

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ÜBERSON BOARETTO ROSSA



**PRODUTIVIDADE E COMPOSTOS FOLIARES DE ERVA-MATE SOB EFEITOS
DE LUMINOSIDADE E FERTILIZAÇÃO**

CURITIBA

2013

ÜBERSON BOARETTO ROSSA

**PRODUTIVIDADE E COMPOSTOS FOLIARES DE ERVA-MATE SOB EFEITOS
DE LUMINOSIDADE E FERTILIZAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal. Área de Concentração: Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo
Co-orientador: Dr. Jorge Zbigniew Mazuchowski

CURITIBA

2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Rossa, Überson Boaretto

Produtividade e compostos foliares de erva-mate sob efeitos de luminosidade e fertilização / Überson Boaretto Rossa. – 2013
207 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo

Coorientador: Dr. Jorge Zbigniew Mazuchowski

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 10/06/2013.

Área de concentração: Silvicultura.

1. Erva-mate – Nutrição. 2. Plantas – Efeito da luz. 3. Plantas - Fertilização. 4. Erva-mate – Plantio (cultivo de plantas). 5. Cultivo consorciado. 6. Teses. I. Angelo, Alessandro Camargo. II. Mazuchowski, Jorge Zbigniew. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 633.77

CDU – 633.77



PARECER

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 975

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Uberson Boaretto Rossa* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**PRODUTIVIDADE E COMPOSTOS FOLIARES DA ERVA-MATE SOB EFEITOS DE LUMINOSIDADE E FERTILIZAÇÃO**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor em Engenharia Florestal*, área de concentração em SILVICULTURA.



Genuino Nêgr
Dr. Genuino Nêgr

Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul
Primeiro examinador

Jorge Zbigniew Mazuchowski
Dr. Jorge Zbigniew Mazuchowski

EMATER/PR
Segundo examinador

Carlos Bruno Reissmann
Dr. Carlos Bruno Reissmann

Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador

Ivan Crespo Silva
Dr. Ivan Crespo Silva

CEPLAC - Comissão Executiva do Plano L. Cacaueira
Quarto examinador

Alessandro Camargo Angelo
Dr. Alessandro Camargo Angelo

Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 10 de junho de 2013.

Antonio Carlos Batista
Antonio Carlos Batista

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Carlos Roberto Sanquetta

Vice-coordenador do curso

Dedicatória

**“ag kanhgág pē, kógunh vóg fã...
tã topē ky mǎnh...
tã ēg gá há ki kamēg...
tã tovi há hanh mǔ...
hē ri ke tu nĩ, kar há nĩ jé...
hanh mǔ kanhgág...”**

“Aos verdadeiros herdeiros da cultura da erva-mate...
Que de Tupã herdaram...
Que em solo sagrado sempre a respeitaram...
Que muito valor a ela foi dada...
Para curar as feridas da alma e todos os males do corpo...
Dedico ao povo indígena...”

**Aos doutores que preteritamente lutaram pelo direito à educação,
firmando uma nova era de conhecimento ao alcance de todos.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao grande Deus criador do céu e da terra, em seu poderoso nome e grande misericórdia. Às forças divinas que me ajudaram a nunca me abater, diante das dificuldades da vida e dessa tarefa.

Graças a ajuda de muitas pessoas foi possível a realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Alessandro Camargo Angelo, pelas orientações de caráter científico, mas em especial a aceitação e amizade.

Ao doutor Jorge Zbigniew Mazuchowski pela preciosa colaboração como mentor do projeto e co-orientador.

Aos professores Franklin Galvão, Yoshiko Saito Kuniyoshi, Ivan Crespo Silva, Carlos Vellozo Roderjan, Renato Marques, Antonio Carlos Nogueira, Carlos Bruno Reissmann, Fernando Grossi, pelo exemplo de educadores que são, bem como pela formação de opinião sobre aspectos técnicos e filosóficos.

Aos meus colegas, amigos e irmãos Danielle Janaina Westphalen, Jonas Bianchin, Tomaz Longhi Santos, Nocy Bila, Karen Koch de Souza, Fernando Esteban Montero, Lizy Tank Sampaio Barros, Hilana Louise Hadlich, Aline Yabusame, Jaçanan Eloisa Milani, Bruno Pereira Faraco, Rodrigo Aparecido Amaral, Maick Locks Machado, Eder Miotto, Eder Jofre Quinhones, Genuino Negri, Oscar Emilio L. Harthmann, João José Stüpp, Vanius Buzzatti Falleiro, João Celio de Araújo, Robinson J. Pires de Oliveira, Gilmar Paulinho Triches, Lauri João Marconatto, entre outros, que das mais diversas formas me inspiraram e apoiaram.

Àos meus pais Antivir Rossa e Iracema Boaretto Rossa, meus irmãos Ubirajara, Rosangela, Uberdan e Indialara, que mesmo distantes sempre me apoiaram em meu itinerário acadêmico e que são o elo mais forte com meu passado!

Ao tio Clemente Boaretto *in memoriam* pelo exemplo, apoio e incentivo em toda minha caminhada.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense e Paranaense, Ministério da Educação, Governo Federal, pela possibilidade da licença para participar de programa de pós-graduação.

À empresa Erva Mate Schier, Indústria e Comercio LTDA, na pessoa do Sr Antonio Schier pelo apoio de campo e disponibilidade de área de experimentos para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (PPGEF/UFPR).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), financiadora da bolsa durante parte do curso.

Epígrafe

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.”

Leonardo da Vinci.

SUMÁRIO

1 LISTA DE FIGURAS.	11
2 LISTA DE TABELAS.	12
RESUMO.	16
ABSTRACT.	18
3 OBJETIVOS.	20
3.1 OBJETIVO GERAL.	20
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.	20
4 ESTRUTURA DA TESE.	21
5 REVISÃO DE LITERATURA.	23
5.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL.	23
5.2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ECOLÓGICAS DA ERVA-MATE.	26
5.3 PRÁTICAS SILVICULTURAIS.	28
5.4 FERTILIZAÇÃO DE ERVAIS.	31
5.4.1. Adubação da erva-mate.	32
5.4.2. Nutrientes vegetais.	35
5.4.3. Fertilizantes de liberação lenta.	39
5.5 SOMBREAMENTO.	43
5.6 PRODUTIVIDADE.	49
5.7 COMPOSTOS FOLIARES DE ERVA-MATE (POLIFENOIS E METILXANTINAS).	52
6 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE COMPOSTOS FOLIARES.	58
6.1 DIGESTÃO VIA SECA E SOLUBILIZAÇÃO COM HCL 3 MOL L ⁻¹	60
6.2 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (<i>NEAR INFRARED</i>).	61
7 ÁREA DE ESTUDO.	67
7.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.	67
7.2 CARACRERIZAÇÃO DA ÁREA.	67
7.3 ANÁLISE DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.	69
7.4 MANEJO DA ÁREA.	70

REFERENCIAS.	73
CAPÍTULO I	
PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO	
SOB DIFERENTES LUMINOSIDADES E FERTILIZAÇÕES.	100
RESUMO.	100
ABSTRACT.	101
1 INTRODUÇÃO.	102
2 MATERIAL E MÉTODOS.	107
3 RESULTADOS.	111
4 CONCLUSÕES.	128
REFERÊNCIAS.	129
CAPÍTULO II	
EFEITO DA LUMINOSIDADE E FERTILIZAÇÃO NOS TEORES DE	
NUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA.	136
RESUMO.	136
ABSTRACT.	137
1 INTRODUÇÃO.	138
2 MATERIAL E MÉTODOS.	143
3 RESULTADOS.	147
4 CONCLUSÕES.	157
REFERÊNCIAS.	158
CAPÍTULO III	
INFLUENCIA DA LUMINOSIDADE E FERTILIZANTES NOS TEORES DE	
METILXANTINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS NA ERVA-MATE.	165
RESUMO.	165
ABSTRACT.	166
1 INTRODUÇÃO.	167
2 MATERIAL E MÉTODOS.	172
3 RESULTADOS.	176
4 CONCLUSÕES.	181

REFERÊNCIAS.	182
 CAPÍTULO IV	
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA POR NIR PARA DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES NA ERVA-MATE (<i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST.-HIL).	189
RESUMO.	189
ABSTRACT.	190
1 INTRODUÇÃO.	191
2 MATERIAL E MÉTODOS.	193
3 RESULTADOS.	196
4 CONCLUSÕES.	202
REFERÊNCIAS.	203
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	206

1 LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

FIGURA 1 - ÁREA DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ERVA-MATE.	23
FIGURA 2 - METILXANTINAS PRESENTES NA ERVA-MATE (<i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST.-HIL.).	54
FIGURA 3 - TIPOS DE COMPOSTOS FENÓLICOS PRESENTES NA ERVA-MATE (<i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST.-HIL.).	55
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA.	67
FIGURA 5 - MAPA PARCIAL DO SOLO (A) E GEOLOGIA (B) NA ÁREA EXPERIMENTAL.	68
FIGURA 6 - TEMPERATURA MÉDIA, PRECIPITAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR OCORRENTES NA ÁREA EXPERIMENTAL, NO PERÍODO 2010-2012.	68
FIGURA 7 - MAPA PARCIAL DO CLIMA (A) E DA FITOGEOGRAFIA (B) NA ÁREA EXPERIMENTAL.	69
FIGURA 8 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM ESPAÇAMENTO ESPECÍFICO PARA A ÁREA EXPERIMENTAL.	71

CAPITULO IV

FIGURA 4.1 - RESULTADOS DA PREVISÃO EXTERNA NIR PARA OS COMPOSTOS P, Fe E Cu NA FOLHA DE ERVA-MATE.	200
--	-----

2 LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

TABELA 1 - USOS ALTERNATIVOS DA ERVA-MATE POR CAMPO DE APLICAÇÃO INDUSTRIAL.	25
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA DA ERVA-MATE.	26
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO MINERAL DE FOLHAS E RAMOS % NAS ESTAÇÕES DE INVERNO E PRIMAVERA.	29
TABELA 4 - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.	70
TABELA 5 - DADOS DA ANÁLISE FÍSICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.	70

CAPITULO I

TABELA 1.1 - EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS FENOTÍPICAS DAS ÁRVORES DE ERVA-MATE PRODUZIDAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE RELATIVA (60, 45 E 30%) E SUBMETIDAS A FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC), LIBERAÇÃO LENTA (FLL) E SEM FERTILIZANTE, EM CONSORCIO COM EUCALIPTO.	112
TABELA 1.2 - COMPARAÇÃO ENTRE DOIS ANOS DA EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS FENOTÍPICAS DAS ÁRVORES DE ERVA-MATE PRODUZIDAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) E SUBMETIDAS A FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC), LIBERAÇÃO LENTA (FLL) E SEM FERTILIZANTE, EM CONSORCIO COM EUCALIPTO.	113
TABELA 1.3 - VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO (SF), FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM CONSORCIO COM EUCALIPTO.	119

TABELA 1.4 - COMPARAÇÃO ENTRE DOIS ANOS DAS VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO (SF), FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM CONSORCIO COM EUCALIPTO.	123
TABELA 1.5 - PESO MÉDIO DA BIOMASSA COMERCIAL ÚMIDA DE ERVA-MATE PRODUZIDA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO, FERTILIZANTE CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM SISTEMA DE CONSORCIO COM EUCALIPTO.	124
TABELA 1.6 - PRODUÇÃO DE PESO DA BIOMASSA COMERCIAL ÚMIDA DE ERVA-MATE PRODUZIDAS POR DOIS ANOS, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO, FERTILIZANTE CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM SISTEMA DE CONSORCIO COM EUCALIPTO.	126

CAPITULO II

TABELA 2.1 - INDICADORES DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. GUARAPUAVA, PR.	143
TABELA 2.2 - DADOS DA ANÁLISE FÍSICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. GUARAPUAVA, PR.	143
TABELA 2.3 - TEORES DE MACRONUTRIENTES PRESENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) E ADIÇÃO DE FERTILIZANTE CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO	

LENTA (FLL).	147
TABELA 2.4 - COMPARAÇÃO DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NAS FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%), SEM ADIÇÃO (SF) E COM ADIÇÃO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL).	148
TABELA 2.5 - COMPARAÇÃO DOS TEORES DE MICRONUTRIENTES PRESENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%), SEM ADIÇÃO (SF) E COM ADIÇÃO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL).	153
TABELA 2.6 - COMPARAÇÃO DOS TEORES DE MICRONUTRIENTES PRESENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) COM ADIÇÃO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL).	154

CAPITULO III

TABELA 3.1 - TEORES FOLIARES DE METILXANTINAS TOTAIS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS EM ERVA-MATE.	177
TABELA 3.2 - COMPARAÇÃO ENTRE DUAS ESTAÇÕES DE CRESCIMENTO DOS TEORES FOLIARES DE METILXANTINAS TOTAIS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS EM ERVA-MATE.	180

CAPITULO IV

TABELA 4.1 - VALOR DOS ELEMENTOS MACRO E MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE ANALISADOS PELOS MÉTODOS CONVENCIONAIS E PELA TÉCNICA NIR.	196
TABELA 4.2 - CALIBRAÇÃO ESTATÍSTICA PARA OS MACRO E	

MICRONUTRIENTES NA ERVA-MATE DETERMINADOS
POR NIR. 198

RESUMO

A produção consorciada da erva-mate com outra espécie florestal madeireira vem demonstrando diferentes produtividades e teores de compostos foliares, em decorrência de modelos de produção com diferentes tipos de manejo na incidência da luminosidade e fertilização. Com o objetivo de analisar a produção e a dinâmica dos compostos foliares, durante dois anos, sob diferentes condições de luminosidade e de fertilização, foi instalado experimento em erval de 25 anos, consorciado com *Eucalyptus grandis* de 6 anos, localizado em Guarapuava - PR. Constituiu-se delineamento de blocos ao acaso, em esquema experimental fatorial 3 por 3, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 27 parcelas experimentais com 10 plantas úteis em cada parcela. A produtividade foi avaliada pelas variáveis biométricas. A produtividade média da erva-mate demonstrou tendências de aumento sob níveis de luminosidade de 60% enquanto os fertilizantes promoveram uma discreta produtividade. Os teores de macronutrientes e micronutrientes foram suficientes para a cultura, com incremento sucinto, depois de 2 anos de tratamento. O N apresentou o mesmo comportamento no teor foliar para as 3 luminosidades relativa 60, 45 e 30%, parece não ser afetado pela luminosidades estabelecidas, mesmo comportamento demonstrado pelo Mn. O P foi o nutriente mais alterado pela luminosidade relativa de 30%, apresentando teores mais elevados, bem como maior incremento entre os anos. Mesmo comportamento do Mg em luminosidade relativa de 45%. O Fe teve comportamento semelhante em todas as luminosidades, embora houve significativo incremento quando submetidos a luminosidade relativa de 30%. Constatou-se que houve efeito positivo do fertilizante FLL no incremento dos teores de N, Ca e Fe em todas as luminosidades, sendo que para o Mg e Zn, o fertilizante FLL provocou incremento, na luminosidade de 45 e 30% . E para o carbono o incremento foi na luminosidade 30% com FLL. O FLL incrementou Na em 65,5% na luminosidade de 45%. Na luminosidade relativa de 30% houve incremento do P para todos os tratamentos de fertilizações. O FC foi o fertilizante que proporcionou maior incremento de K nas luminosidades relativa de 60 e 45%. A fertilização FC e FLL provocou incremento de Cu em todas as luminosidades, sendo que para o Mn não promoveu incremento pela resposta a adubação e luminosidade. A luminosidade relativa de 45% e 30% foram os principais fatores de influência no aumento de metilxantinas totais, seguida fertilizante de liberação lenta e fertilizante convencional.

Houve uma tendência de aumento dos teores dos compostos fenólicos totais produzidos no sítio com luminosidade relativa 45%; 60% e 30% respectivamente. Os teores dos compostos fenólicos responderam significativamente superiores no sítio dos tratamentos fertilizados, tendo uma expressividade de incremento sob a luminosidade relativa de 60%. A estatística de calibração demonstrou que a técnica de análise por Espectroscopia de Infravermelho Próximo pode ser aplicável para determinação dos elementos. A previsão do NIR para C, K, Na, Mn e Zn não foram boas, entretanto a previsão de P, Fe e Cu mostrou-se viável.

Palavras-Chave: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Polifenóis. Metilxantinas. Sombreamento. NIR.

ABSTRACT

PRODUCTIVITY AND COMPOUNDS OF LEAF YERBA MATE IN EFFECTS OF LIGHT AND FERTILIZATION

The production consortium of yerba mate with another species forest timber has demonstrated different levels of productivity and leaf chemical composition, due to production models with different types of management of incidence of light and fertilization. With the objective of analyzing the dynamics of production and chemical composition of leaves during two years under different lighting conditions and fertilization. Experiment was conducted in herbal 25 years with *Eucalyptus grandis* intercropped 6 years, located in Guarapuava - PR. Design consisted of randomized blocks in Scheme 3 by 3 factorial design with 9 treatments and 3 replications, totaling 27 experimental plots of 10 plants in each plot. Productivity was assessed by biometric variables. The average productivity of mate showed increasing trends in light levels 60% while fertilizer promoted a discrete productivity. The levels of macronutrients and micronutrients were adequate for culture, incremental brief, after 2 years of treatment. The N showed the same behavior in the leaf content for the three relative luminosities 60, 45 and 30%, seems to be unaffected by the luminosities established, same behavior shown by Mn. The P was the nutrient most affected by the relative brightness of 30%, with higher levels and greater increase between years. Same behavior of Mg relative brightness of 45%. The Fe had similar behavior in all luminosities, although there was a significant increase when subjected to relative brightness of 30%. It was found that there was positive effect of fertilizer FLL in increasing the levels of N, Ca and Fe in all luminosities, and for Mg and Zn fertilizer FLL caused an increase in brightness of 45 and 30%. And to increase the carbon in brightness was 30% FLL. In the FLL increased by 65.5% in brightness of 45%. In relative brightness of 30% there was an increase of P for all the fertilization treatments. The FC was the fertilizer that provided higher increase in K relative luminosities of 60 and 45%. Fertilization and FC FLL caused increase of Cu in all luminosities, and for Mn promoted by increasing response to fertilization and luminosity. The relative brightness of 45% and 30% were the main factors of influence on the increase of total methylxanthines, then slow release fertilizer and conventional fertilizer. There was a trend of increased levels of phenolic compounds produced at the site with relative brightness 45%, 60% and 30% respectively. The

content of phenolic compounds responded significantly higher in the fertilized treatment site, having an increase in the expression of 60% relative luminosity. The statistical calibration showed that the technique of analysis by Near Infrared Spectroscopy can be applicable for determining the elements. The forecast for NIR C, K, Na, Mn and Zn were not good, however the prediction of P, Fe and Cu was feasible.

Key-words: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Polyphenols. Methylxanthines. Shading. NIR.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produtividade e teores de compostos foliares de erva-mate sob efeitos da luminosidade e fertilização.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a produtividade da erva-mate, consorciada com eucalipto, sob distintas luminosidades relativas e fertilizações.
- Verificar os teores foliares de nutrientes na erva-mate consorciada, em resposta a diferentes níveis de luminosidade relativa e técnicas de fertilização.
- Avaliar alterações na produção e concentração de metilxantinas totais e compostos fenólicos totais nas folhas de erva-mate consorciada, em resposta a luminosidade e aplicação de fertilizante de liberação lenta e convencional.
- Testar um modelo de calibração para quantificação de nutrientes presentes na folha de erva-mate pelo uso de espectroscopia de infravermelho próximo (NIR).

4 ESTRUTURA DA TESE

O documento da pesquisa foi estruturado em quatro capítulos que formam trabalhos científicos redigidos para publicação em revistas ajustados nos aspectos, itens e normas definidas pelo corpo editorial das revistas a que se pretende a submissão.

Os capítulos são desenvolvidos de forma independentes no que se diz respeito a objetivos e métodos, mas que possuem elementos para um entendimento da pesquisa como um todo.

A parte introdutória apresenta revisão da literatura em nível nacional e internacional, além de abordagem sobre a silvicultura da erva-mate e níveis médios de teores de bioelementos presentes nas folhas da cultura. Ressaltam-se as técnicas de fertilização e influencia da luminosidade na dinâmica dos nutrientes, na produtividade e produção de polifenóis e metilxantinas. Além disso, as principais técnicas de análise dos bioelementos foram mencionadas frente a adequação das metodologias para a erva-mate. Adicionalmente, apresenta a caracterização da área e a metodologia geral, enquanto os demais capítulos apresentam a metodologia específica dos experimentos utilizados.

No Capítulo 1, são abordados os aspectos de produtividade da erva-mate consorciada, submetida a diferentes luminosidades e fertilização, com resultados obtidos durante 2 anos de experimentação e comparação entre as duas estações de crescimento, destacando a evolução das variáveis biométricas fenotípicas das árvores (altura, diâmetro da copa e área foliar de 100 folhas) e variáveis de produtividade da erva-mate (peso úmido e peso seco de 100 folhas e sua relação), bem como, o peso médio da biomassa comercial úmida comercializável.

No Capítulo 2, são apontados os efeitos da luminosidade relativa e técnicas de fertilização nos teores de nutrientes em folhas de erva-mate consorciada, em que foram quantificados os macro e micronutrientes e suas associações com os tratamentos em que as plantas foram submetidas. Além disso, os resultados são analisados comparativamente com outros autores para buscar o estabelecimento de um padrão de produção desses nutrientes, nas condições agroambientais de cultivo.

No Capítulo 3, são estudadas a influencia dos níveis de luminosidade relativa e a aplicação de fertilizante de liberação lenta e convencional na produção de metilxantinas totais e compostos fenólicos totais na folha de erva-mate, as quais foram avaliadas quantitativamente por metodologia de cromatografia e espectrofotometria.

No Capítulo 4, demonstra-se o teste para aplicação de metodologia por NIR para determinação de nutrientes presentes na folha de erva-mate, baseando-se na aplicação da quimiometria, através da espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo, e sua integração com métodos estatísticos e de computação de dados para a predição dos teores dos nutrientes.

Por último, são apresentadas considerações finais a partir dos resultados obtidos neste experimento com erva-mate, e indicação de perspectivas de pesquisas futuras.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL

Historicamente, a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) tem sido um dos principais produtos agrícolas da região sul do Brasil e, atualmente, representa espécie de grande potencial econômico, social e ecológico. Sua matéria-prima, obtida de ervais nativos e/ou plantados, provém principalmente de pequenas e médias propriedades rurais dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A área de distribuição natural da erva-mate, segundo Oliveira e Rotta (1983), abrange, aproximadamente, 540.000 km², cerca de 3% do território da América do Sul, compreendendo áreas do Brasil, Argentina e Paraguai, situadas entre as latitudes de 21°S a 30°S e longitudes de 48°30'W a 56°10'W (Figura 1).

Cresce preferencialmente em altitudes compreendidas entre 500 e 1.500 m, podendo ocorrer em regiões situadas fora desses limites, porém de maneira mais esparsa. As condições edafo-climáticas adequadas para o desenvolvimento da espécie, segundo a classificação climática descrita por Köppen, encontram-se nos tipos climáticos Cfb, seguido pelo Cfa.

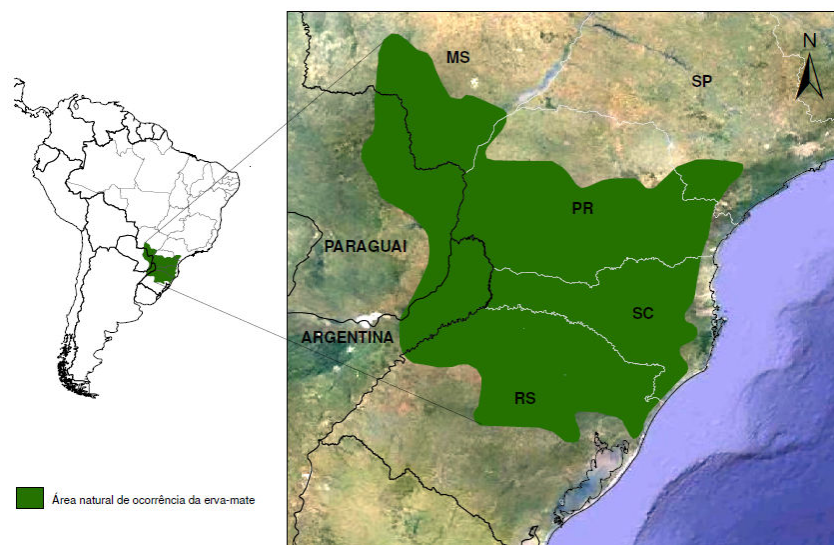


FIGURA 1 - ÁREA DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ERVA-MATE
 FONTE: OLIVEIRA E ROTTA (1983) adaptado, imagem do GOOGLE EARTH (2013)

Dados do IBGE (2011) indicam uma produção de 229.681.000 quilos no Brasil, colocando-o como o segundo maior produtor mundial de erva-mate, atrás da Argentina em volume produzido. Estima-se que seu cultivo esteja distribuídos em aproximadamente, 700 mil ha, distribuídos em cerca de 180 mil propriedades localizadas em 480 municípios. A indústria brasileira produz anualmente, em torno de, 675 mil toneladas de erva-mate, sendo o Uruguai, o maior importador, absorvendo cerca de 80% da produção brasileira (NEUMANN, 2000).

No estado do Paraná, a ocorrência natural de erva-mate está concentrada abaixo do paralelo 24°S – Região Centro Sul. Especificamente nas microrregiões dos Campos de Guarapuava e Médio Iguaçu concentra-se a produção de mais de 80% da erva-mate paranaense (SEAB Paraná, 1997). Constitui na base econômica para cerca de 50 mil pequenos e médios produtores rurais, com uma área ocupada de 283 mil h, tendo 91,2% correspondentes a ervais nativos e 8,8% a ervais plantados ou adensamentos. Representa expressiva presença na economia, movimentando em 2011 cerca de 63 milhões de reais somente na comercialização de folhas in natura, correspondendo a 70% (156.000 ton.ano⁻¹) da produção nacional, configurando-se como o maior produtor nacional. No Paraná existem 256 indústrias processadoras, distribuídas em 176 municípios, predominando empresas de pequeno porte (SEAB Paraná, 1997).

Da produção brasileira de erva-mate, aproximadamente, 80% destinam-se ao mercado interno, sendo 96% consumidos como chimarrão e 4% na forma de chás e refrigerantes (WINGE *et al.*, 1996). Apesar da alta concentração em uma única forma de consumo, a erva-mate apresenta grande potencial para usos alternativos (TABELA 1), devido à diversidade de sua composição fitoquímica, apresentando grande potencial para diversas aplicações industriais como corantes, conservantes de alimentos, produtos de higiene e cosméticos (MACCARI JUNIOR; MAZUCHOWSKI, 2000).

Muitos ervais plantados vem sendo consorciados com outras espécies florestais, objetivando maior otimização da área de cultivo com a exploração comercial da madeira, e agregação de valor da biomassa comercial da erva-mate sombreada melhor paga ao produtor.

TABELA 1 - USOS ALTERNATIVOS DA ERVA-MATE POR CAMPO DE APLICAÇÃO INDUSTRIAL

APLICAÇÃO INDUSTRIAL	USOS ALTERNATIVOS DA ERVA-MATE	
	SUB-PRODUTOS COMERCIAIS	FORMA DE CONSUMO
Bebidas	· Chimarrão · Tereré · Chá Mate Queimado Verde / Cozido Solúvel	Infusão quente e/ou fria
	· Refrigerantes · Sucos · Cerveja · Vinho	Extrato de folhas diluído
Insumo de Alimentos	· Corante Natural · Conservante alimentar · Sorvete · Balas, bombons e caramelos. · Chicletes e gomas	Clorofila e Óleo Essencial
	· Estimulante do Sistema Nervoso Central	Extrato de Cafeína e Teobromina
Medicamentos	· Composto para tratamento de hipertensão, bronquite e pneumonia.	Extrato de Flavonóides
Higiene Geral	· Bactericida e antioxidante hospitalar e doméstico · Esterilizante · Emulsificante · Tratamento de esgoto · Reciclagem de lixo urbano	Extrato de Saponinas e Óleo Essencial
	· Perfumes · Desodorantes · Cosméticos · Sabonetes	Extrato de folhas seletivo e clorofila

FONTE: SEAB PARANÁ (1997)

Um dos exemplos é o consorcio com espécies do gênero *Eucalyptus*, devido apresentarem rápido crescimento e madeira de alta densidade, com excelente rendimento como lenha ou carvão vegetal, podendo ser usado na produção de mel, óleos essenciais, dormentes, celulose e papel, madeira serrada, mourões de cercas, postes, madeira roliça para construções rurais, quebra-ventos, entre outros.

5.2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ECOLÓGICAS DA ERVA-MATE

Pertencente à família Aquifoliaceae, o gênero *Ilex* possui mais de 700 espécies, das quais 60 ocorrem no Brasil, mas apenas cinco delas se prestam ao beneficiamento para consumo (GIBERTI, 1995). Apesar do gênero *Ilex* ser considerado cosmopolita, nota-se que é um táxon melhor representado nas regiões quentes e úmidas, do que nas de climas temperados e frios. Enquanto apenas três espécies vivem na Europa (WEBB, 1968), mais de 200 ocorrem na China e no sudeste asiático, e acima de 300 nas três Américas. Especificamente na América do Sul, 218 espécies já foram registradas (GIBERTI, 1995).

A planta da erva-mate ou erveira possui características semelhantes à laranjeira, com caule de cor cinza, geralmente com 20 a 25 cm de diâmetro, podendo atingir 50 cm. A altura da árvore também é variável, sendo influenciada pelas condições do local, pelo manejo e pela idade da planta (GIBERTI, 1995).

O enquadramento taxonômico da erva-mate demonstrado pela TABELA 2, permite análise pelo sistema elaborado por Cronquist (1981).

TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA DA ERVA-MATE

CLASSIFICAÇÃO BOTANICA	
Reino	Plantae
Divisão	Magnoliophyta
Classe	Rosidae
Ordem	Celestrales
Familia	Aquifoliaceae
Genero	<i>Ilex</i> L.
Especie	<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.

FONTE: AUTOR, adaptado de CRONQUIST (1981)

É uma planta pertencente ao grupo sucessional climax, esciófita, ou seja, aceita sombreamento em qualquer etapa de seu desenvolvimento, tolerando mais luz na fase adulta, e seletiva higrófito (CARVALHO, 1994). Embora seja umbrófila, se desenvolve bem sob a luz direta do sol, excetuando-se a fase de muda. Seletiva higrófito, característica de plantas de sub-bosque, pertencente a um agrupamento vegetal típico do sul do Brasil, conhecido como “formação de araucária”, sendo características de regiões com altitude acima de 400 metros (COSTA, 1995; CARVALHO, 2003).

Bragagnolo *et al.* (1980) afirmam que a altura da árvore pode chegar aos 15 metros em locais de mata fechada, mas, quando a planta sofre condução, sendo podada, não passa dos sete metros.

Segundo Mello (1980), Mazuchowski (1989); Carvalho (1994) e Da Croce e Floss (1999), sua casca pode atingir 2 cm de espessura em árvores adultas, velhas e em estado nativo; coloração cinza-claro a acastanhada, persistente, áspera e rugosa; lenticelas abundantes, formando às vezes linhas longitudinais; cicatrizes transversais. A casca interna é de textura arenosa e cor branca-amarelada que, após incisão, escurece rapidamente em contato com o ar. As folhas são alternadas, simples, geralmente estipuladas, glabras, de 5 a 10 cm de comprimento e 3 a 5 cm de largura, variando de subcoriáceas a coriáceas, de formato obovado até largamente obovado e ligeiramente obtusas no vértice ou mesmo arredondadas; folhas de plantas que crescem em sub-bosque podem alcançar 18 cm de comprimento; coloração verde-escura na face superior e verde-clara na inferior; as bordas são levemente serreadas-crenadas, visíveis principalmente da metade do limbo para a extremidade; nervuras laterais pouco impressas na face superior e salientes na inferior; o pecíolo mede entre 7 e 15 mm, e é um tanto retorcido.

Mello (1980) refere que a *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. é uma espécie dioica, havendo indivíduos masculinos (androesporangiados) e femininos (ginosporangiados) por aborto de um ou outro esporângio (estames ou pistilos), de forma que só uma observação cuidadosa permite verificar se a planta é “feminina” ou “masculina”. A floração da erva-mate ocorre entre os meses de setembro e dezembro, dependendo da região, predominando outubro; a frutificação ocorre em geral de dezembro a abril, sendo que em altitudes maiores do que 800 m, foram encontrados frutos maduros desde o final de abril até maio. A reprodução inicia gradativamente a partir dos dois anos, em plantas propagadas vegetativamente e, dos 5 anos em árvores provenientes de sementes.

O fruto é uma baga dupla globular muito pequena, pois mede somente 6 a 8 mm. É de cor verde quando novo, passando a vermelho-arroxeadado em sua maturidade. Quando bem maduro, compõe-se de quatro sementes pequeninas com tegumento áspero e duro (EDWIN; REITZ, 1967; MAZUCHOWSKI, 1991; GIBERTI, 1994).

A dispersão é zoocórica; quando maduros, os frutos são consumidos por pássaros, especialmente sabiás, os quais disseminam as sementes por meio de suas fezes (MELLO, 1980).

5.3 PRÁTICAS SILVICULTURAIS

Devido ao processo de domesticação da cultura da erva-mate visando maiores ganhos de produtividade, retirou-se a espécie de seu hábitat natural no interior da Floresta de Araucária e disseminou-se o seu plantio em povoamentos puros a céu aberto. O plantio em áreas abertas e o reflorestamento fizeram surgir novos tipos de ervais, com características diferenciadas daquelas originalmente observadas nas matas (ANDRADE, 1999).

Para a formação de ervais, Mazuchowski (1991) distinguiu duas situações:

- a) Erval Nativo: formado pela natureza, sendo que a intervenção do homem tem como objetivo a sua formação ou seu adensamento;
- b) Erval Plantado: constitui-se em erval plantado pelo homem, seja em condições de sombreamento ou pleno sol, consorciado ou solteiro.

Já Andrade (2002), classificou de acordo com o padrão de exploração dos ervais, sendo:

- a) "Em Ser": terminologia utilizada por produtores, refere-se a erveiras nativas nunca podadas/exploradas;
- b) Nativos: áreas com erveiras nativas em exploração;
- c) Homogêneos: plantio puro de erva-mate a pleno sol;
- d) Consorciados: plantio de erva-mate intercalado com espécies florestais, agrícolas e/ou com atividade agropecuária;
- e) Adensados: plantio nas erveiras existentes em áreas nativas em floresta com erva-mate;
- f) Em Transformação: erval homogêneo, sendo diversificado com plantio de espécie florestais.

A exploração da erva-mate está baseada na colheita dos ramos da planta, para obtenção das folhas, que colhidas e processadas dão origem aos principais produtos da erva-mate. As folhas são verde-escuras na parte de cima e mais claras

na parte inferior, tendo comprimento médio de 5 a 8 cm e largura de 4 a 5 cm (REITZ *et al.*, 1978). Entretanto, estas características são influenciadas por fatores, como genética, condições climáticas e manejo.

Como exemplo de tais influências pode-se citar o comportamento das folhas em áreas de mata nativa, onde há menor intensidade de luz. Nestas áreas, as folhas podem ter coloração verde mais intensa, atingindo maiores dimensões, chegando a 23 cm de comprimento, com 8 a 10 cm de largura (URBAN, 1990; COSTA, 1995).

As possíveis relações entre ambiente e características das folhas despertam interesse tecnológico. Mudanças na morfologia e coloração da folha podem estar associadas a variações na composição química e assim afetar características dos produtos comerciais, como da erva-mate para chimarrão (REITZ *et al.*, 1978). Na TABELA 3, dados da composição mineral de folhas e ramos, coletadas em duas estações, mostram a variação na composição associada a tais fatores.

TABELA 3 - COMPOSIÇÃO MINERAL DE FOLHAS E RAMOS % NAS ESTAÇÕES DE INVERNO E PRIMAVERA

NUTRIENTES	INVERNO		PRIMAVERA		VARIÇÃO (%)	
	Folhas	Ramos	Folhas	Ramos	Folhas	Ramos
Nitrogênio %	1,92	1,01	2,20	1,21	14,60	19,80
Fósforo %	0,17	0,06	0,12	0,10	-29,40	66,70
Potássio %	1,59	0,98	1,86	1,70	17,00	73,50
Cálcio %	0,61	0,88	0,43	1,19	-29,50	35,20
Magnésio %	0,42	0,34	0,33	0,23	-21,40	-32,40

FONTE: REISSMANN *et al.* (1985)

A variação sazonal pode ser observada nos valores percentuais, mostrando diferenças quanto à concentração dos nutrientes no inverno e na primavera. Estas diferenças podem indicar variações na qualidade do produto elaborado em diferentes épocas (REISSMANN *et al.*, 1985).

O efeito do ambiente sobre as plantas de erva-mate foi tema de diversos estudos, como Boeger *et al.* (2003), Mazuchowski *et al.* (2003) e Coelho *et al.* (2000). O resultado temporal foi desfavorável, pois erva-mate expostas aos elevados níveis de luminosidade sofrem alterações nos seus processos metabólicos (KASPARY, 1985; COELHO *et al.*, 2000; RACHWALL *et al.*, 2000), tornando-se mais suscetíveis ao ataque de pragas e doenças, além de gerarem produto com qualidades organolépticas inferiores.

Experimentos, associando a composição química e variáveis ambientais, como intensidade de luz, idade da folha, adubações orgânica e mineral, foram desenvolvidos para a espécie (ZAMPIER, 2001; ESMELINDRO *et al.*, 2002).

Nos ervais cultivados em terra fértil e protegida contra a erosão, o rendimento elevado pode manter-se por muito tempo, mas com o passar do tempo, o solo vai perdendo a fertilidade natural, necessitando a fertilização (FERREIRA FILHO, 1957; REITZ *et al.*, 1979; FERREIRA, 1979; BRAGAGNOLO *et al.*, 1980). Para Ferreira Filho (1957), o equilíbrio tende a se manter caso as culturas consorciadas sejam intensivamente adubadas, porém se não acontecer, torna-se imprescindível a adubação direta das erveiras, com utilização de adubos orgânicos provenientes de materiais diversos disponíveis na propriedade.

A erva-mate tolera plantio a pleno sol, podendo ser plantada sozinha ou em sistemas agroflorestais (SCHREINER; BAGGIO, 1983; DA CROCE; NADAL, 1993); com fertilização prévia (PRAT KRICUN, 1985; STURION, 1988; LOURENÇO *et al.*, 1997, LOURENÇO *et al.*, 2000), ou uso de coberturas verdes como fertilização natural (PHILIPOVSKY *et al.*, 2000).

Em um estudo comparativo de sistema agroflorestal de erva-mate e pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) com um sistema de monocultivo de erva-mate, foi constatado pela diferença evidenciada dos valores de temperaturas máxima e mínima absolutas aliado à amplitude de variação desses parâmetros. A radiação solar foi o parâmetro que exerceu a maior influência na área foliar e na produção de fitomassa de erva-mate. Os efeitos microclimáticos influenciaram o crescimento das plantas de erva-mate independentemente do estágio de crescimento (VIEIRA *et al.*, 2003).

Nos últimos anos, houve um incremento significativo de áreas de ervais plantados em sistema de consórcio, principalmente com culturas anuais de inverno (trigo, aveia e coberturas verdes) e de verão (soja, milho e feijão) e, do adensamento (RODIGHERI *et al.*, 2000).

