadato-molibdato de amônio amarelo, conforme as recomendações de EMBRAPA (1997).

As análises estatísticas foram realizadas seguindo um delineamento em parcelas subdivididas, conforme as recomendações de PIMENTEL GOMES (2000). Os dados obtidos para os nutrientes, conforme os terços e posição geográfica das plantas, foram submetidos a uma análise de variância e teste de Duncan para comparação de médias. Uma planilha eletrônica foi utilizada para armazenar e organizar os dados e as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se seqüencialmente os programas “*Microsoft Exel*” e “*Sirichai’s Statistcs*” versão 3.0 (1987).

Desta forma:

- O experimento teve o delineamento: 3 blocos, 3 tratamentos, 4 sub-tratamentos;
- As árvores foram escolhidas dentro de cada bloco do Ensaio 1. As plantas foram escolhidas cuidando-se para que fossem bem homogêneas quanto à altura e volume das folhas;
- Cada tratamento ou parcela foi representado por um terço (inferior, médio e superior) e os sub-tratamentos representados por uma posição geográfica (norte, sul, leste e oeste), conforme pode ser observado na Figura 4.3.

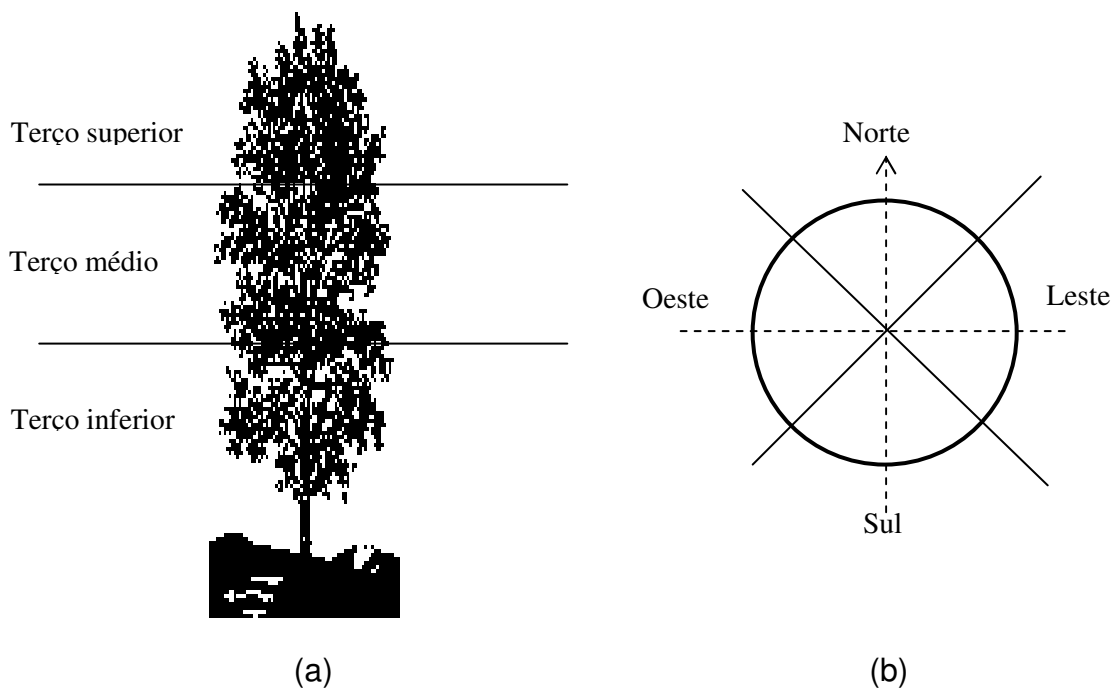


Figura 4.3 – Esquema contendo: (a) Terços (inferior, médio e superior) e (b) orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste) das plantas de erva-mate do Ensaio 2.

Esta pesquisa foi realizada no sítio estipulado, nas épocas de poda, ou seja, no inverno, antes de ocorrer nova brotação, as folhas estavam maduras e a erva estava em repouso fisiológico. A colheita concentrou-se nos meses de junho e julho, dependendo da intensidade do frio. Neste caso, devido ao frio intenso e prolongado, as coletas do Ensaio 1 foram realizadas no mês de agosto de 2002 com avaliações

visuais periódicas e, na segunda etapa (Ensaio 2), as coletas foram realizadas no começo de setembro de 2003.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES EXPORTADOS

A quantidade de nutriente exportado pela cultura da erva-mate, em função do tipo de poda, foi obtida utilizando a Equação 4.1. As informações e relações necessárias foram obtidas em função dos resultados alcançados nos Ensaios 1 e 2.

$$QN_{nt} = \frac{\sum_{i=1}^3 R_{ps/pv} \cdot Rmv_i \cdot Rn_{ni} \cdot Mv_t}{1.000} \quad (4.1)$$

sendo, QN_{nt} a quantidade do n -ésimo nutriente exportado no t -ésimo tratamento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); $R_{ps/pv}$ é a relação entre o peso seco e fresco das folhas (adimensional) – adotado como uma constante igual a 0,4463; Rmv_i a relação entre a massa seca e fresca das folhas existentes nas plantas em função dos terços (adimensional); Rn_{ni} a relação da quantidade do n -ésimo nutriente existente por quilo de folhas de erva-mate na i -ésima porção altura ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); Mv_t a massa fresca de folhas de erva-mate em cada t -ésimo tratamento – tipo de poda ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); i os terços considerados (inferior, médio e superior); n os nutrientes analisados (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio); t são os tratamentos que correspondem os tipos de poda (T_1 - toalete ou limpeza, T_2 - Poda 70%, T_3 - Recepa ou rebaixamento, T_4 - Desfolhas 90% e T_5 Poda Schier ou comercial). É importante observar que na realização das podas procurou-se retirar uma quantidade de folhas que fosse proporcional a existente em cada terço (inferior, médio e superior).

4.3.1 Consideração gerais sobre a análise do solo

As amostras de solo obtidas foram coletadas na projeção da copa de cada uma das três plantas de erva-mate do Ensaio 2. O solo foi coletado na profundidade entre 0 e 20 cm, sendo tomadas três amostras simples, que posteriormente foram homogeneizadas para constituir uma amostra composta. Todas as análises de solo foram realizadas no Laboratório de Química do Solo, situado no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/ SCA/ UFPR.

As recomendações de adubação para a área em estudo foram realizadas conforme a metodologia disposta nos subitens a seguir.

4.3.1.1 Cálculo da quantidade de nitrogênio

Mediante a quantidade de carbono (C) obtida na análise do solo, realizada para o local onde se encontram as plantas do Ensaio 2, o cálculo da quantidade de matéria orgânica foi determinado utilizando-se a expressão,

$$M.O. = \frac{1,724 \cdot Vc}{10} \quad (4.2)$$

sendo, *M.O.* a quantidade de matéria orgânica verificada no local através da análise de solo (%); *Vc* a quantidade de carbono (C) existente no local analisado (g kg^{-1} TFSA ou g dm^{-3}); a constante 1,724 é proveniente da relação de Walkley-Black, onde considera-se que a matéria orgânica existente nos solos contém, em média, 58% de carbono ($100 \text{ g M.O.}/58 \text{ g C} = 1,724$); o valor 10 resulta da relação que transforma a unidade g de carbono por kg de TFSA em percentagem ($Vc \cdot \text{g C} \cdot 100 / 1.000 \text{ g TFSA}$), conforme as recomendações de TOMÉ JÚNIOR (1997).

A partir dos valores de matéria orgânica obtida na análise do solo (calculados com a Equação 4.2) e dos parâmetros especificados pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994) (Tabela 4.2), foram retiradas as recomendações de adubação nitrogenada para a erva-mate, no plantio e crescimento. Os teores de matéria orgânica no solo foram determinados considerando os valores da Tabela 4.3, que possibilita uma interpretação geral dos resultados de análise do solo, conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).

Tabela 4.2. Recomendações de adubação nitrogenada para a erva-mate, no plantio e crescimento, conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).

Teor de matéria orgânica no solo (%)	Adubação nitrogenada para a erva-mate (kg N ha^{-1})	
	Plantio	Crescimento
≤ 2,5	60	60
2,6 a 5,0	40	60
> 5,0	≤ 20	≤ 60

Tabela 4.3. Interpretação geral dos resultados de análise do solo, para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).

Teor no solo	Determinações					
	pH da Água	M.O. % (m/v)	Cátions trocáveis			K
			Ca	Mg cmol _c L ⁻¹	Ca + Mg	mg L ⁻¹
Limitante	—	—	—	—	—	≤ 20
Muito Baixo	≤ 5,0	—	—	—	—	21-40
Baixo	5,1-5,5	—	—	—	—	41-60
Médio	5,6-6,0	2,6-5,0	2,1-4,0	0,6-1,0	2,6-5,0	61-80
Suficiente	—	—	—	—	—	81-120
Alto	> 6,0	> 5,0	> 4,0	> 1,0	> 5,0	> 120

4.3.1.2 Cálculo da quantidade de fósforo (P)

Mediante a quantidade de argila obtida na análise do solo (g kg⁻¹), realizada para o local onde se encontram as plantas do Ensaio 2, foi determinado a classe de solo (Classes 1 a 6) na Tabela 4.4. Posteriormente, com os valores de fósforo (P) também retirados da análise de solo e da respectiva classe determinada, foi identificada a faixa do teor de fósforo (P) existente no solo por intermédio da Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Interpretação dos resultados da determinação de fósforo “extraível” do solo para as principais culturas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conforme as recomendações de COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989).

Faixa de teor de fósforo (P) no solo	Classe de solo**					
	1	2	3	4	5	6
	mg L ⁻¹					
Limitante	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	—
Muito baixo	1,1-2,2	1,6-3,0	2,1-4,0	3,1-6,0	4,1-8,0	—
Baixo	2,1-4,0	3,1-6,0	4,1-9,0	6,1-12,0	8,1-16,0	≤ 3,0
Médio	4,1-6,0	6,1-9,0	9,1-14,0	12,1-18,0	16,1-24,0	3,1-6,0
Suficiente	> 6,0	> 9,0	> 14,0	> 18,0	> 24,0	> 6,0
Alto	> 8,0	> 12,0	> 18,0	> 24,0	> 30,0	—

** Classe 1: > 55% de argila e, ou, solos; Classe 2: 41% a 55% de argila e, ou, solos; Classe 3: 26% a 40% de argila e, ou, solos; Classe 4: 11% a 25% de argila e, ou, solos; Classe 5: 10% de argila e, ou, solos; Classe 6: solos alagados.

Com a identificação da faixa do teor de fósforo (P) existente no solo na Tabela 4.4, a partir da Tabela 4.5, foram encontradas as recomendações de adubação fosfatada para a erva-mate, no plantio e reposição, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994)

Tabela 4.5. Recomendações de adubação fosfatada e potássica para a erva-mate, no plantio e reposição, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).