Normalmente o adensamento é realizado em áreas já com ocorrência natural de erva-mate. Esta prática, também conhecida como "obtenção de plantas de erva-mate em sub-bosque de florestas", pode ser praticada em florestas sem prejuízo para as árvores com potencial madeireiro, além de viabilizar o crescimento das plantas já existentes e, proporcionar a germinação do banco de sementes e a formação de densas concentrações de erveiras (DA CROCE; FLOSS, 1999).

A colheita da erva-mate pode ser realizada com podas anuais, ou com intervalo de 18 meses, sendo uma no inverno e outra no verão (DA CROCE, 1997). A melhor época de colheita de safra é de maio a setembro, concentrando-se nos meses de julho a agosto, época de folhas maduras e erveiras em repouso fisiológico. Entre os meses de dezembro a fevereiro pode-se realizar a safrinha, embora poucos produtores a pratiquem devido a ocorrência de geadas precoces ou insolação excessiva, as quais matam brotações e ressecam galhos e tronco, prejudicando o erval e, em alguns casos, provocando a morte das árvores (MAZUCHOWSKI, 1989).

5.4 FERTILIZAÇÃO DE ERVAIS

A erva-mate vegeta preferencialmente em solos medianamente profundos a profundos, com textura média (variando entre 15 e 35%) e argilosa (acima de 35%). É mais freqüente em solos permeáveis, não ocorrendo em solos hidromórficos, nem em solos que possuem deficiência hídrica, ou seja, é uma planta característica dos solos típicos de regiões com clima Cfb (OLIVEIRA; ROTTA, 1983).

A cultura não suporta solos compactados, pedregosos ou encharcados, uma vez que cerca de 80% do seu sistema radicular se concentra na camada superior do solo, até 45 cm de profundidade. Além disso, a cultura requer solos ricos em nitrogênio, potássio, ferro e fósforo (MEDRADO *et al.*, 2005). Em determinadas condições, a queda de folhas (desfolhamento) tem sido creditada ao encharcamento dos solos (CARPANEZZI *et al.*, 1985).

Em termos comparativos, os ervais nativos ocorrem em solo de mata com propriedades físicas e biológicas diferentes dos ervais cultivados em solos agrícolas. Os ervais nativos normalmente estão estabelecidos em solos ácidos, com teores altos de alumínio trocável e baixos de fósforo disponível. Os ervais instalados estão sobre solos que normalmente já foram calcariados e cultivados com culturas anuais, apresentando melhores condições de fertilidade (CHRISTIN, 1987).

Fossati (1997), observou que as variáveis ligadas à reação do solo influenciaram nos parâmetros de crescimento da erva-mate; por outro lado, com o

aumento do pH diminuiu a altura total, altura da copa e área de projeção da copa das erveiras.

Os solos com pH muito ácido, segundo Kiehl (1993), podem apresentar:

- deficiência de P e alta fixação do P aplicado;
- baixos teores de Ca, Mg e K;
- boa disponibilidade de micronutrientes Fe, Co, Mn, Zn;
- diminuição do Mo;
- toxidez por Fe e Mn;
- baixa CTC e baixa saturação de bases (V%); e,
- em condições de extrema acidez podem ocorrer limitações na decomposição da matéria orgânica, havendo acumulação no solo, à longo prazo.

Segundo Bisso e Salet (2000), a manutenção da alta produtividade de um sistema agrícola deve considerar os aspectos nutricionais das plantas e o esgotamento do solo, especialmente pela exportação dos nutrientes mediante a poda, que pode levar à redução da sua produtividade. Assim, justifica-se a investigação por meio da análise de nutrientes para verificar a necessidade de adubação, a fim de manter a capacidade produtiva da planta (REISSMANN *et al.*, 1985; CAMPOS, 1991; BISSO; SALET, 2000).

5.4.1. Adubação da erva-mate

O fato de a erva-mate ser uma cultura que tem suas folhas e ramos finos retirados regularmente implica na exportação maciça de nutrientes, ficando a reposição nutricional necessária para manter a produtividade (GAIAD; LOPES, 1986). Carpanezzi (1997) salienta a existência de lacunas técnicas na cultura de erva-mate e acrescenta que existem muitas dúvidas quanto à condução do manejo arquitetônico das plantas e adubações de reposição.

Prat Kricun (1983) apresentou indicadores obtidos por pesquisas realizadas pelo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária - INTA (Misiones-Argentina), de adubações em erva-mate, estabelecendo formulações de NPK, épocas e intervalos de aplicações para as condições da região ervateira da Argentina.

Na mesma data, a Embrapa (1983) mencionava estudos de adubação da erva-mate, testando diferentes dosagens de fertilizantes para verificação técnica e econômica, além de trabalhos com omissão de nutrientes à campo.

As melhores condições de desenvolvimento, longevidade, sanidade e produtividade da erva-mate, estão intimamente ligadas à fertilidade do solo e à sua exploração racional (FERREIRA FILHO, 1957; REITZ *et al.*, 1979; BRAGAGNOLO *et al.*, 1980). A análise de solo é o procedimento que permite determinar em que nível se encontram os teores dos nutrientes no solo (VETTORI, 1969; COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2004). As informações das análises de solo, conjugadas à análise foliar, auxiliam o monitoramento do sistema de produção agrícola e na avaliação de alterações ocorridas nos teores dos nutrientes presentes no solo (MARQUES; BENGHI, 2003).

Baggio e Schreiner (1985) mencionam a consorciação com culturas agrícolas como forma de atender à reposição de macronutrientes para erva-mate, sendo necessária adubação suplementar de outros nutrientes, além de citar técnicas de incorporação de adubos verdes.

Em experimento de viabilidade técnico-econômica da fertilização mineral e calagem na cultura da erva-mate na região de Guarapuava (PR), Schlossmacher Neto (1994) em solos com pH 4,3, testou treze tratamentos em blocos ao acaso com quatro repetições variando as dosagens e combinações de calcário e fertilizantes. Os resultados preliminares indicaram que não houve ataque de *Girospylla spegazziniana* em nenhum dos tratamentos; o uso de calcário dolomítico ocasionou uma resposta bastante significativa na altura e peso da massa verde em erva-mate aos doze meses.

Os trabalhos com nutrição vegetal em erva-mate enfatizam o fornecimento de nitrogênio cujas quantidades recomendadas são maiores que as de fósforo e potássio.

O nitrogênio é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas, e o que mais limita o crescimento. Ele faz parte de proteínas, ácidos nucléicos, amidas, coenzimas e muitos outros importantes constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004; SOUZA; FERNANDES, 2006).

Sendo o N o macronutriente aniônico mais abundante nas plantas e também o mais exigido pela maioria das culturas (MALAVOLTA, 1980). Bellote e Sturion

(1985), em estudo sobre deficiências minerais em plantas de erva-mate observaram, aos seis meses de idade, que de todos os elementos, o nitrogênio foi o mais limitante à produção de matéria seca, seguido por cálcio, fósforo, potássio, magnésio, zinco, cobre e ferro.

O potássio, presente nas plantas como K^+ , desempenha um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004). Embora seja o mais abundante mineral catiônico presente nas plantas e possa constituir até 10% do peso seco, não é um constituinte integral de qualquer metabólico que pode ser isolado de material vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

De acordo com Sosa (1994), os elementos N e K participam em maior porcentagem na composição nutricional da erva-mate, obtendo-se através da adubação, com esses elementos, um aumento de até 50% sobre a produção normal da planta.

Conforme Christin (1988), dentro de um plano de manejo de solo, com um sistema de condução do tipo conservacionista, a fertilização é indispensável para repor os nutrientes levados pelas colheitas e para compensar a menor disponibilidade de elementos à disposição da planta. Neste sistema, a pouca remoção do solo não favorece a mineralização, especialmente do nitrogênio, elemento de vital importância para o cultivo, razão para Laserre (1973), sugerir a fertilização durante a primeira quinzena do mês de fevereiro para os ervais que são colhidos no inverno, aplicando 100 kg de nitrogênio, 25 kg de fósforo e 25 kg de potássio por hectare, incorporados na projeção da copa.

Na Argentina, além da adubação química usam-se os adubos orgânicos, especialmente serragem e maravalha, geralmente em decomposição, e o capim elefante com cortes semestrais ou quadrimestrais. O Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA destaca que a produção pode atingir 4.000 ou 5.000 kg de erva-mate, significa que o problema não está relacionado apenas com a fertilidade. No entanto, se a produtividade estiver em torno de 9.000 a 10.000 kg, recomenda a adubação química (FRANCO, 1992).

A resposta à adubação na erva-mate, varia em função do estágio da planta e o tipo de solo e/ou substrato. Pandolfo *et al.* (2003), testando doses de NPK em erval jovem, obtiveram resposta significativa da cultura para adubação nitrogenada, porém a aplicação de K e P não resultou em resposta significativa para a massa verde das plantas.

Poletto *et al.* (2006) observaram que a maioria dos agricultores que cultivam erva-mate não segue critérios técnicos para a prática de adubação dos ervais. A aplicação de adubos minerais, sem a utilização desses critérios, pode causar distúrbios no crescimento das plantas, baixa produção e/ou torná-las suscetíveis às doenças. Por outro lado, a redução do inóculo e da taxa de progresso de doenças pode ser alcançada pela disponibilização de nutrientes ou pelo seu fornecimento adequado, ou, ainda, por práticas culturais que melhorem a absorção ou a interação com o ambiente (POZZA; POZZA, 2003).

Segundo Zambolim *et al.* (2001), a integração do efeito de um nutriente específico com resistência genética, práticas culturais e controle químico podem reduzir a intensidade de doenças. Dentro do triângulo que determina a doença (ambiente-patógeno-hospedeiro), os nutrientes podem afetar direta ou indiretamente o hospedeiro, o patógeno e o meio ambiente, predispondo as plantas ao ataque dos patógenos, induzindo resistência ou tolerância à planta hospedeira, reduzindo ou aumentando a severidade das doenças e afetando o ambiente, que tanto pode favorecer como desfavorecer os patógenos.

5.4.2 Nutrientes vegetais

São reconhecidos 14 elementos essenciais, classificados em função da quantidade requerida pela planta em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl, Mo e Ni). Entretanto, a presença do elemento na composição vegetal não indica necessariamente essencialidade. É o caso do Na, Co e Si, denominados 'elementos benéficos' por incrementarem o crescimento de algumas espécies (LIMA *et al.*, 2007).

A análise de nutrientes foliares tem se mostrado bom indicador do estresse nutricional de várias espécies, especialmente por comparação de plantas com pouco e ótimo suprimento de nutrientes (MALAVOLTA, 1980). A concentração de nutrientes foliares varia de acordo com a sazonalidade, idade da folha (SOBRADO; MEDINA, 1980; MARIN; MEDINA, 1981), luz disponível (DRECHSEL; ZECH, 1991), lixiviação (WARING; SCHLESINGER 1985; MARSCHNER, 1986) e o tipo de solo florestal (VITOUSEK; STANFORD JR, 1986).

A preocupação com a qualidade químico-mineral dos ervais do Paraná já havia sido levantada por Ceccon e Bener (1952). A qualidade químico-mineral dos extratos obtidos de erva-mate é altamente dependente dos teores totais de nutrientes contidos nas folhas e ramos finos. A caracterização química das folhas está relacionado com o uso dos teores de nutrientes neste tecido vegetal para diagnosticar o estado nutricional das plantas (BATAGLIA; SANTOS, 2001).

A avaliação do estado nutricional de ervais auxilia na determinação destas características, bem como em todo o processo produtivo da erva-mate. A possibilidade de poder relacionar a composição química mineral com os compostos orgânicos como cafeína, teobromina e tanino representa um importante passo na direção da qualidade, principalmente, considerando a grande variabilidade genotípica da espécie, além disso, nas plantas atacadas pela broca-da-erva-mate *Hedypathus betulinus* e em plantas não-atacadas, é de grande importância no controle dessa praga, uma vez que as plantas saudáveis podem estar sendo favorecidas por um microssítio com excelentes qualidades nutricionais (SCHERER *et al.*, 2002).

Nos trabalhos de Sanz (1999) e de Heinrichs e Malavolta (2001), foram determinados os teores de macronutrientes (K, Ca, Mg e Na) e micronutrientes (Mn, Fe, Zn e Cu) nas folhas da erva-mate, no chá mate processado e suas infusões por digestão ácida e posterior análise pela técnica de espectroscopia atômica. Os elementos com as maiores concentrações nas infusões são K, Ca e Mg.

Reginatto *et al.*, (1999) investigaram os níveis de nutrientes nos diferentes tecidos de erva-mate em ervais nativos, para avaliação das migrações de macronutrientes que ocorrem por ocasião da safra. Os resultados são importantes quando se associa a eles duas épocas de colheita, inverno e verão, chamadas, respectivamente, de safra e safrinha. Verificou-se um aumento considerável dos nutrientes fósforo, nitrogênio e potássio até o mês de outubro (final da safra), enquanto que para o cálcio e magnésio há maior quantidade em julho (auge da safra). As concentrações de minerais são específicas, não somente para a espécie, idade e tecido, como também dependentes do ambiente.

Diversos fatores controlam o teor de minerais presentes nos vegetais, principalmente o genético (MALAVOLTA,1980; ALIKARIDIS,1987). Os nutrientes nas árvores podem ser armazenados nos seus diferentes compartimentos em

função das necessidades fisiológicas imediatas, ou como reserva para uso posterior, em outros órgãos (CAMARGO; SILVA, 1975; ATHAYDE *et al.*, 2000).

A prática da calagem proporciona vários efeitos benéficos, dentre os quais a diminuição dos efeitos tóxicos do Al e Mn, aumento da solubilização de P, e melhoria da disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg, S e Mo no solo; e, conseqüentemente, aumento de produtividade (REISSMANN, 2004).

Zampier (2001) analisou os teores de macro e micronutrientes por espectrometria de absorção atômica (FAAS) em folhas de 1 ano de idade de árvores nativas de erva-mate submetidas à adubação com matéria orgânica, sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. Os teores de K, Ca, Mg, Mn e Cu foram significativamente maiores nos tratamentos submetidos à adubação orgânica. Além disso, a variação nas doses de P não se traduziu em ganho de produtividade para a erva-mate. Contudo, na comparação entre tratamentos orgânicos e químicos, a variação do teor foliar dos elementos N, P, K, Ca, Mg, Mn e Cu foi significativa, sugerindo que a matéria orgânica favorece a disponibilidade no solo e absorção pela planta.

O fósforo é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediário da respiração e fotossíntese, bem como os fosfolipídeos, que compõem as membranas vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, ele está relacionado com aquisição, estocagem e utilização de energia (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Dentre vários aspectos que limitam o crescimento das plantas, destaca-se a baixa disponibilidade de fósforo que ocorre principalmente em solos ácidos (BISSANI *et al.*, 2004). O aproveitamento do P do solo é influenciado pelas características genótípicas das espécies vegetais, as quais se relacionam à capacidade de absorção e à eficiência de utilização deste nutriente (RESENDE *et al.*, 2000).

Em condições de deficiência de P no solo, a baixa absorção deste elemento pode prejudicar o metabolismo de outros nutrientes nos tecidos, principalmente do nitrogênio (MARSCHNER, 1995), uma vez que o P está particularmente envolvido na transferência de energia (SCHUMAN, 1994).

Pesquisas têm mostrado que a qualidade e a composição química da erva-mate podem variar devido à influência de alguns fatores como: espécie, sazonalidade, idade da árvore e das folhas, clima, tempo de colheita, tipo de erva-

mate (nativa ou cultivada), sistema de cultivo, solo, região produtora, processo de produção e estocagem (BERTONI *et al.*, 1992; MAZZAFERA, 1994; ESMELINDRO *et al.*, 2002; STREIT *et al.*, 2007).

Para Meurer (2006), o potássio tem importante função no estado energético da planta, na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais. Contudo, Furtini Neto *et al.* (2000) não encontraram respostas positivas à fertilização potássica em espécies nativas clímax, pioneiras e secundárias, relatando que as espécies florestais são capazes de se desenvolver em locais com baixa disponibilidade de K trocável, mediante um eficiente sistema interno e externo de reciclagem de nutrientes. Lourenço (1997) também não constatou diferenças significativas em produtividade de erva-mate com adição de potássio.

Prat Kricun (1985), estudando o efeito de várias combinações das doses de N (80 kg/ha), P (75 kg de P_2O_5 /ha), e K (80 kg de K_2O /ha) em ervais em produção, observou aumentos de 36 a 76%, na produção. Nesta experiência, o nitrogênio foi o mais eficiente, seguido do fósforo e do potássio. Posteriormente, estudando a proporção em que cada um dos três elementos deveria estar em uma formulação, fixando o nitrogênio em 100 kg/ha, agregando doses crescentes de P e K, observou que todas as proporções superaram a testemunha. O estudo de doses e fracionamento mostrou que não há vantagem em fracionar a adubação e que 100 kg de N/ha foi a melhor dosagem.

Reissmann *et al.* (1985), avaliaram as exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate, em Mandirituba, no Estado do Paraná. Com base no peso médio da copa, estimaram o montante das exportações de nutrientes durante o período da safra, sensivelmente influenciadas pela época da exploração. Considerando-se a igualdade de biomassa coletada, exportam-se 15% de N, 41% de P e 28% de K a mais em outubro do que em junho. Face as altas exportações de N, P e K coincidentes com a fase de maior atividade fisiológica, sugere que a exploração se restrinja ao período de maio a agosto, quando a planta se acha em relativo repouso vegetativo. Observaram ainda, que o nível de 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.

O nitrogênio é o mineral que mais causa mudanças no conteúdo de celulose nas plantas e, conseqüentemente, afeta o mecanismo de resistência da parede celular. A severidade do ataque de patógenos de solo, que causam doenças radiculares em mudas, pode ser reduzida aumentando-se o vigor das mesmas através da adição de nitrogênio, evitando o período de maior ataque do patógeno ou produzindo raízes adicionais para compensar as atacadas (HUBER, 1980, citado por HUBER; THOMPSON, 2007).

De acordo com Floss (2006), poucos são os trabalhos que relatam os níveis adequados de nutrientes para a fase de mudas da erva-mate, requerendo estudos mais aprofundados para o sucesso do futuro plantio. Para Dechen e Nachtigall (2007), cada nutriente possui papel específico no metabolismo das plantas e o desequilíbrio entre suas proporções podem causar deficiência ou excesso, limitando o crescimento das plantas ou mesmo levando-as a morte.

Ao se conhecer a fertilidade do solo e as condições nutricionais das árvores, é possível estabelecer estratégias de manejo nutricional para a obtenção de uma produção florestal sustentável (GARRIDO, 1988; LEITE *et al.*, 1998).

5.4.3 Fertilizantes de liberação lenta

Uma técnica alternativa de fertilização consiste no emprego de adubos encapsulados de liberação gradual (SHAVIV, 1999). Em vista do recobrimento dos fertilizantes tradicionais por substâncias orgânicas, inorgânicas ou resinas sintéticas, em sua maioria derivadas de uréia, como poliamidas, enxofre elementar ou, ainda, polímeros das mais diversas naturezas.

Os FLL constituem em uma forma possível de aumento da eficiência na utilização de nutrientes, particularmente do nitrogênio, pela possibilidade de disponibilização de forma gradual ao ambiente, diminuindo os riscos ambientais (HAUCK, 1985; SHAVIV; MIKKELSEN, 1993; SHAVIV, 2000; SHAVIV, 2001).

O termo Fertilizante de Liberação Lenta e Controlada (FLLC) tornou-se usual quando aplicado aos adubos em que os fatores que dominam a taxa padrão e duração da liberação são conhecidas e controláveis, durante a sua preparação industrial. Envolvem a liberação do nutriente de forma mais lenta do que em

fertilizantes comuns, no entanto, a taxa de padrão e duração da liberação não é bem controlada, pois podem ser fortemente afetados pela manipulação das condições de transporte, armazenamento e distribuição no campo, ou por condições de solo tais como o teor de umidade, acidez (pH), forma de irrigação ou drenagem, temperatura e atividade biológica (SHAVIV, 2000).

Os Fertilizantes de Liberação Lenta – FLL podem ser classificados em três tipos:

- a. Orgânico-Nitrogênio de baixa solubilidade de compostos;
- b. Inorgânicos de baixa solubilidade de compostos; e,
- c. Adubos no qual uma barreira física controla a liberação, com revestimentos e preparados por polimerização *in-situ*, resultando na formação de um polímero de ligação cruzada, hidrofóbico, geralmente classificados também como um *thermosettic* (degrada após aquecimento). As duas principais famílias de resinas comuns em uso prático são as resinas alquídicas de tipo (por exemplo, Osmocote, Basacote) e poliuretano como revestimentos (por exemplo, Polyon, Plantacote e Multicote) (TRENKEL, 1997).

O primeiro FLL comercial produzido foi o Osmocote, industrializado na Califórnia, em 1967. A resina alquídica é um copolímero de dicitlopentadieno com um éster de glicerol (SHAVIV, 2000). Pela descrição da dinâmica da liberação do Osmocote, realizada por Hauck (1985), a água penetra através do revestimento de poros microscópicos e aumenta a pressão osmótica no interior do núcleo revestido que estende elasticamente o revestimento promovendo maior alongamento dos micro-poros, permitindo a liberação de nutrientes dissolvidos. O revestimento do tipo alquídico proporciona um bom controle sobre a composição da resina e de sua espessura, o que torna possível controlar o padrão e a taxa de liberação do fertilizante. As formulações típicas contêm ureia ou NPK (em várias formulações) com ou sem microelementos.

Shaviv *et al.* (2003) descrevem o processo e os fatores da liberação lenta, onde a primeira etapa é a penetração de água (principalmente vapor de água) através do revestimento. O vapor condensa-se sobre o núcleo sólido e dissolve parte do mesmo, levando a um aumento da pressão interna. Nesta fase, duas vias são possíveis. Se a pressão interna excede a resistência da membrana, as rupturas de revestimento e o conteúdo total do grânulo é libertado instantaneamente, chamada de "mecanismo de falha" ou "liberação catastrófica" por Goertz (1995). Se

a membrana resiste à pressão interna, o fertilizante é liberado por difusão, impulsionado por um gradiente de concentração através do revestimento, ou por fluxo de massa accionada por um gradiente de pressão, ou por uma combinação dos dois, sendo denominado de "mecanismo de difusão".

Em experiências com ureia revestida por polímero, realizadas por Raban (1994), em que a penetração da água e liberação de ureia foram medidas separadamente, indicaram que a liberação consiste em três fases: (i) a fase de liberação inicial; (ii) a fase de liberação constante; e, (iii) o decaimento gradual da taxa de liberação.

Durante o período inicial, os vapores de água penetram no grânulo e dissolvem parte do fertilizante no núcleo. A força motriz deste processo é o gradiente de pressão de vapor através do revestimento. O volume disponível para o vapor condensado é restrito para os espaços vazios no interior do núcleo sólido e aquelas entre o núcleo e o revestimento. O peso do grânulo aumenta ligeiramente, concomitante com a pressão interna. Um aumento de volume dos grânulos é observado, principalmente, com a resina do tipo alquídica. Assume-se que a duração do período de latência é ligada ao tempo necessário para os vazios internos serem preenchidos com água e, assim, induzir um bom contato da solução com o lado interno do revestimento (SHAVIV *et al.*, 2003).

A liberação inicia-se quando um volume crítico de solução saturada é formada no interior do grânulo, o qual também induz uma acumulação de pressão. Este é o início da segunda fase onde a taxa de liberação continua a ser constante, desde que a solução saturada do grânulo é equilibrada com o fertilizante sólido. A concentração (saturação) constante origina uma força motriz constante para o transporte de fertilizantes (por exemplo, gradiente de concentração ou gradiente de pressão constante) (SHAVIV *et al.*, 2003).

Os maiores consumidores e produtores de FLL são os EUA, seguido do Canadá, Japão e Europa, onde parte significativa é consumida em mercados não agrícolas (gramados de futebol, campos de golfe e para paisagismo), com utilização em cultivos de hortaliças, árvores frutíferas e arroz (SHOJI *et al.*, 2001; WEN *et al.*, 2001).

Aumento da produtividade e rendimento da batata (*Solanum tuberosum*), cebola (*Allium cepa*), pimentão (*Capsicum annuum*) e tomate (*Solanum lycopersi-*

cum) fertilizados com FLL em comparação com fertilizantes solúveis foram documentados por Csizinszky (1994); Drost *et al.* (2002) e Zvomuya *et al.* (2003).

Os fertilizantes de liberação lenta diminuem as perdas de nutrientes entre 20 a 30% (ou mais) e aumentam a eficiência dos nutrientes frente um fertilizante convencional. Por isso, em 1999, o Ministério da Agricultura, Florestas e Pesca do Japão (MAFF) recomendou a substituição de fertilizantes convencionais pelo uso de quantidades menores de fertilizantes de liberação lenta (TACHIBANA, 2010).

A aplicação de FLL pode diminuir a toxicidade em plântulas pela sua baixa concentrações de íons, se comparado aos fertilizantes de pronta solubilidade, os quais podem induzir estresse osmótico além de outros danos específicos à planta em diferentes estádios de desenvolvimento (SHAVIV; MIKKELSEN, 1993; SHAVIV, 2005; SHOJI, 2005).

A possível redução da toxicidade e o teor de sal de substratos, podem permitir que quantidades substancialmente maiores de fertilizante possam ser aplicados, reduzindo a frequência de aplicação, sendo recomendados especialmente em plantio direto de arroz e milho (SHAVIV; MIKKELSEN, 1993; SHOJI, 2005).

Os FLL melhoram a absorção de nutrientes pelas plantas através da sincronização entre atividade fisiológica e disposição dos nutrientes no solo, reduzindo significativamente as possíveis perdas de nutrientes, particularmente de nitrato-N por lixiviação e de amoníaco por volatilização, reduzindo substancialmente o risco de poluição ambiental (WANG, 1996; SHAVIV, 2005; ZHANG *et al.*, 2001; SHOJI, 2005; ZHANG, 2007; MA *et al.*, 2007).

Como desvantagens Shaviv (2005), aponta a inexistência de métodos padronizados em determinar de forma confiável a taxa de liberação padrão de nutrientes do FLL ao substrato (HALL, 2010; KLOTH, 2010; RABAN, 1995; LAMMEL, 2005).

Os polímeros de revestimento dos FLL encapsulados podem deixar resíduos indesejáveis de material sintético no solo de alguns tipos de polímeros utilizados, por decomposição muito lenta ou persistência no solo, chegando a uma acumulação indesejável de resíduos de plástico de até 50 kg/ha/ano (HÄHNDEL, 2010).

O custo de produção da maioria dos FLL revestidos ou encapsulados ainda é consideravelmente maior do que a dos adubos minerais convencionais, impedindo o seu uso em larga escala na agricultura (GOERTZ, 1995; HALL, 2010; KLOTH, 2010; HÄHNDEL, 2010). As principais causas são geralmente devido a:

- a) Alguns fertilizantes precisam passar por processos de produção complicados;
- b) Buscando uma cobertura perfeita, os fabricantes geralmente empregam separação de tamanho de matérias-primas granulares, tornando o produto mais oneroso;
- c) O material de revestimento é muito caro comparado com o material dos fertilizantes convencionais; e,
- d) Os FLL exigem recomendação técnica mais aprimorada na comercialização em relação aos fertilizantes convencionais.

No setor florestal existem poucas iniciativas de utilização dos FLL a campo, embora amplamente difundido na produção de mudas. Podem constituir importante tecnologia de aporte nutricional à cultura da erva-mate, considerando a sincronia de liberação de nutrientes ao longo da estação de crescimento da planta, a economia pela aplicação única durante o ano e menor dispêndio com mão-de-obra, dentre outros.

5.5 SOMBREAMENTO

A luz é um dos mais importantes fatores abióticos que afeta a fisiologia e a morfologia dos vegetais (ATROCH *et al.*, 2001). Os ajustes morfofisiológicos que ocorrem nas plantas são relacionados principalmente com a manutenção da eficiência do balanço entre o ganho de carbono pela fotossíntese, e a perda de água pela transpiração (GIVNISH, 1988; TAIZ; ZEIGER, 2004). Consequentemente, as folhas desenvolvem características estruturais para otimizar esse processo (VOGELMANN *et al.*, 1996; SMITH *et al.*, 1997), o que reflete na produção de massa verde das plantas.

Os efeitos da luz sobre o crescimento das plantas dependem de sua intensidade, qualidade espectral ou comprimento de onda e duração ou periodicidade (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960; MEYER *et al.*, 1970; ANDRAE, 1978, WHATLEY; WHATLEY, 1982). A variação em qualquer destas características pode modificar o crescimento, quer quantitativamente quer qualitativamente (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972).

Os vários estudos da influência da luz sobre o crescimento vegetal têm indicado que plantas de ambientes sombreados geralmente alocam maior quantidade de biomassa nas folhas e possuem maior área foliar por unidade de massa (POORTER, 1999; LEE *et al.*, 2000). Por outro lado, plantas expostas à luz solar intensa investem em biomassa radicial, para compensar a perda de água por transpiração, e, devido às altas taxas fotossintéticas, produzem maior biomassa por unidade de área foliar e altas taxas de renovação das folhas (POORTER, 1999).

As variações de intensidade, especialmente da luz solar, são quase sempre acompanhadas por pequenas variações da qualidade da luz. Em geral, as diferenças de intensidade têm, em condições naturais, efeitos mais significativos sobre o crescimento que as diferenças de qualidade de luz (MEYER *et al.*, 1970). O efeito da luz sobre as plantas depende de três propriedades que podem afetar separadamente o metabolismo e desenvolvimento de uma planta: a intensidade, a qualidade espectral ou comprimento de onda além da duração e periodicidade (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979; WHATLEY; WHATLEY, 1982).

Na maioria das espécies vegetais, as intensidades relativamente altas de luz originam entrenós mais curtos, plantas de menor porte e folhas menores, mas com peso de matéria seca, um sistema radicial e uma produção de flores e frutos maiores do que intensidades mais fracas (WHATLEY; WHATLEY, 1982; LARCHER, 1986).

Quando a intensidade de luz vai aumentando até atingir 100% da luz do dia, muitas espécies mostram um correlato aumento de crescimento em termos de acréscimo de matéria seca, desde que nenhum outro fator seja limitante. Por outro lado, para as espécies tolerantes, altas intensidades luminosas provocam reações de retardo, e só atingem o máximo desenvolvimento sob condições consideravelmente inferiores às da plena luz (MEYER *et al.*, 1970).

A altura da planta é um parâmetro de avaliação das respostas de crescimento à intensidade luminosa, frente a capacidade de crescer na sombra como mecanismo relevante de adaptação das plantas, como na erva-mate (ENGEL; POGGIANI, 1990).

As pesquisas direcionadas à investigação dos efeitos do sombreamento sobre os vegetais, de acordo com a tolerância de cada espécie, demonstram que as plantas de sombra apresentam: a) maior área foliar e menor espessura do mesófilo; b) menos matéria seca; c) mais clorofila *b* e menos clorofila *a*; d) menor relação de clorofila *a/b* e menor taxa de fotossíntese; e) menor intensidade respiratória e

transpiração; f) menor taxa de fluxo de elétrons nos tilacóides ao longo do redox relacionado à clorofila; g) menor taxa de proteínas solúveis em relação à clorofila; h) conteúdo total de compostos de nitrogênio maior na biomassa; i) maior taxa de fotossistema II/fotossistema I; e, j) cloroplastos maiores com formação de grana em maior quantidade (LARCHER, 1986; LÜTTGE, 1997).

De uma maneira geral, por serem órgãos muito plásticos, as folhas variam em área e massa fresca e seca, quando se desenvolvem em ambientes com diferentes intensidades luminosas (MARQUES *et al.*, 1999; KLICH, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2005), de acordo com a disponibilidade de recursos locais, como água e nutrientes. No entanto, outras características morfológicas apresentaram variações significativas, indicando que as diferentes intensidades luminosas influenciaram de alguma maneira o desenvolvimento dessas plantas. A relação área/massa seca foliar (AEF) é significativamente maior no tratamento sombra para todas as espécies, devido provavelmente à maior variação da área foliar do que da massa seca, entre os tratamentos, para a maioria das espécies. Os maiores valores de AEF geralmente ocorrem em folhas de sombra, devido à expansão foliar, para maximizar a captura de luz, em ambientes de luz difusa (DIAS-FILHO, 2000; MENDES *et al.*, 2001).

Estudos ecofisiológicos com mudas de 6 meses de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. mostraram um melhor comportamento em condições de sombreamento entre 15 e 50% da plena luz do dia, quando comparada com 75 e 100% de luminosidade, verificado nos parâmetros analisados de sobrevivência, altura, peso de matéria seca total, aérea e radicial (INOUE, 1983).

De acordo com Espindola Junior (2006), os plantios de erva-mate podem apresentar-se sob várias condições: em áreas onde está ausente a vegetação arbustiva e há predomínio do sol pleno; em áreas de capoeira ou de mata pouco densa, com ambiente de meia-sombra; ou em áreas de bosque e de adensamento de espécies, onde há maior sombreamento. Para cada uma dessas situações, a luminosidade consiste na principal variável no desenvolvimento da espécie que está diretamente relacionado à sua capacidade traumática e adaptativa, sendo a traumática largamente explorada para a produção de folhas. Já a adaptativa, pouco relatada na literatura para diferentes condições de ambiente, é de fundamental importância para espécies tolerantes, pois determinam a forma como se desenvolve em resposta às condições de ambiente.

Os efeitos da luz sobre a respiração são geralmente indiretos, devido à relação do aumento da luz com o da temperatura, a influência sobre os substratos oxidáveis da fotossíntese e influência sobre a hidrólise de alimentos de reserva em substratos respiratórios imediatos. O efeito da luz na abertura estomática pode ter uma certa ação na respiração (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960). Apesar de inúmeros investigadores considerarem a luz como um fator que pode aumentar ou diminuir a respiração das plantas, os efeitos da luz devem, com raras exceções, ser interpretados como influência indireta (MEYER *et al.*, 1970; TILMAN, 1988).

Devido à elevada importância do fator luminosidade, autores classificaram as espécies florestais em grupos ecológicos distintos de acordo com sua capacidade de adaptação às condições de luminosidade ambiental, e esse conhecimento torna-se importante para a compreensão da dinâmica das florestas (AMO, 1985).

Quando a intensidade de luz vai aumentando até atingir 100% da luz do dia, muitas espécies mostram um correlato aumento de crescimento em termos de acréscimo de matéria seca, desde que nenhum outro fator seja limitante. Por outro lado, nas espécies tolerantes ao sombreamento, altas intensidades luminosas provocam reações de retardo, e estas só atingem o seu máximo desenvolvimento sob condições consideravelmente inferiores as da plena luz do dia (GALVÃO, 1986).

Dos valores da iluminância disponível de 70 a 85 klux, as plantas nativas da Europa só podem aproveitar uma parte, entre 20 e 35 klux. Para muitas espécies são suficientes 7 a 15 klux para alcançar 3/4 dos valores máximos da fotossíntese. As espécies da floresta pluvial tropical, mesmo sob condições diversas, comportam-se de maneira não muito diferente das de zona temperada (LYR *et al.*, 1967).

Galvão (1986) verificou que, na erva-mate, os pontos de compensação lumínica variam de 550 lux (em novembro) a 1000 lux (em setembro), indicando que esse parâmetro auxiliar na definição da tolerância, permite constatar a plasticidade da espécie em manter uma assimilação líquida em condições de luminosidade ambiental fraca.

Torres (1980), estudou algumas variáveis de crescimento em mudas de *Araucaria angustifolia* crescendo sob intensidades luminosas de 100%, 71%, 45%, 25%, 9%, 6% e 2% em relação à plena luz do dia e, concluiu que as maiores alturas foram obtidas em plantas crescendo entre 25% e 9%, enquanto que a maior produção total de matéria seca foi alcançada em plantas sob céu aberto e sob 71% e 45% de intensidade luminosa.

Estudos relatam que o microclima, em especial, a luminosidade, constitui-se de fatores determinantes das características de alteração da área foliar e da fitomassa dessa espécie (THOMPSON *et al.*, 1992). A área foliar das espécies heliófilas aumenta com a elevação da radiação solar, ao passo que a área foliar de espécies tolerantes ao sombreamento tende a ser aumentada em condições de baixa disponibilidade de radiação solar (DALE, 1988). No entanto, sob condições de sombreamento excessivo, o crescimento de caules e folhas da erva-mate poderá ser severamente limitado (GLIESSMANN, 2000).

Rakocevic *et al.* (2003) verificaram que o comportamento da erva-mate na sombra reflete-se primeiramente como espécie que compete pela luz (alongando o caule e aumentando a área foliar por planta). Porém, se a sombra estiver no limite de manutenção, a planta adapta-se preservando o seu funcionamento (aumento de área foliar por folha individual, redução na emissão de novas folhas, redução na altura do caule) para esperar as condições de radiação mais favoráveis.

Rachwal *et al.* (1997) verificaram que há correlação positiva entre a produção de matéria seca e as luminosidades de verão, outono e inverno, bem como com a luminosidade média das três estações para a cultura da erva-mate. No entanto, os maiores coeficientes de correlação foram encontrados entre a produção de matéria seca e luminosidade média e luminosidade de verão.

Para Coelho *et al.*, (2000), o grau de sombreamento necessário na erva-mate gerar diferenças parece ser igual ou maior que 50% da luz natural. Por outro lado, a sobrevivência das plantas jovens aumenta significativamente em condições de sombreamento de 50% ou mais.

De acordo com Mazuchowski e Rucker (1997), devido ao princípio de que a erva-mate obtida em ervais sombreados possui sabor superior ao produto oriundo de ervais produzidos a pleno sol, alguns industriais brasileiros dão preferência ou até exclusividade à erva-mate do tipo sombreada e/ou nativa para formulação do “blend” no produto comercial.

Mazuchowski (2000) preconiza aos produtores para viabilizarem o sombreamento parcial da erva-mate, visando incrementar o adensamento de ervais para aumentar a produção e melhorar as condições ambientais. Segundo o pesquisador, nos ervais plantados, uma boa alternativa é implantar espécies florestais madeiráveis, para agregar renda e padrões de melhoria ecológica.

Carpanezzi (1985) afirma que o cultivo da erva-mate sob *Pinus* sp., desbastado, tem apresentado bons resultados, considerando ideal a introdução da erva-mate a partir do terceiro desbaste. Também é possível o desenvolvimento da erva-mate em povoamentos adultos, bem manejados de pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze).

Por outro lado, Mazuchowski (1991) refere que o baixo crescimento da erva-mate sob a bracatinga é ocasionado pelas copas baixas e ramificadas dessa espécie. Então, a luz, relativamente abundante, chega difusa ao sub-bosque, e não na forma de raios solares diretos, como ocorre sob pinus ou ipê. Contudo, por causa da umbrofilia da erva-mate, as razões do fracasso devem estar ligadas a outros fatores. Debaixo de pinus, as plantas de erva-mate têm dominância apical bem definida e pouca ramificação, as folhas são largas, pouco espessas e em pequenas quantidades.

Segundo Galvão (1986), a erva-mate na fase juvenil demonstra uma tendência a adaptar-se a níveis de luz mais intensos ao se caracterizar fisiologicamente como umbrófila, devido a saturação lumínica observada. Por isto, estas condições lumínicas justificam a tendência dos pequenos proprietários rurais em consorciá-la com culturas agrícolas anuais, especialmente com o milho, além da necessidade de protegê-la em plantios intensivos a céu aberto.

Em estudo comparativo de sistema agroflorestal de erva-mate e pinheiro brasileiro com sistema de monocultivo de erva-mate, foi constatado que a diferença pode ser evidenciada pelos valores de temperaturas máxima e mínima absolutas aliada à amplitude de variação desses parâmetros (VIEIRA *et al.*, 2003). A radiação solar foi o parâmetro que exerceu a maior influência na área foliar e na produção de fitomassa de erva-mate (DA CROCE; FLOSS, 1999). Os efeitos microclimáticos influenciaram o crescimento das plantas de erva-mate independentemente do estágio de crescimento (VIEIRA *et al.*, 2003).