Teor do elemento no solo	Adubação para a erva-mate (kg ha ⁻¹)	
	Plantio	Reposição
Fosfato (P₂O₅)		
Limitante	130	120
Muito baixo	90	120
Baixo	60	120
Médio	40	120
Suficiente	20	120
Alto	≤ 20	≤ 120
<hr/>		
Potássio (K₂O)		
Limitante	50	60
Muito baixo	40	60
Baixo	30	60
Médio	20	60
Suficiente	10	60
Alto	≤ 10	≤ 60

4.3.1.3 Cálculo da quantidade de potássio (K)

Os valores de potássio (K) retirados da análise do solo, na unidade cmol_c dm⁻³, foram transformados em mg L⁻¹, utilizando-se as relações:

- 1 mol de potássio possui uma massa atômica igual a 39,102;
- 1 cmol possui uma massa atômica igual a 0,39102;
- 1 cmol_c possui uma massa igual a 0,39102 g ou 391,02 mg.

$$K_{mg/L} = K_{cmol_c/dm^3} \cdot 391,02 \quad (4.3)$$

sendo, $K_{mg/L}$ a quantidade de potássio na unidade $mg L^{-1}$; e K_{cmol_c/dm^3} a quantidade de potássio na unidade $cmol_c dm^{-3}$

Após a realização da transformação da unidade dos valores de potássio (K) no solo com a Equação 4.3, os teores do nutriente foram determinados considerando os valores da Tabela 4.3, que possibilita uma interpretação geral dos resultados de análise do solo, no plantio e crescimento, conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).

Com a identificação da faixa do teor de potássio (K) existente no solo na Tabela 4.3, a partir da Tabela 4.5, foram encontradas as recomendações de adubação potássica para a erva-mate, no plantio e reposição, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 PESO FRESCO DAS FOLHAS E GALHOS DE ERVA-MATE NO ENSAIO 1

Na Tabela 5.1 estão apresentados o peso fresco das folhas e galhos de cada planta de erva-mate, considerando os diferentes tipos de poda (sem poda – T₀, toailete – T₁, poda 70% – T₂, recepa – T₃, desfolha 90% – T₄ e Schier – T₅) e blocos do Ensaio 1.

Tabela 5.1. Peso fresco das folhas e galhos das plantas de erva-mate, considerando os diferentes tipos de poda e blocos do Ensaio 1.

Planta	----- Peso das folhas (kg) -----			----- Peso dos galhos (kg) -----		
	Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco I	Bloco II	Bloco III
Sem poda – Tratamento T₀ (Todas as plantas não tiveram as folhas e galhos retirados – peso zero)						
Toailete (Limpeza) – Tratamento T₁						
Planta 1	0,90	1,00	2,40	0,40	0,80	0,80
Planta 2	1,80	2,50	2,00	0,40	0,80	0,80
Planta 3	5,90	1,90	1,90	2,10	0,80	0,80
Planta 4	1,30	1,40	—	0,10	—	—
Planta 5	1,70	2,50	3,90	0,40	2,00	2,00
Planta 6	1,60	0,80	2,20	0,40	0,80	0,80
Planta 7	1,60	2,80	1,20	0,70	0,50	0,50
Planta 8	1,80	2,60	1,00	1,00	0,20	0,20
Planta 9	0,50	2,00	0,50	0,60	0,10	0,10
Planta 10	—	3,00	0,20	—	0,30	0,30
Planta 11	2,30	0,40	1,50	1,20	0,40	0,40
Planta 12	2,00	1,70	0,30	0,10	—	—
Soma	21,40	22,60	17,10	7,40	6,70	6,70
Média	1,95	1,88	1,55	0,67	0,67	0,67
Desv. Padrão	1,40	0,84	1,09	0,58	0,54	0,54
Poda 70% – Tratamento T₂						
Planta 1	4,60	6,10	7,30	2,50	3,00	3,80
Planta 2	—	4,00	2,10	—	2,10	2,40
Planta 3	8,80	5,70	13,00	8,00	3,90	6,30
Planta 4	5,70	7,80	0,90	3,60	4,50	0,40
Planta 5	6,30	4,10	3,90	5,40	3,30	2,50
Planta 6	13,50	1,10	8,70	11,40	0,50	3,00
Planta 7	—	0,40	9,60	—	0,10	3,80
Planta 8	7,90	7,60	8,80	3,80	5,00	3,20
Planta 9	9,50	0,20	2,30	6,30	0,10	1,40
Planta 10	1,70	10,90	8,20	0,50	8,50	4,50
Planta 11	2,00	3,90	0,90	1,10	2,80	0,60
Planta 12	0,50	4,00	1,70	0,40	2,60	0,90
Soma	60,50	55,80	67,40	43,00	36,40	32,80
Média	6,05	4,65	5,62	4,30	3,03	2,73
Desv. Padrão	4,04	3,21	4,11	3,55	2,36	1,75

Tabela 5.1. Peso fresco das folhas e galhos das plantas de erva-mate, considerando os diferentes tipos de poda e blocos do Ensaio 1.

Planta	----- Peso das folhas (kg) -----			----- Peso dos galhos (kg) -----		
	Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco I	Bloco II	Bloco III
Recepa (Rebaixamento) – Tratamento T₃						
Planta 1	2,70	0,60	2,60	3,60	0,80	0,80
Planta 2	16,10	5,30	—	23,50	6,80	—
Planta 3	3,90	16,70	6,30	3,70	30,60	8,80
Planta 4	8,30	12,50	1,10	8,40	14,00	1,20
Planta 5	3,50	4,40	—	4,30	0,20	—
Planta 6	5,60	2,20	13,10	6,60	9,50	23,10
Planta 7	7,20	4,20	3,80	8,50	4,60	4,90
Planta 8	0,22	2,80	0,90	1,20	2,20	0,40
Planta 9	13,90	2,60	4,70	16,10	2,90	5,50
Planta 10	3,00	0,50	7,80	7,00	0,30	11,40
Planta 11	14,80	11,70	5,80	25,10	14,20	0,96
Planta 12	1,60	5,50	7,90	1,10	6,30	12,00
Soma	80,82	69,00	54,00	109,10	92,40	69,06
Média	6,74	5,75	5,40	9,09	7,70	6,91
Desv. Padrão	5,44	5,14	3,68	8,16	8,71	7,19
Desfolha 90% – Tratamento T₄						
Planta 1	7,40	2,30	0,70	0	0	0
Planta 2	1,00	2,10	2,20	0	0	0
Planta 3	1,20	1,80	4,70	0	0	0
Planta 4	5,60	3,40	2,10	0	0	0
Planta 5	0,60	4,40	4,80	0	0	0
Planta 6	0,85	6,90	5,80	0	0	0
Planta 7	2,50	2,60	1,60	0	0	0
Planta 8	3,90	3,50	—	0	0	0
Planta 9	4,30	5,50	4,10	0	0	0
Planta 10	0,80	—	4,20	0	0	0
Planta 11	5,20	3,90	0,50	0	0	0
Planta 12	—	3,10	7,00	0	0	0
Soma	33,35	39,50	37,70	0	0	0
Média	3,03	3,59	3,43	0	0	0
Desv. Padrão	2,37	1,54	2,13	0	0	0
Poda Schier (Comercial) – Tratamento T₅						
Planta 1	4,58	4,00	6,30	1,00	0,50	1,50
Planta 2	2,18	7,50	0,60	0,60	1,00	0,20
Planta 3	1,50	3,70	3,70	0,40	0,30	0,80
Planta 4	8,30	3,60	2,40	2,30	0,30	0,60
Planta 5	6,90	3,50	0,70	1,30	0,40	0,30
Planta 6	1,20	4,60	4,20	0,50	0,50	1,00
Planta 7	11,40	0,00	2,50	3,20	0,00	0,50
Planta 8	6,20	3,60	2,20	2,00	0,40	0,30
Planta 9	—	5,50	11,60	—	1,10	1,60
Planta 10	3,90	4,20	6,10	1,20	0,80	1,20
Planta 11	—	1,50	1,10	—	0,30	0,20
Planta 12	4,20	5,40	0,60	1,30	0,60	0,10
Soma	50,36	47,10	42,00	13,80	6,20	8,30
Média	5,04	3,93	3,50	1,38	0,52	0,69
Desv. Padrão	3,22	1,90	3,23	0,89	0,32	0,52

As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam, respectivamente, para um delineamento em blocos ao acaso, a análise de variância do Ensaio 1 e o teste Duncan, a 1% e 5% de significância, para comparação das medias dos cinco tratamentos envolvendo tipos de poda da erva-mate e três blocos

Tabela 5.2. Análise de variância do Ensaio 1, seguindo um delineamento em blocos ao acaso, obtida através de cinco tratamentos envolvendo tipos de poda da erva-mate e três blocos.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	F (5%)	F (1%)
Blocos	2	1,368	0,684	2,514	4,46	8,64
Tratamentos	4	33,636	8,409	30,899	3,84	7,01
Erro	8	2,177	0,272			
Total	14	37,182	2,656			

Os valores do Teste F, encontrados na análise de variância (Tabela 5.2) evidenciam que:

- Nas análises realizadas obteve-se no ensaio uma média igual a 4,13 kg de peso de folhas e um coeficiente de variação (CV) igual a 12,61%;
- a 99% de probabilidade, não ocorreu diferença estatística entre as médias dos três blocos, o que indica características homogêneas entre as plantas, prováveis diferenças que poderiam ocorrer devido à declividade e manchas de solo da área, entre outros;
- a 99% de probabilidade, pode-se afirmar que pelo menos um dos tratamentos (tipo de poda) utilizados no experimento apresenta diferença significativa entre os valores médios de produção de erva-mate.

Tabela 5.3. Teste de Duncan, a 1% e 5% de significância, em um delineamento em blocos ao acaso, realizados em folhas de erva-mate para comparação das medias de cinco tratamentos envolvendo tipos de poda e três blocos.

Tipo de poda	Teste de Duncan*				
	1% de significância			5% de significância	
Recepa	5,96	A		5,96	a
Poda 70%	5,44	A		5,44	a
Schier	4,15	B		4,15	b
Desfolha 90%	3,35	B		3,35	b
Toalete	1,78	C		1,78	c

* Fatores com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan

Estatisticamente a 1% de probabilidade, a poda do tipo Recepta é igual a Poda 70%. Estes dois tipos de poda representam a maior retirada de folhas e galhos de erva-mate em relação às demais tipos de poda analisados. A 1% de probabilidade, a poda Schier apresenta resultados estatisticamente iguais a Desfolhas 90%. Como era de se esperar, pela própria característica, a poda do tipo Toalete apresenta a menor retirada de material da área.

A princípio, a utilização de um teste de comparação de média para o Ensaio 1 no primeiro ano experimental fica um pouco sem sentido, pois, devido às características de cada tipo de poda, era de se esperar que o a poda Recepta apresentasse a maior média, a poda Toalete a menor média e os demais tipos de poda ficassem em uma posição intermediária. No entanto, no final dos cinco anos de realização do projeto (um ciclo de poda tipo Recepta), a comparação das médias entre os tratamentos serão de grande valor, visto que será possível contabilizar ao longo do tempo, se será mais viável economicamente recepar toda a planta de erva-mate, ou retirar, adequadamente, determinadas quantidades de folhas e galhos, conforme o que recomenda os demais tipos de poda.

5.2 PESO FRESCO E SECO DAS FOLHAS DE ERVA-MATE NO ENSAIO 2

A Tabela 5.4 apresenta o peso fresco, seco e a relação entre o peso seco e fresco de 100 folhas de erva-mate, coletadas para cada planta (I, II e III), terço (inferior, médio e superior) da copa e orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste), analisada no Ensaio 2. A Tabela 5.5 apresenta para as mesmas condições (Ensaio 2), a quantidade de água em 100 folhas de erva-mate, obtidas a partir dos dados apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Peso fresco, seco e relação entre o peso seco e fresco de 100 folhas de erva-mate, coletadas para cada planta, terço e orientação geográfica, analisada no Ensaio 2.

		Plantas analisadas no Ensaio 2											
Orientação	Terço	Peso fresco (g)				Peso seco (g)				Relação entre o peso seco e fresco das folhas			
		I	II	III	Média	I	II	III	Média	I	II	III	Média
Norte	Inferior	79,1	53,9	100,0	77,7	38,7	26,6	46,1	37,1	0,49	0,49	0,46	0,4775
	Médio	87,2	73,3	93,8	84,8	36,0	33,0	39,5	36,2	0,41	0,45	0,42	0,4269
	Superior	65,8	78,2	73,6	72,5	31,1	35,5	31,1	32,6	0,47	0,45	0,42	0,4497
Sul	Inferior	80,8	55,8	102,0	79,5	36,1	27,7	42,3	35,4	0,45	0,50	0,41	0,4453
	Médio	89,5	57,4	102,0	83,0	42,5	27,6	43,9	38,0	0,47	0,48	0,43	0,4578
	Superior	63,1	67,1	85,0	71,7	28,6	30,2	34,8	31,2	0,45	0,45	0,41	0,4351
Leste	Inferior	85,5	57,5	110,0	84,3	38,1	27,6	47,0	37,6	0,45	0,48	0,43	0,4460
	Médio	87,3	64,7	110,0	87,3	38,6	28,9	50,3	39,3	0,44	0,45	0,46	0,4502
	Superior	56,4	60,9	67,3	61,5	25,7	28,3	29,6	27,9	0,46	0,46	0,44	0,4537
Oeste	Inferior	74,5	66,5	97,3	79,4	28,9	32,7	40,9	34,2	0,39	0,49	0,42	0,4307
	Médio	86,9	87,5	80,3	84,9	39,5	37,2	34,7	37,1	0,45	0,43	0,43	0,4370
	Superior	62,0	69,9	49,9	60,6	28,0	31,7	21,4	27,0	0,45	0,45	0,43	0,4455

Tabela 5.5. Quantidade de água em 100 folhas de erva-mate, coletadas para cada planta (I, II e III), terço (inferior, médio e superior) e orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste), analisada no Ensaio 2.

Orientação	Terço	Plantas analisadas no Ensaio 2							
		Quantidade de água (g)				Quantidade de água (%)			
		I	II	III	Média	I	II	III	Média
Norte	Inferior	40,4	27,3	53,9	40,6	51,1	50,6	53,9	52,3
	Médio	51,2	40,3	54,3	48,6	58,7	55,0	57,9	57,3
	Superior	34,7	42,7	42,5	39,9	52,7	54,6	57,7	55,0
Sul	Inferior	44,7	28,1	59,7	44,1	55,3	50,4	58,5	55,5
	Médio	47,0	29,8	58,1	45,0	52,5	51,9	57,0	54,2
	Superior	34,5	36,9	50,2	40,5	54,7	55,0	59,1	56,5
Leste	Inferior	47,4	29,9	63	46,7	55,4	52,0	57,3	55,4
	Médio	48,7	35,8	59,7	48,0	55,8	55,3	54,3	55,0
	Superior	30,7	32,6	37,7	33,6	54,4	53,5	56,0	54,6
Oeste	Inferior	45,6	33,8	56,4	45,2	61,2	50,8	58,0	56,9
	Médio	47,4	50,3	45,6	47,8	54,5	57,5	56,8	56,3
	Superior	34,0	38,2	28,5	33,6	54,8	54,6	57,1	55,4

Os resultados apresentados nas Tabelas 5.4 e 5.5 permitem verificar que a relação média entre o peso seco e fresco das folhas de erva-mate, considerando-se apenas a altura, apresentou resultados aproximadamente iguais, sendo 0,4499 para o terço inferior, 0,4430 para o terço médio e 0,4460 para o terço superior. O valor médio da relação peso seco/fresco para os três terços ficou em 0,4463. Desta forma, verifica-se que 100 kg de peso fresco de folhas de erva-mate apresentam, em média, 44,63 kg de peso seco de folhas e 55,37 kg de água. Os resultados da relação peso seco/fresco encontrados concordam com os obtidos por MACCARI JÚNIOR (2005), que em um diagnóstico do pré-processamento da erva-mate no Estado do Paraná, obteve uma relação peso seco/fresco igual a 0,4069, 0,4220, 0,4200, 0,4020 e 0,4407, respectivamente, para os secadores tipo esteira, rotativos, fixo com misturador, rotativo e leiro fixo (carijo).

5.2.1 Peso fresco e quantificação dos nutrientes das plantas de erva-mate do Ensaio 2, conforme os terços e orientação geográfica

A Tabela 5.6 apresenta, em peso e porcentagem, o quanto de massa fresca de erva-mate pode ser encontrado em função dos terços (inferior, médio e superior) e orientação geográfica (norte, sul, leste, oeste). Estas relações são importantes para permitir o cálculo da massa fresca obtida em cada tipo de poda, em função dos terços e orientação geográfica da planta e, conseqüentemente, quantificar os nutrientes exportados pela mesma.

Tabela 5.6. Peso médio das folhas de erva-mate, coletado em função dos terços e orientação geográfica, analisado no Ensaio 2.

Terços	Orientação	----- Peso fresco das plantas analisadas no Ensaio 2 -----							
		I	II	III	Média	I	II	III	Média
		----- (kg) -----				----- (%) -----			
Inferior	Norte	1,10	1,30	0,80	1,07	17,46	12,15	12,90	14,17
	Sul	0,50	0,70	0,30	0,50	7,94	6,54	4,84	6,44
	Leste	0,10	1,10	0,60	0,60	1,59	10,28	9,68	7,18
	Oeste	0,20	1,60	0,30	0,70	3,17	14,95	4,84	7,66
Soma para o terço inferior					2,87				35,45
Médio	Norte	0,90	0,60	0,30	0,60	14,29	5,61	4,84	8,24
	Sul	0,70	0,60	0,60	0,63	11,11	5,61	9,68	8,80
	Leste	0,60	0,40	0,60	0,53	9,52	3,74	9,68	7,65
	Oeste	1,20	1,00	0,50	0,90	19,05	9,35	8,06	12,15
Soma para o terço médio					2,67				36,84
Superior	Norte	0,30	0,80	1,00	0,70	4,76	7,48	16,13	9,46
	Sul	0,30	0,80	0,60	0,57	4,76	7,48	9,68	7,31
	Leste	0,20	0,90	0,40	0,50	3,17	8,41	6,45	6,01
	Oeste	0,20	0,90	0,20	0,43	3,17	8,41	3,23	4,94
Soma para o terço superior					2,20				27,71
Total nas três porções		6,30	10,70	6,20		100,0	100,0	100,0	

A relação do peso fresco de erva-mate extraídas das plantas em função dos terços (Rmv_i) é importante para determinar a quantidade do n -ésimo nutriente exportado no t -ésimo tratamento (QN_{nt}), conforme está demonstrado na Equação 4.1 do Material e Métodos. Desta forma, mediante o peso fresco de todas as folhas de erva-mate, coletado para cada planta, em função dos terços no Ensaio 2, verificou-se, em média, que 35,45% das folhas encontra-se no terço inferior, 36,84% no terço médio e 27,71% no terço superior. Maiores informações sobre a quantidade de material coletado em função da altura (Tabela 5.6) serão apresentadas nas análises estatísticas referente à quantidade de nutriente exportado nos referidos terços (inferior, médio e superior).

A Tabela 5.7 e a Figura 5.1 apresentam os teores dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) obtidos das três plantas analisadas no Ensaio 2, conforme os terços e a orientação geográfica.

De forma geral, com exceção do cálcio no mês de outubro, os teores totais dos nutrientes obtidos nas folhas da erva-mate (Tabela 5.7) foram menores do que os encontrados por REISSMANN et al. (1985) em ervais nativos no Paraná (Tabela 5.8). É conveniente observar, no entanto, que o trabalho desenvolvido por estes autores foi realizado em um erval nativo possuindo maior variabilidade por unidade de área. Um contraste entre os valores obtidos por REISSMANN et al. (1985) e os teores totais dos nutrientes obtidos nas folhas da erva-mate (Tabela 5.7), mostram percentualmente que:

- Os nutrientes N, P, K, Ca e Mg obtidos por REISSMANN et al. (1985) no mês de julho, foram maiores que os encontrados no experimento em 2,0%, 51,8%, 5,3%, 25,2% e 28,1%, respectivamente;
- Os nutrientes N, P, K, e Mg obtidos por REISSMANN et al. (1985) no mês de agosto, foram maiores que os encontrados no experimento em 14,5%, 31,7%, 19,1%, e 8,5%, respectivamente. A única exceção foi para o nutriente cálcio (Ca), sendo menor 6,0% que os valores obtidos no experimento.

Tabela 5.7. Valores dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) obtidos das três plantas analisadas no Ensaio 2, conforme a orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste) e terços (inferior, médio e superior).