Estudo associado ao sombreamento em mudas de erva-mate indica maiores incrementos em altura e produção de matéria seca nos tratamentos mais sombreados (KASPARY, 1985). Em mudas submetidas a diferentes graus de sombreamento (0, 18, 30 e 50%) observou-se que o percentual de sobrevivência de mudas aumentou com o aumento das condições de sombreamento (COELHO *et al.*, 2000).

As árvores com copas mais frondosas e elevadas requerem espaçamentos maiores comparativamente àquelas que são mais baixas e que têm copa pequena. Para a introdução do sombreamento nos ervais comerciais, deverão ser atendidos esses requisitos das espécies florestais manejadas com erva-mate, visando ao bom controle de luminosidade e sombra (DA SILVA; MAZUCHOWSKI, 1999; MAZUCHOWSKI, 2001).

5.6 PRODUTIVIDADE

A quantificação da biomassa, especialmente em espécies florestais, vem ganhando cada vez mais importância e é realizada com diversos propósitos (MAGALHÃES, 1993; RIBEIRO; MADEIRA, 2003).

Martinelli *et al.* (1994) definem a biomassa como a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta. Para Watzlawick *et al.* (2002), o termo biomassa vegetal refere-se à massa de vegetal viva de um determinado ecossistema, em um dado intervalo de tempo.

De acordo com Andrade e Krapfenbauer (1983), a estimativa da biomassa é uma ferramenta fundamental na avaliação de ecossistemas, conversão de energia e ciclagem de nutrientes. É importante também na absorção e armazenagem de energia solar, fornecendo informações que facilitem a utilização racional dos mesmos. Para St. Clair (1993), o conhecimento da biomassa existente nos diversos ecossistemas é importante para a comercialização de produtos, estudos de fluxos de energia e nutrientes, estudos da contribuição dos ecossistemas para o ciclo global do carbono, bem como para avaliações de quantidade de combustíveis relacionados aos incêndios florestais.

A estimativa da biomassa comercial da erva-mate, considerando-se as variáveis dendrométricas de fácil mensuração, permite uma melhor avaliação de experimentos, prevê em plantios a produção atual sem a realização da poda, permitindo ao técnico uma recomendação correta de manejo (FLEIG *et al.*, 2004). De acordo com os mesmos autores, essas estimativas são ferramentas para a realização de inventários florestais desta espécie, pois possibilitam a determinação com precisão e baixo custo da produção de massa verde.

Da Croce *et al.* (1994) determinaram a biomassa foliar da erva-mate, com base no volume e na densidade da copa, sendo o cone formado pelo diâmetro da copa enquanto pela altura da árvore estimou o volume. No entanto, as árvores não foram podadas, não permitindo estabelecer relações entre as variáveis e a produção real.

Fleig *et al.* (2004), em um estudo sobre a determinação da biomassa comercial da poda de erva-mate reflorestadas, com idade aproximada de 14 anos, constataram que a biomassa pode ser estimada como função do fator de copa (F_c) e das dimensões da copa. Já para Berger (2006), as variáveis área de projeção da copa e diâmetro do tronco a 0,60 m do solo quando inseridas no modelo estimaram a biomassa de folhas e talos de erva-mate entre 10 e 12 anos de idade.

O procedimento comum para a estimativa da biomassa é o recurso da regressão, em que, após a seleção das árvores amostras, procede-se ao abate e a determinação da biomassa da componente considerada na árvore (MARTINS, 2004). Após, são ajustadas regressões para cada componente de interesse e variáveis dendrométricas da árvore. Para isso, Salati (1994) comenta que as principais variáveis relacionadas com a biomassa são o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura (h) e o volume (v).

A estimativa da biomassa comercial da erva-mate, considerando-se as variáveis dendrométricas de fácil mensuração, permite uma melhor avaliação de experimentos, prevê a produção atual sem a realização da poda, possibilitando emitir uma recomendação correta de manejo (FLEIG *et al.*, 2004). Essas estimativas são ferramentas para a realização de inventários florestais dessa espécie, pois resultam na determinação da produção de massa verde com precisão e baixo custo.

Ao estudar modelos de regressão para estimar a biomassa de três diferentes espécies de carvalho na Croácia, pesquisadores constataram que, para a espécie *Quercus ilex*, o aumento do número de fustes indica diminuição da biomassa individual de cada tronco, pois essa variável descreve competição entre fustes de uma mesma árvore, enquanto que, para as outras duas espécies (*Quercus pubescens* e *Q. frainetto*), o efeito é inverso (TOPIC *et al.*, 2000).

Para a estimativa da biomassa aérea da bracatinga, Baggio *et al.* (1995) verificaram que a função composta com a variável DAP apresentou maior precisão, sendo o modelo $y = a \cdot \text{dap}^b$ indicado para estimar as frações e a biomassa aérea total. Barrichello (2003), para a quantificação da biomassa de *Acacia mearnsii* De

Wild, encontrou a mesma equação, porém logaritmizada, estimando com precisão a biomassa nos diferentes componentes da árvore.

Para Scheeren *et al.* (2003), conforme as árvores se desenvolvem, suas copas e raízes necessitam gradativamente de um maior espaço para continuarem a crescer e, em caso do espaço ser restrito, instala-se o processo de concorrência entre os indivíduos tendo a necessidade de haver alguma intervenção silvicultural. Já o maior valor de altura pode estar associado às melhores características do sítio, pois de acordo com Spathelf e Nutto (2000), há vários fatores externos que influenciam no crescimento, sendo que alguns deles são fixos ou pouco variáveis (como a qualidade do sítio, a genética e o clima), e que outros podem ser usados para conduzir o crescimento tal como o espaço vital. O crescimento em altura depende dos fatores climáticos e das propriedades do solo. Schneider e Schneider (2008) complementam que o excesso de densidade pouco influi no crescimento longitudinal, a menos que esse excesso seja tão grande que produza a estagnação do crescimento ou, que o povoamento seja tão ralo que as árvores estejam expostas a tensões excessivas no fuste e raízes.

Santin (2008) verificou em erval de 7 anos adensado, em remanescente de Floresta Ombrófila Mista em São Mateus do Sul – PR uma produção de 4.514 kg/ha de massa verde comercializável. Contudo, a maior produção deveu-se às maiores densidades de erva-mate nativa (1.284 plantas/ha) e de introduzidas (1.874 plantas/ha), além da baixa densidade de outras espécies (240 árvores/ha), o que reduziu a competição por recursos naturais, sobretudo por luz.

Segundo Mazuchowski *et al.* (2007) nas condições de primavera, observou-se que as luminosidades de 50 e 30% representaram as melhores condições ambientais para incremento da produtividade de biomassa foliar, confirmando as observações de aumento da área foliar de plantas quando submetidas à redução da luminosidade por Ferreira *et al.* (1994) e Rakocevic *et al.* (2003). No entanto, as plantas apresentaram tendência de menor desenvolvimento vegetativo quando submetidas ao aumento da luminosidade.

Vieira *et al.* (2003) e Rakocevic *et al.* (2006) comparando ervais plantados a pleno sol e sombreados por remanescente de Floresta Ombrófila Mista, verificaram a influência dos níveis de luminosidade sobre variáveis de produtividade da erva-mate, indicando que as maiores produções foram obtidas em ambientes com níveis de luminosidade maiores.

Mazuchowski *et al.* (2007) afirmam que as melhores condições ambientais para incremento da produtividade de massa foliar foram verificadas nos tratamentos com 50 e 30% de luminosidade. Entretanto, observou-se tendência de maior área foliar em plantas submetidas à luminosidade menor, com alterações morfológicas no sistema foliar.

5.7 COMPOSTOS FOLIARES DE ERVA-MATE (POLIFENOIS E METILXANTINAS)

O consumo per capita de erva-mate no Brasil é de 1,2 kg por ano, sendo principalmente consumida nos estados da região sul. Este consumo está associado a diversos benefícios à saúde humana, destacando-se estudos *in vitro* mostrando que o extrato de erva-mate contribui na prevenção de câncer, prevenção do desenvolvimento de doenças cardiovasculares e danos ao DNA (ALMEIDA-RUCKER *et al.*, 2011).

Na composição química da erva-mate encontram-se os compostos fitoquímicos, principalmente os compostos fenólicos, saponinas e metilxantinas, os quais estão associados ao sabor, odor, cor e estabilidade oxidativa dos alimentos. Os teores desses compostos tem impulsionado um incremento do consumo de erva-mate.

O chá mate pode apresentar diferenças significativas em suas características sensoriais, especialmente no seu sabor amargo e adstringente, devido a mudanças na composição química de matérias-primas como polifenóis e cafeína (STREIT *et al.*, 2007), com efeito econômico direto sobre o preço de mercado. Assim, é possível prever que o teor de compostos farmacologicamente ativos, polifenóis e alcalóides, também varia ao longo das colheitas (MAZZAFERA, 1994) e entre os sistemas de cultivo, devido à influência das variáveis de campo e de gestão agrônoma (ESMELINDRO *et al.*, 2005, COELHO *et al.*, 2007).

Na verdade, o genótipo, o sistema de cultivo adotado, e os fatores climáticos (por exemplo, temperatura, luminosidade e umidade relativa) foram apontados como sendo de grande importância na variação observada nos componentes químicos da biomassa da erva-mate (MAZZAFERA, 1994). Assim, para a produção de matéria-prima de qualidade superior, a análise quantitativa de compostos fenólicos e alcalóides parece ser uma necessidade devido o conteúdo destes metabolitos secundários pode

ser usado como referência para avaliar e melhorar os sistemas de produção da cultura (EIBL *et al.*, 2000; COELHO *et al.*, 2007).

Por muito tempo acreditou-se que somente as metilxantinas eram interessantes do ponto de vista farmacológico pela capacidade de estimular o sistema nervoso central (GONZALES *et al.*, 1993), sendo a cafeína a mais estudada.

Alikaridis (1987) revisou a constituição química do gênero *Ilex*, que inclui cerca de 400 espécies nativas principalmente da Ásia e América do Sul. Cita-se a presença de metilxantinas, fenóis e ácidos fenólicos, aminoácidos e outros compostos nitrogenados, ácidos graxos, antocianinas, flavonóides, compostos terpênicos, alcanos e álcoois, carboidratos, vitaminas e carotenóides.

Diversos autores (ATHAYDE, 1993; ZAMPIER, 2001; CANSIAN, 2003) mostram que a composição química da erva-mate é muito complexa, apresentando metilxantinas, saponinas, taninos, vitaminas, componentes minerais, substâncias aromáticas, ácidos graxos, terpenos, álcoois, cetonas, aldeídos, fenóis, entre outros.

As metilxantinas são estimulantes do sistema nervoso central, participam da vasoconstrição periférica e do relaxamento do músculo. A cafeína é amplamente utilizada nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos ou como ingrediente funcional em alimentos. Entre as metilxantinas, destacam-se a presença de cafeína, teobromina e teofilina, sendo que as duas primeiras encontram-se em maior quantidade (GONZALES *et al.*, 1993).

As investigações químicas relativas à erva-mate iniciaram-se com Tramnsdorff, em 1836, que constatou a presença de diversas substâncias resinosas, matéria corante amarela, ácido tânico, etc. A identificação do principal alcalóide, a cafeína, ocorreu em 1843, por Stenhouse. O teor relatado de 0,13% de cafeína (ANDRADE, 1999; VALDUGA, 2002) passou para valores médios entre 0,65% - 1,60% nos dias atuais (CARDOZO JUNIOR *et al.*, 2007; STREIT *et al.*, 2007; VIEIRA *et al.*, 2008).

A erva-mate apresenta propriedades estimulantes do sistema nervoso central atribuído ao seu teor de metilxantinas, alcalóides como a cafeína (SALDAÑA *et al.*, 2002) e é também conhecida por conter compostos com propriedades antioxidantes, tais como ácidos fenólicos e taninos (BRAVO *et al.*, 2007). Outros efeitos da erva-mate têm sido relatados para explicar seu uso popular como hepatoprotetor, colerético, diurético, hipocolesterolêmico, antireumático, anti-trombótico, antiinflamatório, anti-obesidade (RAMIREZ-MARES *et al.*, 2004; HECK;

MEJIA, 2007).

As metilxantinas são constituintes químicos encontradas em várias bebidas alimentícias não alcoólicas ou bebidas estimulantes, como por exemplo, café, chá, chimarrão, guaraná, entre outros, com grande importância econômica e cultural (RATES; SIMÕES, 2004).

As metilxantinas são geralmente consideradas como pseudoalcalóides, devido ao fato das mesmas serem originadas de bases purínicas, com caráter anfótero. Porém, muitos autores consideram as metilxantinas como alcalóides verdadeiros, denominados alcalóides purínicos, devido à sua atividade biológica marcante, distribuição restrita e presença de nitrogênio heterocíclico (RATES; SIMÕES, 2004).

As metilxantinas são solúveis em água e soluções aquosas ácidas a quente e etanol a quente, solventes orgânicos clorados e soluções alcalinas, sem dúvida são os compostos mais conhecidos desta espécie, uma vez que os estudos destas substâncias remontam ao final do século XIX. A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é a principal xantina encontrada. Seguida da teobromina (3,7-dimetilxantina) e em quantidades pequenas a teofilina (1,3-dimetilxantina) (BRUNETON, 1993; RATES; SIMÕES, 2004) (Figura 2).

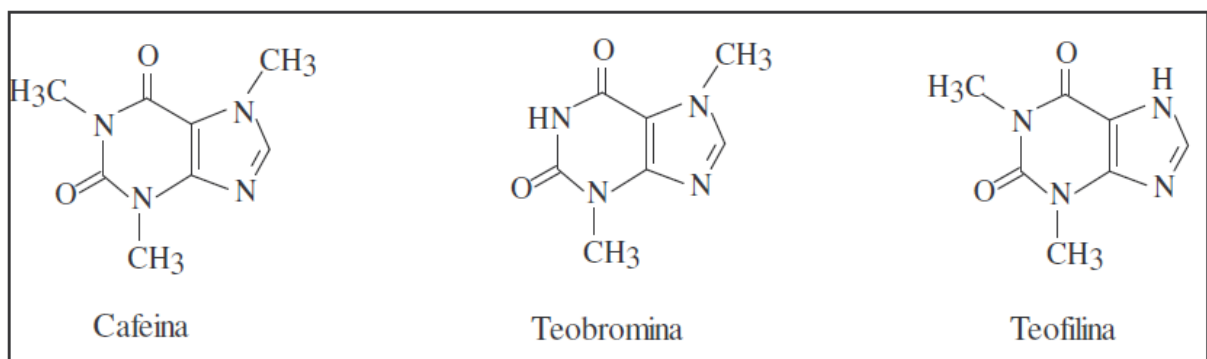


FIGURA 2 - METILXANTINAS PRESENTES NA ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST.-HIL.)

FONTE: SALDANÃ *et al.* (1999)

Usando cromatografia gasosa e espectrometria de massa, Kawakami e Kobayashi (1991) identificaram 196 compostos voláteis relacionados ao sabor do mate verde e do mate tostado. Muitos destes compostos estão presentes também no chá-preto (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze).

Outro grupo são os compostos fenólicos que apresentam importância nas

propriedades da planta, bem com, de seus produtos comerciais. Neste grupo, destacam-se os flavonóides e os derivados do ácido clorogênico. Os flavonóides, são compostos que sofrem pouca variação estrutural nesta espécie, relacionam-se principalmente à quercetina livre e seus derivados glicosilados, além da presença de kaempferol (RICCIO *et al.*, 1995; FILIP *et al.*, 2001).

Avaliando a presença de compostos fenólicos e de flavonóides em sete espécies sul-americanas de *Ilex*, Filip *et al.* (2001) encontraram maiores teores destes compostos em erva-mate. Verificaram uma concentração de 9,608% de derivados fenólicos no extrato seco, com a presença de ácido clorogênico (ácido 5-cafeoilquínico), ácido cafeico, ácido 3,4-dicafeoilquínico, ácido 3,5-dicafeoilquínico e ácido 4,5-dicafeoilquínico (Figura 3) e de 0,064% dos flavonóides rutina, quercetina e kaempferol.

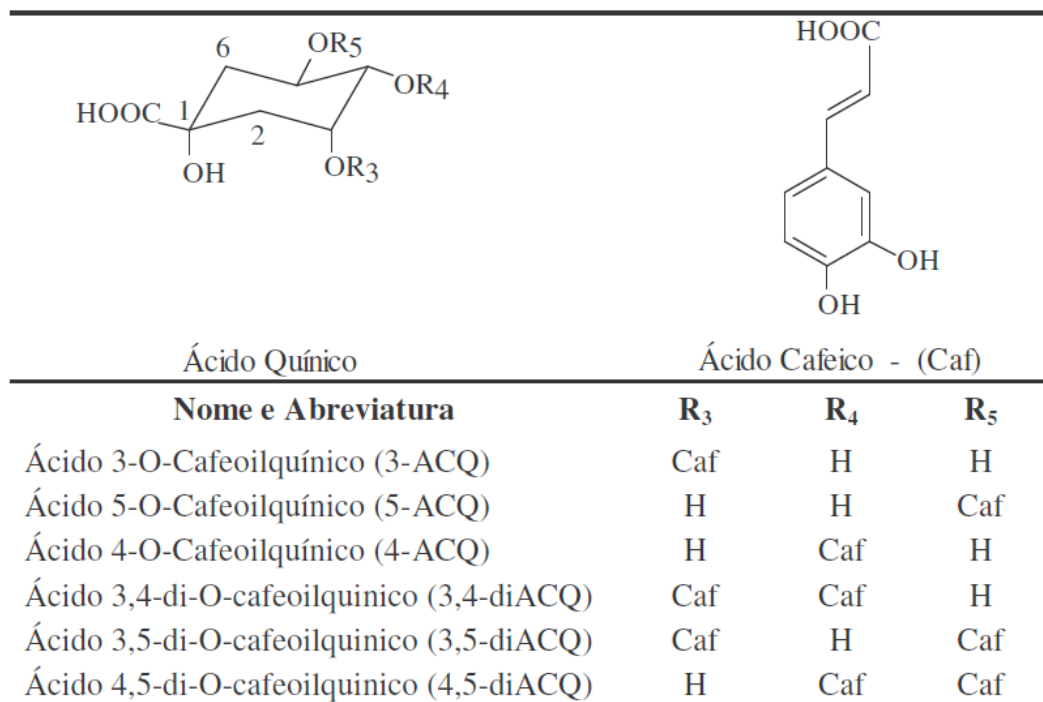


FIGURA 3 – TIPOS DE COMPOSTOS FENÓLICOS PRESENTES NA ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST.-HIL.)
 FONTE: FILIP *et al.* (2001)

Clifford e Ramirez-Martinez (1990) também analisaram os teores de compostos fenólicos em amostras comerciais de erva-mate, e constataram a presença de derivados da quercetina e, principalmente, derivados do ácido clorogênico, como o ácido 3-cafeoilquínico e o ácido 3,5-dicafeoilquínico. Evidenciaram diferenças nos perfis destes derivados nos extratos originados de

amostras de erva-mate tostada e erva-mate verde.

Vários outros trabalhos revelam a riqueza da composição química e nutricional da erva-mate. Indicativo de que o manejo e a exploração apropriada deste recurso genético nativo exigem o conhecimento aprofundado dos componentes químicos produzidos, principalmente no que se refere às concentrações de metilxantinas e de compostos fenólicos (DONADUZZI *et al.*, 2000; CARDOZO JUNIOR *et al.*, 2003; ZANOELO *et al.*, 2004).

Os polifenóis são antioxidantes presentes em abundância em frutas e vegetais. É bem sabido que os compostos fenólicos têm um grande impacto sobre o sistema biológico, sendo a sua propriedade anti-oxidante, a característica mais interessante (KARAKAYA, 2004). Diferentes ensaios *in vitro* demonstraram uma alta correlação entre o conteúdo de polifenóis (principalmente ácido cafeico, ácido clorogênico e rutina) e da atividade antioxidante de diferentes extratos (GULCIN, 2006).

Diversas metodologias para a extração e a quantificação de metilxantinas em produtos vegetais têm sido propostas ao longo do tempo, comparando diversos métodos de extração e análise. Gosmann (1989) analisou por cromatografia em camada delgada as metilxantinas nos extratos dos talos e folhas de erva-mate do Rio Grande do Sul .

De Lacerda e Filho (2000) realizaram avaliação dos teores de metilxantinas (cafeína, teobromina e teofilina) em amostras de chá preto e chá mate, utilizando como técnicas de extração a decocção, extração com ultra-som e microondas. Na quantificação dos compostos foi utilizada a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência com fase reversa. Além das técnicas convencionais de extração (decocção ou maceração) e de técnicas não convencionais como ultra-som e microondas, tem sido utilizada a extração com fluido supercrítico para a extração das metilxantinas de amostras de erva-mate, verificando a influência dos parâmetros temperatura e pressão (ESMELINDRO *et al.*, 2005)

Segundo alguns autores, o processo de secagem de erva-mate diminui consideravelmente o teor de cafeína. Para maioria das indústrias ervateiras é vantajoso conservar na erva-mate quantidades elevadas de compostos fenólicos e metilxantinas (ESMELINDRO *et al.*, 2002) .

De acordo com a literatura, o teor de metilxantinas na erva-mate é extremamente variável, sendo apontado teores de cafeína desde 0,16 até 1,4%. A

legislação em Vigilância Sanitária estabeleceu, em determinado momento, a exigência de um teor mínimo de cafeína de 0,5%, exigência essa revogada em 2002, quando foi estabelecido apenas um valor máximo para os produtos declarados como descafeinados (BRASIL, 2002). A controvérsia em relação à exigência quanto ao teor mínimo de cafeína pode estar relacionada com a variabilidade das populações e plantas de *Ilex paraguariensis*, mas também ao método de extração aplicado na sua determinação. A ocorrência de compostos fenólicos em alimentos e de bebidas tem sido investigado de forma mais intensa nos últimos anos, principalmente devido a seus conhecidos efeitos benéficos para a saúde humana. Atividade antioxidante é provavelmente o efeito mais importante da infusão aquosa de erva-mate (CARINI *et al.*, 1998; FILIP *et al.*, 2000).

6 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE COMPOSTOS FOLIARES

A análise foliar é um procedimento analítico de diagnóstico que, além da aplicação nas áreas agrícolas e florestais para fins produtivos, encontra amplo espaço na pesquisa ambiental. A pesquisa nutricional propriamente dita é um procedimento que, segundo Jones Jr (1998), representa uma técnica que determina o teor do nutriente na matéria seca das plantas, ou elemento químico, de uma determinada parte da planta, normalmente representado pelas folhas.

Além disso, a interpretação dos teores de nutrientes encontrados nestes órgãos vegetais permite, através de diferentes métodos de interpretação, avaliar seu estado nutricional. Serve também para o cálculo da exportação de nutrientes por parte de uma cultura, analisando-se pormenorizadamente o material objeto da colheita ou, na agrostologia, para o cálculo da dosagem de sais complementares na alimentação de animais (JONES JR, 1998).

Um aspecto importante da caracterização química das folhas está relacionado com o uso dos teores de nutrientes neste tecido vegetal para diagnosticar o estado nutricional das plantas. Entre os vários fatores que podem afetar estes teores, estão os procedimentos metodológicos de análise química. Além disso, na interpretação dos resultados, há necessidade de se reportar aos índices de calibração (BATAGLIA; SANTOS, 2001), aspecto ainda a ser descoberto para a erva-mate.

Os métodos empregados têm sido os mais diversos (FOSSATI, 1997; VALDUGA *et al.*, 1997; HEINRICH; MALAVOLTA, 2001; DA CROCE, 2002; NEIWERT *et al.*, 2003; REISSMANN *et al.*, 2003), não havendo um procedimento considerado comum para a erva-mate. Os procedimentos, em sua grande maioria, utilizam espectroscopia de absorção atômica ou emissão para determinar a maioria dos elementos minerais em tecidos de plantas, quer por digestão via seca ou via úmida. É difícil determinar com segurança qual método analítico é mais indicado e qual apresenta menor variação no momento de se proceder a análise. Hoje, as pesquisas têm dado maior ênfase em avaliar quais procedimentos de solubilização do conteúdo foliar proporcionam simplicidade, confiabilidade e segurança nos resultados obtidos (JONES JR; WOLF; MILLS, 1991).

O procedimento utilizado e mais difundido no Brasil é o sistema de digestão,

a base de nitro-perclórica, conhecido como Digestão Via Úmida (JONES JR; CASE, 1990; TEDESCO *et al.*, 1995). O nitrogênio no tecido vegetal é encontrado na forma orgânica integrando aminoácidos e proteínas. Por ocasião da análise é convertido a amônia através de uma digestão sulfúrica, com auxílio de catalisadores como o K_2SO_4 e o $CuSO_4$ sob aquecimento em bloco digestor. Elementos como selênio e mercúrio também são utilizados, embora menos recomendáveis devido o alto poder poluidor. Este método é conhecido como Kjeldahl e foi desenvolvido em 1883, descrito por Kenkel (1994) e Bremner (1996).

O nitrogênio orgânico é liberado através da fervura com ácido sulfúrico concentrado sendo hidrolisado com a ajuda de catalisadores. A amônia gerada na digestão e solúvel no ácido sulfúrico, dado em excesso, por se desconhecer seu quantitativo, converte-se em sulfato de amônio. Posteriormente, o nitrogênio na forma amoniacal, é destilado na presença de hidróxido de sódio e a amônia evoluída é novamente recebida em ácido sulfúrico $0,01 \text{ Mol L}^{-1}$ (HILDEBRAND *et al.*, 1976).

O ácido sulfúrico remanescente é titulado com hidróxido de sódio diluído. A determinação de N total tanto no tecido foliar como no solo é feita a partir do processo micro-kjeldahl. O procedimento analítico consiste de três etapas: digestão, destilação e titulação. No entanto, como são requeridas instalações especialmente planejadas para este fim (JONES JR; CASE, 1990), como por exemplo, capelas cujo sistema de iluminação e exaustão sejam à prova de explosão e provido de um filme de água corrente descendente ao longo da chaminé (OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH AND SAFETY, 2001), este processo não deve ser utilizado em laboratórios desprovidos dessas instalações.

Nos últimos anos, pesquisas e trabalhos têm avançado significativamente na análise química de tecidos. Alguns métodos utilizam-se da digestão via seca (JONES JR; CASE, 1990); extração sem digestão com ácido diluído via oxidação da matéria orgânica, convertendo os elementos à forma solúvel (oxidação via ácido ou forno-mufla); enquanto outros, promovem a liberação dos elementos por meio da extração do tecido previamente desidratado, por solubilização com agente extrator (MIYASAWA *et al.*, 1984).

Os procedimentos atendem a uma gama maior de elementos; as técnicas de determinação ganharam em agilidade e confiabilidade; tornaram-se mais rápidas e precisas. O uso da extração, via solubilização de elementos químicos, aparece como uma promissora alternativa para análises químicas, sendo metodologia que

apresenta pequeno risco operacional e produz resíduos de fácil neutralização, minimizando impactos ao meio ambiente (MIYASAWA *et al.*, 1984).

A extração com ácidos diluídos é uma técnica simples, rápida, segura e de baixo custo, capaz de promover a dissolução quantitativa dos elementos de interesse, e que, dependendo da matriz, possibilita recuperações que podem ser maiores do que quando se usam ácidos concentrados. Os procedimentos de extração, quando comparados aos procedimentos de digestão por via úmida e via seca, além de estarem menos sujeitos a problemas com brancos analíticos, apresentam menores perdas de voláteis e menores riscos de manuseio, minimizam fatores de diluição, reduzem custos devido aos baixos volumes de reagentes e minimizam o tempo de preparo (WIETESKA *et al.*, 1996).

Outro sistema de digestão via úmida é o com aquecimento em forno de microondas em sistema aberto, que além de simples é rápido e econômico (HUANG *et al.*, 2004; PEREIRA *et al.*, 2008). Diferentemente do sistema fechado, esse método possibilita a digestão de maior quantidade de amostras por bateria, pois, não é necessário usar os tubos de teflon. Portanto esse método possibilita o uso de menores volumes de ácidos, além de reduzir sensivelmente as perdas de nutrientes durante a digestão. O preparo de amostra assistido por radiação microondas à pressão atmosférica baseia-se na focalização da radiação no recipiente reacional através de um guia de ondas. Esta técnica apresenta algumas vantagens quando comparados aos sistemas pressurizados tais como a possibilidade de se acrescentar reagentes durante o processo, trabalho com maiores quantidades de amostras e a possibilidade de eliminação de excesso de reagentes. Como desvantagens, este sistema apresenta maiores riscos de contaminação e perda de analitos voláteis, tais como As, Hg, Se e Cd (BRESSANI *et al.*, 2006).

6.1 DIGESTÃO VIA SECA E SOLUBILIZAÇÃO COM HCL 3 MOL L⁻¹

A digestão via seca, mediante incineração do material em fornos-mufas, é também um processo bastante eficiente de oxidação da porção orgânica. É relativamente mais simples quando comparado ao via úmida. Para a digestão via seca, recomenda-se a pesagem de 0,50 a 1,00 g de material em cadinho de

porcelana, que é colocado na mufla para incineração à 500 °C por 3 horas (JONES JR; CASE, 1990). Martins e Reissmann (2007) recomendaram o retorno do cadinho à mufla por mais três horas, adicionado de aproximadamente 3 gotas de HCl 3 Mol L⁻¹. As amostras são pesadas em cadinhos de porcelana, os quais são transferidos para uma mufla digital com controle de temperatura, que é programada: 1ª temperatura de 350 °C, com permanência de 2 h e velocidade de aquecimento de 5 °C min⁻¹; 2ª temperatura de 500 °C, com permanência de 6 h e velocidade de aquecimento de 5 °C min⁻¹; 3ª temperatura de 120 °C, com permanência indeterminada e velocidade de resfriamento de 15 °C min⁻¹. Após serão retirados da mufla, os cadinhos são resfriados em dessecador durante 2 h. As cinzas foram solubilizadas em HCl 3 Mol L⁻¹ com auxílio de chapa aquecedora a 200 °C. As amostras nos níveis de massa (-) e (+) serão diluídas em balões de 20,0 e 50,0 mL, respectivamente (PERKIN; ELMER, 1973).

6.2 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (*NEAR INFRARED*)

O termo espectroscopia tem sido utilizado para designar métodos analíticos que estudam a interação da radiação eletromagnética com o material. A espectroscopia NIR (*Near Infrared*) é uma técnica analítica bem estabelecida com base na absorção de energia eletromagnética na região de comprimento de onda (SILVERSTEIN *et al.*, 2005).

A região do Infravermelho Próximo (NIR) é um tipo de espectroscopia vibracional que emprega fótons no intervalo de $2,65 \times 10^{-19}$ a $7,96 \times 10^{-20}$ J, que corresponde à faixa de comprimento de onda de 780 a 2.500 nm. Esta faixa de energia é suficiente para promover transições das moléculas de seu estado vibracional fundamental para outros estados excitados (PASQUINI, 2003; HOLLER *et al.*, 2009).

O espectro da radiação eletromagnética abrange as ondas de rádio, as microondas, o infravermelho, a luz visível, os raios ultravioleta, os raios X e os raios gama. O NIR, é a denominação dada à região do espectro eletromagnético “mais próximo” à região visível, onde as vibrações moleculares que resultam em transições harmônicas (*overtones*) são responsáveis pela absorção nesta região

(BURNS; CIURCZAK, 2008).

Esta técnica permite a análise de multicomponentes presente nas amostras de forma rápida e não destrutiva, sem necessidade de pré-tratamentos complexos, sem consumo de reagentes, com baixo custo de manutenção dos equipamentos, além da possibilidade da sua aplicação em linha no controle do processo de produção para caracterizar os produtos em tempo real (BLANCO; VILLARROYA, 2002). A técnica NIR associada aos mínimos quadrados parciais (PLS) ou regressão por componentes principais (PCR) permite o desenvolvimento de modelos de calibração entre dados espectrais e analíticos com aceitável precisão e exatidão (FELIZARDO *et al.*, 2007).

Os primeiros trabalhos com a utilização da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) como ferramenta industrial, foram realizados por Karl Norris no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, na década de sessenta (WILLIAMS; NORRIS, 1998). Contudo, destacam-se os trabalhos obtidos como novo método de determinação da umidade em produtos agrícolas (BOKOBZA, 1998). A técnica NIRS foi fortemente impulsionada nas décadas de 80 e 90 pelo avanço da instrumentação relacionada ao método e desenvolvimento dos microcomputadores, participando do nascimento da Quimiometria, ciência que utiliza em conjunto os métodos matemáticos, estatísticos e informáticos para obter informações quimicamente relevantes a partir dos dados químicos medidos, e representar essa informação (WOLD; SJÖSTRÖM, 1998).

Na região do infravermelho próximo as principais aplicações encontram-se nas indústrias agrícolas, farmacêuticas, alimentícias, petroquímicas, (SKOOG *et al.*, 2002). Inicialmente as medidas eram feitas em fotômetros e em espectrofotômetros dispersivos baseados em filtros e redes de difração, respectivamente.

A espectroscopia NIR é capaz de fornecer resultados rápidos, sendo um método não destrutivo, sem geração de subprodutos tóxicos, por não utilizar reagentes químicos na análise, bem como necessita de uma preparação simples da amostra a ser analisada. Apresenta uma absorbância em frequência particular característica de um grupo funcional presente no composto químico (SKOOG *et al.*, 2002). Em produtos agrícolas, o método se baseia no fato de que cada um dos principais componentes dos alimentos tem características específicas de absorção, onde ocorrem vibrações das ligações covalentes induzidas pelo calor nos grupos funcionais das moléculas. Para que os espectros obtidos através da espectroscopia

NIR possam ser interpretados utiliza-se algoritmos de quimiometria.

A técnica de NIR é ideal para substituir as análises de alto custo, morosas e complexas, que usam reagentes tóxicos ou em grande volume, devido as amostras não necessitarem de tratamento prévio, nem ser uma técnica não destrutiva, podendo ser utilizada para determinações qualitativas e quantitativas. O aparecimento dos espectrômetros com transformada de Fourier (FT-NIR) aumentaram notavelmente o número e o tipo de aplicações da radiação no infravermelho, mas como consequência, as relações entre sinal e ruído também foram aumentadas (SKOOG *et al.*, 2002). Para tratar os dados gerados pelo NIR é necessário fazer uso de ferramentas quimiométricas para extrair os dados elevantes, pois os espectros gerados são complexos, contendo de 300 a 1500 variáveis.

Existem diversas técnicas de estatística multivariada, com as mais variadas aplicações. Tais métodos podem ser classificados em dois tipos principais: os métodos de análise exploratória e os métodos de calibração multivariada. A aplicação de um ou outro método, ou até mesmo a combinação dos dois, depende da natureza do problema que se deseja resolver, ou do tipo de informação que se pretende obter (MALINOWSKI, 1991).

As técnicas de calibração multivariadas são utilizadas como uma importante ferramenta para analisar dados (ANDRADE, 2009). Esses métodos possibilitam análises mesmo na presença de interferentes, desde que estejam presentes nas amostras de calibração. Diversos modelos de calibração multivariada vêm sendo utilizados para a qualificação e quantificação em aplicações NIR, tais como Regressão Linear Múltipla (MLR), Regressão por Componentes Principais (PCR), Análise de Componentes Principais (PCA) e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS). Esses modelos têm apresentado resultados satisfatórios em várias aplicações (BRAGA; POPPI, 2004).

Atualmente, a espectroscopia no NIR tem sido frequentemente aplicada como método analítico que fornece resultados eficientes para a determinação de moléculas orgânicas e variáveis qualitativas (PASQUINI, 2003). É mais utilizada na determinação de análise quantitativa de rotina, como água, proteína, hidrocarbonetos de baixa massa molar em produtos da indústria alimentícia, agrícola, petroquímica, química, cosmética, tintas, polímeros e florestal (HOLLER *et al.*, 2009; MUNIZ *et al.*, 2012).

O uso mais comum tem sido para determinação de proteína, umidade, amido, lipídeo e celulose em produtos agrícolas (grãos e sementes oleaginosas). A obtenção dos espectros depende da composição da amostra, geralmente as medidas de refletância são feitas em dois ou mais comprimentos de onda para cada espécie de analito que está sendo determinado (HOLLER *et al.*, 2009).

A espectroscopia NIR apresenta uma série de vantagens, altamente atraentes, destacando-se (OZAKI *et al.*, 2007; BLANCO; VILLARROYA, 2002):

- a) Simplicidade no preparo da amostra, por requerer pouca ou nenhuma preparação;
- b) Rapidez na obtenção dos espectros e no tempo de resposta, permitindo a extração em tempo real de informações analíticas das amostras, possibilitando aplicações em linha (analisadores de processo);
- c) Método não destrutivo, permitindo o uso posterior da amostra;
- d) Técnica não invasiva de alta penetração do feixe de radiação (de 1 a 3 mm);
- e) Grande aplicação nas moléculas que possuem ligações C-H, N-H, S-H ou O-H;
- f) Possibilidade do NIR tornar-se um método oficial da norma ASTM;
- g) Instrumentação de baixo custo tem fixado posição ao lado de outros espectroscópios, incluindo ultravioleta, visível, infravermelho médio, Raman e outros;
- h) A não necessidade de reagentes e materiais no preparo das amostras e à automatização da técnica resultando em maior produção, reduzindo os custos de análise e o tempo de amortização;
- i) Um espectro único permite a determinação de vários analitos simultaneamente;
- j) A técnica permite determinar parâmetros não-químicos (físicos), como densidade, viscosidade ou tamanho da partícula;
- k) Devido à grande resistência dos materiais ópticos e robustez dos equipamentos NIR, quando não apresenta partes móveis, estes são os mais adequados no uso de controle de processo em plantas de produção; e,
- l) Os resultados são comparáveis em exatidão aos de outras técnicas analíticas, com precisão geralmente maior, sem necessidade de tratamento da amostra.

Como desvantagens, pode-se citar que determinações quantitativas somente são possíveis através de prévia correlação entre os valores do parâmetro de interesse para um determinado grupo de amostras e os espectros obtidos, a técnica é dependente de metodologias analíticas bem estabelecidas para a determinação desse parâmetro durante a etapa de calibração (CARNEIRO, 2008).

Por causa das muitas vantagens da espectroscopia NIR, as refinarias de petróleo e a indústria petroquímica cada vez mais usam-na como uma técnica de controle em hidrocarbonetos, combustíveis, frações de petróleo, polímeros e outros derivados de petróleo, referidos por Aske *et al.* (2001), Pantoja (2006), Pereira *et al.* (2008) e Andrade (2009).

Outro estudo realizado por Pereira *et al.* (2008), avaliou a influência do teor de água e do tamanho médio de gota sobre os espectros NIR coletados durante operações de síntese de emulsões água em óleo cru. Através da técnica de NIR e modelos empíricos típicos (PLS), os autores conseguiram prever estas propriedades simultaneamente. Também, demonstrou que estes modelos permitem a avaliação *on-line* do tamanho médio de gota em emulsões água em óleo, mesmo para sistemas com teores de água muito baixos (<5% v/v).

No estudo de Pantoja (2006) foi constatado que o NIR se apresenta como uma importante ferramenta na caracterização do petróleo e a mesma com boas perspectivas de análises *in-line* em tempo real.

A espectroscopia de infravermelho próximo e a calibração PLS foram utilizadas por Blanco *et al.* (2004), para controlar a reação de esterificação entre glicerol e ácidos graxos de cadeia média e longa. O método proposto permitiu o monitoramento da reação em tempo real, evitando longos tempos de análise, o consumo excessivo de reagentes e obtenção de produtos fora de especificação.