Orientação	Altura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio (g · kg ⁻¹)	Cálcio	Magnésio
Planta I						
Norte	Inferior	12,60	0,69	14,91	4,40	3,10
	Média	16,00	0,73	18,52	3,50	2,80
	Superior	15,30	0,73	15,34	3,30	2,00
Sul	Inferior	19,70	0,73	18,02	4,00	2,70
	Média	21,30	0,63	15,95	4,30	3,20
	Superior	15,50	0,75	15,90	2,90	1,80
Leste	Inferior	10,90	0,75	17,90	4,00	2,80
	Média	14,90	0,69	16,88	3,80	2,80
	Superior	19,90	0,91	17,46	3,20	1,90
Oeste	Inferior	12,10	0,59	16,98	5,00	4,10
	Média	13,90	0,70	14,88	4,00	3,10
	Superior	15,70	0,69	15,00	4,30	3,20
Planta II						
Norte	Inferior	14,30	0,66	11,93	6,20	4,80
	Média	16,60	0,86	14,30	6,20	3,60
	Superior	21,10	0,77	12,98	5,35	3,80
Sul	Inferior	14,30	0,74	11,47	5,40	3,20
	Média	32,60	0,83	11,05	4,30	2,50
	Superior	21,30	0,84	14,12	4,20	2,30
Leste	Inferior	16,60	0,82	11,22	6,45	3,15
	Média	27,60	0,85	11,96	4,95	3,05
	Superior	17,60	0,88	11,63	5,10	3,50
Oeste	Inferior	27,00	0,79	13,35	5,20	3,50
	Média	16,70	0,73	13,30	3,80	2,20
	Superior	17,80	0,93	15,10	4,40	2,90
Planta III						
Norte	Inferior	21,80	0,83	14,95	6,30	4,20
	Média	22,50	0,81	17,65	4,90	2,50
	Superior	20,90	1,01	16,83	3,80	2,30
Sul	Inferior	19,90	0,79	13,65	6,00	4,30
	Média	20,80	0,77	15,13	4,50	3,00
	Superior	21,90	1,09	16,96	3,30	2,80
Leste	Inferior	16,20	0,78	16,76	5,10	3,10
	Média	17,60	0,74	15,56	7,10	4,60
	Superior	21,50	1,22	17,68	3,50	2,10
Oeste	Inferior	21,10	0,91	14,53	4,70	3,00
	Média	19,90	0,85	15,14	3,50	2,20
	Superior	22,00	1,38	16,71	3,30	2,50
Média dos nutrientes nas plantas I, II e III						
Norte + Sul	Inferior	17,21	0,76	14,64	5,23	3,50
+ Leste +	Média	20,03	0,77	15,03	4,57	2,96
Oeste	Superior	19,21	0,93	15,48	3,89	2,59
Média Geral		18,82	0,82	15,05	4,56	3,02

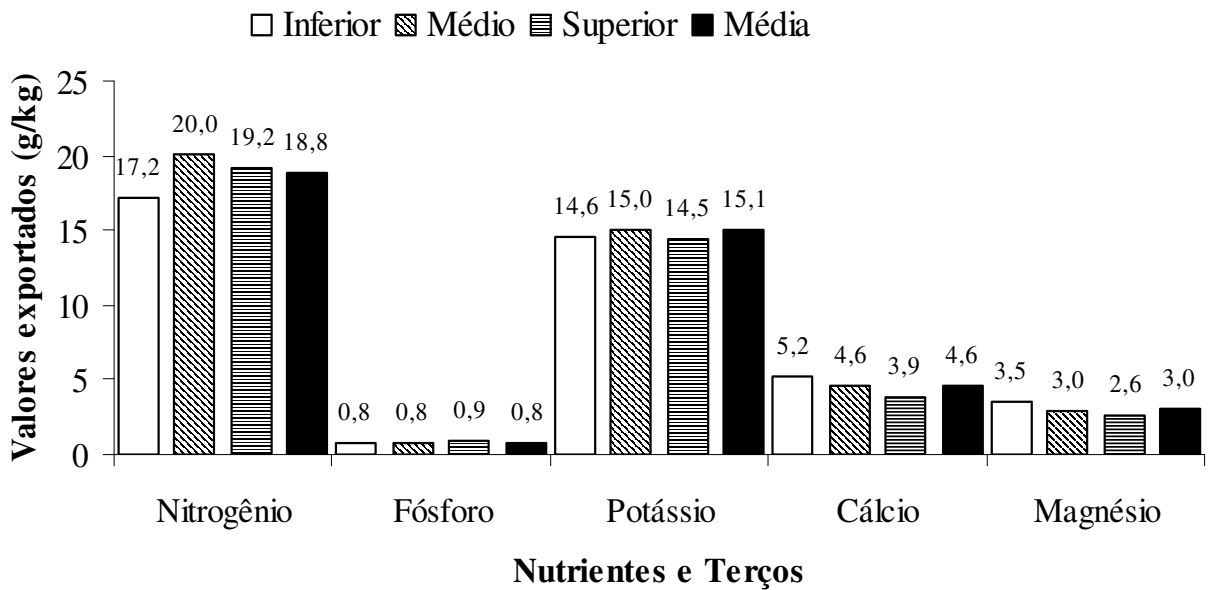


Figura 5.1 – Valores médios dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg exportados por kg de matéria seca nas plantas I, II e III e terços inferior, médio e superior

Tabela 5.8 Teor dos nutrientes em folhas de erva-mate, no meio e no fim da safra convencional.

Mês	Nutrientes (g kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Julho	19,2	1,7	15,9	6,1	4,2
Outubro	22,0	1,2	18,6	4,3	3,3

Fonte: adaptado de REISSMANN et al. (1985)

É importante observar que na revisão bibliográfica foram encontrados poucos trabalhos envolvendo o estudo do teor médio (g.kg⁻¹) de macronutrientes para erva-mate. Desta forma, para uma comparação, a Tabela 5.9 traz os teores foliares médios de alguns macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) das folhas, obtidos por outros autores que estudaram espécies do gênero *Ilex*.

Tabela 5.9 Teores médios de macronutrientes foliares de *Ilex.paraguariensis* e de algumas espécies florestais.

Espécie	Local	-----Teor de matéria seca -----				
		N	P	K	Ca	Mg
		----- (g·kg ⁻¹) -----				
<i>Ilex paraguariensis</i> do presente estudo	Guarapuava, PR	18,82	0,82	15,05	4,56	3,02
<i>Ilex paraguariensis</i> de ervais naturais (CALDEIRA, 2003)	General Carneiro, PR	25,58	1,17	16,04	8,03	4,93
<i>Ilex paraguariensis</i> de ervais naturais (REISSMANN et al., 1985)	Mandirituba, PR	20,60	1,45	17,20	5,20	3,75
<i>Ilex paraguariensis</i> procedência Ivaí de erval com 8 anos de idade (OLIVA, 2007)	Ivaí, PR	17,80	1,60	11,90	11,20	5,80
<i>Ilex paraguariensis</i> procedência Barão de Cotegipe de erval com 8 anos de idade (OLIVA, 2007)	Ivaí, PR	20,10	1,30	12,30	7,80	2,80
<i>Ilex paraguariensis</i> de ervais com 9 anos de idade (REISSMANN et al., 1985)	Teixeira Soares, PR	23,90	1,10	14,85	6,35	5,45
<i>Ilex paraguariensis</i> de ervais com 12 anos de idade (REISSMANN et al., 1985)	Paranaguá, PR	23,10	1,10	12,80	6,50	5,50
Média da floresta ** (CALDEIRA, 2003)	General Carneiro, PR	21,90	1,38	10,30	9,26	3,28

** Teores médios de macronutrientes nas folhas de 39 espécies amostradas por CALDEIRA (2003), em uma floresta tropical em General Carneiro-PR, em 2001.

O valor médio do teor foliar do nitrogênio (N) da erva-mate do presente estudo (18,82 g·kg⁻¹) foi superior apenas ao valor médio do teor presente na erva-mate procedência Ivaí analisada por OLIVA (2007), sendo inferior aos registrados nos demais trabalhos (Tabela 5.9). No entanto, é conveniente lembrar que a exportação de nutrientes por folhas de erva-mate pode variar dependendo da espécie, época, juvenilidade do material, localidade, entre outros.

Os teores encontrados para o fósforo (0,82 g·kg⁻¹) e cálcio (4,56 g·kg⁻¹) ficaram abaixo dos teores encontrados em todos os trabalhos citados na Tabela 5.9. Este resultado sugere que o povoamento do presente estudo é pouco exigente com relação a estes elementos. Como o teor médio exportado de magnésio (Mg) da erva-mate do presente estudo (3,02 g·kg⁻¹) foi superior apenas ao teor médio registrado na erva-mate procedência Barão de Cotegipe, analisada por OLIVA (2007), pode-se sugerir também que a erva-mate é pouco exigente a este nutriente. Os valores de

magnésio (Mg) exportados pela erva-mate ficaram próximos da exportação de nutriente da *Ilex paraguariensis* de povoamentos naturais ($3,75 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) obtidos por REISSMANN et al. (1985) e da média da floresta ($3,28 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) analisada por CALDEIRA (2003).

O teor médio foliar encontrado para o potássio ($15,05 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) evidencia que a erva-mate do presente estudo é exigente a este nutriente, pois o teor encontrado ficou próximo aos registrados nas espécies mais exigentes ($16,04 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ e $17,20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) presentes na Tabela 5.9, referentes aos trabalhos de CALDEIRA (2003) e REISSMANN et al. (1985), nos quais ambos analisaram povoamentos naturais de *Ilex paraguariensis*.

Ao comparar-se os valores médios dos teores de todos os macronutrientes analisados no presente estudo com os teores médios de macronutrientes nas folhas de 39 espécies florestais amostradas por CALDEIRA (2003), verificou-se, com exceção do potássio (K), que eles foram inferiores, o que sugere que um povoamento da espécie avaliada no presente estudo é menos exigente em termos de nutrição que a Floresta Ombrófila Mista Montana analisada por este autor.

5.3 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE NUTRIENTE EXPORTADO EM FUNÇÃO DO TIPO DE PODA

Para aplicação da Equação 4.1, ou seja, fazer a determinação da quantidade de nutriente exportado em função do tipo de poda (tratamento), foram utilizadas as informações resumidas que se encontram na Tabela 5.10, provenientes dos Ensaio 1 e 2 apresentados e discutidos anteriormente.

Tabela 5.10. Resumo das principais informações provenientes dos Ensaios 1 e 2, para quantificar os nutrientes exportados em função do tipo de poda, com a Equação 4.1.