No setor florestal os primeiros trabalhos utilizando o NIR e técnicas de análise multivariada foram voltados para predição da composição química da madeira e propriedades do papel (SCHIMLECK *et al.*, 2007).

Raymond *et al.* (2001) determinaram o rendimento da polpa celulósica, desenvolvendo modelos com amostras de diferentes alturas e diferentes sítios para as espécies de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens*, encontrando valores de coeficientes de determinação entre 0,12 a 0,93 .

Schultz e Burns (1990) compararam os equipamentos FTIR e o NIR para calibrar modelos de previsão das propriedades químicas da madeira. Através de serragens de *Pinus taeda* e *Liquidambar styraciflua* mostraram que o NIR foi a técnica mais rápida e apresentou valores de coeficientes de correlação superiores para a predição do teor de celulose, lignina e hemicelulose.

Sefara *et al.* (2000) desenvolveram modelos para predição do rendimento da polpa celulósica para diferentes clones de *Eucalyptus grandis* da África do Sul. O

melhor coeficiente de correlação foi de 0,89 para os espectros coletados em madeira sólida (cunhas). Kihara *et al.* (2002) caracterizou a lignina em madeira usando FTR-NIR, enquanto Jones *et al.* (2006) conseguiram prever os teores de celulose, glucanas, xiloses, manoses, e lignina usando a espectroscopia na região do NIR. Caldeira *et al.* (2007) desenvolveram sistema por espectroscopia no infravermelho para controle *on-line* de teor de umidade e massa específica para cavacos.

Samistraro (2008) com o uso do NIR e técnicas de análise multivariada obteve correlações entre 0,64 a 0,97 para a predição das propriedades físicas do papel Kraft de escala industrial. Hein (2008) avaliou diferentes tipos de amostragens, desde discos até serragem com diferentes granulometrias, de *Eucalyptus urophylla* para previsão de propriedades químicas e físicas, ajustando modelos com coeficientes de determinação entre 0,65 e 0,88.

Essa técnica de análise pode ser aplicada na determinação de compostos foliares, em especial para essências florestais das quais se utilizam as folhas, como é o caso da erva-mate. O método de análise por NIR, expedito e de baixo custo, pode representar grande avanço na determinação de compostos foliares de erva-mate, se utilizado com eficiência e dentro das normas de calibração. No setor ervateiro existem trabalhos utilizando o NIR inseridos na linha de produção para resultados imediatos na classificação sensorial da erva-mate (ESTEBAN-DÍEZ *et al.*, 2004; HANSEL *et al.*, 2006). Entretanto, alguns parâmetros relacionados à condição das amostras precisam ser avaliados para futura aplicação do NIR, na classificação sensorial da erva-mate.

7 ÁREA DE ESTUDO

7.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada no município de Guarapuava-PR, em um plantio de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), consorciado com eucalipto, localizado na Fazenda São José (Figura 4), a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e distancia de 286 km de Curitiba.

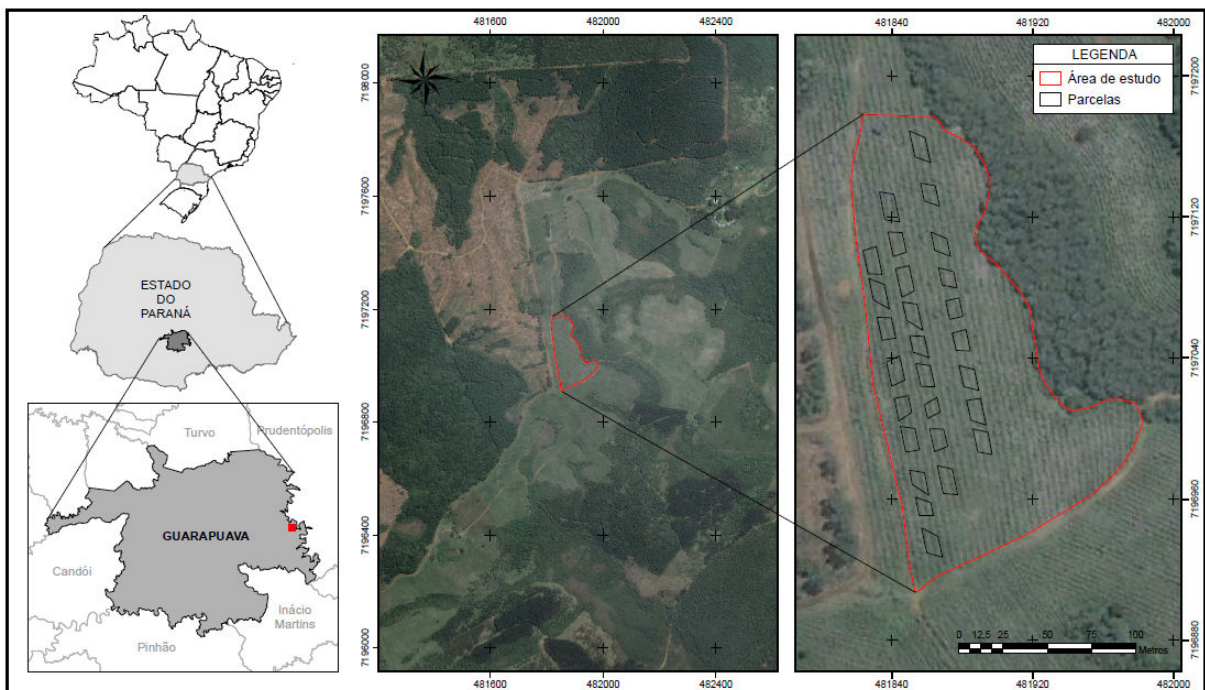


FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA
 FONTE: GOOGLE EARTH (2013), adaptado pelo AUTOR (2013)

7.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A análise de aspectos litoestratigráficos da área situa o solo sobre rochas ígneas da Formação Serra Geral e na Formação Botucatu, ambas do Grupo São Bento, formadas durante a era mesozoica (Figura 5b). Oriundo dos derrames de vulcanismo de fissura continental, que recobriram o arenito Botucatu regional, ainda

aparece exposto na escarpa que separa o segundo do terceiro planalto paranaense.

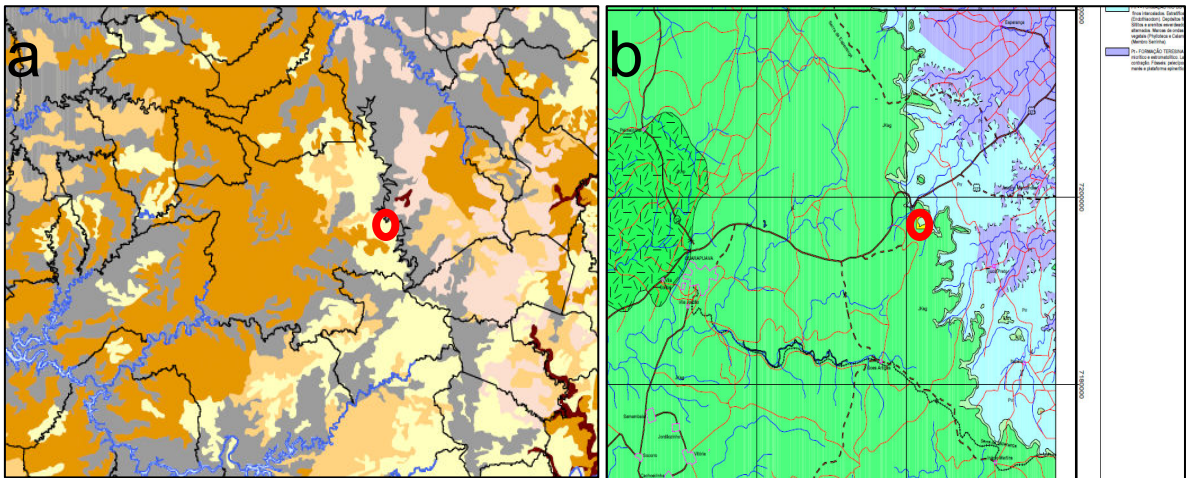


FIGURA 5 – MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado pelo AUTOR (2013)

Os dados médios e as curvas referentes aos indicadores de temperatura, precipitação e radiação solar, correspondentes ao período 2010-2012, são apresentados na Figura 6.

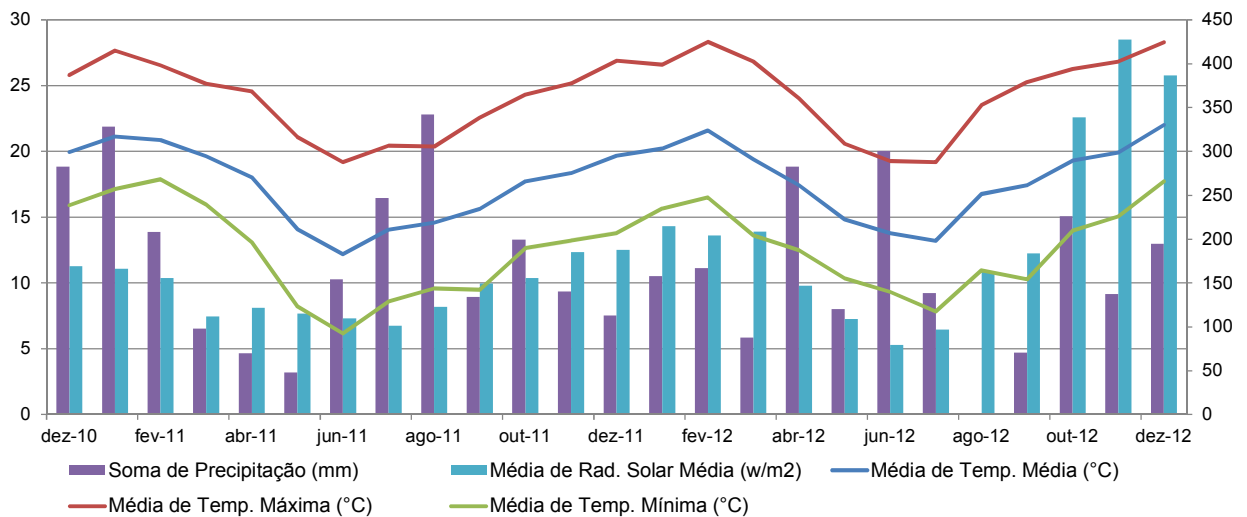


FIGURA 6 - TEMPERATURA MÉDIA, PRECIPITAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR OCORRENTES NA ÁREA EXPERIMENTAL, NO PERÍODO 2010-2012
FONTE: SIMPAR (2013)

Segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 1994), na área experimental ocorre clima subtropical úmido, mesotérmico (Figura 7a), com média

do mês mais quente inferior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C, sem estação seca, verão brando, geadas severas demasiadamente frequentes.

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é chamada popularmente de Mata com Araucárias, ou ainda pinhal (GUERRA *et al.*, 2002), por ter como constituinte principal a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze que, pelo seu porte e densidade, se destaca das demais espécies na formação. Os limites altimétricos das formações da FOM no sul do Brasil determinam sua classificação em Aluvial, Submontana, Montana e Altomontana. Segundo IBGE (1992), a formação Altomontana inclui tipologias que ocorrem acima de 1.000 m s.n.m, caso da área experimental do presente estudo que está situada na faixa de Floresta Ombrófila Mista Altomontana (Figura 7b), existindo a presença de remanescentes de vegetação em estágio de desenvolvimento regenerativo secundário.

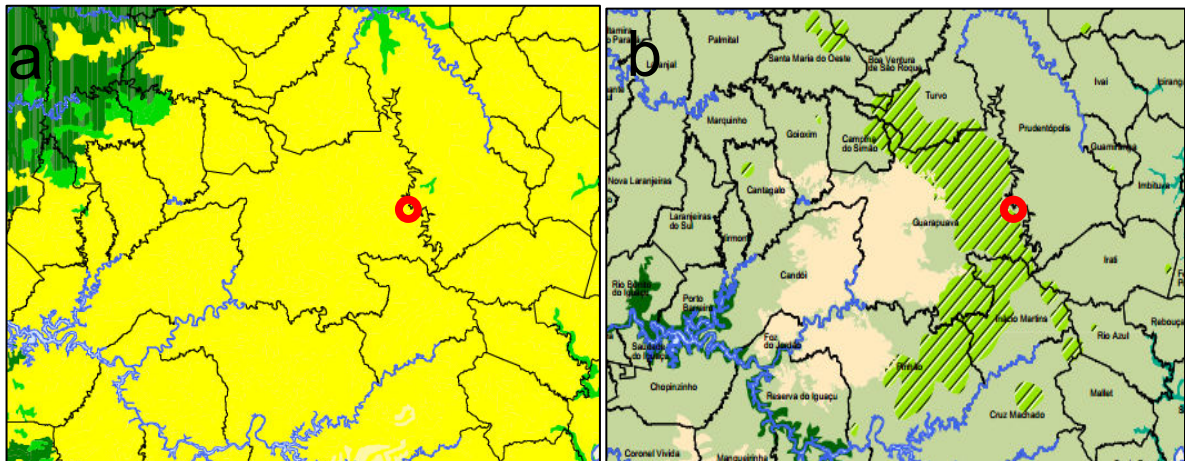


FIGURA 7 – MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.

FONTE: ITCG (2013), modificado pelo AUTOR (2013)

7.3 ANÁLISE DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Álico típico pouco profundo textura argilosa cascalhenta A proeminente (EMBRAPA, 1999). O mapeamento parcial é apresentado na Figura 5a, enquanto suas características químicas e físicas, em 5 diferentes profundidades são apresentadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

TABELA 4 – DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVAMATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Profundidade	pH		Al ⁺³	H + Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	T	P	C	V	m
	CaCl ₂	SMP	----- cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³		g dm ⁻³		%	
0 - 20	4,24	4,79	2,0	14,57	2,3	1,6	0,09	3,96	18,53	1,9	42,1	21	34
20 - 40	3,94	4,54	3,9	18,17	1,1	0,6	0,07	1,76	19,92	5,2	39,8	9	69
40 - 60	4,08	4,86	2,2	11,60	0,1	0,1	0,02	0,26	11,85	1,2	19,4	2	89
60 - 80	4,15	5,24	1,2	8,74	0,1	0,0	0,01	0,07	8,81	0,3	12,7	1	95
80 - 110	4,41	5,32	0,3	8,24	0,8	0,0	0,01	0,84	9,07	0,2	14,0	9	25

TABELA 5 - DADOS DA ANÁLISE FÍSICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Profundidade	Areia Grossa	Areia fina	Argila	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 20	73	74	600	253
20 - 40	74	95	580	251
40 - 60	94	73	600	233
60 - 80	118	70	560	252
80 - 110	48	48	700	204

7.4 MANEJO DA ÁREA

O histórico do manejo da área indica que inicialmente a área foi explorada por madeireiros da região, mediante processo de retirada das maiores árvores, principalmente de araucárias (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), imbuia (*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez) e outras canelas. Posteriormente, foi explorada a regeneração natural de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) para produção de lenha, sendo utilizada no processo de sapeco das folhas na industrialização da erva-mate.

Após esse ciclo de retirada do recurso florestal madeireiro, foi implantado erval homogêneo a pleno sol no ano de 1986, em espaçamento 4 x 2 m, com mudas produzidas utilizando sementes coletadas em árvores de matrizes de remanescentes florestais nativos da própria Fazenda São José.

Depois de 10 anos de implantação do erval homogêneo, foi implantado Sistema Agroflorestal (SAF) com culturas agrícolas anuais intercaladas entre as linhas de plantio da erva-mate. Esse sistema foi conduzido durante 3 anos, com

fertilização e calagem para aporte nutricional na produção agrícola. A calagem pode elucidar a acidez do solo atual situada na faixa de pH 4,5 (TABELA 4), apresentando-se menos ácida comparativamente aos níveis de acidez dos solos da região.

A introdução dos eucaliptos (*Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden)) para compor o consorcio silvicultural foi realizada no espaçamento de 8 x 10 m (Figura 8). Atualmente as árvores encontram-se na idade de 6 anos, com aproximadamente 13 m de altura.

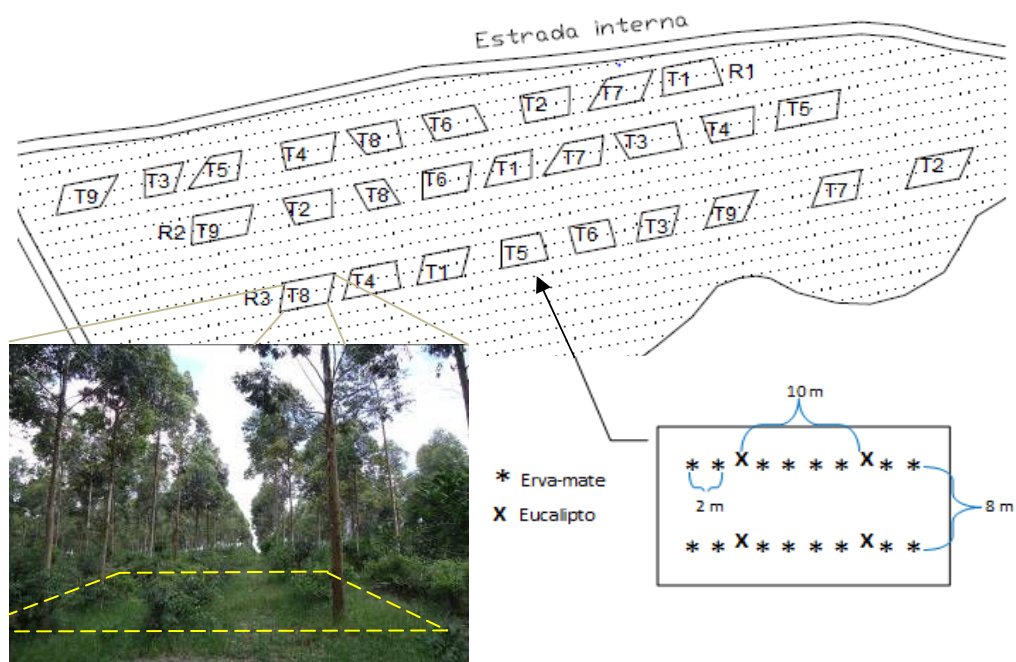


FIGURA 8 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM ESPAÇAMENTO ESPECÍFICO PARA A ÁREA EXPERIMENTAL

Foi estabelecido delineamento experimental em blocos ao acaso, com 9 tratamentos e 3 repetições, sendo 10 plantas úteis por parcela, com bordadura simples. A seleção das plantas úteis de cada parcela foram definidas pela fórmula de Stein (STEEL; TORRIE, 1960), resultando 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização.

Os tratamentos basearam-se no estabelecimento de diferentes luminosidades relativa (30, 45 e 60 %) combinado com distintas tecnologias de fertilização. Foram estabelecidas parcelas sem fertilização das erveiras (SF), com

adubo mineral convencional de pronta solubilização (FC) e adubação com fertilizante mineral de liberação lenta e controlada (FLL) constituindo os seguintes tratamentos:

- T1: Luminosidade relativa de 45%, sem fertilização;
- T2: Luminosidade relativa de 45%, com fertilização convencional;
- T3: Luminosidade relativa de 45%, com fertilização de liberação lenta;
- T4: Luminosidade relativa de 60%, sem fertilização;
- T5: Luminosidade relativa de 60%, com fertilização convencional;
- T6: Luminosidade relativa de 60%, com fertilização de liberação lenta;
- T7: Luminosidade relativa de 30%, sem fertilização;
- T8: Luminosidade relativa de 30%, com fertilização convencional;
- T9: Luminosidade relativa de 30%, com fertilização de liberação lenta;

Para a avaliação da produtividade das erveiras todas as 10 plantas úteis de cada parcela foram consideradas. Por outro lado, para análise do teor de nutrientes e do teor de metilxantinas totais e compostos fenólicos totais, efetuaram-se amostragens de 5 plantas por parcela.

REFERÊNCIAS

ALIKARIDIS, F. Natural constituents of *Ilex* species. **Journal of ethnopharmacology**, v. 20, p.121-144, 1987.

ALMEIDA-RUCKER, N., MAZUCHOWSKI, J. Z. **Desempenho dos indicadores do produto e serviços mate período compreendido entre 1993 e 2010**. Curitiba: SEAB, p.16, 2011.

ANDRADE, F. M. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. IN: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (Org.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, p. 19-34. 2002.

ANDRADE, F. M. **Diagnóstico da Cadeia Produtiva da *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil, Erva-Mate**. São Mateus do Sul: Fundo Brasileiro para a Biodiversidade/FUNBIO, 1999.

ANDRADE, G. H. **Estudo da Espectroscopia na Região do Infravermelho Médio e Próximo para Previsão das Propriedades do Petróleo e Emulsão de Petróleo do Tipo Água em Óleo**. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação Em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ANDRAE, F. H., **Ecologia Florestal**. Universidade Federal de Santa Maria, 230 p. 1978.

ASKE, N.; KALLEVIK, H.; JOHNSEN, E. E.; SJOBLOM, J. Determination of saturate, aromatic, resin and asphaltenic (SARA) components in crude oils by means of infrared and near infrared spectroscopy. **Energy e Fuels**, 15,1304-1312. 2001.

ATHAYDE, M. L. **Saponinas e triterpenos em algumas espécies do Gênero *Ilex***. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 1993.

ATHAYDE, M. L.; COELHO, G. C.; SCHENKEL, E. P. **Phytochemistry**, v. 55, 853-857. 2000.

ATROCH, E. M. A. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata* submetidas à diferentes

condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853–862, jul./ag. 2001.

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

BAGGIO, A. J.; SCHREINER, H. G. Erva-mate e agrossilvicultura, análise dos sistemas tradicionais e perspectivas. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE. (1985: Curitiba) **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, p. 71-74. (Documentos, 15). 1985.

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

BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 96, p. 1-8, dez. 2001.

BELLOTE, A. F. J.; STURION, J. A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). Resultados preliminares. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVAMATE. (1983: Curitiba). **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. p. 124-127. (Documentos, 15). 1985.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Nova Prata, RS**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006.

BERTONI, M. H.; PRAT KRICUN, S. D.; KANZIG, R. G.; CATTANEO, P. Fresh leaves of *Ilex paraguariensis* A. Saint-Hil. III. Effect of different stages of the traditional process for yerba mate production on the composition of fresh leaves. Buenos Aires. **Anales De La Asociación Química Argentina**, v. 80, p. 493-501, 1992.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 328 p. 2004.

BISSO, F. P.; SALET, R. L. **Exportação de nutrientes pela poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.)**. Santa Maria: Departamento de Solos UFSM, 1 CD-ROM. 2000.

BLANCO, M.; BENEYTO, R.; CASTILLO, M.; PORCEL, M. Analytical control of an esterification batch reaction between glycerine and fatty acids by near-infrared spectroscopy. **Analytica chimica acta**, v. 521, p. 143–148, 2004.

BLANCO, M.; VILLARROYA, I. NIR spectroscopy: a rapidresponse analytical tool. **Trends in analytical chemistry**, 21(4), 240-249, 2002.

BOEGER, M. R. T.; ESPINDOLA, JR. A.; CAVICHIOLO, L. E.; MAZUCHOWSKI, J. Z.; MACCARI, JR. A. Efeito das diferentes condições de luz e concentrações de nitrogênio sobre a estrutura foliar de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, 3., 16 a 19 de novembro de 2003. Chapecó (SC); **Anais...** Chapecó: EPAGRI, CD. 2003.

BOKOBZA, L. Near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**. 6:3–17, 1998.

BRAGA, J. W. B.; POPPI, R. J. Validação de modelos de calibração multivariada: uma aplicação na determinação de pureza polimórfica de carbamazepina por espectroscopia no infravermelho próximo. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 1004-1011, 2004.

BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; KOSLOWSKI FILHO, L. **Manual técnico de erva-mate**. Curitiba: Associação de Crédito Rural do Paraná, 40 p. 1980.

BRASIL. Agência Nacional De Vigilância Sanitária; Resolução RDC n. 302, **Diário Oficial da União**, 08/11/2002.

BRAVO, L.; GOYA, L.; LECUMBERRI, E.; LC/MS characterization of phenolic constituents of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) and its antioxidant activity compared to commonly consumed beverages. **Food Res. Int.** 40, 393-405. 2007.

BREMNER, J. M. Nitrogen-total. In: SPARKS, D. L. (ed.). **Methods of soil analysis: part 3 Chemical Methods**. Madison: SSSA, p. 1085-1121. (SSSA book series, 05). 1996.

BRESSANI, F. A.; SILVA, H. O.; NÓBREGA, J. A.; COSTA, L. M.; NOGUEIRA, A. R. A. Digestão de Óleo Lubrificante Encapsulado em Forno de Microondas com Radiação Focalizada por Adição de Amostra ao Reagente Pré-aquecido. **Química Nova**. 29 (6) 1210 – 1214. 2006.

BRUNETON, J. **Pharmacognosie et phytochimie de plants medicinales**. 2. Ed.Paris: Lavosier, 1993.

BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of near-infrared analysis**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 808 p. 2008.

CALDEIRA, A. F.; ROCHA, A. P.; SANTOS, C. V. C.; ALMEIDA, C.; PATELLI, J. E.; CALVOSA, P. S. P; SACON, V.; NIR On Line: **Na Innovation in the VCP Wood Yard**. Colóquio internacional de celulose e papel, Belo Horizonte, Brasil. Março 2007.

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**, São Paulo, 1975.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*: avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba, 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. 1991.

CANSIAN, R. **Variabilidade Genética e de Compostos Voláteis e Semi-Voláteis em Populações Nativas de *Ilex paraguariensis* (St. Hil.) do Brasil, Visando a Conservação da Espécie**. Tese de Doutorado, São Carlos, SP, 2003.

CARDOZO JUNIOR, E. L.; DONADUZZI, C. M.; STURION, J. A.; CORREA, G. Variação nos teores de metilxantinas em dezesseis progênies de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em três municípios do Paraná. In: Congresso Sul-Americano da Erva Mate, 3. Chapecó: EPAGRI. **Anais...** v. 1, p. 41. 2003.

CARDOZO JUNIOR, E. L.; FERRARESE-FILHO, O.; FILHO, L. C.; FERRARESE, M. DE L. L.; DONADUZZI, C. M.; STURION, J. A. Methylxanthines and phenolic compounds in mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) progenies grown in Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, p. 553-558, 2007.

CARINI, M.; FACINO, R. M.; ALDINI, G.; CALLONI, M.; COLOMBO, L. Characterization of phenolic antioxidants from mate (*Ilex paraguariensis*) by liquid chromatography/mass spectrometry and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. **Rapid Commun. Mass Spectrom.** 12, 1813–1819. 1998.

CARNEIRO, M. E. **Classificacao de laminas de Madeira de Pinus spp por espectroscopia optica.**Dissertacao de Mestrado. Universidade Federal do Parana, Curitiba,PR, Brasil, 2008.

CARPANEZZI, A. A. **Banco de sementes e deposição de folheto e seus nutrientes em povoamentos debracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) na Região Metropolitana de Curitiba-PR.** Rio Claro, 170 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. 1997.

CARPANEZZI, A. A.; CARDOSO, A.; VALIO, I. F. M.; GRAÇA, M. E. C.; IEDE, E. T.; HIGA, R. C. V. Queda anormal de folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em 1983. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, p. 141-145.(EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15), 1985.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 1039 p., v. 1. 2003.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras:** recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Curitiba: EMBRAPA/CNPQFlorestas, 1994.

CECCON, O.; BENER, R. W. O. **Contribuição ao estudo da erva-mate (*Ilex* sp).** Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 123-136, 1952.

CHRISTIN, O. **Cubiertas verdes en yerbales.** Cerro Azul: INTA, 4p. (INTA Circular, 31). 1988.

CHRISTIN, O. **Fertilizacion de yerbales.** Santo Pipo: INTA (Circular de Divulgación) 1987.

CLIFFORD, M. N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J. R. Chlorogenic acids and purine alkaloids contents on maté (*Ilex paraguaiensis*) leaf and beverage. **Food Chemistry.** v. 35, p. 13-21.1990.

COELHO, G. C.; RACHWAL, M.; SCHNORREBERGER, E.; SCHENKEL, E. P. Efeito do sombreamento sobre a sobrevivência, morfologia e química da erva-mate. Congresso Sul- Americano da Erva-Mate, 2., 2000, Encantado (RS); Reunião Técnica da Erva-Mate, 3., 2000, Encantado. **Anais...** Porto Alegre: Edição dos Organizadores, p. 6-12. 2000.

COELHO, G. C.; RACHWAL; M. F.G.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; NIETSCHKE, K.; SCHENKEL, E. P. Effect of light intensity on methylxanthine contents of *Ilex paraguariensis* A. St.-Hill. **Biochem. System. Ecol.** 35, 75–80. 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10. ed. Porto Alegre, 400p. 2004.

COSTA, S. G. **A Erva-Mate.** Curitiba: Coleção Farol do Saber, 132p. 1995.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants.** Columbia University Press, Nueva York. 1981.

CSIZINSZKY, A. A. Yield response of bell pepper and tomato to controlled release fertilizer on sand. **J. Plant Nutr.** 9:1535–1549. 1994.

DA CROCE, D. M. Características físico-químicas de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 107-113, 2002.

DA CROCE, D. M. Poda de erva-mate: novos métodos desenvolvidos pela Epagri. In: CONGRESSO SULAMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 351-357. 1997.

DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. **Cultura da Erva-Mate no Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: EPAGRI, 81 p. (Boletim Técnico, 100). 1999.

DA CROCE, D. M.; HIGA, A. R.; FLOSS, P. A. **Escolha de fontes de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) para Santa Catarina.** Florianópolis: EPAGRI, 23 p. (Boletim Técnico, 69) 1994.

DA CROCE, D. M.; NADAL, R. Viabilidade técnica-econômica de sistemas de produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) consorciada com culturas anuais. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 7 Curitiba, **Anais...** 1993.

DA SILVA, V. P.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Sistemas Silvopastoris** - paradigma dos pecuaristas para agregação de renda e qualidade. Curitiba: EMATER, 1999. 52p.

DALE, J. E. The control of leaf expansion. **Annual Review of Plant Physiology**,

Palo Alto, v. 39, p. 267-295, June, 1988.

DE LACERDA, M. E.; FILHO, H. C. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 3, p. 17-21. 2000.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132. 2007.

DIAS-FILHO, M. B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2335-2341, 2000.

DONADUZZI, C. M.; COELHO, S. R. M.; CARDOZO JR., E. L.; GALLO, A. G.; HUPPES, G. K.; KUHN, I. M. V.; SCHICHEL, C. Teores de cafeína, polifenóis totais e taninos em amostras de erva mate comercializadas na região de Toledo – Paraná. In: II° CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE. III° REUNIÃO TÉCNICA DE ERVA MATE. 2000, Encantado/RS, **Anais...** Porto Alegre: Edição dos Organizadores, p. 158-161. 2000.

DRECHSEL, P.; ZECH, W. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. **Plant and Soil** **131**: 29-46. 1991.

DROST, D.; KOENIG, R.; TINDALL, T. Nitrogen use efficiency and onion yield increased with polymer-coated nitrogen source. **HortScience** **37**: p. 338-342. 2002.

EDWIN, G.; REITZ, R. Aquifoliáceas. In: Flora Ilustrada Catarinense (R. Reitz, ed.). Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí, p.1-47. 1967.

EIBL, B.; FERNANDEZ, R. A.; KOZARIK, J. C.; LUPI, A.; MONTAGNINI, F.; NOZZI, D. Agroforestry systems with *Ilex paraguariensis* (American holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. **Agrofor. Systems**, v. 48, p. 1-8. 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relatório de atividade 1978-82**. Curitiba: Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul. 232p. 1983.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: CNPS, 412 p. 1999.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. **IPEF**, n. 43-44, p.1-10. 1990.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Tradução: Maria Edna Tenório Nunes. Ed. 2. Londrina: Editora Planta, 403 p. 2004.

ESMELINDRO, M. C.; OLIVEIRA, D.; TONIAZZO, G.; DARIVA, C.; WACZUK, A. **Caracterização físico-química da erva-mate: Influência das etapas do processamento industrial**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Brasil, v. 22, n. 2, p. 199-204, 2002.

ESMELINDRO, M. C.; TONIAZZO, G.; LOPES, D.; OLIVEIRA, D.; DARIVA, C. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 588-592, 2005.

ESPINDOLA JUNIOR, A. **Morfologia e anatomia foliar de duas espécies medicinais (*Mikania glomerata* Spreng. - Asteraceae e *Bauhinia forficata* Link. - Leguminosae) associada à erva mate, sob diferentes condições de luminosidade**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

ESTEBAN-DÍEZ, I.; GANZÁLES-SÁIZ, J. M.; PIZARRO, C. Prediction of sensory properties of espresso from roasted coffee samples by near-infrared spectroscopy. **Analytical Chimica Acta**, n. 525, p. 171-182, 2004.

FELIZARDO, P.; BAPTISTA, P.; MENEZES, J. C.; CORREIA, M. J. N. Multivariate near infrared spectroscopy models for predicting methanol and water content in biodiesel. **Analytica Chimica Acta**, v. 595, p.107–113, 2007.

FERREIRA FILHO, J. C. **Cultura e preparo de erva-mate**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1957.

FERREIRA, A. G.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; CUNHA, G. G. Fisiologia de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. com ênfase na embriologia experimental. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1994. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: FAPERGS, p. 161-172. 1994.

FERREIRA, M. T. T. Erva-mate. **Grande manual Globo**, v. 2, 3.ed., Globo, p. 132-136. 1979.

FILIP, R.; LÓPEZ, P.; GIBERTI, G.; COUSSIO, J.; FERRARO, G. Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species. **Fitoterapia**, v. 72, p. 774-778, 2001.

FILIP, R.; LOTITO, S. B.; FERRARO, G.; FRAGA, C. G. Antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* and related species. **Nutr. Res. (N.Y.)** 20, 1427–1446. 2000.

FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação da biomassa comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em função do diâmetro da copa, altura total e área folhada da copa. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 374-380. 2004.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 3. ed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 751 p. 2006.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil., em função do sítio e da dioicia**. 1997. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

FRANCO, H. M. Erva-mate: O Mercosul dispõe dessa exclusividade. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 5, n. 4, p. 24-30, 1992.

FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; SILVA, I. R.; ACCIOLY, A. M. A. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 567-573, 2000.

GAIAD, S.; LOPES, E. S. Ocorrência de micorriza vesicular-arbuscular em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.12, p. 21-29, 1986.

GALVÃO, F. **Variação Sazonal da Fotossíntese Líquida e Respiração de *Cabralea canjerana* (Veil.) Mart., *Ilex paraguariensis* St. Hil. e *Podocarpus lambertii* Kl. em Função da Intensidade Luminosa e Temperatura**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1986.

GARRIDO, M. A. de O. **Caracteres silviculturais e conteúdo de nutrientes no folheto de alguns povoamentos puros e misto de espécies nativas**. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 1988.

GIBERTI, G. C. Aspectos oscuros de la corologia de *Ilex paraguariensis* St. Hil.. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIATH, J. E. de A.; TARASCONI, L. C. org. **Erva-mate**. Biologia e cultura no Cone Sul. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p. 289-300. 1995.

GIVNISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 15, p. 63-92, 1988.

GLIESSMANN, S. R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: EDURGS / UFRGS, 653 p. 2000.

GOERTZ, H. M. Technology development in coated fertilisers. In: "Proc. DahliaV Greidinger Memorial Int. Workshop on Controlled/Slow Release Fertilisers" (Y. Hagin *et al.* Eds, Technion, Haifa. Israel, 1995.

GONÇALVES, J. F. de C.; VIEIRA, G.; MARRENCO, R. A.; FERRAZ, J. B.; JUNIOR, U. M. dos S.; BARROS, F. C. Nutritional status and specific leaf area of mahogany and tonka beans under two light environments. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 23-27, 2005.

GOOGLE EARTH. **Software licenciado pela Google**. v. 7.0.3.8542, EUA, 2013.

GOSMANN, G. **Saponinas de *Ilex paraguariensis* St. Hil.** Dissertação de Mestrado em Farmácia. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 108 p. 1989.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. DOS.; SCHNEIDER, L. 2002. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L. L. & Lino, C. F. (Orgs). **Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais**. Editora Senac São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 85-101.

GULCIN, I. Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). **Toxicology**, 217, 213, 220. 2006.

HALL, W. L. Vigoro Industries. Reply to the request on controlled-release fertilizers. Personal communication, 1996. IN: **Slow and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. 2 ed. IFA, Paris, France, October 2010.

HANSEL, F. A.; RAKOCEVIC, M. I.; FONTOURA, L.; GUIOTOKU, M.; MAGALHÃES,

W. L. E. Perspectiva da espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na análise sensorial de erva-mate chimarrão em pó. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4.; REUNIÓN TÉCNICA DE LA YERBA MATE, 4., EXPOSICIÓN DE AGRONEGOCIOS DE LA YERBA MATE, 2., 2006, Posadas. **Actas**. Posadas: INTA, p. 78-83. 2006.

HAUCK, R. D. Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilisers. *In* "Fertiliser technology and use", **O.P. Engelstad**, Ed. pp. 293-322. 3rd ed. SSSA Madison, WI.1985.

HECK, C. I.; MEJIA, E. G. Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): A Comprehensive Review on Chemistry, Health Implications, and Technological Considerations. **Journal of food science**, 72, 138-151. 2007.

HEIN, P. R. G. **Avaliação das propriedades da Madeira de Eucalyptus urophylla por meio da espectroscopia no infravermelho próximo**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

HEINRICHS, R.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do produto da erva-mate (*Ilex Paraguariensis* St. Hil). **Ciência Rural**, v. 31, n 5, 781-785. 2001.

HILDEBRAND, C.; HILDEBRAND, E. E.; REISSMANN, C. B. **Manual de análise química do solo e foliar para técnicos de laboratório**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, 214 p. 1976.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6 ed. Bookman, Sao Paulo. 2009.

HUANG, L.; BELL, R. W.; DELL, B.; WOODWARD, J. Rapid Nitric Acid Digestion of Plant Material with a Open – Vessel Microwave System, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 3 e 4, p. 427-440. 2004.

HUBER, D. M.; THOMPSON, I. A. Nitrogen and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul-USA: APS. p. 31-44. 2007.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas do estado do Paraná**. Londrina, 49 p. ilustr. (IAPAR, Documento, 18). 1994.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2011.**

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2011/default_xls.shtm>
Acesso em 03/03/2013.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 92 p. 1992.

INOUE, M. T. **Bases fisiológicas para a silvicultura de espécies nativas.** In: INOUE *et al.* (Ed). A silvicultura de espécies nativas. Fupef, Curitiba. p. 1-8. 1983.

ITCG. **Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Produtos Cartográficos. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Disponível em <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>. Acesso em 06/04/2013.

JONES JR., J. B. **Plant Nutrition Manual.** Boca Raton: CRC Press, 149 p. 1998.

JONES JR., J. B.; CASE, V. W. Sampling handling and analyzing plant tissue samples. In: WESTERMAN R. L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis.** Madison: SSSA, p. 389-427. (SSSA Book Series, 03). 1990.

JONES JR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant Analysis Handbook,** Georgia, 1991.

JONES, P. D.; SCHIMLECK L. R.; PETER, G. F. Nondestructive estimation of wood chemical composition of sections of radial wood strips by diffuse reflectance near infrared spectroscopy. **Wood Science and Technology**, v. 40, p. 709–720, 2006.

KARAKAYA, S. Bioavailability of phenolic compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v 44, n. 6 p. 453 e 464. 2004.

KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento e trocas gasosas de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).** Porto Alegre, 42 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1985.