(a) Peso médio das folhas de erva-mate retiradas nos blocos I, II e III, em função do tipo de poda, em kg ha^{-1} – MV_t (Retirado da Tabela 5.1)

T_0 – Sem poda: $0,0 \text{ kg ha}^{-1}$

T_1 – Toalete (limpeza): $20,37 \text{ kg em } 72 \text{ m}^2$ ou $2.828,70 \text{ kg ha}^{-1}$

T_2 – Poda 70% : $61,23 \text{ kg em } 72 \text{ m}^2$ ou $8.504,63 \text{ kg ha}^{-1}$

T_3 – Recepa (rebaixamento): $67,94 \text{ kg em } 72 \text{ m}^2$ ou $9.436,11 \text{ kg ha}^{-1}$

T_4 – Desfolhas 90%: $36,85 \text{ kg em } 72 \text{ m}^2$ ou $5.118,06 \text{ kg ha}^{-1}$

T_5 – Poda Schier (comercial): $46,49 \text{ kg em } 72 \text{ m}^2$ ou $6.456,48 \text{ kg ha}^{-1}$

(b) Relação entre o massa seca e fresca da erva-mate extraída das plantas em função dos terços – Rmv_i (Retirado da Tabela 5.4)

Inferior: 35,45%; Médio: 36,84%; Superior: 27,71%

(c) Relação do peso seco e fresco das folhas de erva-mate – $R_{ps/pv}$ (Retirado da Tabela 5.4)

Relação peso seco / peso fresco: 0,4463

(d) Média dos nutrientes nas Plantas I, II e III – Rn_{ni} (Retirado da Tabela 5.7)

Orientação	Altura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Cálcio	Magnésio
Norte + Sul + Leste + Oeste	Inferior	17,21	0,76	14,64	5,23	3,50
	Média	20,03	0,77	15,03	4,57	2,96
	Superior	19,21	0,93	15,48	3,89	2,59
Média Geral		18,82	0,82	15,05	4,56	3,02

A Tabela 5.11 apresenta, em função dos terços da planta (inferior, médio e superior) e dos diferentes tipos de poda, a quantidade de massa seca e, respectivamente, a quantidade de nutriente que foi exportada. Para possibilitar uma comparação, a Tabela 5.12 traz a exportações de nutrientes, em kg ha^{-1} em um ano, para diferentes sistemas de cultivo realizados por REISSMANN et al. (1985) e CAMPOS (1991).

Tabela 5.11. Quantidade de nutriente (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) exportado pela cultura de erva-mate, em função dos terços (inferior, médio e superior) e dos diferentes tipos poda (T_0 – sem poda, T_1 – Toalete, T_2 – Poda 70%, T_3 – Recepa, T_4 – Desfolha, T_5 – Schier).

Nutrientes	Terços	Exportação de nutriente nos tratamentos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)					
		T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Nitrogênio	Inferior	—	7,70	23,16	25,69	13,94	17,58
	Médio	—	9,32	28,01	31,08	16,86	21,26
	Superior	—	6,72	20,20	22,42	12,16	15,34
	Total	—	23,74	71,37	79,19	42,95	54,18
Fósforo	Inferior	—	0,34	1,02	1,13	0,62	0,78
	Médio	—	0,36	1,08	1,19	0,65	0,82
	Superior	—	0,33	0,98	1,09	0,59	0,74
	Total	—	1,02	3,08	3,41	1,85	2,34
Potássio	Inferior	—	6,55	19,70	21,86	11,85	14,95
	Médio	—	6,99	21,02	23,32	12,65	15,96
	Superior	—	5,42	16,28	18,06	9,80	12,36
	Total	—	18,96	57,00	63,24	34,30	43,27
Cálcio	Inferior	—	2,34	7,04	7,81	4,23	5,34
	Médio	—	2,13	6,39	7,09	3,85	4,85
	Superior	—	1,36	4,09	4,54	2,46	3,11
	Total	—	5,83	17,52	19,44	10,54	13,30
Magnésio	Inferior	—	1,57	4,71	5,23	2,83	3,58
	Médio	—	1,38	4,14	4,59	2,49	3,14
	Superior	—	0,91	2,72	3,02	1,64	2,07
	Total	—	3,85	11,57	12,84	6,96	8,79

Tabela 5.12. Exportações de nutrientes para a cultura de *Ilex paraguariensis* verificada em um ano para diferentes sistemas de cultivo.

Sistema de cultivo	Exportações de nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)				
	N	P	K	Ca	Mg
* (700 árvores por ha safra)	75,0	3,6	63,0	30,0	18,0
** (12 anos, safra)	93,5	4,5	46,8	28,2	23,2
** (12 anos, safrinha)	150,6	7,1	92,0	39,0	34,2

Fontes: * REISSMANN et al. (1985); ** CAMPOS (1991)

Com exceção do cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os valores de exportação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) apresentados por REISSMANN et al. (1985) (Tabela 5.12) foram muito próximos aos encontrados no presente trabalho para o tratamento Recepa. Comportamento semelhante foi observado para a Poda 70%, principalmente em relação ao nitrogênio (N) e fósforo (P) (Tabela 5.11). Os resultados apresentados por REISSMANN et al. (1985) permitem comparar os

valores obtidos no presente trabalho e supor que a quantidade de biomassa retirada em seu experimento foi similar aos tratamentos Poda 70% (T₂) e Recepa (T₃).

CAMPOS (1991) empregou uma poda denominada comercial em um erval com 12 anos de idade, durante a safra e safrinha. Em relação aos dados apresentados por esse autor (Tabela 5.12), pode-se verificar que durante a safra, com exceção do potássio (K), todos os nutrientes apresentaram valores superiores aos tratamentos de poda (T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅) testados no presente estudo. Todavia, é importante destacar a similaridade dos teores dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e cálcio (Ca) em relação aos obtidos no T₃ (Tabela 5.11). Esse efeito não ocorreu durante a safrinha, onde todos os teores de nutrientes apresentaram, aproximadamente, o dobro dos valores encontrados nos tratamentos de poda utilizados (Tabela 5.11).

Existe uma série de fatores que podem ter influenciado esse comportamento diferenciado. A idade das folhas afeta a distribuição de nutrientes em função da redistribuição dos nutrientes móveis, como o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg), para outros órgãos (VAN DEN DRIESSCHE, 1984; EPSTEIN e BLOOM, 2004). Além disso, alguns trabalhos relatam que os teores de nutrientes são específicos não somente para a espécie, como também, dependem da sanidade, época, juvenilidade do material, idade, ambiente e fatores genéticos e ontogenéticos (FOSSATI, 1997; REISSMANN et al., 1997; RACHWAL et al., 2000; PANDOLFO et al., 2003; BORILLE, 2004; RAKOCEVICZ et al., 2006; OLIVA, 2007).

É interessante observar que a Poda 70% e Recepa são os tratamentos que apresentam a melhor concordância e se enquadram de forma mais adequada dentro dos teores de nutrientes exportados, verificados por outros autores que trabalharam com erva-mate.

5.3.1 Análise estatística dos resultados obtidos no Ensaio 2 (em função dos terços e orientação geográfica)

Os Subitens 5.3.1.1 a 5.3.1.5 apresentam de forma mais ou menos padronizada, as tabelas e os principais resultados estatísticos obtidos nas análises de variância e teste de comparação de médias para cada nutriente do Ensaio 2.

As Tabelas 5.13 a 5.16 e 5.18 apresentam a análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas para os nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), respectivamente. Nas análises, os tratamentos identificados com as letras “A” referem-se aos terços e “B” a orientação geográfica. Considerou-se também a altura como parâmetro principal. A Tabela 5.17 apresenta o teste de comparação de médias, conforme o método de Duncan, a 1% e 5% de significância, para o nutriente cálcio (Ca).

5.3.1.1 Análise de variância e teste de comparação de médias para o nitrogênio

Na análise de variância para o nitrogênio (Tabela 5.13), verificou-se que o valor F calculado não apresentou diferença significativa a 1% e 5% nos tratamentos e interação A x B, porém nos blocos apresentou diferença significativa a 5%. O coeficiente de variação para o tratamento A ficou em 16,28% e para o tratamento B em 20,96%.

Tabela 5.13. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o nutriente nitrogênio (N).

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	F (5%)	F (1%)
Tratamento A (terço da altura)*	2	50,64	25,32	2,70	6,94	18,00
Bloco	2	180,78	90,39	9,63	6,94	18,00
Erro	4	37,54	9,39	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento A: 16,28%						
Parcelas	8	268,97	33,62	—	—	—
Tratamento B (orientação geográfica)**	3	49,23	16,41	1,05	3,16	5,09
Interação A x B	6	113,45	18,91	1,22	2,66	4,01
Erro	18	280,00	15,56	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento B: 20,33%						
Total	35	711,65	20,33	—	—	—

Como não houve diferença significativa nos tratamentos e interação A x B, não foi necessário realizar o teste de comparação das médias. Desta forma, como não foi detectada diferença significativa entre os terços (tratamentos A) e orientação geográfica (tratamentos B), constata-se que as plantas de erva-mate não exportaram diferentes quantidades do nutriente nitrogênio (N) na realização do ensaio.

Para as médias dos nutrientes em relação aos terços (Tabela 5.10d), observou-se que o nitrogênio apresentou valores dentro do esperado. Ocorreu uma tendência das maiores teores de nitrogênio nos terços médio ($20,03 \text{ g kg}^{-1}$) e superior ($19,21 \text{ g kg}^{-1}$), indicando que a presença deste nutriente é mais freqüente nas folhas mais jovens. Os teores de nitrogênio (N) diminuem à medida que as folhas ficam mais próximas do estado de senescência (terço inferior: $17,21 \text{ g kg}^{-1}$). Este fato ocorre devido à boa mobilidade do nitrogênio, que permite a sua translocação das folhas mais velhas para ser reutilizado nas folhas mais novas (RAIJ,1991).

5.3.1.2 Análise de variância e teste de comparação de médias para o fósforo

Na análise de variância para o fósforo (Tabela 5.14), verificou-se que o valor F calculado não apresentou diferença significativa a 1% e 5% nos tratamentos, blocos e interação A x B. O coeficiente de variação para o tratamento A ficou em 24,19% e para o tratamento B em 9,61%.

Tabela 5.14. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o fósforo (P).

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	F (5%)	F (1%)
Tratamento A (terço da altura)	2	2369,33	1184,66	3,02	6,94	18,00
Bloco	2	2804,53	1402,26	3,57	6,94	18,00
Erro	4	1569,22	392,30	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento A: 24,19%						
Parcelas	8	6743,07	842,88	—	—	—
Tratamento B (orientação geográfica)	3	268,82	89,61	1,45	3,16	5,09
Interação A x B	6	442,11	73,68	1,19	2,66	4,01
Erro	18	1115,32	61,96	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento B: 9,61%						
Total	35	8569,32	244,84	—	—	—

Como não houve diferença significativa nos tratamentos, blocos e interação A x B, não foi necessário realizar o teste de comparação das médias. Desta forma, estatisticamente, não existe motivo para suspeitar que as plantas de erva-mate analisadas no Ensaio 2 exportem diferentes quantidades do nutriente fósforo (P) em função da altura de poda (terços) e orientação geográfica.

O fósforo apresentou teores dentro do esperado para as médias dos nutrientes (Tabela 5.10d) em relação aos terços inferior ($0,76 \text{ g kg}^{-1}$), médio ($0,77 \text{ g kg}^{-1}$) e superior ($0,93 \text{ g kg}^{-1}$). Este resultado indica que o fósforo é considerado um nutriente de boa mobilidade, sendo facilmente redistribuído a partir de órgãos mais velhos para órgãos em expansão (MALAVOLTA, 1980; LARCHER, 2000).

CALDEIRA (1998) comenta que o fósforo (P) é o único elemento que possui elevada eficiência de utilização nas florestas tropicais, principalmente em áreas onde ele se encontra em baixos teores. Os níveis deste elemento no solo do Brasil são baixos e, portanto, a demanda de abastecimento pode estar relacionada à oferta proporcionada pela matéria orgânica, enriquecida pela deposição de material vegetal ou biomassa (MENDES, 1996). Os níveis de fósforo em solos são comprometidos pelos baixos valores de pH e altos teores de alumínio, o que diminui a disponibilidade deste mineral (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985; LOPES, 2000; KAMPRATH, 1977; VOLKWEISS e RAIJ, 1977; GOODLAND, 1971, LEITÃO, 1998).

5.3.1.3 Análise de variância e teste de comparação de médias para o potássio

Na análise de variância para o potássio (Tabela 5.15), verificou-se que o valor F calculado não apresentou diferença significativa a 1% e 5% nos tratamentos e interação A x B. Porém apresentou diferença significativa a 1% entre os blocos, ou seja, em pelo menos uma das três plantas. O coeficiente de variação para o tratamento A foi 10,96% e para o tratamento B foi 7,80%.

Tabela 5.15. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o potássio (K).

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	F (5%)	F (1%)
Tratamento A (terço da altura)	2	4,21	2,10	0,77	6,94	18,00
Bloco	2	100,68	50,34	18,50	6,94	18,00
Erro	4	10,86	2,71	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento A: 10,96%						
Parcelas	8	115,74	14,47	—	—	—
Tratamento B (orientação geográfica)	3	1,87	0,62	0,45	3,16	5,09
Interação A x B	6	15,92	2,65	1,93	2,66	4,01
Erro	18	24,76	1,38	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento B: 7,80%						
Total	35	158,30	4,52	—	—	—

Como não houve diferença significativa nos tratamentos e interação A x B, não foi necessário realizar o teste de comparação das médias. Não existe, estatisticamente, motivo para suspeitar que as plantas de erva-mate exportem diferentes quantidades do nutriente potássio (K) em função da altura (terços) e orientação geográfica.

Os teores de potássio nos terços inferior ($14,64 \text{ g kg}^{-1}$), médio ($15,03 \text{ g kg}^{-1}$) e superior ($15,48 \text{ g kg}^{-1}$) também ficaram dentro do esperado, indicando que este elemento é altamente móvel no floema. Sua utilização geralmente é eficiente no sentido de ser prontamente redistribuído das folhas para órgãos mais novos (LARCHER, 2000; MALAVOLTA, 1980).

A maior parte do potássio é absorvida pelas plantas durante a fase de crescimento vegetativo (RAIJ, 1991), pois este tem papel fundamental na fotossíntese e síntese de carboidratos (YAMADA, 1987). Assim, visto que o potássio é redistribuído para órgãos em crescimento e se concentra em grande parte nos frutos verdes (RAIJ, 1991), sugere-se haver grande translocação deste elemento das folhas e ramos para as flores; é uma preparação da planta para a fase subsequente à produção dos frutos (LEITÃO, 1998).

5.3.1.4 Análise de variância e teste de comparação de médias para o cálcio

Na análise de variância para o cálcio (Tabela 5.16), verificou-se que o valor F calculado apresentou diferença significativa a 5% apenas no tratamento A (terços). No tratamento B (orientação geográfica), Bloco e interação A x B não houveram diferenças significativas a 1% e 5%. Desta forma, existe diferença entre as médias de exportação do referido nutriente, em pelo menos uma das porções altura. Este fato deve-se provavelmente à grande imobilização desse elemento no floema, principalmente na forma de oxalato de cálcio e parede celular concentrando-se nas folhas mais velhas. O coeficiente de variação para o tratamento A foi 18,29% e para o tratamento B foi 16,95%.

Tabela 5.16. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o Cálcio (Ca).

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	F (5%)	F (1%)
Tratamento A (terço da altura)	2	10,80	5,40	7,75	6,94	18,00
Bloco	2	9,38	4,69	6,73	6,94	18,00
Erro	4	2,79	0,70	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento A: 18,29%						
Parcelas	8	22,97	2,87	—	—	—
Tratamento B (orientação geográfica)	3	2,86	0,95	1,60	3,16	5,09
Interação A x B	6	2,50	0,42	0,70	2,66	4,01
Erro	18	10,77	0,60	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento B: 16,95%						
Total	35	39,11	1,12	—	—	—

Os resultados apresentados nas Tabelas 5.17 com a aplicação do teste de Duncan para comparação das médias do nutriente cálcio (Ca), obtidas no Ensaio 2, evidenciam que não existe diferença estatística quanto a exportação do referido nutriente em função dos tratamentos A (porção da altura) a 1% de significância. A 5% de probabilidade, verifica-se que os terços inferior e médio exportam quantidades iguais do nutriente cálcio. Porém, os terços médio e superior também são iguais estatisticamente. O terço inferior exporta mais nutriente cálcio (Ca) que o terço superior.

Tabela 5.17. Teste de Duncan, a 1% e 5% de significância, para comparação das médias do nutriente cálcio (Ca), obtidas no Ensaio 2, no Tratamento A (terços da altura).

Porção da Altura	Teste de Duncan			
	1% de significância		5% de significância	
Terço Inferior	5,23	A	5,23	A
Terço Médio	4,57	A	4,57	Ab
Terço Superior	3,89	A	3,89	B

* Fatores com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan

Como não houve diferença significativa nos blocos e interação A x B, não foi necessário realizar o teste de comparação das médias.

Para as médias dos nutrientes em relação aos terços (Tabela 5.9d), observou-se que o cálcio também apresentou valores dentro do esperado. Os maiores teores

de cálcio foram verificados nos terços inferior ($5,23 \text{ g kg}^{-1}$) e médio ($4,57 \text{ g kg}^{-1}$), indicando que a presença deste nutriente é mais freqüente nas folhas mais velhas (MALAVOLTA, 1980). O cálcio é um elemento de baixa mobilidade nas plantas, não transportado pelo floema com facilidade, sendo encontrado com maior teor nas folhas maduras e senescentes (LARCHER, 2000).

5.3.1.5 Análise de variância e teste de comparação de médias para o magnésio

Na análise de variância para o magnésio (Tabela 5.18), verificou-se que o valor F calculado também não apresentou diferença significativa a 1% e 5% nos tratamentos, blocos e interação A x B. O coeficiente de variação para o tratamento A foi 20,0% e para o tratamento B foi 22,72%.

Tabela 5.18. Análise de variância do Ensaio 2, com os tratamentos em parcelas subdivididas, para o magnésio (Mg).

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	F (5%)	F (1%)
Tratamento A (terço da altura)	2	4,96	2,48	6,81	6,94	18,00
Bloco	2	1,06	0,53	1,46	6,94	18,00
Erro	4	1,46	0,36	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento A: 20,0%						
Parcelas	8	7,48	0,93	—	—	—
Tratamento B (orientação geográfica)	3	0,65	0,22	0,46	3,16	5,09
Interação A x B	6	2,95	0,49	1,04	2,66	4,01
Erro	18	8,46	0,47	—	—	—
Coeficiente de variação (CV) no tratamento B: 22,72%						
Total	35	19,54	0,56	—	—	—

Como não houve diferença significativa nos tratamentos, blocos e interação A x B, não foi necessário realizar o teste de comparação das médias. Desta forma, não existe estatisticamente motivo para suspeitar que as plantas de erva-mate exportem diferentes quantidades do nutriente magnésio (Mg) em função da altura (terços) e orientação geográfica.

Os maiores teores de magnésio foram verificados nos terços inferior ($3,50 \text{ g kg}^{-1}$) e médio ($2,96 \text{ g kg}^{-1}$), respectivamente. Contudo, as diferenças observadas não foram estatisticamente superiores aos teores encontrados no terço superior

(2,59 g kg⁻¹). Estes resultados concordam com RAIJ (1991), que considera o magnésio um elemento móvel na planta. No entanto, o magnésio também pode acumular-se nas paredes celulares secundárias como pectato de magnésio, desempenhando função semelhante ao cálcio (BABBAR e EWEL 1989), o que explicaria seu maior teor nas plantas no estágio inicial, onde as espécies apresentam maior quantidade de tecidos com paredes secundárias (BOEGER e WISNIEWSKI, 2003)

5.4 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO (N, P, K) EM FUNÇÃO DA ANÁLISE DO SOLO

A Tabela 5.19 apresenta os valores das análises de solo retiradas na projeção da copa das três plantas analisadas no Ensaio 2.

Tabela 5.19. Resultado da análise do solo, realizada para o local onde se encontram as plantas I, II e III do Ensaio 2.

Plantas	----- ph -----		Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	T	P	C	V	M	Ca/Mg	Argila
	(CaCl ₂)	(SMP)	----- (cmol _c dm ⁻³) -----							(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	---- (%)----	---- (g kg ⁻¹) ----		
I	3,60	4,50	4,30	15,20	0,13	0,08	0,09	0,30	15,50	1,90	32,90	1,94	91,68	1,6	680,0
II	3,70	4,50	4,40	15,20	0,13	0,08	0,10	0,31	15,51	1,60	34,10	2,00	91,48	1,6	640,0
III	3,60	4,60	4,00	14,10	0,15	0,08	0,19	0,42	14,52	1,60	32,90	2,89	86,77	1,6	560,0

Baseando-se nos resultados da análise do solo (Tabela 5.19), foram realizados os cálculos para proceder a recomendação da adubação de reposição nitrogenada, fosfatada e potássica, na área em estudo e que se encontram apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 5.20, 5.21 e 5.22.

Tabela 5.20. Recomendação de adubação nitrogenada para o plantio e crescimento da erva-mate, em função da análise de solo realizada no local do Ensaio 2.

Plantas	Percentagem de matéria orgânica no solo (%)	Teor de matéria orgânica no solo	Recomendação de nitrogênio (kg N ha ⁻¹)	
			Plantio	Crescimento
I	5,67	Alto	≤ 20	≤ 60
II	5,87	Alto	≤ 20	≤ 60
III	5,67	Alto	≤ 20	≤ 60

Conforme as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1994) (Tabelas 4.2 e 4.3) e mediante os resultados apresentados na Tabela 5.20, foram realizados os cálculos com a Equação 4.2, e verificou-se que o teor de matéria orgânica no solo encontrado para as plantas I, II e III (Ensaio 2) classifica-se com alto, sendo necessário à aplicação de até 20 kg N ha⁻¹ na realização do plantio e até 60 kg N ha⁻¹ na fase de crescimento da planta.