KAWAKAMI, M.; KOBAYASHI, A. Volatile constituents of green mate and roasted mate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, p. 1275-1279, 1991.

KENKEL, J. **Analytical chemistry for technicians**. Boca Raton: CRC. 541 p. 1994.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba : Ed. do Autor, 1993.

KIHARA, M.; TAKAYAMA, M.; WARIISHI, H.; TANAKA, H. Determination of the carbonyl groups in native lignin utilizing Fourier transform Raman spectroscopy. **Spectrochimica Acta**. Part A: Molecular and biomolecular Spectroscopy, v. 58, n. 10, p. 2213-2221, 2002.

KLICH, M. G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 44, p. 171-183, 2000.

KLOTH, B. Aglukon Spezialdunger GmbH: Reply to the request on controlled release fertilizers. Personal communication. 1996. **IN: Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. 2 ed. IFA, Paris, France, October 2010.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 745 p. 1972.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of Trees**. McGraw-Hill Book Co., New York 1960.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants**. New York, Academic Press, 811 p. 1979.

LAMMEL, J. Cost of the different options available to the farmers: Current situation and prospects. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. **International Fertilizer Industry Association**, Paris, France. 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Editora Pedagógica e Universitária Ltda., São Paulo. 1986.

LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure

and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 87, p. 447-455, 2000.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; FABRES, A. S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 419-426, 1998.

LIMA, R. L. S.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O. Diagnose foliar da gravioleira (*Annona muricata* L.): efeito da posição de ramos e folhas. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras-MG, v. 31, n. 5, p. 1320-1325, 2007.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. IN: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPFFlorestas,. p. 299-315. 1997.

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAI, M. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em latossolo vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.34, p.75-98, jan./jun. 1997.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; NEIVERTH, D. D. Efeitos de níveis de potássio sobre a adubação de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no Município de Ivaí/PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, p. 245-248. 2000.

LÜTTGE, U. **Physiological ecology of tropical plants**. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.1997.

LYR, H.; POLSTER, H.; FIEDLER, H. J. **Gehölz Physiologie**. Jena, VEB Gustav Fischer. 444 p. 1967.

MACCARI JUNIOR. A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate**. Curitiba: Câmara Setorial Produtiva da Erva-Mate do Paraná. 160 p. 2000.

MAGALHÃES, R. A. S. **Quantificação e localização da biomassa florestal**. Coimbra. 145 f. Monografia (Estágio Profissionalizante) Escola Superior Agrária de Coimbra. Instituto Politécnico de Coimbra.1993.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres Ltda. 1980.

MALINOWSKI, E. R. **Factor Analysis in chemistry**, 2th. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.

MARIN, D.; MEDINA, E. Duracion foliar, contenido de nutrientes y esclerofilia en arboles de un bosque muy seco tropical. **Acta Científica Venezolana** **32**: 508-514. 1981.

MARQUES, A. R.; GARCIA, Q. S.; FERNANDES, G. W. Effects of sun and shade on leaf structure and sclerophylly of *Sebastiania myrtilloides* (Euphorbiaceae) from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. **Boletim Botânico da Universidade de São Paulo**, [São Paulo], v. 18, p. 21-27, 1999.

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**. 2. ed. London: Academic Press, 889 p. 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higer plants**. London: Academic Press, 647p. 1986.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CARBONO DO CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, **Anais...** Rio de Janeiro, Companhia Vale do Rio Doce, p. 197-221. 1994.

MARTINS, A. P.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agrária**, v.8, n.1., p.1-17, 2007.

MARTINS, F. B. **Estabelecimento de equações de biomassa para *Pinus pinaster* Aiton**. 92f. Monografia (Relatório de estágio) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

MAZUCHOWSKI J. Z. **Manual da Erva-mate**. Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER-PR. Curitiba, 104 p. 1989.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; MACCARI JUNIOR, A.; SILVA, E. T. Influência de diferentes condições de radiação solar sobre o crescimento morfológico da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, 3., 16 a 19 de novembro de 2003. Chapecó (SC); **Anais...** Chapecó: EPAGRI, CD. 2003.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **A Cultura da Erva-mate**. 2 Ed., Curitiba: Emater, 1991.

MAZUCHOWSKI, J. Z. Alternativas para incremento da produção de ervais nativos. Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, 2., 2000, Encantado (RS); Reunião Técnica da Erva-Mate, 3., 2000, Encantado. **Anais...** Porto Alegre: Edição dos Organizadores, p. 6-12. 2000.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Incorporação e exportação de biomassa e de nutrientes pela erva-mate**. Curitiba: UFPR/EMATER, 2001. 28p.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Manual da Erva-mate (*Ilex Paraguarienses* St. Hil.)**. Curitiba: EMATER-Paraná, 1991.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; RUCKER, N. G. A. **Erva-Mate - Prospecção Tecnológica da cadeia Produtiva**. Documento Executivo. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 27 p. 1997.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; SILVA, E. T.; MACCARI JR, A. M. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Rev. Árvore** vol. 31 n. 4 Viçosa, Jul/Ago. 2007.

MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. **Braz. J. Plant Physiol.** 6, 149–151. 1994.

MEDRADO, M. J. S. **Cultivo da erva-mate: sistemas de produção**. Colombo: Embrapa/CNPF 2005.
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fontesHTML/Erva-mate/Cultivo da Erva Mate/index.htm>> Acesso em: 02/01/2013.

MELLO, D. V. **Morfologia e germinação da semente de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.)**. Pelotas: UFPEL, 49p. 1980. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Pelotas, 1980.

MENDES, M. M.; GAZARINI, L. C.; RODRIGUES, M. L. Acclimation of *Myrtus communis* to contrasting Mediterranean light environments – effects on structure and

chemical composition of foliage and plant water relations. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 45, p. 165-178, 2001.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 281-298. 2006.

MEYER, B. S.; ANDERSON, B. D.; BOHNING, R. H. **Introdução à fisiologia vegetal**. Lisboa, Fund. Calouste Gulbekian, 564. 1970.

MUNIZ, G. I. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; CARNEIRO, M. E.; VIANA, L. S. Fundamentos E Estado da arte da Espectroscopia Infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 865-875, out.-dez., 2012.

NEUMANN, R. I. **Anuário Brasileiro da Erva-Mate** - 1999. Santa Cruz do Sul/RS, Editora Gazera, 79 p. 2000.

OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH AND SAFETY. **Chemical safety manual**. San Francisco: University of California, 120 p. 2001. Disponível em <<http://or.ucsf.edu/ehs/10411-DSY/version/default/part/4/data>> acesso em 05/04/2013.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE, 10, 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: URPFCs, 1983. p.17-35. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 25).

OZAKI, Y.; MCCLURE, W. F.; CHRISTY, A. A. **Near-infrared spectroscopy in food science and technology**. Wiley Inter-science, p. 408, 2007.

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 um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

PANTOJA, P. A. **Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na caracterização da carga de petróleo para o processo de destilação atmosférica**. 2006. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PASQUINI, C.; Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Pratical Aspects and Analytical Applications, **J. Brazil Chem. Soc.**, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PEREIRA, C. A. F.; PONTES, C. M. J.; NETO, G. F. F.; SANTOS, B. S. R.; GALVAO, H. R. K.; ARAUJO, U. M. C. NIR spectrometric determination of quality parameters in vegetable oils using iPLS and variable selection, **Food Research International**. 41: 341-348. 2008.

PEREIRA, C. M.; HANSEL, F. A.; RADOMSKI, M. I.; VERDECKIN, M. G. Micro-ondas como alternativa na abertura de amostras para dosagem de silício em tecido foliar de espécies florestais por determinação colorimétrica. **Revista Pesquisa florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 105-109, Jan./ Jun., 2008.

PERKIN-ELMER. **Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry**. Norwalk: Perkin-Elmer Corporation. 1973.

PHILIPPOVSKY, J. F.; MEDRADO, M. J. S.; DEDECEK, R. A. Produtividade da ervamate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) influenciada pelo uso de diferentes coberturas verdes do solo em Ponta Grossa-PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2; Reunião Técnica do Cone Sul sobre a Cultura da erva-mate, 3., 2000. Encantado. **Anais...** Porto Alegre. UFRGS e FEPAGRO, p. 286-289. 2000.

POLETTO, I.; MUNIZ, M. F. B.; CECONI, D. E.; SANTIN, D.; WEBER, M. N. D.; BLUME, E. Zoneamento e identificação de *Fusarium* spp. causadores de podridão de raízes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* a. St.-Hil.) na região do Vale do Taquarí - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.1, p.1-10, 2006.

POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Oxford, v. 13, p. 396-410, 1999.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Manejo de doenças de plantas com macro e micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA 36, Uberlândia. **Anais...** Brasília, DF: SBF, 2003. p. 52-53. (Fitopatologia Brasileira, v. 28, Suplemento). 2003.

PRAT KRICUN, S. D. Investigación agronómica en la República Argentina. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFlorestas, p. 82-93. 1985.

PRAT KRICUN, S. D. Yerba mate. **Investigación agronomica en la Republica Argentina Cerro Azul**: INTA, Estación Experimental Agropecuária Misiones. 1983.

RABAN, S. **Registration of Controlled/Slow Release Fertilizers**. Agronomic Department, Haifa Chemicals. Haifa, Israel. 1995.

RABAN, S. **Release mechanisms of membrane coated fertilizers**. Research thesis. Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 1994.

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, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, p. 417-420. 2000.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; DEDECK, R. A.; NIETSCHKE, K.; FILHO, F. E. S.; VOGEL, R. C. Influência da luminosidade sobre a produtividade da erva-mate em latossolo vermelho-amarelo em São Mateus do Sul-PR. In: CONGRESSO SULAMERICANO DA ERVA-MATE, 1; Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate, 2., 1997,. Curitiba. **Anais...** Colombo. EMBRAPA-CNPQ, p. 445. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33). 1997.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S; TAKAKI, M. Aspectos Fotomorfogenéticos de Plantas Jovens de Erva-Mate. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE 3,. REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3. 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó, EPAGRI, 2003.

RAKOCEVICZ, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, T. A. Influência do sexo, da sombra e da idade de folhas no sabor do chimarrão. In: 40 CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE. 2006, Argentina. **Actas. Argentina:** INYM, INTA, UNaM, EPAGRI, 1ª Ed, p. 31-36. 2006.

RAMIREZ-MARES, M. V.; CHANDRA, S.; MEJIA, E. G.; In vitro chemopreventive activity of *Camellia sinensis*, *Ilex paraguariensis* and *Ardisia compressa* tea extracts and selected polyphenols. **Mutation Research**. 554, 53–65, 2004.

RATES, S. M. K.; SIMÕES, C. M. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5 ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/ Editora da UFSC, 2004.

RAYMOND, C. A.; SCHIMLECK, L. R.; MICHELL, A. J.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. III. Predicted pulp yield using near infrared reflectance analysis. **Wood Science and Technology**, New York, v. 35, p. 203–215, 2001.

REGINATTO, F. H.; ATHAYDE, M. L.; SCHENKEL, E. P. Methylxanthines accumulation in *Ilex* species-caffeine and theobromine in erva-mate (*Ilex paraguariensis*) and other *Ilex* species. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 10, n 6, 443-446. 1999.

REISSMANN, C. B. **Composição química interespecífica da erva-mate em plantios comerciais do Paraná.** Curitiba: CNPq/DSEA/UFPR. Relatório Técnico Final-Fase I. 68 p. 2004.

REISSMANN, C. B.; DÜNISCH, O.; BOEGER, M. R. T. Beziehungen Zwischen Ernährungsbiologischen (Fe, Mn und Ca) und Strukturellen Merkmalen Ausgewälter Morphotypen der Mate-Pflanze (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **In:** HÜTTEL, R. (Ed.) Boden, Wald und Wasser. Aachen: Shaker Verlag. 249 p. 2003.

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

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira de Santa Catarina.** Sellowia, Itajaí, n. 28-30, 320 p. 1978.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Madeiras do Brasil. Santa Catarina.** Florianópolis: Lunardelli, 320 p. 1979.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; MUNIZ, J. A.; FARIA, M. R. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 160-173, Jan/Mar. 2000.

RIBEIRO, C.; MADEIRA, M. Decomposição e liberação de nutrientes de agulhas de *Pinus pinaster* na região Centro Litoral de Portugal. **In:** ENCONTRO ANUAL SOCIEDADE PORTUGUESA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2003, Coimbra: **Anais...**Coimbra, ESAC, p. 110. 2003.

RICCIO, R. A.; WAGNER, M. L.; GURNI, A. A. Estudio comparativo de flavonóides em especies austrosudamericanas del genero *Ilex*. **In:** Erva Mate – Biología e cultura no Cone Sul. Ed. Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 1995.

RODIGHERI, H. R.; MEDRADO, M. J. S.; DOSSA, D.; WACZUK, A. Avaliação da rentabilidade do plantio direto de culturas anuais com e sem o uso de herbicidas nas entrelinhas da erva-mate, município de Aurea, RS. Colombo: Embrapa Florestas, 4 p. (**Embrapa Florestas. Comunicado Técnico**, 37). 2000.

SALATI, E. Emissão x sequestro de carbono do CO₂ In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CARBONO DO CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, CVRD, p. 13-37.1994.

SALDAÑA, M. D. A.; ZETZL, C.; MOHAMED, R. S.; BRUNNER, G. Extraction of methylxanthines from guaraná seeds, mate leaves, and cocoa beans using supercritical dioxide and ethanol. **J. Agric. Food Chem.**, 4820–4826. 2002.

SAMISTRARO, G. **Previsão das propriedades químicas da polpa e papel Kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NiR) e regressão de mínimos quadrados parciais (pLS)**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

SANTIN, D. **Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

SANZ, M. Evaluation of interpretation of DRIS system during growing season of the peach tree: Comparison with DOP method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, p.1025-1036, 1999.

SCHERER, R.; URFER, P.; MAYOL, M. R. Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. **Euphytica** V. 126, p. 203-210, 2002.

SCHEEREN, L. W. **Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste**. 2003. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SCHIMLECK, L. R.; TYSON, J.; JONES, P. D. *Pinus taeda* L. wood property calibrations based on variable numbers of near Infrared spectra percore and cores per plantation. **Journal of near infrared Spectroscopy**. V.15, n 4, p 261. 2007.

SCHLOSSMACHER NETO, L. Viabilidade técnico-econômica da fertilização mineral e calagem na cultura da erva-mate. In: I SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS

AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL. (1994: Colombo) **Anais...** Colombo: EMBRAPA. p.223-230. (Documentos, 26) 1994.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM. 566 p. 2008.

SCHREINER, H. G.; BAGGIO, A. J. Sistemas agroflorestais com erva-mate: resultados preliminares. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10.; Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguayensis* St. Hil.), 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ. p. 75-81. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15). 1983.

SCHULTZ T. P.; BURNS D. A. Rapid secondary analysis of lignocellulose: comparison of near infrared (NIR) and Fourier transformation infrared (FTIR), **Tappi journal**, v. 73, n. 5, p.209 – 212, 1990.

SCHUMAN, L. M. Mineral nutrition. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). **Plant-environment interactions**. New York: Marcel Dekker, p. 149-182.1994.

SEAB Paraná. **Erva-mate – Prospecção tecnológica da cadeia produtiva**. Documento Executivo. Curitiba, 27 p. 1997.

SEFARA, N. L.; CONRADIE, D.; TURNER, P. Progress in the use of near infrared absorption spectroscopy as a tool for the rapid determination of pulp yield in plantation eucalypts. **Tappi Journal**, p. 15-17, Nov. 2000.

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation – A review. **Fertilizer Research** 35, 1-12. 1993.

SHAVIV, A. "Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: Agronomic efficiency and environmental significance". Proceedings No 431 pp. 1-35. **International Fertiliser Society**, York, UK. 1999.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy** 71: 1-49. 2000.

SHAVIV, A. Controlled Release Fertilizers. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. **International Fertilizer Industry Association**. Paris, France. 2005.

SHAVIV, A. Improvement of fertilizer efficiency – Product Processing, Positioning and Application Methods. Proceedings 469, **International Fertiliser Society**, York, UK. pp 23. 2001.

SHAVIV, A.; SMADAR, R.; ZAIDEL, E. Model of diffusion release from polymer coated granular fertilizers. **Environmental Science and Technology** 37, 2251-2256. 2003.

SHOJI, S. Innovative use of controlled availability fertilizers with high performance for intensive agriculture and environmental conservation. Science in China Ser. C. **Life Sciences** 48, 912-920. 2005.

SHOJI, S.; DELGADO, J.; MOSIER, A.; MIURA, Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. Communications in **Soil Science and Plant Analysis** 32, 1051-1070. 2001.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Spectrometric identification of organic compounds**. 6ª. ed. John Wiley e sons, 550 p. 2005.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. **Principios de análises Instrumental**. 5º Ed., São Paulo, 2002.

SMITH, W. K.; VOGELMANN, T. C.; DELUCIA, E. H.; BELL, D. T.; SHEPHERD, K. A. Leaf form and Photosynthesis: do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? **Bioscience**, Washington, DC, v. 47, n. 11, p. 785-793, 1997.

SOBRADO, M. A.; MEDINA, E. General morphology, anatomical structure, and nutrient content of sclerophyllous leaves of the "bana" vegetation of Amazonas. **Oecologia** 45: 341-345. 1980.

SOSA, D.A. Fertilizacion quimica. 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, p. 68-85. 1994.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 215-252. 2006.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestais**. Disponível em: < www.ufsm.br/dcfl/seriestecnicas/serie2.pdf>. Acesso em 10 jan. 2013. 71 p. 2000.

ST. CLAIR, J. B. Family differences in equations for predicting biomass and leaf area in Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *Menziesii*). **Forest Science**, Bethesda, v.39, n. 4, p. 743-755, nov. 1993.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences**. New York, Mc Graw Hill, 481 p. 1960.

STREIT, N. M.; HECKTHEUER, L. H. R.; CANTO, M. W.; MALLMANN, C. A.; STRECK, L., PARODI, T. V.; CANTERLE, L. P. Relation among taste-related compounds (phenolics and caffeine) and sensory profile of erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Food Chemistry**, v. 102, p. 560–564, 2007.

STURION, J. A. Produção de mudas e implantação de povoamentos com erva-mate. Curitiba, EMBRAPA-CNPQ, **EMBRAPA-CNPQ**. Circular Técnica, n. 17, 10 p. 1988.

TACHIBANA, M. Chissoasahi Fertilizer Co., Ltd: Personal report. 2007. In **Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. Second edition, IFA, Paris, France, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p. 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 05), 1995.

THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K.; KRIEDEMANN, P. E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade tolerant rainforest trees. II Leaf Gas exchange and Component processes of Photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**, Canberra, v. 19, n. 1, p. 19-42, jan. 1992.

TILMAN, D. **Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities**. Princeton, New Jersey, **Princeton University Press**, 362 p. 1988.

TORRES, D. V. **Influência da luz no desenvolvimento das mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert) Ktze.** Curitiba. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 1980.

TRENKEL, M. E. **Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture.** The International Fertilizer Industry Association, Paris. 1997.

URBAN, T. **O livro do matte.** Rio de Janeiro: Salamandra, 93 p. 1990.

VALDUGA, A. T. **Uso sustentado e processamento de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Erva-mate).** 216 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. 2002.

VALDUGA, E.; FREITAS, R. J. S.; REISSMANN, C. B.; NAKASHIMA, T.; Caracterização Química da Folha de *Ilex Paraguariensis* St. Hil. (Erva-Mate) e de Outras Espécies Utilizadas na Adulteração do Mate. B. **CEPPA**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 25-36, jan./jun.1997.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 24 p. (Boletim Técnico, 7), 1969.

VIEIRA, A. R. R.; SUERTEGARAY, C. E. O.; HELDWEIN, A. B.; MARASCHIN, M.; SILVA, A. L. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 91-97, jan./abr. 2003.

VIEIRA, M. A.; TRAMONTE, K. C.; PODESTA, R.; AVANCINI, S. R. P.; AMBONI, R. D. M. C.; AMANTE, E. R. Physicochemical and sensory characteristics of cookies containing residue from king palm (*Archontophoenix alexandrae*) processing. **International Journal and Food Science Technology**, v. 43, p. 1534–1540, 2008.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JR., R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics** 17: 137-167. 1986.

VOGELMANN, T. C.; NISHIO, J. N.; SMITH, W. K. Leaves and light capture: light propagation and gradients of carbon fixation within leaves. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 1, n. 2, p. 65-70, 1996.

WANG, F. Modelling Nitrogen Transport and Transformations in Soils Subject to Environmentally Friendly Fertilization Practices. **Research thesis. Technion** – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 1996.

WARING, R. H.; SCHLISINGER, W. H. **Forest Ecosystems. Concepts and management.** Orlando, Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publishers. 1985.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. A fixação de carbono em Florestas Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. **As florestas e o carbono.** SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S., editores. Curitiba: Brasil. 265 p. 2002.

WEBB, D. A. XCIX - Aquifoliaceae. In: TUTIN, T. G.; HEYWOOD, V. H.; BURGESS, N. A.; MOORE, D. M.; VALENTINE, D. H.; WALTERS, S. M.; WEBB, D. A. (eds.) **Flora Europaea.** Cambridge: University Press, v.2, p. 241. 1968.

WEN, G.; SCHOENAU, J. J.; YAMAMOTO, T.; INOUE, M. A model of oxidation of an elemental sulfur fertilizer in soils. **Soil Sci.** 166: 607-613. 2001.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. A luz e a vida das plantas. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo. **Temas de Biologia.** vol. 30. 101 p. 1982.

WIETESKA, E.; ZIÓEK, A.; DRZEWINSKA, A. Extraction as a method for preparation of vegetable samples for the determination of trace metals by atomic absorption spectrometry. **Analytica Chimica Acta,** 330 251-257. 1996.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. Near-Infrared technology in the agriculturam and food industries. Minnesota: **AACC,** 1998.

WINGE, H.; DA CROCE, D. M.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Diagnóstico e perspectivas da erva-mate no Brasil.** Chapecó: Comissão Organizadora do Estudo sobre Diagnóstico e Perspectivas da Erva-Mate no Brasil, 27 p. 1996.

WOLD, S.; SJÖSTRÖM, M., Chemometrics, present and future success. **Chemometrics and intelligent laboratory Systems,** v. 44, p. 3-14, 1998.

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VALE, F. X. R. Efeito da nutrição mineral sobre doenças de plantas causadas por patógenos de solo. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo**

integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto. Viçosa: UFV. p. 347-403. 2001.

ZAMPIER, A. C. **Avaliação de Níveis de Nutrientes, Cafeína, e Taninos em Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, PR, Brasil, 2001.

ZANOELO, E. F.; MENIN, J. C.; ZARKREZEVSKI, C.; CARDOZO FILHO, L.; **Influence of operating conditions on the drying of mate (*Ilex paraguariensis*) leaves with superheated steam.** In: International Drying Symposium, v. C., p. 1577-1583. 2004.

ZHANG, M. Effect of coated controlled-release fertilizer on yield increase and environmental significance. (Chinese) **Ecology and Environment.** 2007.

ZHANG, Q. L.; ZHANG, M.; TIAN, W. B. Leaching characteristics of controlled release and common fertilizers and their effects on soil and ground water quality. (Chinese) **Soil and Environmental Sciences**, 10(2), 98-103. 2001.

ZVOMUYA, F.; ROSEN, C. J.; RUSSELLE, M. P.; GUPTA, S. C. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. **J. Environ. Qual.** 32: 480-489. 2003.

CAPITULO I - PRODUTIVIDADE DA ERVA MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO SOB DIFERENTES LUMINOSIDADES E FERTILIZAÇÕES

RESUMO

Na condução de povoamentos de espécies florestais, a consorciação silvicultural caracteriza-se como alternativa para o aumento da produtividade do sistema. Objetivando verificar a produtividade da erva-mate em consórcio com eucalipto, estabeleceu-se experimento com luminosidade de 60, 45 e 30% e tratamentos de fertilização convencional e lenta. Durante dois anos foram mensuradas variáveis biométricas fenotípicas e de produtividade. Constituiu-se um delineamento de blocos ao acaso, em um esquema experimental fatorial 3 por 3, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 27 parcelas experimentais de 180 m² de área média, com 10 plantas úteis em cada parcela. Os resultados obtidos demonstram a ineficiência da utilização de fertilizantes na variável altura e diâmetro de copa das erveiras, sendo que para todos os níveis de luminosidade e na ausência de fertilização houve indução de maior altura. As melhores condições para incremento de diâmetro de copa foram verificadas nos tratamentos com maior luminosidade. A maior área foliar foi verificada nos tratamentos com luminosidade de 30% e 45%. Nos tratamentos com luminosidade de 60% houve uma tendência de aumento do peso da biomassa comercial úmida, quando comparada com luminosidade de 45% e 30%. A fertilização promoveu efeitos discretos à produtividade da cultura de erva mate.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Silvicultura. Adubação. Luz.

CHAPTER I - DIFFERENT PRODUCTIVITY OF THE YERBA MATE GRASS JOINED WITH EUCALYPTUS UNDER LUMINOSITY AND FERTILIZATIONS

ABSTRACT

In conducting stands of forest species, intercropping trees characterized as an alternative to increase system productivity. To ascertain the productivity of yerba mate in consortium with eucalyptus, settled experiment with brightness of 60, 45 and 30% and fertilization treatments and conventional slow. For two years were measured biometric variables phenotypic and productivity. Consisted of a randomized block design, in a factorial experimental design 3 for 3 with 9 treatments and 3 replications, totaling 27 plots of 180 m² area average, with 10 plants in each plot useful. The results demonstrate the inefficiency of fertilizer use in variable height and crown diameter in trees of yerba mate, and for all light levels and in the absence of fertilization there was induction of greater height. The best conditions for growth of crown diameter were observed in treatments with high brightness. The highest leaf area was observed in the treatments with brightness of 30% and 45%. In the treatments with brightness of 60% there was a trend of increasing weight of wet biomass trade, compared with 45% brightness and 30%. Fertilization promoted the discrete effects of crop productivity mate.

Key-words: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Forestry. Fertilizer. Light.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de historicamente a erva-mate ter sido explorada em sistemas naturais ou em povoamentos puros, introdução do consórcio silvicultural com espécies florestais madeiráveis vem despertando o interesse dos produtores por apresentar-se como alternativa de incremento da renda pela produção de lenha visando queima no processo de fabricação de erva-mate para chimarrão, ou para venda de madeira em forma de tora para distintos usos.

A erva-mate caracteriza-se como uma planta esciófila, aceitando a sombra em qualquer idade, tolerando mais luz na fase adulta (CARVALHO, 2003). Portanto, a associação com espécies florestais madeiráveis é recomendável, apesar de pouco se saber sobre a melhor densidade de plantio de espécies florestais em ervais comerciais implantados e a luminosidade adequada para exercer influência direta na produtividade da erva-mate (FERREIRA *et al.*, 1994; RACHWAL *et al.*, 1998; MORAES *et al.*, 2000).

Ferreira *et al.* (1994) estudando o desenvolvimento da erva-mate sob diferentes condições de sombreamento e disponibilidade hídrica concluíram que com 60% a 80% de sombreamento, o desenvolvimento da muda foi maior, isto é, apresentou um maior peso seco devido ao maior vigor da planta.

Além de fator importante de produção e produtividade das plantas, a luz solar é essencial para a fotossíntese, cuja intensidade e duração devem ser adequadas (DA CROCE e FLOSS, 1999). Plantas de sub-bosque ou sombreadas apresentam alteração da espessura foliar quando colocadas a pleno sol, porque a água, o solo e a intensidade luminosa influenciam a estrutura foliar. A cutícula da folha de erva-mate apresentam morfologia específica, sendo que nas plantas de habitat mais úmido ou mais arejado tem estrias cuticulares menos desenvolvidas (BOEGER *et al.*, 2003; ESPINDOLA JUNIOR, 2006).

De uma forma geral, os diversos estudos têm considerado que o microclima e, em especial, a luminosidade, são fatores determinantes das

características de alteração da área foliar e da fitomassa nos cultivos de erva-mate (THOMPSON *et al.*, 1992; LEE *et al.*, 2000).

Dentre as principais preocupações na exploração dos ervais consorciados está sua produtividade, pois envolve critérios de manejo da luminosidade e formas de fertilização dos sistemas agroflorestais para que promovam a sua sustentabilidade. Assim se uma parte da planta for capaz de emergir da sombra e alcançar a luz plena do sol, sem sombreamento, a fotossíntese naquela parte pode compensar o sombreamento e os fatores fisiológicos adversos que ocorrem no restante das plantas, permitindo um desenvolvimento adequado (GLIESSMANN, 2000).

A luz é um dos mais importantes fatores abióticos que afeta a fisiologia e a morfologia dos vegetais. Os ajustes morfofisiológicos que ocorrem nas plantas são relacionados principalmente com a manutenção da eficiência do balanço entre o ganho de carbono, pela fotossíntese, e a perda de água, pela transpiração (GIVNISH, 1988; TAIZ e ZEIGER, 2004). Consequentemente, as folhas desenvolvem características estruturais para otimizar esse processo (VOGELMANN *et al.*, 1996; SMITH *et al.*, 1997), o que reflete na produção de massa verde das plantas.

O microclima e, em especial, a luminosidade, são fatores determinantes das características de alteração da área foliar e da fitomassa nos cultivos de erva-mate, constituindo em parâmetros analisados pela pesquisa, sendo obtidos parâmetros de forma concordante aos referidos por Ferreira *et al.*, (1994) e Vieira *et al.*, (2003).

Os fatores que concorrem para a diferenciação no sabor da erva-mate têm sido objeto de especulações, sendo os fatores promotores dessas diferenças pouco conhecidos. Para Vieira *et al.* (2003), uma das dificuldades nessa determinação é a caracterização microclimática dos ambientes de sistemas agroflorestais onde a espécie é cultivada, devido a heterogeneidade da distribuição de radiação solar naqueles ambientes e, por conseqüência, da qualidade da luz disponível às plantas.

Especialmente em sistemas consorciados, é indiscutível a importância da luminosidade e dos níveis nutricionais dos solos sobre o crescimento e

desenvolvimento das plantas de erva-mate, principalmente pela competição por luz e por nutrientes estabelecidas no ambiente. O crescimento de caules e folhas pode ser severamente limitado se ocorrer sombreamento excessivo por outras plantas, além de ocorrer também uma variação na temperatura do solo e, conseqüentemente, nos processos abióticos e bióticos de absorção de nutrientes pela planta (MAZUCHOWSKI, 2004).

Os sistemas consorciados caracterizam-se por apresentar uso do solo mais intensivo, demandando maior aporte nutricional pelas plantas. Por outro lado, normalmente os ervais são implantados em áreas com solos de baixa fertilidade natural, com baixos teores de nutrientes trocáveis e alto teor de alumínio, fatores que comprometem a produtividade do consórcio.

A comparação do desenvolvimento de erva-mate consorciada com pinus, bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) e capoeira, realizada em espaçamento 2 x 2 por Pes (1994) concluiu pela superioridade dos dois primeiros sistemas após três anos de análise, para as variáveis de sobrevivência, diâmetro do colo, altura da parte aérea, número de folhas, peso de matéria seca e verde e área foliar. Esse pesquisador já havia feito referência ao bom desenvolvimento da erva-mate em consórcio com *P. elliotii*, bracatinga e ipê amarelo. Maior atenção deveria ser dada aos consórcios da erva-mate com bracatinga, tendo em vista as vantagens que essa espécie madeireira apresenta na recuperação de solos degradados, além de apresentar valores de produtividade superiores ao pinus e à capoeira.

Em estudo desenvolvido por Rakocevic *et al.* (2003), verificou-se que a erva-mate responde na sombra primeiramente como espécie que compete pela luz (alongando o caule e aumentando a área foliar por planta). Por outro lado, se a sombra estiver no limite de manutenção, a planta se adapta preservando o seu funcionamento (aumento de área foliar por folha individual, redução na emissão de novas folhas, redução na altura do caule) para esperar as condições de radiação mais favoráveis, as quais normalmente ocorrem devido a abertura de uma clareira.

Bisso e Salet (2000) comentam a manutenção da alta produtividade de um sistema agrícola o qual deve levar em conta os aspectos nutricionais das

plantas e o esgotamento do solo. No caso da erva-mate, Wolf (2005) aponta para a exportação dos nutrientes decorrente da realização de sucessivas podas ao longo dos anos, levando a redução da produtividade caso não seja feita uma reposição adequada de nutrientes no solo.

Como elemento mineral mais abundante nas plantas, o nitrogênio é essencial para a produção de aminoácidos e ácidos nucléicos (BLOOM, 2004), além de proteínas, enzimas, hormônios e fenóis. Promove o crescimento vigoroso, retarda a maturação e afeta o tamanho celular e a densidade da parede celular (HUBER e THOMPSON, 2007). Em níveis elevados, resulta na produção de tecidos jovens suculentos, podendo prolongar o estágio vegetativo e/ou retardar a maturidade da planta.

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). Para avaliar as exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate, Reissmann *et al.* (1985), utilizaram como parâmetros de medida a variável peso médio da copa, obtido pela regressão entre peso verde e peso seco.

O papel central do fósforo nas plantas é o de transferência de energia e o metabolismo de proteínas (PRABHU, 2007), aumentando a resistência das plantas a diferentes doenças, devido ao aumento da concentração do nutriente nos tecidos e/ou acelerar sua maturidade. Poletto (2008) indica que em solos com teores de fósforo muito baixo, aliado a pH muito ácido, tornam limitada a disponibilidade desse elemento. Da mesma forma ocorre com os teores de potássio, mesmo que possam ocorrer bons teores de matéria orgânica. O potássio atua na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (BLOOM, 2004).

Para Tedesco e Bissani (2004), o crescimento das plantas em solos ácidos é prejudicado na maioria das vezes, pois o pH baixo afeta diversos equilíbrios, resultando em menor disponibilidade de alguns nutrientes e na toxicidade de outros, interferindo na atividade dos microorganismos do solo.

Há vários fatores externos que influenciam no crescimento, como a luminosidade e propriedades do solo. Assim, um sítio com boa qualidade de fertilidade e luminosidade pode propiciar um melhor crescimento da planta (MAZUCHOWSKI, 1991; DA CROCE e FLOSS, 1999; SPATHELF e NUTTO, 2000), identificado pela intensidade da ramificação das árvores de erva-mate.

Embora sendo uma das principais variáveis da produtividade, normalmente está associada a diversas causas potenciais – característica genética, sítio no qual encontra-se a planta, idade da planta, deficiência hídrica ou de fertilidade, condições climáticas adversas, ocorrência de pragas e/ou doenças, ações mecânicas diversas, resposta da planta ao corte /poda dos ramos da planta. Portanto, os sistemas de produção podem influenciar sobremaneira a produtividade dos ervais, em especial pela forma de condução da cultura da erva mate durante a estação de crescimento até o momento da poda, sendo que dentre os fatores mais importantes estão o manejo da luminosidade e fertilização.

Estudos visando avaliação nutricional de plantas de erva-mate são relevantes, devido a prática da poda resultar em grandes extrações de material foliar, e ser responsável pela exportação de muitos nutrientes. Esse fato justifica investigação por meio da análise de nutrientes para verificar a necessidade de adubação, para manter a capacidade produtiva da planta (REISSMANN *et al.*, 1985; CAMPOS, 1991; BISSO e SALET, 2000).

Assim, as intervenções silviculturais no erval, como adubação e manejo da luminosidade tendem a apresentar resultados econômicos, argumentos utilizados como motivadores desse trabalho que teve o objetivo de verificar em 2 estações de poda, a produtividade do erval em consórcio com eucalipto, submetido a diferentes níveis de luminosidade e fertilizações.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de dezembro de 2010 a dezembro de 2012, em erval comercial de 25 anos de idade, da Fazenda São José, situada na serra da Esperança, município de Guarapuava – PR, localizado no terceiro planalto paranaense sob as coordenadas geográficas 25°20'18,52"S e 51°10'54,67"O, a 1110 m s.n.m.

2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

O erval foi formado em 1986, empregando mudas produzidas a partir de sementes coletadas em árvores matrizes de remanescentes florestais nativos da propriedade, no espaçamento 4 x 2 m. A introdução dos eucaliptos para compor o consórcio foi realizada no espaçamento de 8 x 10 m, atualmente encontrando-se as árvores na idade de 6 anos e tendo aproximadamente 13 m de altura.

O clima da região, segundo classificação de Köeppen, caracteriza-se como temperado (Cfb) (IAPAR, 1994), com altitude de 1110 m s.n.m. A unidade fitoecológica é caracterizada como floresta Ombrófila Mista (RODERJAN *et al.*, 2002) compatível com a ocorrência natural da erva-mate.

Na área experimental ocorre solo classificado como Cambissolo Háplico álico latossólico textura muito argilosa A proeminente relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006), que apresenta, na profundidade de 0 a 40 cm, as seguintes características químicas: pH 4,1 em CaCl₂ pH 4,7 em SMP 4,7; 3,55 mg dm⁻³ de P; 0,08 cmol_c dm⁻³ de K; 39 g dm⁻³ de matéria orgânica; 2,9 cmol_c dm⁻³ de alumínio trocável e 1,4 cmol_c dm⁻³ de Ca + Mg trocáveis.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para avaliar a produtividade da erva-mate no sistema consorciado, foi constituído um delineamento de blocos ao acaso, em esquema experimental fatorial 3 por 3, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 27 parcelas experimentais de 180 m² de área média, com 10 plantas úteis em cada parcela, com bordadura simples. As plantas úteis foram selecionadas segundo a fórmula de Stein (STEEL e TORRIE, 1960), resultando em 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização.

Foram estabelecidos níveis de luminosidade aparente de 60, 45 e 30%, para tratamentos sem fertilização (SF), com aplicação de fertilizante químico convencional de pronta solubilidade (FC) e fertilizante de liberação lenta com solubilidade controlada (FLL), compondo 9 tratamentos: T1: 45% + SF; T2: 45% + FC; T3: 45% + FLL; T4: 60% + SF; T5: 60% + FC; T6: 60% + FLL; T7: 30% + SF; T8: 30% + FC e T9: 30% + FLL.

Os níveis de luminosidade foram estabelecidos através da diminuição da densidade de eucaliptos existentes no povoamento (corte e retirada das árvores), até atingir níveis de luminosidade relativa de 60, 45 e 30% considerando-se a média das luminosidades durante as estações de primavera, verão, outono e inverno. As determinações de luminosidade foram efetuadas nas 10 plantas úteis de cada parcela, posicionando-se o luxímetro no hemisfério norte da parte superior da copa das árvores de erva-mate.

As erva-mates foram adubadas com fertilizante químico convencional de pronta solubilidade - FC na formulação 15-05-30 (15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O) e com fertilizante de liberação lenta e solubilidade controlada - FLL na formulação 15-08-12 (15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O).

Para aplicação do fertilizante convencional efetuou-se arruação circular das erva-mates, na projeção das copas com distribuição em duas dosagens de 100 g por planta, nos meses de setembro e dezembro. A dose do fertilizante de liberação lenta foi de 30 g por planta/ ano, administrada em dose única no mês

de setembro, através de 3 pequenas covas simples de 20 cm de profundidade, abertas na projeção da copa.

2.3 LEVANTAMENTO DE DADOS BIOMÉTRICOS

Durante duas estações de poda da erva-mate, na safra de julho de 2011 e julho de 2012, foram mensuradas as variáveis biométricas fenotípicas referentes a altura da copa; diâmetro da copa; área foliar; as variáveis de produção de peso úmido e peso seco de 100 folhas e sua relação; o peso da biomassa comercial úmida, visando compor aspectos analíticos da produtividade das erva-mates.