Tabela 5.21. Recomendação de adubação fosfatada para o plantio e crescimento da erva-mate, em função da análise de solo realizada no local do Ensaio 2.

Plantas	-- Análise do solo --		Classes	Teor de fósforo no solo	Recomendação de potássio (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	
	Fósforo (P) (mg dm ⁻³)	Argila (%)			Plantio	Reposição
I	1,9	68	Classe 1	Muito Baixa	90	120
II	1,6	68	Classe 1	Muito Baixa	90	120
III	1,6	68	Classe 1	Muito Baixo	90	120

A interpretação dos resultados da análise para o fósforo foi efetuada levando-se em consideração o teor de argila do solo para identificar a sua classificação, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989) (Tabela 4.4). Desta forma, mediante os resultados apresentados para o fósforo na Tabela 5.19 verificou-se que o solo onde as três plantas se encontram é identificado como Classe 1 (teor de argila > 55%) e possui “faixa de teor de fósforo (P) no solo” muito baixo. Assim, com o auxílio da Tabela 4.5 verificou-se a necessidade de 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ no plantio e 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ na reposição.

Tabela 5.22. Recomendação de adubação potássica para o plantio e crescimento da erva-mate, em função da análise de solo realizada no local do Ensaio 2.

Plantas	Potássio (K) da análise do solo		Teor de potássio no solo	Recomendação de potássio (kg K ₂ O ha ⁻¹)	
	(cmol _c dm ⁻³)	(mg L ⁻¹)		Plantio	Reposição
I	0,09	35,19	Muito baixo (21-40)	40	60
II	0,10	39,10	Muito baixo (21-40)	40	60
III	0,19	74,29	Médio (61-80)	40	60

Mediante os valores de potássio encontradas na Tabela 5.19, as transformações de unidades foram realizadas com a Equação 4.3 e os teores de potássio foram determinados na Tabela 4.3. Desta forma, a faixa do teor de potássio (K) foi identificada com muito baixo para os solos das plantas I e II e médio para a planta III. A partir da Tabela 4.5, para os solos das três plantas analisadas, foram encontradas as recomendações de 40 kg K₂O ha⁻¹ para o plantio e 60 kg K₂O ha⁻¹ para a reposição.

O valor médio de potássio encontrado no solo amostrado, corresponde a 0,38 cmol_c dm⁻³, estando dentro dos valores entre 0,12 e 0,46 cmol_c·kg⁻¹ (ou 0,046 g·kg⁻¹ e 0,179 g·kg⁻¹) segundo a classificação da EMATER (1991). FOSSATI (1997) e REISSMANN et al. (1983) encontraram teores de potássio entre 0,042 g·kg⁻¹ e 0,093 g·kg⁻¹.

5.4.1 Nutrientes (N, P, K) exportados pelas folhas de erva-mate e quantidades destes nutrientes em função da análise do solo realizada nos blocos

A Tabela 5.23 apresenta os teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio exportados nas folhas das plantas de erva-mate e os teores destes mesmos nutrientes obtidos a partir da análise do solo onde se encontram as plantas do experimento. Essa tabela permite comparar a quantidade de nutriente disponível no solo e o quanto a planta exporta para as folhas, visando estabelecer a reposição necessária para manter a sustentabilidade da planta.

Tabela 5.23. Teores de N, P, K exportados pelas folhas de erva-mate e teores destes mesmos nutrientes obtidos a partir da análise do solo onde se encontra o experimento (T₁ - Toalete, T₂ - Poda 70%, T₃ - Recepa, T₄ - Desfolha, T₅ - Schier).

Nutriente	Recomendação de adubação segundo (kg·ha ⁻¹)						
	COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989)		Estimativa na exportação nutricional em diferentes tipos de poda na planta de erva-mate				
	Plantio	Reposição	T ₁ -Toalete	T ₂ -Poda 70%	T ₃ -Recepa	T ₄ -Desfolha	T ₅ -Schier
N	20	60	23,74	71,37	79,19	42,95	54,18
P ₂ O ₅ *	90	120	1,02	3,08	3,41	1,85	2,34
K ₂ O **	40	60	18,96	57,00	63,24	34,30	43,27

* P₂O₅ = P · 2,29; ** K₂O = K · 1,19

A COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989) recomenda a reposição no solo de $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio (N). Esse valor foi superior a exportação de nutriente verificada na Poda Schier (T5 - $54,18 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Desfolha (T5 - $42,95 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e Toalete (T5 - $23,74 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), porém inferior 18,95% ao valor encontrado na Poda 70% (T₂ - $71,37 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e 32,0% na Recepa ($79,19 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Como a Poda 70% corresponde ao manejo mais empregado na condução dos ervais da Fazenda São José, Guarapuava-PR, verifica-se que a realização de uma adubação nitrogenada seguindo as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989) poderá levar a uma deficiência do referido nutriente à cultura da erva-mate. Esta deficiência poderá resultar em uma redução na massa fresca das folhas e galhos (SOSA, 1994, PRAT KRICUN e BELINGHERI, 1995) e limitar a produção de matéria seca (BELLOTE e STURION, 1985).

REISSMANN et al. (1983) recomendam que a exportação de nutrientes através da colheita deve ser compensada mediante a quantificação da biomassa exportada e da determinação do conteúdo de nutrientes nela existente, visando manter a capacidade produtiva da cultura.

Os valores de adubação de reposição do potássio (K) recomendados pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989) para a cultura da erva-mate na área experimental ($60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ficou muito próximo do que as Podas 70% ($57,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e Recepa ($63,24 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) exportam para as folhas, apresentando um desvio positivo de 5,0% e negativo em 5,4%, respectivamente. Esse resultado é bom, pois a Poda 70% é a mais utilizada na propriedade São José e toda a região de Guarapuava-PR. No entanto, é importante observar que a recomendação da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989) para o potássio (K) apresenta um desvio positivo de 68,4%, 42,8% e 27,9%, respectivamente, para o que se exporta para as folhas nas podas Toalete (T₁), Desfolha (T₄) e Poda Schier (T₅).

O fósforo (P) apresentou valores exportados para as folhas da planta de erva-mate entre $1,02 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na poda Toalete (T₁) a $3,41 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na poda Recepa (T₃). Esses valores são muito menores do que os $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ recomendados pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989) para reposição do referido

nutriente na área experimental onde se encontra a cultura (Tabela 5.23). Não se deve esquecer, porém, que o fósforo (P) pode se fixar no solo e a quantidade a ser fornecida deverá ser maior do que os valores exportados para as folhas da planta. A quantificação exata depende de testes de calibração envolvendo a produção de biomassa e o estado nutricional em relação ao fornecimento de níveis crescentes de fósforo (P), bem como do fertilizante utilizado.

No entanto, as recomendações de fósforo (P) para o plantio ($90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e reposição ($120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), encontradas na COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (1989), podem mesmo estar além das necessidades da cultura da erva-mate no local do experimento. Esta afirmativa baseia-se nas seguintes considerações: PANDOLFO et al. (2000) comentam que a aplicação de fósforo (P) na cultura de erva-mate não proporciona diferença significativa na sua produção; REISSMANN et al. (1983) e RACHWAL, et al. (2000), também obtiveram baixos teores de fósforo (P) nas folhas da erva-mate, evidenciando baixa exigência do elemento pela planta.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os dados coletados e analisados, concluiu-se no presente estudo que:

- A relação média entre o peso seco e fresco das folhas de erva-mate apresentou resultados aproximadamente iguais. O valor médio da relação peso seco/fresco para os três terços ficou em 0,4463;
- Em média, 35,45% das folhas de erva-mate encontram-se no terço inferior, 36,84% no terço médio e 27,71% no terço superior;
- Os teores totais dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) obtidos nas folhas da erva-mate (g kg^{-1}) foram, em média, menores do que os encontrados na literatura em ervais nativos do Paraná;
- A poda do tipo Recepa exporta 70,0%, 9,8%, 45,6% e 31,5% mais de biomassa e nutriente (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) do que as podas do tipo Toalete, Poda 70%, Desfolha 90% e Schier, respectivamente;
- Os teores de nutrientes exportados (kg ha^{-1}) na Poda 70% e Recepa são os que mais se aproximam dos valores apresentados e discutidos na literatura, indicando que podas intermediárias aos dois tipos são as mais utilizadas nas pesquisas envolvendo poda da erva-mate;
- As plantas de erva-mate analisadas não exportam diferentes quantidades dos nutrientes (N, P, K e Mg) em relação à altura (terços) e orientação geográfica. Dos nutrientes analisados, o cálcio (Ca) foi o único elemento que possui maior teor nas folhas mais velhas (terço inferior) do que nas folhas mais novas (terço superior), devido a baixa mobilidade;
- A relação entre adubação recomendada a partir da análise do solo e os teores de nutrientes exportados para folhas, indica: (a) coerência para os nutrientes N (Poda Schier) e K (Poda 70% e Recepa), e incoerência para o nutriente P em todos os tipos de poda analisados; (b) déficit de 19,0% na adubação para o N na poda mais utilizada na região de Guarapuava-PR (Poda 70%).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F.M. Exploração e utilização do recurso *Ilex paraguariensis* St. Hil., erva-mate, seus impactos sócio-econômicos atuais e potencialidades de manejo sustentável. In: I SEMINÁRIO NACIONAL DE RECURSOS FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: s. ed., 1999. p. 24-33.
- ANDRAE, F.; KRAPPENBAUER, A. Distribuição de raízes finas do pinheiro bravo (*Podocarpus lambertii*) e do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*). In: PESQUISAS AUSTRO-BRASILEIRAS (1973-1982). 1983, Santa Maria. **Anais...**, Santa Maria: UFSM. 1983. p. 56-67.
- BABBAR, L.I.; EWEL, J.J. Decomposición del foliage en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. **Biotropica**, v. 21, n. 1 p. 20-29. 1989
- BELLOTE, A.F.J.; STURION, J.A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. 1985, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: 1985. p.124 –127. (Documento n. 15).
- BERINGER, H.; NOTHDURFT, F. Effects of potassium on plant and cellular structures. In: MUNSON.1985, Madison. **Anais...** Madison: ed. Potassium in Agriculture American Society of Agronomy. Madison, 1985. cap.14, p. 35-67.
- BISSO, F.P.; SALET, R.L. **Exportação de nutrientes pela poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hill.)**. Santa Maria: Departamento de Solos/UFSM, 2000. CD-ROM.
- BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 1, p. 61-72. 2003.
- BORILLE, A.M.W. **Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba, 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; KLOSOVSKI FILHO, L. **Manual Técnico de erva-mate**. Curitiba: ACARPA/EMATER, 1980. 40 p.
- BREMER J.M. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. **Journal Agriculture Science**. v. 55, p. 11-33, 1960.
- CALDEIRA, M.V.W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montanhosa em General Carneiro, Paraná**. Curitiba, 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná.

- CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Santa Maria, 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V. Exportação de macronutrientes em função da exploração em uma procedência australiana de *Acacia mearnsii* De Wild. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1999, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1999, p.143-149.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; SANTOS, E. M. Conteúdo de nutrientes em uma procedência de *Acacia mearnsii* no Rio Grande do Sul - Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 42, 2001. p. 105-121.
- CAMARGO, P.N.; Silva, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo, Herba, 1975, 258 p.
- CAMPOS, M.A.A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis***: avaliação na safra e na safrinha. Curitiba, 1991. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.
- CARPANEZZI, A.A. **Banco de sementes e deposição de folhodo e seus nutrientes em povoamentos de bracinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na Região Metropolitana de Curitiba-PR**. Rio Claro. 1997. 170p. Doutorado. Universidade Estadual Paulista.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC **Recomendações de adubação e calagem**. 2 ed. Pelotas: EMBRAPA-CNPFT (ROLAS), 1989. 11p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- DA CROCE. D.M.; FLOSS, P.A. Comportamento de procedência de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hil.) para a região oeste e norte de Santa Catarina. **Relatório de pesquisa**, Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1993.
- DA CROCE. D.M.; FLOSS, P.A. **Cultura da erva-mate no Estado e Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999. 81p. (Boletim Técnico n. 100).
- EDWIN, G.; REITZ, R. **Aquifoliaceas: Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: AQUI, 1967. 47p.
- ELLET, C.W. Soil fertility and disease development. **Better crops with plant food**, v. 57, p. 6-8, 1973.
- EMATER – EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENÇÃO RURAL. **Manual da erva-mate**. 2 ed. Curitiba: EMATER-Paraná, 1991. 104p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas brasileiro de classificação de solos**. Brasília: CNPS, 1999. 412p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Tradução: Maria Edna Tenório Nunes. Ed. 2. Londrina: Editora Planta, 2004. 403 p.

- FOSSATI, L.C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em função do sítio e da dioicia.** Curitiba, 1997. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.
- GOLFARI, L.; CASER, R.C.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento do Brasil.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (Série Técnica PRODEPEF n. 11).
- GOMES, F.S., PESSOTTI, J.E.S., PACHECO, R.M. Exportação de nutrientes por clones de *Eucalyptus urophylla*, em três unidades de solo no vale do Rio Jari. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT, 1997, Salvador. **Anais...**, Salvador: 1997, p. 209-214, v. 3.
- GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: III Simpósio Sobre o Cerrado. 1971, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: Edgard Blücher, 1971. p.44-60.
- HAAG, P.H. **Ciclagem de nutriente em florestas tropicais.** Campinas: Fundação Cargil, 1985. 144 p.
- IPARDES – INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Balço e perspectivas da descentralização: o caso do Paraná 1987 - 1994.** Curitiba: IPARDES, 1996.
- KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. In: **IV SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO.** 1977, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: Itatiaia Ltda., 1977, p. 333-347.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.
- LEITÃO, A.C. **Nutrição mineral, fenologia e distribuição da população de *Ouratea spectabilis* (Mart.) Engl., em área de cerrado na reserva biológica de Mogi-Guaçu, SP.** Rio Claro, 1998. 131 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências/UNESP
- LINHARES, T. **História econômica do mate.** Rio de Janeiro:Livraria José Olympio,1969. 522 p.
- LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”:** características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 2000. 162 p. Setembro 2000
- LOURENÇO, R.S.; MEDRADO, M.J.S.; DALZOTO, D.N. **Efeito de níveis de potássio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.) no município de Ivaí - PR.** Colombo: EMBRAPA, 1997. 16p.
- MACCARI JÚNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão.** Campinas, 2005, 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração Tecnologia Pós-colheita). Universidade Estadual de Campinas.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado.** Piracicaba: POTAFOS, 1985.136 p.

- MALAVOLTA, E.M.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 281p.
- MARQUES, R.; BENGHI, C.P. Aporte de nutrientes por frações da serrapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da floresta atlântica. **Revista Floresta**, v. 33, n. 3, p. 257-264, 2003.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888p.
- MENDES, J.A. **Distribuição espacial, fenologia e compartimentação de três espécies de *Qualea* (Vochysiaceae) na reserva biológica de Mogi-Guaçu-SP**. Rio Claro: UNESP, 1996. 201 f. Doutorado. Instituto de Biociências/UNESP
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Berne: International Potash Institute, 1978. 593p.
- ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434p.
- OLIVA, E.V. **Composição química e produtividade de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico no município de Ivaí – PR**. Curitiba, 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal do Paraná.
- OLIVEIRA, Y.M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE, 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPq, 1985. p. 17-36. (Documentos n. 15).
- PANDOLFO, C.M.; FLOSS, P.A.; DA CROCE, D.M.; DITTRICH, R.C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis*, St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em Latossolo Vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37-45. 2003.
- PANDOLFO, C.M.; VEIGA, M.; CERETTA, C.A. **Plano estadual: alterações em características químicas do solo com aplicação de fontes de nutrientes, em cinco sistemas de manejo do solo**. Santa Maria: EPAGRI/EECN, 2000.
- PERKIN ELMER. **Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry**. Norwalk: Perkin Elmer Corporation, 1976. 476p.
- PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2.ed. Berna: International Potash Institute, 1990. 363p.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: Livraria Nobel, 2000. 466p.
- PRAT KRICUN, S.D.; BELINGHERI, L.D. Recolección de especies silvestres y cultivadas del género en las provincias de Misiones y Tucumán (Argentina) y en los estados de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul (Brasil), período 1988-1992. In: ERVA-MATE: BIOLOGIA E CULTURA NO CONE SUL, 1995, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1995. p. 313-321.
- PRETTY, K.M. **O potássio e a qualidade da produção agrícola**. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 1982. p. 177-194.

RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, M.I. Influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes e taninos em folha de erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA-MATE, 2; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3, 2000, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: Ed. Dos Organizadores, 2000. p. 417-420.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.

RAKOCEVICZ, M.; MEDRADO, M.J.S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, T.A. Influência do sexo, da sombra e da idade da folhas no sabor do chimarrão. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4. REUNIÓN TÉCNICA DE LA YERBA MATE, 4. EXPOSICIÓN DE AGRONEGOCIOS DE LA YERBA MATE, 2. **Anais**. Centro Provincial de Convenciones y Eventos, Posadas – Misiones, Argentina. Novembro de 2006. p. 31-36.

RASEIRA, A; CARVALHO, E.M.V. **Poda**: uma prática que ajuda á obtenção de melhores produções. Colombo: CNPFT- EMBRAPA. 1988. (Informativo n. 24).

REDIG, A.P.L. A importância econômica atual da erva-mate. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil), 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPFT, 1985. p. 4-9.

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; ROCHA, H.O.; HILDEBRAND, E.E. Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1985, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: 1985, p. 128-139.

REISSMANN, C.B.; ROCHA, H.; KOEHLER, C.W.; CALDAS, R.L.S.; HILDEBRAND, E.E. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre Cambissolos na região de Mandirituba-PR. **Revista Floresta**, v. 14, n. 2, p. 49-54, 1983.

RODIGHERI, H.R.; PENTEADO JÚNIOR, J.; BUSSATA, L.A.; FERRON, R.M.; MOSELE, S.H. **Rentabilidade econômica do consórcio erva-mate e milho na região de Erechim – RS**. Colombo: EMBRAPA-CNPFT, 1995. 16p.

SANT'ANA, C.M. Exportação de nutrientes na colheita de eucalipto. In: V FOREST'99 - INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON FOREST. 1999, Curitiba. **Anais**. Curitiba: s.ed., 1999. 1 CD-ROM.

SANTOS, K.A. **Estabilidade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) em embalagens plásticas**. Curitiba, 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná.

SEAB – SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Erva-mate: prospecção tecnológica da cadeia produtiva**. Curitiba: SEAB, 1997a, 125p.

SEAB – SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Plano estadual da erva-mate**: demandas e recursos priorizados a nível dos pólos regionais. Curitiba: SEAB, 1997b.

SILVEIRA, R.L.V.A.; MALAVOLTA, E. Produção e características químicas da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 115-135, 2003.

Siricha's Statistics" version 3.0 licensed for use by Edilberto Possamai,1987. Ms Dos.

SOSA, D.A. Fertilización química: abonos, requerimientos nutricionales. In: CURSO DE CAPACITACIÓN EN PRODUCCIÓN DE YERBA-MATE, 2., 1994, Cerro Azul. Curso..., Cerro Azul: INTA - Estacion Experimental Agropecuaria Cerro Azul, 1994. p. 68-85.

SOUZA, P.F. **Tecnologia de produtos florestais**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1947. 398p.

TOMÉ JÚNIOR J.B. **Manual para interpretação de análise do solo**. Guaíba: Agropecuária,1997. 247p.

TORROBA, C.A.; GAMIETEA, R.E. **Cargadores laterales**: nuevo sistema de poda de fructificación para duraznero en San Pedro (Buenos Aires). Buenos Aires: INTA-EEA San Pedro, 1975. 20p. (Informe Técnico n. 23)

TRANI, P.E.; HIROCE, R; BATAGLIA, O.C. **Análise foliar**: amostragem e interpretação. Campinas: Fundação Cargil, 1983, 18p.

URBAN, T. **O livro do matte**. Rio de Janeiro: Consultoria Salamandra S.A., 1986. 93 p.

VAN DEN DRIESSCHE, R. Nutrient Storage, retranslocation and relation ship of stress to nutrition. In: NUTRITION OF PLANTATION FOREST. 1984, Londres. **Anais...**, Londres: Academic Press/Bowen, 1984. p. 181-209.

VETTORI, L. **Métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico n. 7).

VOLKWEISS, S.J.; RAIJ,B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: **IV SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO**. 1976, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: Itatiaia Ltda., 1977. p. 317-332.

YAMADA, T. Potássio: dinâmica e disponibilidade no solo. In: ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO. 1987, Campinas. **Anais...**, Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 183-205.

ZÖTTL, H.W. Diagnosis of nutritional disturbances in forst stands. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORESTION. 1973, Paris. **Anais**. Paris: Ministère de L'Agriculture, 1973. p. 75-95.