Para determinação da altura da copa, foram medidas 10 plantas por parcela com auxílio de trena métrica, correspondente ao início da saia da copa até a emissão de ramos de maior altura. O diâmetro da copa foi estabelecido através das médias da metragem paralela e perpendicular das copas das árvores.

A área foliar foi calculada a partir da imagem digitalizada, obtida em Scanner de mesa, com o programa Winrhizo.exe versão 4.1c para ambiente Windows (REGENT INSTRUMENTS, 1999). Utilizaram-se 100 folhas frescas de erva-mate de cada planta para captura de imagem e cálculo de área foliar média em cm^2 .

O peso úmido foi determinado utilizando-se balança de mesa de precisão milesimal, das mesmas 100 folhas por árvore da análise de área foliar. Posteriormente, essas amostras foram secadas em estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 62°C , até obtenção do peso constante, seguido de nova determinação de peso seco. A relação peso seco e peso úmido foi determinado pela divisão simples, perfazendo-se o índice PS/PU.

O peso da biomassa comercial foi determinado com auxílio de uma balança digital pendular com precisão de 25 g afixada em suporte de madeira de 2,10 m de altura, sendo considerada a somatória de folhas e ramos finos com diâmetro médio inferior a 1 cm das 10 plantas uteis de cada parcela.

Para comparação de médias dos parâmetros de variáveis biométricas fenotípicas e de produtividade das erveiras, foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Por outro lado, para verificar o incremento ocorrido entre os dois anos de produção, foi aplicado o teste de F.

3 RESULTADOS

3.1 EFEITO DA LUMINOSIDADE E DA FERTILIZAÇÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA ERVA-MATE

A evolução das variáveis biométricas fenotípicas das árvores de erva-mate, demonstradas na TABELA 1.1, obtidas sob diferentes gradientes de luminosidades relativas e fertilização em sistema consorciado, nos dois anos de avaliação indicaram pouca alteração vegetativa.

Verificou-se que na variável altura da copa as erveiras não ocorreram respostas durante a estação de crescimento anual, nos tratamentos de luminosidade e fertilização. Na variável diâmetro de copa não houve diferenciação das erveiras entre os tratamentos, em nenhuma das estações de crescimento, exceto para as plantas do tratamento com luminosidade de 30% e fertilizadas com FLL no ano 2012. Na variável área foliar, os dados mostram que houve diferença significativa entre os tratamentos de fertilização na condição de luminosidade 60% e 30%, durante a primeira estação de crescimento, enquanto no segundo ano estavam em fase inicial de desenvolvimento.

As medições da altura média das árvores na área experimental de erva-mate apresentaram dados uniformes e similares entre os tratamentos, com valores sem diferença estatística, não ocorrendo interferência dos tratamentos. A variação de luminosidade relativa não interferiu sobre a altura das plantas, bem como, as fertilizações realizadas nos tratamentos (TABELA 1.1). Essa situação de não terem ocorrido modificações significativas nas alturas das plantas, apesar de terem idade de 25 anos, pode estar relacionados com a evolução fisiológica necessitando de períodos de maior tempo para demonstrar efeitos. Esse raciocínio coincide com a linha de pesquisa desenvolvida por Sturion e Rezende (2001), em que a altura e o diâmetro de copa constituem-se em parâmetros fenotípicos da erva-mate que permitiu definir as plantas mais produtivas.

TABELA 1.1 - EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS FENOTÍPICAS DAS ÁRVORES DE ERVA-MATE PRODUZIDAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE RELATIVA (60, 45 E 30%) E SUBMETIDAS A FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC), LIBERAÇÃO LENTA (FLL) E SEM FERTILIZANTE, EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO

	60%	45%	30%	60%	45%	30%
	2011			2012		
	Altura (m)					
SF	1,82 a	1,66 a	1,58 a	2,12 a	2,37 a	2,26 a
FC	1,56 a	1,51 a	1,43 a	2,15 a	2,13 a	2,10 a
FLL	1,60 a	1,78 a	1,56 a	2,09 a	2,07 a	2,07 a
CV (%)	12,00	14,87	15,81	11,43	10,55	4,84
	Diâmetro da Copa (m)					
SF	1,71 a	1,62 a	1,64 a	2,11 a	2,24 a	2,14 a
FC	1,56 a	1,53 a	1,50 a	2,14 a	2,01 a	2,13 a
FLL	1,69 a	1,68 a	1,48 a	2,18 a	2,08 a	1,64 b
CV (%)	10,6	10,39	12,38	13,94	15,02	8,51
	Área Foliar de 100 folhas (cm ²)					
SF	2375,48 a	2639,53 a	2285,83 b	2849,42 a	3018,38 a	2698,48 a
FC	2303,94 ab	2743,38 a	2488,18 ab	2681,63 a	3112,79 a	3288,38 a
FLL	1966,44 b	2336,73 a	2518,29 a	2548,57 a	2889,60 a	3066,92 a
CV (%)	6,45	9,19	3,77	9,78	11,16	12,1

Médias na vertical seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O AUTOR (2013)

Os dados comparativos entre os dois anos de experimentação são indicados pela TABELA 1.2. Verifica-se que para a variável diâmetro de copa a diferença estatística foi na estação de crescimento 2012, onde as plantas de erva-mate tiveram a menor média no tratamento com luminosidade 30% e fertilização FLL, diferindo-se dos demais tratamentos SF e FC.

Ao analisar a variável área foliar na primeira estação de 2011, na luminosidade relativa de 60%, observa-se um comportamento diferente entre os tratamentos de SF e FLL. O uso de FLL resultou em menor valor médio em relação aos demais tratamentos, sendo diferente estatisticamente do SF e igual ao FC. Na luminosidade relativa de 30%, a maior média foi para o tratamento FLL, diferenciando-se estatisticamente do tratamento SF. Observa-se também na TABELA 1.1, que na luminosidade relativa de 45% obteve-se a maior média de área foliar com 2.743,38 cm² no tratamento de fertilização FC.

Kaspary (1985) verificou valores superiores de área foliar, altura do caule e produção de massa de matéria seca de plantas jovens sob condições de sombreamento, tendendo à redução com o aumento da intensidade luminosa de 20% para 60%. No entanto, o número de ramificações e a taxa fotossintética foram superiores no tratamento de plena luz.

TABELA 1.2 - COMPARAÇÃO ENTRE DOIS ANOS DA EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS FENOTÍPICAS DAS ÁRVORES DE ERVA-MATÉ PRODUZIDAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) E SUBMETIDAS A FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC), LIBERAÇÃO LENTA (FLL) E SEM FERTILIZANTE, EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO

	60%			45%			30%		
	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)
Altura (m)									
SF	1,82 a	2,12 a	2,8 ^{ns} (10,9)	1,66 b	2,37 a	25,8** (8,4)	1,58 b	2,26 a	15,8* (10,8)
FC	1,56 b	2,15 a	14,4* (10,2)	1,51 b	2,13 a	36,8** (6,8)	1,43 b	2,10 a	40,4** (7,3)
FLL	1,60 a	2,09 a	5,5 ^{ns} (13,8)	1,78 a	2,07 a	1,0 ^{ns} (18,4)	1,56 b	2,07 a	9,3* (11,3)
Diâmetro da Copa (m)									
SF	1,71 a	2,11 a	4,3 ^{ns} (12,2)	1,62 b	2,24 a	9,8* (12,4)	1,64 b	2,14 a	9,2* (10,7)
FC	1,56 b	2,14 a	33,1** (6,71)	1,53 a	2,01 a	6,2 ^{ns} (14,1)	1,50 b	2,13 a	18,8* (9,7)
FLL	1,69 a	2,18 a	3,2 ^{ns} (17,1)	1,68 a	2,08 a	2,8 ^{ns} (15,0)	1,48 a	1,64 a	1,4 ^{ns} (10,0)
Área Foliar de 100 folhas (cm ²)									
SF	2375,4 a	2849,4 a	5,5 ^{ns} (9,3)	2639,5 b	3018,3 a	11,7* (4,7)	2285,8 a	2698,4 a	1,6 ^{ns} (15,6)
FC	2303,9 b	2681,6 a	32,9** (3,2)	2743,3 a	3112,7 a	1,0 ^{ns} (14,8)	2488,1 b	3288,3 a	38,9** (5,4)
FLL	1966,4 a	2548,5 a	7,4 ^{ns} (11,5)	2336,7 b	2889,6 a	9,8* (8,2)	2518,2 b	3066,9 a	12,3* (6,8)

Médias na horizontal seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste de F foi realizado para comparar os dois anos de produção

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo.

FONTE: O AUTOR (2013)

Ao avaliar o efeito interativo do sombreamento e da disponibilidade hídrica, Ferreira *et al.* (1994) observaram maior crescimento de mudas, evidenciado pela determinação de peso seco, altura, área foliar e vigor das plantas, submetidas a 60% e 80% de sombreamento em relação aos demais tratamentos. Outrossim, os autores inferiram que teores de umidade do solo, em torno de 60%, podem ser limitantes ao crescimento das plantas, principalmente àquelas expostas a pleno sol em épocas de temperaturas mais elevadas. Para Vieira *et al.* (2003) este resultado sugere que a cultura não necessita de reposição integral de água para melhorar o seu desempenho, principalmente sob sombreamento.

3.2 ALTURA DAS ERVEIRAS

Verifica-se na TABELA 1.2 que o comportamento das erveiras, comparando dados entre os dois anos, foi bastante distinto, pois ocorreu um incremento de altura de copa no segundo ano, principalmente para os níveis de luminosidade relativa de 30 e 45%.

Para o nível de luminosidade de 45%, as erveiras fertilizadas com FLL não apresentaram uma altura maior do que os demais tratamentos, segundo o teste de F, embora quantitativamente apresentem uma altura 14% maior do que do ano anterior (1,78 m em 2011 e 2,07 m em 2012).

Para a luminosidade de 60%, no segundo ano, houve um aumento de altura de copa somente para as erveiras fertilizadas com FC, correspondente a 27% maiores. Contudo, a maior altura de copa foi de erveiras submetidas a luminosidade de 45% e sem fertilizante, verificada no ano de 2012 com uma média de 2,37 m de altura, sendo estatisticamente superior àquela de 2011 pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Essa diferença mostrou-se significativo à 1%, quando médias de altura dos tratamentos T1 e T2 foram submetidas ao teste de F.

Fossati (1997), em um plantio homogêneo de erva-mate aos sete anos de idade com espaçamento de 2 x 2 m, no município de São Bento do Sul-SC, encontrou valores superiores, sendo que o valor médio de altura total equivalente foi de 3,24 m enquanto para a área de projeção da copa foi 2,34 m². Trabalho de Schneider e Schneider (2008) indica que a altura alcançada é geralmente determinada pela qualidade do sítio em que cresce a árvore de uma determinada espécie. Alguns autores explicam que, na maioria das espécies vegetais, altas intensidades de luz originam plantas de menor porte e folhas menores (WATLEY; WATLEY, 1982; LARCHER, 1986).

Andrade (2004), avaliando o crescimento de erva-mate em diferentes condições de luminosidade (100%, 53%, 26% e 13%) sob floresta de bracinga (*Mimosa scabrela*), afirma que nos tratamentos sombreados, para a variável altura, foram obtidas as maiores médias. Plantas dessa espécie tendem a crescer e a se desenvolver melhor em situações de sombreamento,

mas quando colocadas em plena luz, apresentam um desenvolvimento inferior na maioria das variáveis, quando comparadas às plantas de sombra.

Diferentes estudos verificaram que os maiores valores de altura das plantas de erva-mate foram obtidos em condições crescentes de sombreamento, tendendo à redução frente ao aumento da intensidade luminosa (KASPARY, 1985; GLIESSMANN, 2000; MAZUCHOWSKI, 2004; ANDRADE, 2004).

3.3 DIÂMETRO DE COPA DA ERVA-MATE

Quando comparado os dados de um ano para outro, verifica-se que houve incremento de diâmetro de copa das erva-mates quando submetidas aos tratamentos com 60% de sombra e adubação FC; luminosidade de 45% + SF e 30% SF + FC, resultando em média de 26,5% (TABELA 1.2).

A maior média de diâmetro de copa das erva-mates foi obtida com luminosidade de 45% e sem fertilizante no ano de 2012, com uma média de 2,24 m de diâmetro. Os maiores valores de diâmetro de copa podem estar relacionados com a menor densidade de plantas dentro das parcelas, com maiores níveis de luminosidade, corroborando com o estudo realizado por Fossati (1997) que aponta maior valor do diâmetro de copa em configurações de tratamentos com maior espaçamento na linha.

Estatisticamente o incremento anual em diâmetro de copa das erva-mates não foi significativo, pelo teste de F, para os tratamentos que receberam FLL em todas as luminosidades relativas.

A quantidade de ramos apresentada por uma planta de erva-mate representa um dos aspectos de maior interesse na área produtiva, face o potencial produtivo de cada planta. A tipificação dos ramos passa a constituir uma característica relevante, em particular no melhoramento da espécie – basais, intermediários, de ponta (DA CROCE e FLOSS, 1999). Assim, essa variável permite mensurar o diâmetro de copa considerando as ramificações laterais perpendiculares de ocupação espacial.

De acordo com Scheeren *et al.* (2003), conforme as árvores se desenvolvem, suas copas e raízes necessitam gradativamente de um maior espaço para continuarem a crescer e, em caso do espaço ser restrito, instala-se o processo de concorrência entre os indivíduos, determinando a necessidade de haver alguma intervenção silvicultural.

O incremento de diâmetro de copa nas erveiras fertilizadas pode estar relacionado com o suprimento mineral de árvores, promovido pelo fornecimento de nutrientes e mostrando a relação entre a nutrição e esta variável. Em outro estudo com erva-mate, Linder e Rook (1984) também encontraram essa mesma correlação entre fertilização e diâmetro de copa.

3.4 ÁREA FOLIAR DA ERVA-MATE

A influência da luminosidade relativa e da fertilização no comportamento da área foliar da erva-mate, demonstrados na TABELA 1.2, correspondem aos resultados obtidos nos dois anos de avaliação.

A maior área foliar foi verificado no tratamento de 30% de luminosidade, no ano de 2012, quando fertilizada com FC, sofrendo decréscimos em níveis mais altos de luminosidade (45% e 60%) como nos tratamentos que não receberam fertilizante (SF) mas que receberam FLL. Também nas erveiras submetidas a 30% de luminosidade e que receberam FLL e FC, produziram maior área foliar do que os que não foram fertilizadas.

A maior área foliar de 100 folhas, entre os tratamentos foi de 3.288,3 cm² ou 0,320 m², produzidas por erveiras submetidas a luminosidade de 30% e fertilizadas com FC em 2012. Em decorrência, a adição da fertilização superou o tratamento sem fertilização.

As erveiras que receberam FLL, nas luminosidades de 45 e 30%, apresentaram incremento anual de área foliar, resultado considerado como significativo a 5% pelo teste de F. Comportamento semelhante é constatado no incremento de área foliar no T1 (45% + SF), quando as médias são submetidas ao teste de F, resultando em significância à nível de 5%.

Segundo Larcher (1986), um dos fatores que determina o aumento da produção é o aumento da superfície de assimilação, representada pela área foliar, que pode aumentar em função do melhor estado nutricional. Linder e Rook (1984), apresentam exemplos de relações da área foliar com os níveis nutricionais de espécies florestais, com casos de diminuição da área foliar devido a deficiência de algum nutriente.

Estes resultados são discordantes com Suertegaray (2002), os quais encontraram área foliar da erva-mate com valor máximo no tratamento de 62% de luz, sofrendo decréscimos tanto em níveis mais altos de luz (78% e 91%) como em níveis mais baixos de luz (22% e 39%).

Da mesma forma plantas submetidas a 30% de luminosidade e que receberam FLL e FC, produziram maior área foliar em comparação com plantas que não foram fertilizadas. Em decorrência verifica-se uma elevada importância na aplicação de fertilizante para desenvolvimento das plantas da erva-mate.

Rachwal *et al.* (1998), ao estudarem o crescimento e desenvolvimento da erva-mate, mostraram que houve decréscimo de área foliar quando a quantidade de luz sobre a cultura chegou a atingir valores máximos entre 78 a 100% de luz, levando a considerar como efeito relacionado com aumento de luminosidade.

Lourenço *et al.* (1998) estudando o uso de diferentes doses de NPK (20-5-20) na produtividade de erval em Áurea (RS), aplicaram dosagens de 0, 170, 340 e 510 g/planta, observaram após dois anos de aplicação, resposta quadrática para as variáveis altura e biomassa, destacando as doses de 170 e 340 g/planta. No segundo ano de avaliação não houve resposta aos tratamentos em nenhum nível de luminosidade e tecnologias de fertilização testadas.

Larcher (1995) comenta que estas relações entre aumentos e decréscimos de área foliar e radiação solar não são lineares, em especial quando se refere à relação entre disponibilidade de energia e CO₂ e a produção de fotoassimilados. Além disso, ocorre uma mudança espectral da luz no ambiente sombreado, tendo em vista a extinção da luz causada pela

espécie associada no consórcio sobre as plantas de erva-mate, originando maior propagação de luz difusa no ambiente.

Segundo Angelocci (1998), os diferentes espectros de luz determinam o tipo de comportamento morfogenético das plantas. Nas folhas de sombra pode haver mais clorofila por cloroplasto, originando a cor verde mais intensa delas do que das folhas submetidas ao sol.

Larcher (1986) explica ainda que as adaptações modulativas e as adaptações modificativas permitem que as plantas se adaptem às condições médias de radiação solar durante o seu período de crescimento. O microclima e, em especial, a luminosidade, são fatores determinantes das características de alteração da área foliar e da fitomassa nos cultivos de erva-mate.

Constituíram nos parâmetros analisados neste trabalho de pesquisa, cujos resultados são parâmetros similares aos referidos por Ferreira *et al.* (1994) e Vieira *et al.* (2003). Estas características permitiram que as erva-mates crescessem de forma diferenciada daquelas que se encontravam na condição de maior luminosidade (tratamento com 60%), de forma que no presente estudo apresentaram os maiores valores de produção de biomassa comercial (TABELA 1.5), mesmo sem obter os valores máximos de área foliar, se comparada com os tratamentos de 30%.

Entretanto, quando comparamos as médias de área foliar entre os 2 anos de estudo (TABELA 1.2), percebe-se que houve um incremento em todos os níveis de luminosidade, porém os que diferiram pelo teste de F foram os tratamentos com 60% e FC; 45% sem fertilização e com FLL e 30% com FC e FLL.

A análise comparativa realizada pelo teste de F demonstra aumento da área foliar no segundo ano de avaliação, para os tratamentos com luminosidade de 60% que recebeu FC, luminosidade de 45% SF e FLL e luminosidade de 30% que recebeu FC e FLL, onde houve significância no teste de hipótese.

Os vários estudos da influência da luz sobre o crescimento vegetal têm indicado que plantas de ambientes sombreados geralmente alocam maior quantidade de biomassa nas folhas e possuem maior área foliar por unidade de

massa (POORTER, 1999; LEE *et al.*, 2000). Por outro lado, plantas expostas à luz solar intensa investem em biomassa radicial, para compensar a perda de água por transpiração, e, devido às altas taxas fotossintéticas, produzem maior biomassa por unidade de área foliar e altas taxas de renovação das folhas (POORTER, 1999).

Estes resultados são concordantes com Ferreira *et al.* (1994) e Moraes *et al.* (2000), os quais verificaram que níveis de luz entre 20-60% mostraram um maior crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate, tendo como variável de análise a área foliar.

A TABELA 1.3 apresenta as variáveis de produtividade da erva-mate submetidas a diferentes tratamentos de luminosidade e adubação. Na TABELA 1.4 são apresentadas as médias comparadas entre os dois anos de avaliação, onde verifica-se o incremento de produção de um ano para outro.

TABELA 1.3 - VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO (SF), FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO

	60%	45%	30%	60%	45%	30%
	2011			2012		
	Peso Úmido (PU) de 100 folhas (g)					
SF	80,01 a	80,70 a	73,03 b	101,72 a	99,44 a	101,96 a
FC	79,72 a	82,12 a	84,10 a	112,49 a	93,33 a	108,56 a
FLL	68,71 a	76,84 a	85,67 a	93,38 a	93,12 a	116,35 a
CV (%)	6,68	16,08	5,32	13,04	7,68	14,64
	Peso Seco (PS) de 100 folhas (g)					
SF	30,78 a	30,65 a	27,71 b	42,80 a	41,47 a	36,26 a
FC	29,11 ab	31,17 a	32,64 a	41,67 a	42,73 a	42,13 a
FLL	26,00 b	29,24 a	32,12 a	37,95 a	39,23 a	40,41 a
CV (%)	5,93	14,68	4,62	8,8	14,53	15,44
	Relação PU/PS de 100 folhas (g)					
SF	2,63 a	2,60 a	2,63 a	2,61 a	2,54 a	2,99 a
FC	2,62 a	2,73 a	2,57 a	2,95 a	2,31 a	2,67 a
FLL	2,64 a	2,64 a	2,68 a	2,54 a	2,44 a	2,99 a
CV (%)	2,55	2,98	3,07	18,91	15,07	22,28 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O AUTOR (2013)

3.5 PESO ÚMIDO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE

Os dados de peso úmido das 100 folhas, apontam para uma relativa homogeneidade de resultados nos diferentes graus de luminosidade relativa, embora com diferença estatística no primeiro ano da estação de crescimento anual de 2011, no tratamento luminosidade de 30% nas erveiras submetidas a fertilização com FC e FLL, quando comparados com o tratamento sem fertilização.

Apresentou-se uma maior média de peso úmido nos tratamentos de FC e FLL com 84,10 e 85,67 g respectivamente, em comparação com a média de 73,03 g para o tratamento SF. Pode inferir-se que as fertilizações empregadas não tiveram diferença em relação ao peso úmido de 100 folhas de erva-mate, cujo diferencial é observado na produtividade total de cada árvore do experimento, conforme apresentado na TABELA 1.3.

Pes *et. al.* (1994) constataram que o menor valor de biomassa verde em erveiras com 3 anos de idade foi verificado no consórcio com capoeiras e, à medida que aumentava o sombreamento, aumentavam os valores de biomassa verde, associando esse fato, à menor desidratação decorrente do ambiente sombreado. Comportamento semelhante também foi obtido por Mazuchowski (2004), utilizando plantas juvenis de erva-mate, constatou que o maior sombreamento ambiental favoreceu o incremento de peso da massa úmida.

Entretanto, a comparação entre a produção aos dois anos do experimento (TABELA 1.4) demonstra que é possível verificar efeito sobre os tratamentos de luminosidade de 60% sem fertilizante e fertilizados com FC, bem como, nos tratamentos de 30% com FC e FLL. A maior média de peso úmido foliar foi observado no tratamento com 30% de luminosidade e fertilizado com FLL, correspondendo a 116,35 g no ano de 2012. O mesmo tratamento produziu o melhor peso úmido também em 2011, com 85,67 g.

Estatisticamente, o incremento anual no peso úmido de 100 folhas foi significativo à 5 % para os tratamentos T4 e T8 e significativo à 1% nos tratamentos T5 e T9. Para os demais tratamentos o incremento não mostrou-se significativo, ou seja, apresentou peso úmido igual nos dois anos.

De uma maneira geral, por serem órgãos muito plásticos, as folhas variam em área e massa fresca e seca, quando se desenvolvem em ambientes com diferentes intensidades luminosas (MARQUES *et al.*, 1999; KLICH, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2005), de acordo com a disponibilidade de recursos locais, como água e nutrientes.

3.6 PESO SECO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE

Os dados apresentados na TABELA 1.3 apontam para uma relativa homogeneidade de resultados nos diferentes graus de luminosidade relativa, embora apresentem diferença estatística especialmente no primeiro ano da estação de crescimento de 2011, na luminosidade de 60% entre os tratamentos SF e FLL, além de 30% de luminosidade sem fertilização que apresentou diferença estatística entre os tratamentos FC e FLL.

Para o ano de 2011, houve distinção entre as médias do tratamento 60% de luz, observando-se que folhas produzidas sem fertilização apresentaram um maior peso seco, correspondendo a 30,78 g seguidas pelo tratamento com FC com média de 29,11 g e FLL com 26,00 g. No caso do peso seco das folhas de erva-mate (TABELA 3), aspecto de alto interesse industrial, não verificou-se uma resposta aos tratamentos no ano de 2012 quando comparado as médias entre os tratamentos.

Efeito significativo de níveis de sombreamento em erva-mate também foi observado por Brena (2002), com respostas quadráticas nas variáveis altura, diâmetro do colo e número de folhas em função do sombreamento, sendo que a máxima eficiência técnica se estabeleceu acima do maior nível de sombreamento testado (70%).

O melhor desenvolvimento das mudas de erva-mate nos maiores níveis de sombreamento pode ser atribuído a uma característica natural da espécie, classificada como clímax, ambientalmente adaptada ao interior de florestas, tolerante ao sombreamento inicial, podendo germinar, sobreviver e desenvolver-se sob dossel fechado e com pouca luz. Aspectos semelhantes ao

da erva-mate foram observados por Lima Junior *et al.* (2005) em camboatá (*Cupanea vernalis* Camb.), outra espécie clímax, obtendo melhor desenvolvimento das mudas sob condições de 50 e 70% de sombreamento.

Neste experimento, estatisticamente houve incremento no peso seco de 100 folhas de erva-mate, verificado pelo teste de F a 5% e a 1%, nos tratamentos T4, T5, T6 e T8 respectivamente.

Almeida *et al.* (2004) estudaram a exigência à luminosidade por mudas de canela-batalha (*Cryptocarya aschersoniana* Mez.), produzidas sob sombrite com diferentes graus de permeabilidade de luz e a pleno sol, observando que os sombreamentos de 30 e 50% proporcionaram o maior desempenho vegetativo. Inoue e Torres (1980) observaram que, quanto maior o sombreamento, menor foi a produção de biomassa seca de mudas de pinheiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol. Kuntze), sendo os maiores valores observados nas mudas a pleno sol.

Para o tratamento sob luminosidade de 30% e sem fertilização no ano de 2011, apresentou média bastante inferior às demais (27,71g) comparado com as do mesmo nível de luminosidade e diferentes fertilizações, verificou-se no mesmo nível de luminosidade a maior média para o ano com 32,64 g (TABELA 3). Andrade (2004), constatou que o tratamento de maior luminosidade obteve o menor peso de matéria seca.

A melhor média foi observada no tratamento sob luminosidade de 60% em erva-mate que não receberam fertilização, no ano de 2012, com 42,80 g. Quando realizada a comparação das médias entre os dois anos, TABELA 1.4, observa-se que houve diferenciação do peso seco nos tratamentos com 60% sem fertilizante e com FC. Também no tratamento com 30% com FC e FLL. Para os demais tratamentos não houve incremento de peso seco de um ano para outro.

No presente trabalho, constatou-se a elevada importância da aplicação de fertilizante no desenvolvimento das plantas da erva-mate, pois a adição da mesma supera o sombreamento da copa. Quando associadas (sombreamento da copa com adição de fertilizante), mesmo não havendo diferença estatística, superaram os demais tratamentos para todas as variáveis.

3.7 RELAÇÃO PU/PS DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE

A análise dos dados relativos a relação de peso úmido e de peso seco (PU/PS) não apresenta variação estatística nos tratamentos relacionados ao peso de 100 folhas de erva-mate, não havendo diferenciação para esse índice de relação na comparação das médias dos tratamentos para os anos de 2011 e 2012 (TABELA 1.3). Também não houve incremento desse índice quando as médias comparadas entre os dois anos foram testadas pelo teste de F (TABELA 1.4).

TABELA 1.4 - COMPARAÇÃO ENTRE DOIS ANOS DAS VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO (SF), FERTILIZAÇÃO CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO.

	60%			45%			30%		
	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)
Peso Úmido de 100 folhas (g)									
SF	80,01 b	101,72 a	20,8*(6,4)	80,70 a	99,44 a	6,2 ^{ns} (10,2)	73,03 b	101,96 a	3,8 ^{ns} (14,2)
FC	79,72 b	112,49 a	24,3**(8,4)	82,12 a	93,33 a	0,9 ^{ns} (15,6)	84,10 a	108,56 a	8,1*(15,7)
FLL	68,70 a	93,38 a	4,4 ^{ns} (17,7)	76,84 a	93,12 a	7,2 ^{ns} (8,7)	85,67 b	116,35 a	57,3**(4,9)
Peso Seco de 100 folhas (g)									
SF	30,78 b	42,80 a	55,5**(7,2)	30,65 a	41,47 a	7,3 ^{ns} (13,5)	27,71 a	36,26 a	3,4 ^{ns} (17,5)
FC	29,11 b	41,67 a	30,1**(5,8)	31,17 a	42,73 a	5,1 ^{ns} (16,9)	32,64 b	42,13 a	14,0*(8,3)
FLL	26,00 b	37,95 a	17,4*(10,9)	29,24 a	39,23 a	7,3 ^{ns} (13,1)	32,12 a	40,41 a	5,6 ^{ns} (11,7)
Relação PU/PS									
SF	2,60 a	2,61 a	0,0 ^{ns} (8,4)	2,63 a	2,54 a	0,6 ^{ns} (5,1)	2,63 a	2,99 a	0,4 ^{ns} (24,2)
FC	2,73 a	2,95 a	0,0 ^{ns} (9,2)	2,62 a	2,31 a	1,9 ^{ns} (10,9)	2,57 a	2,67 a	0,1 ^{ns} (10,7)
FLL	2,64 a	2,54 a	0,9 ^{ns} (20,5)	2,64 a	2,44 a	0,4 ^{ns} (13,5)	2,68 a	2,99 a	1,6 ^{ns} (10,2)

Médias na horizontal seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste de F foi realizado para comparar os dois anos de produção.

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo.

FONTE: O AUTOR (2013)

Em experimento desenvolvido por Mazuchowski (2004), a relação entre peso médio úmido e peso médio seco da biomassa foliar de cada planta foi de 3:1 no verão, enquanto no inverno foi de 3:1 apenas no tratamento com 0% de sombra, sendo de 2,5:1 nos tratamentos com sombreamento da erva-mate (70%, 50% e 30%), demonstrando maior peso das folhas. Essa observação foi coincidente com os resultados de Nakazono *et al.* (2001), desenvolvidos sobre o crescimento do palmiteiro *Euterpe edulis* Mart., onde ocorreu a redução de biomassa seca.

3.8 PESO DA BIOMASSA COMERCIAL DE ERVA-MATE

A TABELA 1.5 demonstra a produção da biomassa comercial úmida de erva-mate produzida nos anos de 2011 e 2012, sob níveis diferentes de luminosidade aparente (60, 45 e 30%), sem fertilização (SF), fertilizante convencional (FC) e de liberação lenta (FLL), em sistema de consórcio com eucalipto.

Não houve diferenciação entre os tratamentos de luminosidade, fertilização para os dois anos de avaliação, quando comparou-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Entretanto, verificou-se que o peso médio da biomassa comercial úmida de erva-mate, submetido a luminosidade aparente de 60% apresentou o resultado mais relevante em termos físicos, apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos adotados de fertilização das plantas.

TABELA 1.5 - PESO MÉDIO DA BIOMASSA COMERCIAL ÚMIDA DE ERVA-MATE PRODUZIDA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO, FERTILIZANTE CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM SISTEMA DE CONSÓRCIO COM EUCALIPTO

	60%	45%	30%	60%	45%	30%
	2011			2012		
	Peso Biomassa Comercial Úmida (kg/planta)					
SF	2669,5 a	2332,9 a	1676,8 a	2738,5 a	2119,3 a	1746,0 a
FC	1831,8 a	1844,5 a	1480,1 a	2043,9 a	2446,0 a	1729,2 a
FLL	1996,6 a	1769,5 a	1248,8 a	2501,0 a	1612,1 a	1685,3 a
CV (%)	35,1	32,8	32,4	42,4	18,2	41,4

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O AUTOR (2013)

Através da análise visual das plantas, confirmou-se a observação de uma maior atividade radicular nas condições de sombra, fato comprovado na relação de pesos correspondentes. Esses dados coincidem com os dados encontrados em palmito *Euterpe edulis* Mart. no tocante à variação na quantidade de luz, mostrando que as plantas diferem na sua resposta à

variação da luminosidade ambiental, dependendo do nível de luz a que estão submetidas (NAKAZONO *et al.*, 2001).

No ano de 2011, sob a luminosidade de 60%, o tratamento sem fertilização SF apresentou a maior produção de biomassa foliar, sendo superior aos tratamentos FC e FLL, respectivamente em 31% e 25%. Em contraposição, o menor desempenho produtivo ocorreu sob luminosidade aparente de 30% com fertilização FLL (TABELA 1.5).

Para o ano de 2012, o tratamento com aplicação de FLL teve o menor desempenho em produção de biomassa comercial, tanto na luminosidade de 30% como de 45%. Contudo, comparativamente entre as variações das condições de luminosidade nesse mesmo ano, a fertilização com FLL de melhor comportamento ocorreu em condições de maior luminosidade (60%), sendo 35,54 e 32,61% superior a condição de luminosidade de 45 e 30% respectivamente. Esse resultado é coincidente com Suertegaray (2002), em erva submetido a sombreamento parcial de Araucárias, verificando a maior produção conforme o aumento do nível de luz recebido pelas plantas de erva-mate.

Corroborando com os resultados do presente estudo, Mazuchowski (2004) verificou que os resultados de peso úmido das folhas indicaram um expressivo incremento em todos os tratamentos com variação da luminosidade aparente, próximo de 100% no aumento do peso. As plantas submetidas ao sombreamento apresentaram peso superior às plantas submetidas a insolação total. Na correlação do peso seco da massa foliar verificou um maior incremento efetivo nas condições de maior sombreamento, em especial a 30% e 50% de redução da luminosidade ambiental, comprovando o efetivo crescimento foliar.

Também para Floss *et al.* (2006), a maior produção de erva-mate foi observada no consórcio com louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud.) quando comparado ao cinamomo (*Melia azedarach* L.). Os autores afirmam que esse comportamento foi provocado pelo maior sombreamento ocasionado pelo cinamomo, que já na primeira safra era bem maior que o sombreamento proporcionado à erva-mate pelo louro-pardo.

Pandolfo *et al.* (2003) observaram a produção de massa verde de erva-mate em Latossolo Vermelho Aluminoférrico, durante cinco anos, sob adubação com doses de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 g de N por planta/ano e verificaram o efeito quadrático na produção acumulada no período, com máxima eficiência de 80,5 g de N por planta/ano, produzindo 36,5 kg de massa verde por árvore.

Avaliando a produtividade da erva-mate aos três anos e quatro meses de idade em três sítios com 74 (1), 46 (2) e 20% (3) de luminosidade, Rachwal *et al.* (1997) obtiveram uma produção de 523, 428 e 137 gramas de matéria verde/planta, respectivamente, sendo que, estatisticamente, apenas o terceiro sítio diferiu dos demais, atingindo a menor produção de matéria verde.

Suertegaray (2002) verificou que a produção de fitomassa úmida mostrou um incremento proporcional ao nível de luz recebido pelas plantas de erva-mate, aumentando a produção conforme o aumento do nível de luz recebido pelas plantas de erva-mate. Na área experimental, também não verificou-se diferenciação (TABELA 1.6), quando feita a comparação das médias de todos os tratamentos de luminosidade e fertilização entre os dois anos, pelo teste de F .

TABELA 1.6 - PRODUÇÃO DE PESO DA BIOMASSA COMERCIAL ÚMIDA DE ERVA-MATE PRODUZIDAS POR DOIS ANOS, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM FERTILIZAÇÃO, FERTILIZANTE CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL), EM SISTEMA DE CONSÓRCIO COM EUCALIPTO.

	60%			45%			30%		
	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)
Peso Biomassa Comercial Úmida (kg)									
SF	2669,5a	2738,5a	0,0 ^{ns} (24,4)	2332,9a	2119,3a	0,3 ^{ns} (19,0)	1676,8a	1746,0a	0,0 ^{ns} (25,0)
FC	1831,8a	2043,9a	0,1 ^{ns} (34,5)	1844,5a	2446,0a	0,9 ^{ns} (36,1)	1480,1a	1729,2a	1,7 ^{ns} (14,5)
FLL	1996,6a	2501,0a	0,2 ^{ns} (55,8)	1769,5a	1612,1a	0,5 ^{ns} (15,0)	1248,8a	1685,3a	0,3 ^{ns} (63,4)

Médias na horizontal seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste de F foi realizado para comparar os dois anos de produção

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo.

FONTE: O AUTOR (2013)

Pode-se inferir que o desempenho abaixo da expectativa em relação a produtividade da erva-mate seja em decorrência da formulação dos fertilizantes comerciais empregados (FC e FLL), ambos com baixos teores de nitrogênio.

Tais divergências levam a supor que o comportamento desta espécie, quando em consórcio com eucalipto, não é padrão em relação à influência da luminosidade e fertilização.

4 CONCLUSÕES

- a) Não houve influência da utilização de fertilizantes na variável altura nas erva-mate. O cultivo da erva-mate com uso de níveis de luminosidade relativa de 30%, 45% e 60% e sem fertilização química induziu um maior crescimento de altura.
- b) Após dois anos de acompanhamento, a fertilização não demonstrou influência sobre o crescimento e incremento do diâmetro de copa. As melhores condições ambientais para incremento de diâmetro de copa foram verificadas nos tratamentos com maior luminosidade relativa.
- c) As erva-mate apresentaram maior área foliar quando submetidas a luminosidade relativa de 30% e 45% e demonstraram similaridade entre a fertilização convencional e fertilização de liberação lenta.
- d) Para o peso da biomassa comercial úmida, a luminosidade relativa de 60% demonstrou uma tendência de aumento da produtividade, quando comparada com luminosidade relativa de 45% e 30%. A fertilização promoveu efeitos discretos à produtividade da cultura de erva-mate, dentro do período de dois anos.

REFERENCIAS

ALMEIDA, L. P.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 83-88, 2004.

ANDRADE, F. M. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol.** 2004. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ANGELOCCI, L. R. **Processos de Transferência no sistema Planta Atmosfera.** Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ/USP. Mimeografado. 104 p. 1998.

BISSO, F. P.; SALET, R. L. **Exportações de nutrientes pela poda da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).** Santa Maria: Departamento de Solos UFSM, 2000. CD-Rom.

BLOOM, A. J. Nutrição Mineral. In: Taiz, L.; Zeiger, E. (Eds.). **Fisiologia Vegetal**, 3. ed., Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 96-103.

BOEGER, M. R. T.; ESPINDOLA, JR. A.; CAVICHIOLO, L. E.; MAZUCHOWSKI, J. Z.; MACCARI, JR. A. Efeito das diferentes condições de luz e concentrações de nitrogênio sobre a estrutura foliar de *Ilex paraguariensis* St. Hil. Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, 3., 16 a 19 de novembro de 2003. Chapecó (SC); **Anais...** Chapecó: EPAGRI, CD. 2003.

BRENA, D. A. Influência da luminosidade na produção de erva-mate. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 8., Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2002. 1 CD-ROM.

CAMPOS, M. A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamento da *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha.** Curitiba. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1991.

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

DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999. 81p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.
Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006.

ESPINDOLA JUNIOR, A. **Morfologia e anatomia foliar de duas espécies medicinais (*Mikania glomerata* Spreng. - Asteraceae e *Bauhinia forficata* Link. - Leguminosae) associada à erva mate, sob diferentes condições de luminosidade**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

FERREIRA, A. G.; ALMEIDA, J. S.; CUNHA, G. G. Fisiologia de *Ilex paraguariensis* St. Hil. com Ênfase na Embriologia Experimental. IN: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1, 1994, Porto Alegre. **Anais ...**, Porto Alegre: FAPERGS, p. 161. 1994.

FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; NESI, C. N. Produtividade da erva-mate cultivada sob diferentes densidades em consórcio com cinamomo e louropardo. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., 2006, Posadas. Anais... Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate - INYM, p. 274-279. 2006.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.**, em função do sítio e da dioícia. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1997.

GIVNISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. Australian **Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 15, p. 63-92, 1988.

GLIESSMANN, S, R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: EDURGS/ UFRGS, 653 p. 2000.

GONÇALVES, J. F. de C.; VIEIRA, G.; MARRENCO, R. A.; FERRAZ, J. B.; JUNIOR, U. M. dos S.; BARROS, F. C. Nutritional status and specific leaf area of mahogany and tonka beans under two light environments. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 23-27, 2005.

HUBER, D. M.; THOMPSON, I. A. Nitrogen and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul – USA: APS, p. 31-44. 2007.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 49 p. ilustr. (IAPAR, Documento, 18). 1994.

INOUE, M. T.; TORRES, D. V. Comportamento do crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em dependência da intensidade luminosa. **Floresta**, v. 11, n. 1, p. 5-9, 1980.

KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Porto Alegre: UFRGS, 54 p. Dissertação (Mestrado em Botânica)- Curso de Pós-Graduação em Botânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1985.

KLICH, M. G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 44, p. 171-183, 2000.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3. ed. New York: [s.n.], 506 p. 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo. EPU. 319 p. 1986.

LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast *Asian Hopea* (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 87, p. 447-455, 2000.

LIMA JUNIOR, É. C.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; OLIVEIRA, H. M. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de

plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, Sant Maria, v. 35, n. 5, p. 1092-1097, 2005.

LINDER, S.; ROOK D. A. Efeitos da nutrição mineral na troca de dióxido de carbono e partição de carbono em árvores. In: Nutrição de plantações florestais [Bowen, GD e EKS Nambiar (eds.)]. Academic Press, London, Reino Unido, pp 212-236. 1984.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; MOSELE, S. H.; WACZUC, A. **Efeito do adubo NPK 20-5-20 na produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Áurea, RS.** [s.l.]: EMBRAPA, 5 p. (Comunicado Técnico, 33). 1998.

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, 16p. 1997.

MARQUES, A. R.; GARCIA, Q. S.; FERNANDES, G. W. Effects of sun and shade on leaf structure and sclerophylly of *Sebastiania myrtilloides* (Euphorbiaceae) from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. **Boletim Botânico da Universidade de São Paulo**, [São Paulo], v. 18, p. 21-27, 1999.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **A Cultura da Erva-mate.** 2 Ed., Curitiba: Emater, 1991.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Influência de níveis de sombreamento e de Nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.** Dissertação de Mestrado em Solos: UFPR. Curitiba, 104 p. 2004.

MORAES, S. P. N.; GONÇALVES. J. L. M; TAKAKI. M; CENCI. S; GONÇALVES. J. C. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica, em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 35-45. 2000.

NAKAZONO, E. M.; COSTA, M. C. da; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M. T. S. **Crescimento Inicial de *Euterpe edulis* Mart. em Diferentes Regimes de Luz.** Revista Brasileira de Botânica. São Paulo, v. 24, n. 2, p. 173-179. 2001.

PANDOLFO, C. M.; FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M. DITTRICH, R. C. Resposta de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

PES, L. **Comportamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em consórcio silvicultural**. Santa Maria: UFSM, 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 1994.

POLETTI, I. **Nutrição, sombreamento e antagonismo biológico no controle da poderidão-de-raízes da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.)**. Dissertação de Mestrado em Proteção Florestal, UFSM. Santa Maria, 123 p. 2008.

POORTER, L. 1999. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Oxford, v. 13, p. 396-410, 1999.

PRABHU, A. S. Phosphorus and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul – USA: APS, p. 45-55. 2007.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; DEDECK, R. A.; NIETSCHKE, K.; FILHO, F. E. S.; VOGEL, R. C. Influência da luminosidade sobre a produtividade da erva-mate em latossolo vermelho-amarelo em São Mateus do Sul-PR. In: CONGRESSO SULAMERICANO DA ERVA-MATE, 1; Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate, 2., 1997,. Curitiba. **Anais...** Colombo. EMBRAPA-CNPQ, p. 445. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33). 1997.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; MEDRADO, M. J. S. Desenvolvimento de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) em floresta ombrófila mista no estágio de capoeirão, em cambissolo húmico em Colombo, PR. **EMBRAPA-CNPQ, Boletim** n.52, jan. p.1-2. 1998.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S; TAKAKI, M. Aspectos Fotomorfogenéticos de Plantas Jovens de Erva-Mate. In: CONGRESSO SUL

AMERICANO DA ERVA- MATE 3,. REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó, EPAGRI, 2003.

REGENT INSTRUMENTS. Win/MacRHIZO V4.1c **Introduction manual**. Régent Instruments Inc., Quebec, Canada. 36p, 1999.

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.), Curitiba. **Anais...**, Curitiba, p. 128-139. 1985.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. **As unidades fitogeográficas do estado do Paraná**. Ciência & Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, p. 75-92, jan/jun 2002.

SCHEEREN, L. W.; FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento de canela-lageana, *Ocotea pulchella* Nees et Mart. ex Nees, na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 137-144, jun. 2003.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM. 566 p. 2008.

SMITH, W. K.; VOGELMANN, T. C.; DELUCIA, E. H.; BELL, D. T.; SHEPHERD, K. A. Leaf form and Photosynthesis: do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? **Bioscience**, Washington, DC, v. 47, n. 11, p. 785-793, 1997.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestais. Disponível em: < www.ufsm.br/dcfl/seriestecnicas/serie2.pdf>. Acesso em 25 mar. 2013. 71p. 2000.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences**. New York, Mc Graw Hill, 481 p. 1960.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Repetibilidade da produção de massa foliar em erva-mate em dois tipos de solos na região da Ponta Grossa, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 43, p. 155-158, 2001.

SUERTEGARAY, C. E. O. **Dinâmica da cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) em sistemas agroflorestais e monocultivos**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p. 2004.

TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Acidez do solo e seus efeitos nas plantas. In: BISSANI, C.A. *et al.* **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, p. 75-92. 2004.

THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E.; CRAIG, I. E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees. I. Growth, leaf anatomy and nutrient content. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 19, p. 1-18, 1992.

VIEIRA, A. R. R.; SUERTEGARAY, C. E. O.; HELDWEIN, A. B.; MARASCHIN, M.; DA SILVA, A. L. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 11, n. 1, p. 91 - 97. 2003.

VOGELMANN, T. C.; NISHIO, J. N.; SMITH, W. K. Leaves and light capture: light propagation and gradients of carbon fixation within leaves. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 1, n. 2, p. 65-70, 1996.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, **Temas de Biologia**. vol. 30. 101 p. 1982.

WOLF, C. S. **Estimativa da exportação de nutrientes foliares em diferentes tipos de poda na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Dissertação de Mestrado em Agronomia: UFPR. Curitiba, 77 p. 2005.

CAPITULO II - EFEITO DA LUMINOSIDADE E FERTILIZAÇÃO NOS TEORES DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo, analisar os níveis foliares dos nutrientes C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn na erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil., Aquifoliaceae), em função da luminosidade e tecnologia de adubação mineral por 2 estações de crescimento. O estudo foi realizado em erval comercial aos 25 anos de idade, consorciado a 7 anos com eucalipto, localizado em Guarapuava (PR). Foi escolhida uma toposequência representativa e homogênea sob os aspectos edáficos, ao longo da qual foram alocados as 27 parcelas experimentais de 10 erveiras uteis, com bordadura simples. Os tratamentos foram configurados através do estabelecimento de luminosidade relativa de 30, 45 e 60% e a aplicação de fertilizante convencional e de liberação lenta. Foram coletadas as amostras foliares e submetidas a análise química. Para todas as variáveis foram realizadas análise de variância e teste de médias com respectivo teste de F para comparação de incremento entre as duas estações de crescimento. Observou-se que são diferentes os efeitos da luminosidade sobre os teores foliares dos nutrientes. Os fertilizantes promoveram incremento nos teores de nutrientes na segunda estação, sendo que o tratamento com FLL foi o mais efetivo no incremento de N, Ca, Fe em todas as luminosidades. O FLL provocou incremento nos teores de Mg e Zn na luminosidade de 45 e 30%, e incrementou teores de Na em 65,5% na luminosidade de 45%.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Adubação mineral. Macronutrientes. Micronutrientes.

CHAPTER II - THE EFFECT OF LIGHT AND FERTILIZATION IN LEVELS OF NUTRIENTS IN LEAVES OF YERBA MATE CONSORTIUM

ABSTRACT

This study aimed to analyze the levels of foliar nutrients C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu and Zn in maté (*Ilex paraguariensis* St. Hil., Aquifoliaceae), due luminosity and technology of mineral fertilizer for 2 growing seasons. The study was conducted at a commercial herbal to 25 years of age, intercropped with eucalyptus to 7 years old, located in Guarapuava (PR). One was picked and homogeneous under toposequência representative aspects edaphic, along which were allocated 27 plots the you experience useful erveiras 10, with a single border. Treatments were configured by establishing relative brightness of 30, 45 and 60% and the application of conventional fertilizer and slow release. Leaf samples were collected and submitted for chemical analysis. For all variables were conducted analysis of variance and mean test with respective F test for comparison of growth between the two growing seasons. It was observed that the effects are different brightness on foliar nutrients. The fertilizers promoted increase in levels of nutrients in the second season, and the FLL treatment was the most effective in increasing N, Ca, Fe in all luminosities. The FLL caused increase in levels of Mg and Zn in brightness of 45 and 30%, and increased levels of Na in 65.5% in the brightness of 45%.

Key-words: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Mineral fertilizer. Macronutrients. Micronutrients.

1 INTRODUÇÃO

A produtividade e sustentabilidade na exploração da erva-mate é dependente do manejo da luminosidade e da fertilização, em especial nos sistemas de consórcio, onde o equilíbrio de luz e nutrição devem estar adequados tendo em vista a competição entre as duas espécies florestais.

Para Christin (1987), a erva-mate quando adaptada a um plano de manejo adequado possui na adubação química uma das práticas de melhor resultado no rendimento dos ervais. Deve-se avaliar a possibilidade de obter-se, através da aplicação de fertilizantes, o aumento da produção de massa verde, em quantidades suficientes que justifiquem os gastos com sua aplicação.

O estudo da interação da radiação solar com uma superfície vegetada, assim como em seu interior, ainda é campo de estudo relativamente novo e complexo. O entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem na área vegetada tem como ponto de partida a boa caracterização da cobertura vegetal, bem como, de sua estrutura e distribuição dos elementos vegetais, como galhos e folhas (MARQUES FILHO, 1997).

Vieira *et al.* (2003) constataram a influência microclimática produzida pelo sistema agroflorestal de erva-mate com pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia*, em relação ao sistema de monocultivo da erva-mate, que a diferença pode ser evidenciada pelos valores de temperaturas máxima e mínima absolutas, aliado a amplitude de variação desses parâmetros. A radiação solar foi o parâmetro que exerceu a maior influência na área foliar e na produção de fitomassa de erva-mate. Os efeitos microclimáticos influenciaram o crescimento das plantas de erva-mate independentemente do estágio de crescimento.

A sombra moderada é obtida por meio da quantidade adequada de copas de árvores, número que varia de acordo com o tipo de folhas em cada espécie florestal, devendo ser distribuídos regularmente por unidade de superfície. As árvores com copas mais frondosas e elevadas requerem espaçamentos maiores entre as mesmas comparativamente àquelas que são mais baixas e apresentam formato de copa pequena (MAZUCHOWSKI, 2001).

Adicionalmente, devem apresentar troncos retilíneos e formato de copadas altas, sempre que possível (DA SILVA e MAZUCHOWSKI, 1999). No caso da erva-

mate, deverão ser observados esses requisitos nas espécies florestais introduzidas no erval, visando estabelecer o sombreamento desejado para o erval (MAZUCHOWSKI, 2001). Por outro lado, Ângelo e Jorge (2007) ressaltam os efeitos de sol e do sombreamento na fisiologia das plantas, bem como, suas consequências na produção de compostos minerais nas folhas dos vegetais.

Em sistemas mistos de produção, os efeitos da luminosidade, temperatura e umidade do ar e do solo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de erva-mate mostram-se sobremaneira importantes, principalmente pela competição por luz que se estabelece naqueles ambientes. O crescimento de caules e folhas da erva-mate poderá ser severamente limitado sob condições de sombreamento excessivo por outras espécies (GLIESSMANN, 2000).

RACHWAL *et al.* (1998 e 2000) concluíram que o fator luminosidade ou radiação fotossinteticamente ativa, aliado a época de poda da erva-mate, induziram variações nos teores dos compostos químicos vinculados ao sabor. Além disso, reportaram sobre a não ocorrência de diferenças significativas nos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo entre os níveis de luminosidade entre 77,5% e 19%. Os teores foliares de potássio foram inferiores enquanto que o conteúdo de taninos mostrou-se mais elevado no sítio com maior luminosidade relativa de 77,5%.

Segundo Kaspary (1985), a erva-mate é considerada um alimento quase completo por conter quase todos os nutrientes necessários ao organismo humano. Além disso sua composição química contém alcalóides (cafeína, metilxantina, teofilina e teobromina), taninos (ácidos fólico e cafeico), vitaminas (A, B₁, B₂, C e E), sais minerais (alumínio, cálcio, fósforo, ferro, magnésio, manganês e potássio). Estudos de Suzuki *et al.* (1992) sugerem que os teores desses componentes foliares podem ser alterados com o uso de fertilizantes.

As partes extraídas da erva-mate são folhas e ramos finos, acarretando uma grande exportação de nutrientes do ecossistema sendo o nitrogênio o elemento exportado em maior quantidade (REISSMANN *et al.*, 1985; WISNIEWSKI *et al.*, 1996), podendo chegar, em termos equivalentes, a cerca de 500 quilos anuais de uréia por hectare (LOURENÇO, 1997). Assim, a reposição de nutrientes no solo é fundamental para a manutenção da fertilidade e melhoria do potencial produtivo da planta (PANDOLFO *et al.*, 2003).

Segundo Bisso e Salet (2000), a manutenção da alta produtividade de um sistema agrícola deve levar em conta os aspectos nutricionais das plantas e o

esgotamento do solo, pela exportação dos nutrientes mediante a poda, pode levar à redução da sua produtividade.

O fato de a erva-mate ser uma cultura que tem suas folhas e ramos finos retirados regularmente, implicam na exportação maciça de nutrientes, ficando a reposição nutricional necessária para manter a produtividade (GAIAD e LOPES, 1986). No entanto, além dos estudos de nutrição da planta, também se torna importante o conhecimento dos elementos químicos que são consumidos pelo homem por meio da ingestão da bebida.

A colheita constitui no 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).

Os trabalhos com nutrição vegetal em erva-mate enfatizam o fornecimento de nitrogênio cujas quantidades recomendadas são maiores que as de fósforo e potássio (PANDOLFO *et al.*, 2003). Segundo Christin (1987), a fórmula mais equilibrada para adubação química de um ha de erva-mate é a composta de 4 partes de N, 1 parte de P e 1 parte de K. Nas plantações de Misiones e Nordeste de Corrientes, Argentina, em densidades de até 1.900 plantas por hectare (sistema convencional), é usada uma adubação média de 300 kg ha⁻¹, de uma fórmula na qual a relação entre N:P:K é de 30,5:7,5:7,5, resultando em aporte de aproximadamente 91 kg de N, 22 kg de P₂O₅ e 22 kg de K₂O por hectare (TRUJILLO, 1995).

Para fins de análise do estado nutricional de essências florestais folhosas, recomenda-se que sejam coletadas folhas recém maduras de ramos primários durante o verão e outono (MALAVOLTA *et al.*, 1989). 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).

Os bioelementos em folhas e hastes de erva-mate foram estudados por Reismann *et al.* (1983), revelando um bom suprimento de N, K, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn,

enriquecimentos em Mn, Al, B e baixos teores de P. Altos valores da relação N / P indicaram provável deficiência oculta de P.

Comparando os teores de macro e micronutrientes em folhas de erva-mate sob sombreamento e a céu aberto, Quadros *et al.* (1992) obtiveram diferenças estatisticamente significativas nas médias dos teores de N, K, Ca, Mg, Al, Mn, Fe, Zn e Si para as duas condições. Os teores de P, Cu e B foram estatisticamente iguais. Os teores dos elementos K, Ca, N, Mg, Mn, Zn e Si foram maiores nas folhas sombreadas e Al e Fe maiores nas folhas a céu aberto.

Em outra pesquisa, Reissmann e Prevedello (1992) observaram as correlações positivas entre o aumento da calagem e a concentração de K, Ca, Mg e Fe nos tecidos das folhas de erva-mate. Constataram também a ocorrência de baixos teores de P, fato que parece ser característico da espécie. Chamaram a atenção para os baixos níveis de Cu e os altos níveis de Zn que ultrapassaram a 100 ppm. Em outro estudo, Kricun (1983) comenta que o rendimento obtido pela planta de erva-mate é ligado mais à disponibilidade de nitrogênio do solo, do que a fósforo e potássio.

Por outro lado, Sosa (1997) e Mazuchowski (2001) referem-se aos estágios de desenvolvimento vegetativo da erva-mate como aspecto a ser observado para estabelecer os níveis de nutrientes existentes, uma vez que tendem a ser mais estáveis no outono e inverno. Em decorrência, para realização de amostragem foliar, esse período é recomendado para as regiões com climas temperados e frios, ou simplesmente durante a estação do inverno.

Malavolta (1980) exemplifica sintomas de deficiência e excesso de nutrientes, interferindo em vários parâmetros de crescimento das plantas. O tamanho das folhas é afetado pela deficiência de N e B; a altura total da planta diminui pela deficiência de K; excesso de Cu diminui o crescimento e ramificação. Já o nitrogênio é o macronutriente mais abundante nas plantas e o mais exigido pela maioria das culturas.

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.

Kricun e Belingheri (1995) estudando doses de nitrogênio em diferentes densidades de plantas de erva-mate em trabalho 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 adubação de até 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Sosa (1994) também observou 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.* (2003) 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.

Sanz e Isasa (1991) determinaram o conteúdo de sódio, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco em duas marcas comerciais de erva-mate, analisando a erva-mate in natura, a infusão e a cocção desta, e obtiveram um elevado conteúdo mineral com destaque para os níveis de potássio, magnésio e manganês. Os autores sugerem que o fornecimento desses minerais para a erva-mate é de grande importância, já que constituem em suprimento mineral aos consumidores.

Heinrichs e Malavolta (2001) verificaram que as maiores concentrações de elementos químicos na infusão da erva-mate, em ordem decrescente, foram K – Mg – S – Ca – P.

Segundo Stagg e Millin (1975), o K é importante para pessoas hipertensas. Por sua vez, o Mn exerce funções no organismo através da ativação de enzimas (co-fator) ou por ser parte integrante de sistemas enzimáticos (ROSA, 1991), a erva-mate se torna uma importante fonte do elemento, pois a maioria dos alimentos apresentam concentração muito pequenas (STAGG; MILLIN, 1975).

A proposição do presente trabalho teve como objetivo analisar os teores foliares dos nutrientes C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn, durante as estações de crescimento de 2011 e 2012, na cultura da erva-mate consorciada com eucalipto, além de verificar a influência entre luminosidade e fertilização nesse sistema de produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em área pertencente à Fazenda São José, situada na Serra da Esperança, município de Guarapuava-PR, a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e 286 km de distancia de Curitiba.

Segundo classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, e o solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Álico típico pouco profundo textura argilosa cascalhenta A proeminente (EMBRAPA, 1999), com suas características químicas (TABELA 2.1) e físicas (TABELA 2.2) nas distintas profundidades.

TABELA 2.1 - INDICADORES DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. GUARAPUAVA, PR.

Profundidade	pH		Al ⁺³	H + Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	T	P	C	V	m
	CaCl ₂	SMP											
0 – 20	4,24	4,79	2,0	14,57	2,3	1,6	0,09	3,96	18,53	1,9	42,1	21	34
20 – 40	3,94	4,54	3,9	18,17	1,1	0,6	0,07	1,76	19,92	5,2	39,8	9	69
40 – 60	4,08	4,86	2,2	11,60	0,1	0,1	0,02	0,26	11,85	1,2	19,4	2	89
60 – 80	4,15	5,24	1,2	8,74	0,1	0,0	0,01	0,07	8,81	0,3	12,7	1	95
80 – 110	4,41	5,32	0,3	8,24	0,8	0,0	0,01	0,84	9,07	0,2	14,0	9	25

FONTE: O AUTOR (2013)

TABELA 2.2 - DADOS DA ANÁLISE FÍSICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. GUARAPUAVA, PR.

Profundidade	Areia Grossa		Areia fina		Argila	Silte
	g kg ⁻¹					
0 – 20	73		74		600	253
20 – 40	74		95		580	251
40 – 60	94		73		600	233
60 – 80	118		70		560	252
80 - 110	48		48		700	204

FONTE: O AUTOR (2013)

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com 9 tratamentos e 3 repetições, sendo 10 plantas úteis por parcela, com bordadura simples, das quais foram coletadas 100 folhas inteiras acondicionadas em saco de papel e transportadas até o Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da UFPR, onde foi realizada a análise química foliar dos nutrientes.

A seleção das plantas úteis foram definidas segundo a fórmula de Stein (STEEL; TORRIE, 1960), resultando 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização.

Os tratamentos basearam-se em diferentes luminosidades relativas (30, 45 e 60 %), sem fertilização (SF), fertilização convencional (FC) e de liberação lenta (FLL) como segue: T7: 30% + SF; T8: 30% + FC e T9: 30% + FLL; T1: 45% + SF; T2: 45% + FC; T3: 45% + FLL; T4: 60% + SF; T5: 60% + FC; T6: 60% + FLL.

Os níveis de luminosidade foram estabelecidos através da diminuição da densidade de eucaliptos do povoamento (corte e retirada), até atingir níveis de luminosidade relativa de 60, 45 e 30% considerando-se a média entre a luminosidade de primavera, verão, outono e inverno. As determinações de luminosidade foram efetuadas nas 10 plantas úteis de cada parcela, posicionando-se luxímetro, modelo ICEL LD-550 (ICEL, 2013) no quadrante norte da parte superior da copa.

A adubação mineral foi realizada com fertilizante convencional de pronta solubilidade (FC) da formulação 15-05-30 (15% de N; 5% de P_2O_5 e 30% de K_2O) e fertilizante de liberação lenta de solubilidade controlada (FLL) com formulação 15-08-12 (15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O). A dosagem do fertilizante convencional foi de 200 g por planta por ano, sendo fornecidas em duas aplicações de 100 g por planta nos meses de setembro e dezembro, aplicado em círculo na projeção da copa. A dosagem do fertilizante de liberação lenta foi de 30 g por planta ano, administrada em aplicação única no mês de setembro, através de 3 covas simples de 20 cm de profundidade, abertas na projeção da copa.

O beneficiamento das amostras consistiu na lavagem de 100 folhas de cada planta selecionada, com água deionizada, sendo secadas em estufa de circulação de ar forçada à temperatura de 60 °C até peso constante. Após, as folhas foram pesadas e moídas em moinho tipo Willy, deixando a amostra com partículas menores ou iguais a 0,5 mm, para acondicionamento em frascos limpos devidamente tampados e identificados.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e a hipótese de incremento anual de nutrientes foi testada pelo teste de F.

2.1 ANALISE DE P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu E Zn POR DIGESTÃO VIA SECA E SOLUBILIZAÇÃO COM HCl 3 MOL L⁻¹

A análise química mineral total dos elementos P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn foi efetuada após incineração em mufla à 500 °C, com posterior solubilização em HCl 3 Mol L⁻¹. O P foi determinado por colorimetria com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. A determinação de K e Na foi realizada por fotometria de emissão e Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, por espectroscopia de absorção atômica por chama (MARTINS; REISSMANN, 2007).

2.1.1 Obtenção de extratos de hidrossolúveis

A extração aquosa foi realizada usando a proporção de 100 ml de água desionizada para 1 g de material foliar (1:100) com posterior filtragem do extrato em papel de filtro faixa azul 389³. A água desionizada foi adicionada já em estado aquecido (75 a 80 °C) no balão que continha a amostra e mantida sob aquecimento em chapa quente durante 5 minutos. Após este período, filtrou-se o extrato ainda quente em balão volumétrico de 250 ml, em metodologia adaptada de Reissmann *et al.*, (1994).

Ao atingir a temperatura ambiente, pipetou-se 25 ml de cada amostra em cadinho de porcelana e deixados em chapa aquecida a temperatura de 40 °C até evaporar todo o líquido. Foram determinados os teores dos elementos P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, e Na, utilizando a mesma metodologia descrita anteriormente (MARTINS; REISSMANN, 2007).

2.1.2 Análise de C e N

Do material beneficiado (seco e moído), foram pesadas sub-amostras de 20 mg ($\pm 0,013$) que foram acondicionadas em cápsulas de estanho, sendo introduzidas

no analisador elementar (modelo VARIO EL III) para determinação de carbono e nitrogênio via combustão.

3 RESULTADOS

3.1 MACRONUTRIENTES

Na TABELA 2.3 estão demonstrados os teores de macronutrientes (C, N, P, K, Ca e Mg) presentes em folhas de erva-mate produzidas sob diferentes luminosidades e adubação mineral. Os testes de comparação de médias aplicados para verificar maior quantidade de nutriente em detrimento dos tratamentos estabelecidos, bem como o incremento anual de produção de nutrientes encontram-se na TABELA 2.4.

TABELA 2.3 - TEORES DE MACRONUTRIENTES PRESENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) E ADIÇÃO DE FERTILIZANTE CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL)

	60%	45%	30%	60%	45%	30%
	2011			2012		
C (g kg⁻¹)						
SF	477,70 a	477,70 a	479,90 a	478,95 a	478,67 a	480,27 a
FC	479,13 a	476,56 a	480,10 a	479,17 a	482,66 a	480,82 a
FLL	477,96 a	480,70 a	479,60 a	482,82 a	480,55 a	484,14 a
CV (%)	0,62	1,06	0,65	1,01	0,52	0,61
N (g kg⁻¹)						
SF	27,26 a	28,00 a	30,76 a	33,87 a	34,80 a	32,70 a
FC	29,70 a	29,33 a	29,46 a	35,26 a	34,62 a	32,56 a
FLL	29,83 a	30,46 a	29,03 a	35,75 a	33,58 a	34,18 a
CV (%)	4,92	5,11	4,00	4,28	5,47	5,8
P (g kg⁻¹)						
SF	1,10 a	1,06 b	1,26 a	1,15 a	1,16 a	1,41 a
FC	1,03 a	1,13 ab	1,16 a	1,17 a	1,19 a	1,44 a
FLL	1,13 a	1,20 a	1,13 a	1,20 a	1,23 a	1,40 a
CV (%)	6,84	4,15	4,85	6,59	7,71	3,55
K (g kg⁻¹)						
SF	6,83 a	7,23 a	6,26 a	7,91 a	8,73 a	6,99 a
FC	5,46 ab	6,80 a	7,63 a	7,34 a	8,82 a	9,18 a
FLL	4,90 b	6,66 a	7,26 a	5,65 a	7,52 a	8,08 a
CV (%)	13,19	14,16	15,82	14,23	10,46	20,18
Ca (g kg⁻¹)						
SF	2,26 ab	2,46 a	2,06 a	3,81 a	3,08 a	3,80 a
FC	1,83 b	2,16 a	1,96 a	3,41 a	3,66 a	3,26 a
FLL	2,50 a	1,93 a	2,03 a	3,44 a	3,50 a	3,55 a
CV (%)	10,71	27,66	17,13	18,1	15,46	17,82
Mg (g kg⁻¹)						
SF	2,70 a	2,66 a	2,90 a	6,96 a	6,28 a	3,80 a
FC	2,60 a	2,56 a	2,40 a	5,34 a	6,88 a	3,26 a
FLL	2,90 a	2,50 a	2,56 a	3,44 a	6,99 a	3,55 a
CV (%)	8,7	11,34	15,77	28,59	12,54	17,82

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O AUTOR (2013)

TABELA 2.4 - COMPARAÇÃO DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NAS FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%), SEM ADIÇÃO (SF) E COM ADIÇÃO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL)

	60%			45%			30%		
	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	
C (g kg⁻¹)									
SF	477,7 a	478,9 a	0,1 ^{ns} (0,89)	477,7 a	478,6 a	0,1 ^{ns} (0,58)	479,9 a	480,2 a	0,0 ^{ns} (0,78)
FC	479,1 a	479,1 a	0,0 ^{ns} (0,67)	476,5 a	482,6 a	1,8 ^{ns} (1,14)	480,1 a	480,8 a	0,0 ^{ns} (0,74)
FLL	477,9 a	482,8 a	1,7 ^{ns} (0,93)	480,7 a	480,5 a	0,0 ^{ns} (0,67)	479,6 b	484,1 a	27,9 ^{**} (0,22)
N (g kg⁻¹)									
SF	27,2 b	33,8 a	21,6 ^{**} (5,69)	28,00 b	34,8 a	13,6 [*] (7,19)	30,7 b	32,7 a	8,8 [*] (2,50)
FC	29,7 b	35,2 a	28,5 ^{**} (3,92)	29,33 b	34,6 a	15,0 [*] (5,24)	29,4 a	32,6 a	3,9 ^{ns} (6,19)
FLL	29,8 b	35,7 a	29,6 ^{**} (4,06)	30,46 b	33,5 a	19,1 [*] (2,72)	29,0 b	34,8 a	11,8 ^{**} (5,80)
P (g kg⁻¹)									
SF	1,10 a	1,15 a	0,7 ^{ns} (7,38)	1,06 a	1,16 a	4,5 ^{ns} (5,25)	1,26 b	1,41 a	10,7 [*] (4,26)
FC	1,03 a	1,17 a	4,1 ^{ns} (7,46)	1,13 a	1,19 a	0,4 ^{ns} (9,42)	1,16 b	1,44 a	52,4 ^{**} (3,56)
FLL	1,13 a	1,20 a	1,8 ^{ns} (5,18)	1,20 a	1,23 a	2,5 ^{ns} (2,21)	1,13 b	1,40 a	31,3 ^{**} (4,61)
K (g kg⁻¹)									
SF	6,83 a	7,91 a	0,8 ^{ns} (19,28)	7,23 a	8,73 a	1,9 ^{ns} (16,44)	6,26 a	6,99 a	0,9 ^{ns} (13,81)
FC	5,46 b	7,34 a	33,2 ^{**} (6,23)	6,80 b	8,82 a	30,1 ^{**} (5,77)	7,63 a	9,18 a	2,3 ^{ns} (14,72)
FLL	4,90 a	5,65 a	5,4 ^{ns} (7,47)	6,66 a	7,52 a	1,6 ^{ns} (11,41)	7,26 a	8,08 a	0,2 ^{ns} (24,36)
Ca (g kg⁻¹)									
SF	2,26 b	3,81 a	14,4 [*] (16,44)	2,46 a	3,08 a	1,2 ^{ns} (24,38)	2,06 b	3,80 a	12,5 [*] (20,50)
FC	1,83 b	3,41 a	12,6 [*] (20,74)	2,16 b	3,66 a	7,9 [*] (22,32)	1,96 a	3,26 a	7,4 ^{ns} (22,25)
FLL	2,50 b	3,44 a	8,4 [*] (13,44)	1,93 b	3,50 a	42,0 ^{**} (10,89)	2,03 b	3,55 a	45,1 ^{**} (9,91)
Mg (g kg⁻¹)									
SF	2,70 b	6,96 a	45,2 ^{**} (16,07)	2,66 b	6,28 a	141,0 ^{**} (8,33)	2,90 a	3,80 a	2,5 ^{ns} (20,57)
FC	2,60 a	5,34 a	4,1 ^{ns} (41,71)	2,56 b	6,88 a	52,4 ^{**} (15,44)	2,40 a	3,26 a	3,4 ^{ns} (20,19)
FLL	2,90 a	3,44 a	3,7 ^{ns} (10,90)	2,50 b	6,99 a	57,9 ^{**} (15,23)	2,56 b	3,55 a	28,2 ^{**} (7,43)

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste de F foi realizado para comparar os dois anos de produção.

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns}não significativo.

FONTE: O AUTOR (2013)

3.1.1 Carbono (C)

Os níveis de luminosidade relativa de 60%, 45% e 30% não apresentaram diferenças significativas de teor de carbono nas erveiras, bem como, a fertilização também não influenciou. Conforme a TABELA 2.3, no ano de 2011, as maiores médias foram verificadas nos tratamentos de 60% + FC e de 30% + FLL, além de 45% + FLL, embora não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

A luminosidade e a adubação mineral não aumentaram os teores de C na folha de erva-mate, embora tenha havido incremento no T9 (30% + FLL) quando comparado aos teores do ano anterior (TABELA 2.4).

3.1.2 Nitrogênio (N)

Verifica-se na TABELA 2.3 que o menor teor de N foi de 27,26 g kg⁻¹ produzido no tratamento T4 (60% + SF), enquanto que o maior teor foi de 35,75 g kg⁻¹ correspondentes ao tratamento T6 (60% + FLL). Esses teores são mais altos do que aqueles detectados em árvores adultas de erval nativo, de 15 a 22 g kg⁻¹ por Reissmann *et al.* (1983), e entre 17,2 a 24,6 g kg⁻¹ por Fossati (1997), ambos superiores aos 18,8 g km⁻¹ obtidos por Souza *et al.* (2008), em erval sem aplicação de qualquer fertilizante.

Menores teores de N em folhas de erva-mate, entre 21,9 a 24,3 g kg⁻¹, foram obtidos por Campos (1991). Esses indicadores levantados coincidem com os levantados por Pandolfo *et al.* (2003), entre 24,1 a 29,1 g km⁻¹) obtido com fertilizante convencional e orgânico a base de cama de aviário, bem como, os teores de 27,0 a 31,5 g kg⁻¹, levantados por Borille (2005) e de Reissmann e Prevedello (1992) que encontraram teores médios de 29 g kg⁻¹. Por outro lado, Radomski *et al.* (1992) consideram valores maiores que 23 g kg⁻¹ de N como adequados para erva-mate.

Destaca-se na comparação entre os dados levantados nos dois anos (TABELA 2.4) que houve efeito positivo dos tratamentos sobre os teores de N, exceto para o T8 (30%FC) que não diferiu dos teores do primeiro ano.

3.1.3 Fósforo (P)

Conforme na TABELA 2.3, o teor médio de P na folha variou entre 1,03 e 1,44 g kg⁻¹ no T5 (60% + FC) e T8 (30% + FC) respectivamente, situando-se intermediariamente, fato que Reissmann *et al.* (1985) consideraram como um valor baixo (1,2 g kg⁻¹) quando comparado a outras folhosas, e inferior ao teor de 1,7 g kg⁻¹ em tratamento com aplicação de 100 e 125 g de P₂O₅ por planta realizado por Pandolfo *et al.* (2003).

Souza *et al.* (2008) observaram teores inferiores a 0,82 g kg⁻¹ na mesma localidade sem adubação. Sosa (1992) considera baixos os valores de fósforo entre 0,8 e 2,8 g kg⁻¹.

As erveiras fertilizadas com FC e FLL, submetidas a luminosidade relativa de 45% no primeiro ano de experimentação, foram as que apresentaram maiores teores de P nas folhas quando comparadas com o tratamento SF, provavelmente devido ao aporte desse nutriente na cultura. Não houve incremento nos teores de P em nenhum dos tratamentos de fertilização com luminosidade relativa de 60 e 45% (TABELA 2.4).

Pandolfo *et al.* (2000) comentam que a aplicação de P na cultura de erva-mate não proporciona diferença significativa na sua produção. Reissmann *et al.* (1983), Radomski *et al.* (1992) e Rachwal *et al.* (2000), também obtiveram baixos teores de P nas folhas da erva-mate, evidenciando baixa exigência do elemento pela planta, além de deduzirem tratar-se de uma característica nutricional da espécie, aliado a existência de mecanismos de adaptação aos baixos níveis de P disponível no solo.

O presente estudo aponta uma resposta positiva na absorção desse elemento no segundo ano de fertilização quando ocorreu incremento nos teores de P de 19,3%, em comparação com o primeiro ano (TABELA 2.4), nas erveiras submetidas a menor luminosidade (30%) e fertilizadas com FC e FLL, confirmando àqueles pontos de vista, defendido até o momento, de baixa exigência da cultura a este nutriente e, confirmando afirmações de Ceconi *et al.* (2007) quanto a obtenção de resposta a altos níveis de P na erva-mate. Contudo, deve ser observado o baixo teor de P existente no solo em condições naturais.

3.1.4 Potássio (K)

Para o K, os teores nas folhas variaram com a menor média de 4,90 no T6 (60% + FLL) e maior para 9,18 g kg⁻¹ no T8 (30% + FC) (TABELA 2.3). Souza *et al.* (2008) observaram teores médios superiores de 15,0 g kg⁻¹ na mesma localidade sem adubação. Reissmann *et al.* (1983) encontraram teores de K na folha variando de 14,1 a 18,1 g kg⁻¹, considerando satisfatório o suprimento do elemento para a planta. Pandolfo *et al.* (2003) detectou teores de 8,0 g kg⁻¹, na ausência de adubação potássica a 19,2 g kg⁻¹ com a aplicação de 125 g de K₂O por planta.

Sosa (1992) considera os valores de 12,2 a 14,9 g kg⁻¹ baixos para erva-mate. A concentração de Mg no solo (TABELA 2.1), presente possivelmente pelas práticas agrícolas pretéritas de calagem na área, pode estar inibindo o K no solo, limitando sua disponibilização para as plantas, pela relação antagônica entre o K e o Mg (TISDALE *et al.*, 1993).

Os maiores incrementos anuais do teor de K foram de 25,6 e 22,9% que ocorreram nos tratamentos T5 (60%FC) e T2 (45%FC) respectivamente. (TABELA 2.4).

A aplicação de fertilizantes FC e FLL, nas luminosidades de 45 e 60%, afetou os teores de N, P e K das folhas (TABELA 2.3). Rachwal *et al.* (2000), estudando a influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes em folhas de erva-mate, concluíram que não houve diferença estatística entre os níveis de luminosidade 77,5% e 19,0% no que se refere aos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, nos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos, devido a grande variabilidade nos dados. No local de maior luminosidade relativa, os teores foliares de K foram inferiores àqueles encontrados em locais onde os níveis de luminosidade relativa foram menores, corroborando com os resultados alcançados no presente estudo.

3.1.5 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

Com relação aos teores de Ca e Mg nas folhas, observa-se que os maiores teores são encontrados nas maiores luminosidades relativa (TABELA 2.3). Contrapondo, Rachwal *et al.* (2000) observaram as maiores diferenças nos ambiente mais sombreado, onde os teores de magnésio foram os mais elevados e os teores de fósforo foram os mais reduzidos.

O maior teor de Ca (3,81 g kg⁻¹) foi verificado no tratamento T4 (60% + SF) na ausência de adubação mineral, podendo ser atribuído à inibição competitiva do K com o Ca, ou seja, um aumento na concentração de K no solo pode diminuir a absorção desse elemento pela planta (MALAVOLTA *et al.*, 1989; MARSCHNER, 1995).

Os teores médios de Mg variaram entre 2,40 a 6,99 g kg⁻¹, ocorrendo um maior incremento no segundo ano de experimentação para as erveiras submetidas a luminosidade de 45% em todas as formas de fertilização. Esse incremento no segundo ano, nos teores de Mg podem estar relacionados com os baixos teores de K e possivelmente a manutenção dos níveis de Ca reflitam uma diminuição da competição iônica pelos sítios de absorção (MELLO, 1983; MALAVOLTA *et al.*, 1989), permitindo maior absorção de Mg.

Reissmann *et al.* (1985), encontraram teores médios de 6,85 e 3,95 g kg⁻¹ de Ca e Mg respectivamente, comparativamente aos levantados no presente trabalho, são mais elevados para o Ca, porém concordantes para os teores médios de Mg. Souza *et al.* (2008) observaram teores semelhantes de 4,56 e 3,02 g kg⁻¹ na mesma localidade sem adubação.

3.2. MICRONUTRIENTES

Na TABELA 2.5 estão demonstrados os teores de micronutrientes (Na, Fe, Mn, Cu e Zn) em folhas de erva-mate, produzidas sob diferentes luminosidades e adubação mineral. Os testes de comparação de médias aplicados para verificar maior quantidade de nutriente em detrimento dos tratamentos estabelecidos, bem como o incremento anual de produção de nutrientes encontram-se na TABELA 2.6.

3.2.1 Sódio (Na)

Os teores médios de Na presentes nas folhas da erva-mate foram de 101 a 292 mg kg⁻¹, sendo que os maiores incrementos ocorreram no nível de luminosidade de 45%, com um incremento de fertilização no segundo ano de 65,5 e 40 % comparativamente com o primeiro ano no T3 (45% + FLL) e no T6 (60% + FLL) respectivamente, representando os maiores incrementos obtidos nos tratamentos com FLL (TABELA 2.6). Esses teores são similares àqueles verificados por Oliva (2007), em progênies de duas localidades no Paraná, de 270 a 150 mg kg⁻¹.

TABELA 2.5 - TEORES DE MICRONUTRIENTES PRESENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%), SEM ADIÇÃO (SF) E COM ADIÇÃO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL).

	60%	45%	30%	60%	45%	30%
	2011			2012		
Na (mg kg⁻¹)						
SF	110 a	202 a	174 a	252 a	232 a	241 a
FC	110 a	163 ab	211 a	223 a	242 a	244 a
FLL	121 a	101 b	184 a	202 a	292 a	223 a
CV (%)	13,41	21,42	24,48	15,81	9,06	8,52
Fe (mg kg⁻¹)						
SF	32,5 a	42,1 a	38,6 a	56,8 b	16,6 b	101,9 a
FC	31,4 a	40,6 a	34,5 a	68,8 ab	24,4 b	111,4 a
FLL	28,9 a	37,0 a	31,4 a	79,8 a	52,4 a	122,4 a
CV (%)	6,7	9,52	15,75	11,72	16,03	7,5
Mn (mg kg⁻¹)						
SF	884,6 a	717,1 a	651,4 a	957,5 a	750,6 a	654,2 ab
FC	603,4 b	743,6 a	852,3 a	716,8 a	815,2 a	905,7 a
FLL	504,9 b	515,8 a	511,2 a	607,2 a	505,9 a	541,0 b
CV (%)	15,88	24,38	21,64	25,72	26,84	19,22
Cu (mg kg⁻¹)						
SF	4,2 a	7,8 a	3,0 a	20,5 c	9,9 b	31,1 b
FC	3,6 a	6,0 b	3,4 a	24,5 b	11,2 b	34,9 a
FLL	3,2 a	5,8 b	1,7 b	27,8 a	16,0 a	36,4 a
CV (%)	14,81	7,42	11,69	4,62	12,04	3,66
Zn (mg kg⁻¹)						
SF	66,4 a	66,1 a	81,9 a	86,9 a	82,7 a	85,0 a
FC	72,9 a	50,7 a	74,2 a	78,2 a	78,4 a	96,2 a
FLL	72,1 a	72,9 a	72,2 a	74,9 a	85,4 a	93,6 a
CV (%)	17,34	25,38	14,33	17,57	15,3	9,05

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O AUTOR (2013)

3.2.2 Ferro (Fe)

O menor teor de Fe (16,6 mg kg⁻¹) ocorreu no T1 (45% + SF) enquanto o maior teor de 122,4 mg kg⁻¹ no T9 (30% + FLL). De modo geral, os maiores valores foram verificados no segundo ano de adubação mineral. Exceto para o T1 e T2, houve incremento nos teores de Fe em todos os níveis de luminosidade e fertilização, sendo que os maiores incrementos ocorreu na luminosidade de 30% (TABELA 2.5). Em trabalho de Reissmann *et al.* (1983) foram encontrados teores de Fe na folha variando de 88 a 113 mg kg⁻¹.

Os valores de Fe tiveram um relativo aumento comparativamente aos valores do primeiro ano, indicando a influência do efeito proporcionado pela adubação mineral, já que sua disponibilidade é influenciada diretamente pela sua presença no

solo, de forma independente dos níveis de luminosidade. Também deve considerar-se a importância do genótipo e do ambiente rizosférico para atuação dos mecanismos específicos de absorção deste elemento (MENGEL; KIRKBY, 1987; JOLLEY; BROWN, 1994).

TABELA 2.6 - COMPARAÇÃO DOS TEORES DE MICRONUTRIENTES PRESENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM CONSÓRCIO COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) SEM ADIÇÃO (SF) E COM ADIÇÃO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAL (FC) E DE LIBERAÇÃO LENTA (FLL)

	60%			45%			30%		
	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)
Na (g kg ⁻¹)									
SF	110 b	252 a	124,0**(9,0)	202 b	232 a	10,5*(6,5)	174 a	241 a	5,4 ^{ns} (17,8)
FC	110 b	223 a	16,6*(21,9)	163 a	242 a	4,9 ^{ns} (20,2)	211 a	244 a	1,5 ^{ns} (18,3)
FLL	121 b	202 a	15,3*(16,1)	101 b	292 a	98,2**(12,1)	184 a	223 a	3,8 ^{ns} (12,3)
Fe (mg kg ⁻¹)									
SF	32,5 b	56,8 a	18,9*(15,2)	42,1 a	16,6 b	74,8**(12,2)	38,6 b	101,9 a	196,2**(7,8)
FC	31,4 b	68,8 a	171,2**(6,9)	40,6 a	24,4 b	27,0**(11,7)	34,5 b	111,4 a	105,2**(12,5)
FLL	28,9 b	79,8 a	87,4**(12,2)	37,0 b	52,4 a	11,2*(12,5)	31,4 b	122,4 a	344,3**(7,8)
Mn (mg kg ⁻¹)									
SF	884,6 a	957,5 a	0,1 ^{ns} (23,1)	717,1 a	750,6 a	0,0 ^{ns} (30,8)	651,4 a	654,2 a	0,0 ^{ns} (14,1)
FC	603,4 a	716,8 a	0,7 ^{ns} (23,9)	743,6 a	815,2 a	0,2 ^{ns} (21,6)	852,3 a	905,7 a	0,3 ^{ns} (12,6)
FLL	504,9 a	607,2 a	4,0 ^{ns} (11,2)	515,8 a	505,9 a	0,0 ^{ns} (20,1)	511,2 a	541,0 a	0,0 ^{ns} (37,0)
Cu (mg kg ⁻¹)									
SF	4,2 b	20,5 a	338,2**(8,7)	7,8 a	9,9 a	2,9 ^{ns} (16,6)	3,06 b	31,1 a	2395,1**(4,1)
FC	3,6 b	24,5 a	1540,5**(4,6)	6,0 b	11,2 a	160,1**(5,8)	3,40 b	34,9 a	2943,8**(3,7)
FLL	3,2 b	27,8 a	1209,1**(5,5)	5,8 b	16,0 a	122,5**(10,2)	1,7 b	36,4 a	1196,4**(6,4)
Zn (mg kg ⁻¹)									
SF	66,4 a	86,9 a	2,8 ^{ns} (19,5)	66,1 a	82,7 a	1,5 ^{ns} (21,6)	81,9 a	85,0 a	0,2 ^{ns} (10,1)
FC	72,9 a	78,2 a	0,4 ^{ns} (12,7)	50,7 a	78,4 a	3,3 ^{ns} (28,7)	74,2 a	96,2 a	5,4 ^{ns} (13,5)
FLL	72,1 a	74,9 a	0,0 ^{ns} (19,4)	72,9 b	85,4 a	11,4*(5,6)	72,2 b	93,6 a	9,0*(10,5)

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste de F foi realizado para comparar os dois anos de produção

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo.

FONTE: O AUTOR (2013)

3.2.3 Manganês (Mn)

Os teores de Mn encontram-se na faixa de 504,9 a 957,5 mg kg⁻¹, tendo a menor média no tratamento 45% (FLL) e a maior no tratamento 60%(SF), sem ter ocorrido incremento entre os dois anos em nenhum tratamento. Entretanto, tiveram diferença estatística entre os tratamentos na luminosidade relativa 60%, onde a não fertilização mostrou maiores teores de manganês, quando comparado com a

fertilização FC e FLL. Na luminosidade 30% a fertilização com FC diferenciou-se estatisticamente da FLL, resultando em maiores teores de manganês.

Esses valores são considerados altos se comparados a outras espécies florestais, podendo estar relacionados a prática de calagem realizada preteritamente na área de experimentação, onde eram cultivadas culturas agrícolas anuais. Segundo Reissmann *et al.* (2004), a prática da calagem tem efeitos substanciais na composição química da folha de erva-mate, sendo que os maiores efeitos em termos quantitativos incidiram sobre o Mn. Em trabalho anterior (1994), encontraram valores de Mn entre 1024 a 217 mg kg⁻¹. Após oito meses decorridos após a calagem na cultura da erva-mate (2004) encontraram valores foliares de até 1188 mg kg⁻¹, assemelhando-se a condição de crescimento das erveiras do presente trabalho.

3.2.3 Cobre (Cu)

As médias do teor de Cu estão entre 1,7 a 7,8 mg kg⁻¹ na primeira estação de crescimento de 2011, sendo os maiores teores verificados nos tratamentos sem fertilização e na luminosidade de 45%, valores semelhantes com os encontrados por Fossati (1997) de 8 mg kg⁻¹. Na segunda estação de crescimento de 2012, os valores de 9,3 a 36,4 mg kg⁻¹, onde o FLL teve maiores teores para todos os níveis de luminosidade. Os valores são semelhantes aos encontrados por Reissmann *et al.* (1983) que obtiveram teores de Cu na folha variando entre 19 a 29 mg kg⁻¹.

Há referências que o nível de Cu pode variar na faixa de 5,0 – 50,0 mg kg⁻¹ de M. S., na erva-mate (RADOMSKI *et al.*, 1992). Os teores de Cu quando comparados com Ribeiro (2005) e Reissmann e Carneiro (2004) são equivalentes, enquanto em amostras coletadas aos sete anos de idade por Robassa (2005) variaram de 7 a 11 mg kg⁻¹ em folhas maduras de morfotipos de erva-mate.

Na TABELA 2.6, observa-se que houve efeito positivo dos fertilizantes em todos os níveis de luminosidade incrementando os teores de Cu de um ano para outro. Os maiores incrementos de Cu foram verificados no menor nível de luminosidade (30%), onde ocorreu em quantidade superior a 10 vezes comparativamente ao primeiro ano das folhas.

3.2.4 Zinco (Zn)

Os teores de zinco (TABELA 2.5) apresentam uma média de teores entre 96,2 a 50,7 mg kg⁻¹, embora sem diferenciação estatística entre os tratamentos com fertilizantes e luminosidades. São valores superiores aos levantados por Reissmann *et al.* (1983), com teores variando de 21 a 38 mg kg⁻¹. Essa diferença pode ser reflexo do aproveitamento do Zn pela cultura adubada com fertilizante mineral contendo Zn, bem como, pela presença do P que pode inibir a presença do Zn pelo efeito de diluição, antagonismo ou pela formação de compostos insolúveis de Zn com P na planta ou no solo (BROWN *et al.*, 1970).

Na comparação entre os dois anos houve incremento de Zn de 17,1 e 29,7 % para os tratamentos T3 (45%FLL) e T9 (30%FLL) respectivamente (TABELA 2.6).

Em síntese, observou-se que os teores de macronutrientes C, P e Mg foram considerados normais, enquanto K, Ca baixos, tendo como base comparativa o trabalho de Reissmann *et al.* (1983), embora tenha havido um incremento sutil na luminosidade relativa de 45%. Para o N os teores foram considerados altos se comparados com ervais nativos e semelhantes aos ervais adubados. O aumento dos nutrientes N, P e K em folhas com maior luminosidade acontece porque esses elementos são altamente móveis dentro da planta, concentrando-se principalmente nos sítios de maior atividade, como nas folhas remanescentes na copa (CALDEIRA *et al.*, 2000), ou para tecidos de reserva (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para os micronutrientes Fe e Mn apesar da detecção de teores altos, possivelmente devido essa espécie ter a característica de ser acumuladora desses elementos, foram considerado normais comparativamente aos dados observados por Reissmann *et al.* (1983). Da mesma forma os teores do nutriente Cu foram considerados normais para primeiro ano e altos para o segundo ano, em especial no tratamento com FLL; por sua vez, os elementos Fe e Zn foram considerados altos para o segundo ano, se comparados com aqueles teores apontados por Reissmann *et al.* (1983), podendo ser uma resposta da planta a adubação.

4 CONCLUSÕES

- a) Os teores de macronutrientes e micronutrientes foram considerados suficientes para cultura e tiveram incrementos bastante restritos, depois de 2 anos de tratamento.
- b) O teor de N nas folhas não variou sob luminosidades relativas de 60, 45 e 30%, não tendo sido afetado pelas luminosidades estabelecidas em comportamento similar ao demonstrado pelo Mn.
- c) O P foi o nutriente mais afetado pela luminosidade relativa de 30%, apresentando teores mais elevados e o maior incremento entre os anos. O mesmo comportamento foi verificado com o Mg em luminosidade relativa de 45%.
- d) O teor de Fe não variou sob todas as luminosidade, embora tenha ocorrido significativo incremento quando as erveiras foram submetidas a luminosidade relativa de 30%.
- e) Houve efeito positivo do fertilizante FLL no incremento dos teores de N, Ca e Fe, sob as luminosidades testadas, sendo que para o Mg e Zn o fertilizante FLL provocou incremento sob luminosidade relativa de 45 e 30% . O teor de carbono foi incrementado sob luminosidade de 30% com o uso de FLL, enquanto o Na foi de 65,5% sob luminosidade de 45%. Sob a luminosidade relativa de 30%, houve incremento do P em todos os tratamentos de fertilização.
- f) O FC foi o fertilizante que proporciona maior incremento de K sob luminosidades relativas de 60 e 45%. A fertilização com FC e FLL provocou incremento de Cu sob as luminosidades testadas.
- g) As luminosidades testadas, bem como a fertilização aplicada, não promoveu incremento de Mn.

REFERENCIAS

ANGELO, P. M.; JORGE, J. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 232-240, 2007.

BELLOTE, A. F. J.; STURION, J. A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Resultados preliminares. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVAMATE. (1983: Curitiba). **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas,. p. 124-127. (Documentos, 15). 1985.

BISSO, F. P.; SALET, R. L. **Exportações de nutrientes pela poda da erva-mate** (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: Departamento de Solos UFSM, CD-Rom. 2000.

BORILLE, A. M. W.; REISSMANN, B. C.; FREITAS, R. J. S. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), **Bol. CEPPA**, v. 23, n.1, p. 183-198, 2005.

BROWN, A. L., KRANTZ, B. A.; EDDINGS, J. L. Zinc - phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis. **Soil Sci.**, 110:415-420. 1970.

CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Santa Maria, 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. 1998.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N.; SANTOS, E. M. dos. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild. V. Quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* de Wild. Procedência australiana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 977-982, 2000.

CAMPOS, M. A. A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*: avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba, 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. 1991.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; MUNIZ, M. F. B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.1, p.25-32, 2007.

CHRISTIN, O. **Fertilizacion de yerbales**. Santo Pipo: INTA (Circular de Divulgación). 1987.

DA SILVA, V. P.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Sistemas Silvipastoris – Paradigma dos Pecuaristas para Agregação de Renda e Qualidade**. EMATER - Paraná. Curitiba, 52 p.il. 1999.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: CNPS, 412 p. 1999.

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

GAIAD, S., LOPES, E. S. Ocorrência de micorriza vesicular-arbuscular em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, v.12, p.21-29, 1986.

GLIESSMANN, S. R. **Agroecologia: Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável**. Porto Alegre: EDURGS / UFRGS, 653 p. 2000.

HEINRICH, R.; MALAVOLTA, E. **Composição mineral do produto comercial de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Ciência Rural, Santa Maria, v.31, n.5, p.781-785, 2001.

ICEL, INSTRUMENTOS E COMPONENTES ELETRÔNICOS LTDA. **Manual de instruções do luxímetro digital modelo LD-550**. Disponível em <<http://www.icel-manau.com.br/manual/LD-550%20Manual.pdf>> Acesso em 02/04/2013.

JOLLEY Von, D.; BROWN, J. C. Genetically controlled uptake and use of iron by plants. In: MANTHEY, J. A.; COWLEY, D. E.; LUSTER, D. G. (Ed.). **Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere**. Boca raton: Lewis Publishers, p. 251-266. 1994.

KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento e trocas gasosas de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Porto Alegre, 42 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1985.

KRICUN, P. **Yerba Mate**. Misiones: INTA – Estación Experimental Agropecuaria, 16p. 1983.

KRICUN, P. 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, p. 313-321. 1995.

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de Níveis de Nitrogênio sobre a Produção de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro - PR, em Latossolo vermelho-escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 34, p. 75-98, 1997.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251 p. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira da Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201 p. 1989.

MARQUES FILHO, A. O. Regime de Radiação Solar e Características da Vegetação – Modelos de Inversão. **Acta Amazônica**, v. 27, n. 2, p. 119-134. 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 889p. 1995.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Incorporação e Exportação de Biomassa e de Nutrientes pela Erva-Mate**. UFPR - EMATER Paraná. 28 p. Curitiba, 2001.

MELLO, F. de A. F. **Fertilidade do Solo**. Editora Nobel, 2ª edição, Piracicaba, p 243-371, 1983.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. 4ª edição, Bern: International Potash Institute, 1987.

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.** Dissertação de Mestrado, UFPR/CIÊNCIA DO SOLO. 2007.

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.

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 um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

QUADROS, R. M. B.; REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.. Comparação dos teores de macro e micronutrientes em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em ervais nativos sob condições de sombreamento e a céu aberto. In: I REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE. (1992: Porto Alegre). **Programas e Resumos** Porto Alegre: FAPERGS, p.30. 1992.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, R. I. Influência da Luminosidade sobre a Produtividade da Erva-Mate aos Quatro Anos e Quatro Meses de Idade sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em São Mateus do Sul, PR. IN: 1º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2ª REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A ERVA-MATE. **Anais...** 1998. Centro de Convenções Curitiba, Paraná, Brasil. **Resumos...**, Curitiba, p. 445. 1998.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, R. I. Influência da Luminosidade sobre os Teores de Macronutrientes e Tanino em Folhas de Erva-Mate. IN: 2º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3ª REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A ERVA-MATE. **Anais ...** Centro de Convenções Encantado: Rio Grande do Sul, Brasil. 19 a 23 de novembro, p: 417-420. 2000.

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. In: II CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS: CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. (1992: São Paulo). **Anais...** **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, n. único, parte 2, p. 453-456. 1992.

RADOMSKI, R. M. B.; REISSMANN, C. B.; QUADROS, R. M. B. Comparação dos teores de macro e micronutrientes em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) a céu aberto. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA

ERVA-MATE, 1992, Porto Alegre. **Programas e Resumos...** Porto Alegre: FAPERGS, p. 30. 1992.

REISSMAN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O. da; 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. (1983: Curitiba) **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, p. 128-140. (Documentos, 15). 1985.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S. Influência da calagem no crescimento e na composição química foliar da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, pt. 2, p. 625-629, 1992.

REISSMANN, C. B. Composição química interespecífica da erva-mate em plantios comerciais do Paraná. Curitiba: CNPq/DSEA/UFPR. Relatório Técnico Final-Fase I. 68 p. 2004.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; QUADROS, R. M. B. DE; RADOMSKI, M. I. **Efeito do pH e da calagem no crescimento e na composição química de erva-mate**. Curitiba: UFPR/CNPq-Relatório de Pesquisa. Não Publicado. 1994.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O. da.; KOEHLER, C. W. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre cambissolo na região de Mandirituba-PR. Curitiba. **Revista Floresta**. v. 14 n. 2 p. 49-54, 1983.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e Composição química de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorridos oito anos de calagem. Floresta. Curitiba: **Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná**. v.34. n.3, Set/Dez 2004.

RIBEIRO, M. M. **Influência da adubação nitrogenada na incidência de *Gyropsylla spegazziniana* (Hemiptera: Psyllidae) praga da erva-mate cultivada**. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. 2005.

ROBASSA, J. C. **Caracterização química de três morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Latossolo Vermelho Escuro Álico na região de Ivaí - Pr**. Curitiba, 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2005.

ROSA, I. V. Micronutrientes no animal: funções no metabolismo e conseqüências de carências e excessos. In: FERREIRA, M.E., CRUZ M.C.P. (Ed.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, p. 35-64. 1991.

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: ed., 1999. 1 CD-ROM.

SANZ, M. D. T.; ISASA, M. E. T. Elementos minerales en la yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. H.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrition**, v. 41, n. 3, p.441-454, 1991.

SOSA, D. A. Evaluación de la productividad del cultivo de yerba mate em relación al estado nutricional suelo/planta. In: CURSO DE CAPACITACIÓN EN PRODUCCIÓN DE YERBA MATE, 1., 1992, Cerro Azul. **Anais...** Cerro Azul: INTA – Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, p. 61-64. 1992.

SOSA, D. A. Fertilizacion quimica. Abonos. Requerimientos nutricionais. In: CURSO DE CAPACITACIÓN EN PRODUCCIÓN DE YERBA-MATE, 2., 1994, Cerro Azul. **Curso...** Cerro Azul : INTA - Estacion Experimental Agropecuaria Cerro Azul, p.68-85. 1994.

SOSA, D. A. **Fertilizacion en el Cultivo de la Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil)**. IN: 3º Curso de Capacitación en Produccion de la Yerba Mate – Resúmenes. Misiones, Argentina. Estación Experimental Agropecuária Cerro Azul. p. 105-107. 1997.

SOUZA, J. L. M.; ARAUJO, M. A.; REISSMANN, C. B.; MACCARI JÚNIOR, A.; WOLF, C. S.; Teores de nutrientes foliares em plantas de erva-mate em função da posição e orientação geográfica da copa, em Guarapuava-PR. **Scientia Agraria**, v.9, n.1, p.49-58, 2008.

STAGG G. V., MILLIN, D. J. The nutritional and therapeutic value of tea – a review. **Journal Science Food Agriculture**, London, v.26, p.1439-1459, 1975.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences**. New York, Mc Graw Hill, 481 p. 1960.

SUZUKI, T.; ASHIARA, H.; WALLER, R. Purine and purine alkaloid metabolism in *Camellia* and *Coffea* plants. *Phytochemistry*, v. 31, n. 8, p. 2575-2584, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: SANTARÉM, E. R. [et al.]. Ed. 3. Porto Alegre: Artmed, 719 p. 2004.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5th edition. New York: MacMillan Publishing Company, 1993. 634 p.

TRUJILLO, M. R. Agroecosistema de alta densidad: plagas y enemigos naturales. **IN: ERVA-MATE: biologia e cultura no cone sul**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, p.129-134. 1995.

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, p. 181-209. 1984.

VIEIRA, A. R. R.; SUERTEGARAY, C. E. O.; HELDWEIN, A. B.; MARASCHIN, M.; DA SILVA, A. L. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 11, n. 1, p. 91 - 97. 2003.

WISNIEWSKI, C.; JINZENJI, F.; CLARO, A. M.; SOUZA, R. M. DE. Exportação de Biomassa e Macronutrientes com a Primeira Poda de Formação da Erva-Mate na Região de Pinhais-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, p. 179-186, 1996.

CAPITULO III - INFLUENCIA DA LUMINOSIDADE E FERTILIZANTES NOS TEORES DE METILXANTINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS NA ERVA-MATE

RESUMO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) é uma espécie climática, adaptada ao sombreamento por isso cada vez mais cultivada em consórcio com outras espécies florestais. Para manter níveis de produtividade adequados é necessário o uso de fertilizante que deem aporte nutricional as plantas. Os teores de substâncias do metabolismo secundário da planta como as metilxantinas e os compostos fenólicos, podem ser afetados por esse tipo de manejo mais intensivo, já que o sombreamento e a adubação influenciam a fisiologia da planta. Objetivando a determinação de teores foliares em erva-mate de metilxantinas totais e compostos fenólicos totais, produzidas sob luminosidade relativa de 60, 45 e 30 %, e fertilização convencional (N, P₂O₅ e K₂O 15-05-30) e de liberação lenta (N, P₂O₅ e K₂O 15-08-12), foi proposto esse estudo para duas estações de crescimento. A fertilização da erva-mate associada aos níveis de luminosidade aparente não promoveram o aumento de teores de metilxantinas totais e compostos fenólicos totais. A luminosidade aparente de 30 % estabeleceu o melhor indicador para obtenção de metilxantinas, sendo que a fertilização FC apresentou a maior produção de metilxantina quando submetida à luminosidade aparente de 45 e 30 %. O tratamento sem fertilização apresentou o menor desempenho comparativo nos três níveis de luminosidade aparente. Comparativamente entre as duas estações de crescimento o os teores de metilxantinas totais e compostos fenólicos totais não foi alterada significativamente.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Fenóis totais. Alcaloides. Adubação mineral.

CHAPTER III - INFLUENCE OF LIGHT AND THE LEVELS OF FERTILIZERS AND PHENOLIC COMPOUNDS IN METHYLYXANTHINES YERBA MATE

ABSTRACT

Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) is a species climax forests quite adapted to low light so increasingly grown in consortium with other species of woods and more intensively that their traditional exploration. To maintain adequate levels of productivity is necessary to use fertilizer that give nutritional intake plants. The levels of substances of plant secondary metabolism as methylxanthines and phenolic compounds, may be affected by this type of more intensive management, since the shading and fertilization influence the physiology of the plant. In order to determine foliar in yerba mate total of methylxanthines and phenolic compounds, produced under relative brightness of 60, 45 and 30%, and conventional fertilization (N, P₂O₅ and K₂O 15-05-30) and slow release (N, P₂O₅ and K₂O 8-12-15), this study was proposed for two growing seasons. Fertilization of yerba mate associated with the apparent brightness levels did not promote increased levels of methylxanthines and phenolic compounds. The apparent brightness of 30% established for obtaining the best indicator of methylxanthines, and the conventional fertilization had the highest fertilization production methylxanthine when subjected to the apparent brightness of 45 and 30 %. The treatment without fertilizer had the lowest comparative performance in the three levels of apparent brightness. Comparison between the two growing seasons the contents of methylxanthines and phenolic compounds was not significantly altered.

Key-words: *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.. Total phenols. Alkaloids. Mineral fertilizer.

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) é componente de sistemas silviculturais tradicionais mais antigos da região sul do Brasil. Por ser espécie climática, cresce espontaneamente em ambiente sombreado do sub-bosque das matas de pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) (OLIVEIRA; ROTTA, 1985) e matas subtropicais existentes na região, adaptando-se facilmente em consórcios com outras espécies florestais madeiráveis. Esses sistemas caracterizam-se pela oferta diversificada de produtos e serviços que aportam na estabilidade econômica e social do produtor rural (MAZUCHOWSKI, 2004), entre eles a produção de folhas de erva-mate com compostos conhecidos como biofuncionais, que podem elevar o valor do produto pago ao produtor.

Os sistemas consorciados constituem uma promissora atividade florestal, capaz de contribuir para o desenvolvimento sustentável, mediante o uso de produtos de base florestal sem pressionar áreas de remanescentes de floresta nativa, satisfazendo parte das demandas por energia e matéria prima madeirável. Além disso, Da Silva (1998), ressalta que esses sistemas são apontados como opções preferenciais de uso das terras pelo alto potencial que oferecem para aumentar o nível de rendimento em relação aos aspectos agronômicos, sociais, econômicos e ecológicos. Por esse motivo, o setor ervateiro tem necessidade de conversão dos ervais de pleno sol para ervais sombreados, ou pelo menos estabelecer um grau de sombreamento das plantas de erva-mate pela redução do grau de luminosidade ambiental (MACCARI JUNIOR; MAZUCHOWSKI, 2000). Tendo em vista a maior agregação de valor na produção, já que o produtor recebe maior valor pela erva-mate sombreada em função de suas características de sabor e organolépticas atribuídos ao produto industrializado (NIETSCHKE, 2002).

Decorrente da evolução da tecnologia e engenharia química de alimentos, a cada dia diferentes produtos são obtidos pelo uso das folhas de erva-mate, somando-se o interesse dos consumidores por produtos de origem natural, fato que reforça o consumo das bebidas chimarrão, tereré, chá mate queimado e chá mate verde, mate

solúvel e chá pronto para beber, bebidas energéticas e sucos (MAZUCHOWSKI; RUCKER, 1993). Pelas características de plasticidade da erva-mate, devido a diversidade de compostos químicos foliares, também é empregada na produção de medicamentos, produtos de higiene geral e de uso pessoal, insumo para outros alimentos, sendo excelente bactericida, esterilizante e antioxidante, podendo ser usado no tratamento de esgoto e reciclagem do lixo urbano (MACCARI JUNIOR; MAZUCHOWSKI, 2000).

Ainda o desenvolvimento de novos produtos da erva-mate valoriza os integrantes da cadeia produtiva, especialmente pela ampliação dos mercados interno e internacional, bem como, pela oferta de uma gama de produtos alternativos, decorrentes do desenvolvimento de opções de utilização (BUGARDT, 2000). A variação natural das condições ambientais e dos tipos de manejo dos ervais determina a diferenciação da matéria-prima para as diferentes destinações industriais da erva-mate (MERCOMATE, 1993).

O consumo pelos povos tradicionais, bem como pesquisas científicas comprovam influência das propriedades da folha de erva-mate no organismo humano atuando nos sistemas nervoso central, cardiovascular, renal e digestivo, como diurético, antioxidante, eupéptico e colerético entre outras (GUGLIUCCI, 1996; SCHINELLA *et al.*, 2000). Análises e estudos sobre a erva-mate têm revelado uma composição que identifica diversas propriedades nutritivas, fisiológicas e medicinais, conferindo um grande potencial de aproveitamento, sendo extenso o rol de propriedades terapêuticas da erva-mate, em razão da presença de alcalóides, como a cafeína, na sua composição (VALDUGA, 1995). Segundo Kaspary (1985) a erva-mate é considerada um alimento quase completo, pois contém quase todos os nutrientes necessários ao nosso organismo. Além de que em sua composição química contém alcaloides como a metilxantina (cafeína, teofilina e teobromina) bem como compostos fenólicos.

As metilxantinas são metabólitos secundários, derivados do nucleotídeo purina e conhecidos como alcalóides purínicos. A mais abundante na natureza é a cafeína (1,3,7 trimetilxantina), seguida pela teobromina (3,7 dimetilxantina). A teofilina (1,3 dimetilxantina) e outros compostos se encontram em pequenas quantidades, podendo

ser intermediários da biossíntese e/ou catabolismo da cafeína (ASHIHARA; SUZUKI, 2004).

Fisiologicamente para as plantas, as metilxantinas e os compostos fenólicos são produtos naturais, conhecidos como metabólitos secundários produzidos pelos vegetais, apresentando funções ecológicas importantes como proteção contra herbívoros e patógenos, ação alelopática, além de agir como atrativos para animais polinizadores (TAIZ; ZEIGER, 2004).

No organismo humano as metilxantinas (cafeína, teobromina e teofilina) são responsáveis por diversas alterações, estimulando o sistema nervoso central (SIMÕES *et al.*, 2004), cardiovascular, renal e digestivo. Os efeitos são qualitativamente semelhantes, mas quantitativamente diferentes. Em função disso, são empregadas com diferentes finalidades terapêuticas (BRUNETON, 1991). A cafeína e a teofilina têm grande aplicação farmacêutica sendo obtida de fontes vegetais, principalmente do café e da erva-mate. A teofilina é encontrada em pequenas quantidades no reino vegetal, sendo obtida principalmente por síntese total (RATES, 1999). Por muito tempo, as metilxantinas foram consideradas os principais compostos de interesse encontrados na erva-mate, sob o ponto de vista farmacológico e terapêutico, sendo a cafeína um dos constituintes mais estudados (ESMELINDRO *et al.*, 2002).

Os compostos fenólicos pertencem a uma classe de substâncias químicas que incluem uma grande diversidade de estruturas, simples e complexas, derivadas da fenilalanina e da tirosina, que possuem em sua estrutura pelo menos um anel aromático com um ou mais grupamentos hidroxilas (NACZK; SHAHIDI, 2004). Esta classe de compostos pode ser dividida em flavonóides (antocianinas, flavonóis, flavanóis e isoflavonas) e não flavonóides (ácidos fenólicos) (ANGELO; JORGE, 2007). Dentre os compostos fenólicos bioativos pertencentes aos vegetais são encontradas estruturas variadas, como os ácidos fenólicos, derivados da cumarina, taninos e flavonóides, que podem atuar como agentes redutores, seqüestrantes de radicais livres, quelantes de metais ou desativadores do oxigênio singlete (MELLO; GUERRA, 2002). Na atualidade, os compostos fenólicos têm se tornado os compostos de grande interesse, devido às propriedades benéficas à saúde, sendo alvo de muitos estudos.

Esses compostos são biossintetizados nas plantas por meio de diferentes rotas, razão pela qual constituem um grupo bastante heterogêneo do ponto de vista metabólico. As duas rotas metabólicas básicas são: a rota do ácido malônico e a do ácido chiquímico, sendo esta última participante na biossíntese da maioria dos fenóis vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Eles apresentam uma gama de efeitos biológicos, incluindo ação antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatória e vasodilatadora (DEGÁSPARI; WASZCZYNSKY, 2004). Aos compostos fenólicos são atribuídos os benefícios do consumo da infusão de erva-mate, que atuam como antioxidantes no organismo humano (BRAVO *et al.*, 2007), sendo oxidados em preferência a outros constituintes do alimento ou componentes celulares e tecidos (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

A composição química da erva-mate pode variar em função de diversos fatores, como o tipo de cultivo, clima, condições agrônômicas, idade da planta e variabilidade genética (MAZZAFERA, 1994; DA CROCE, 2002; SCHERER, *et al.*, 2002), que envolve diferentes formas de condução da cultura à campo que podem modificar sua composição qualitativa e quantitativa e, conseqüentemente, a atividade dos compostos bioativos como metilxantinas e compostos fenólicos. Gobbo Netto e Lopes (2007) destacam os nutrientes e a luminosidade como fatores importantes de influência no conteúdo de metabólicos secundários das plantas.

Em estudos desenvolvidos por Ribani (2006), destacam-se os métodos de análise de compostos fenólicos para a erva-mate, além da relevância para o desenvolvimento de produtos com aplicação na vida humana. Também resultados preliminares dos trabalhos de pesquisa concluíram que a diferença dos teores das substâncias químicas vinculadas ao sabor é devido, principalmente, ao fator luminosidade (RACHWAL *et al.*, 1998).

Conhecer a composição de bioativos da erva-mate é fator importante para aumentar o apelo ao consumo do produto, entretanto, trabalhos mostram que existem variações nos teores de um mesmo componente em amostras estudadas (BORTOLUZZI *et al.*, 2006; CARDOSO JÚNIOR, 2006). Dessa forma, é necessário estudar os fatores que podem causar alterações nesses compostos químicos, como

diferentes níveis de luminosidade aparente e fertilizações em sistemas de produção a campo.

A Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-Mate do Paraná aponta a relevância dos trabalhos de pesquisa que buscam a compreensão de aspectos técnicos de sua silvicultura, em especial das práticas de sombreamento e fertilização para melhorar a produtividade, além de estudos sobre a composição química da erva-mate de acordo com aspectos edafológicas (altitude, tipo de solo e micro-clima) do sítio em que esta sendo produzida, para incremento da valorização do produto comercial pela indústria (MAZUCHOWSKI, 2000).

As tecnologias identificadas em estudos da cadeia produtiva da erva-mate, referentes às alternativas do segmento industrial, priorizam as informações relativas à obtenção de bebidas com padrão sensorial de erval sombreado, visando atender demandas do mercado consumidor brasileiro e de nichos em mercados internacionais (MAZUCHOWSKI, 2004).

Medrado e Mosele (2004) destacam a importância de linhas de pesquisas no campo da investigação sobre sombreamento e consorcio com outras espécies florestais dos ervais, bem como caracterização dos compostos fotoquímicos produzidos por essas associações no manejo florestal.

Devido ao fato da erva-mate ser rica nestas duas classes de compostos (metilxantinas e compostos fenólicos) e ter sua produção afetada por técnicas silviculturais, o objetivo central desta pesquisa foi a quantificação desses bioativos presentes na folha de erva-mate, em diferentes níveis de luminosidade aparente e uso de fertilizações no período de 2 anos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de realização da pesquisa encontra-se a 1110 m s.n.m. e situa-se sob as coordenadas geográficas 25°20'18,52''S e 51°10'54,67''O. De acordo com IAPAR (1994) as características climáticas da região enquadram-se na classificação que define o tipo Cfb (temperado) estabelecido por Köppen.

A unidade fitoecológica é definido por Roderjan *et al.* (2002) como floresta Ombrófila Mista, sendo que o tipo de solo da área de pesquisa é classificado como Cambissolo Háplico álico latossólico textura muito argilosa A proeminente relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi conduzido entre os meses de dezembro de 2010 a dezembro de 2012, em erval comercial de 25 anos de idade, em sistema de consorcio com eucalipto de 6 anos de idade à época de implantação.

O erval foi formado com mudas produzidas a partir de sementes coletadas em árvores matrizes nativas da própria fazenda, sendo plantadas em 1986, no espaçamento 4 x 2 m. A introdução dos eucaliptos foi realizada no espaçamento de 8 x 10 m atualmente, na idade de 6 anos e apresentando altura média de 13 m.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 por 3, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 29 parcelas de aproximadamente 180 m², com 10 plantas úteis em cada parcela. Para a seleção das 10 plantas foi aplicado à fórmula de Stein (STEEL; TORRIE, 1960) dentre as 20 plantas passíveis de utilização existentes na parcela.

Os 9 tratamentos consistiram nas combinações do fator luminosidade aparente (60, 45 e 30%), com a técnica de fertilização (SF: sem fertilizante; FC: aplicação de fertilizante convencional e FLL: aplicação de fertilizante de liberação lenta) tendo a seqüência: T1: 45%SF; T2: 45%FC; T3: 45%FLL; T4: 60%SF; T5: 60%FC; T6: 60%FLL; T7: 30%SF; T8: 30%FC e T9: 30%FLL.

Para estabelecimento dos gradientes de luminosidade de 60, 45 e 30%, foi realizado o abate de árvores de eucalipto, até o gradiente proposto, medido através de luxímetro digital portátil (modelo ICEL LD-550), possibilitando maior ou menor entrada de luz sob as erveiras nos tratamentos.

Durante todo o período de condução do experimento, em uma regularidade de 3 meses coincidindo com a mudança de cada estação (verão, outono, inverno e primavera) foram realizadas aferições com o luxímetro para assegurar os três níveis de luminosidade. Para a tomada de dados de luminosidade foi posicionado sensor fotométrico do luxímetro no quadrante norte da copa de cada planta útil da parcela, nos horários das 8, 12 e 15 horas, durante 3 dias seguidos.

Para a fertilização das plantas foram utilizados fertilizantes químicos de duas tecnologias, sendo o fertilizante convencional de pronta solubilidade e o fertilizante de liberação lenta com solubilidade controlada. O fertilizante convencional, com formulação comercial com 15% de N, 5% P_2O_5 e 30% de K_2O (15-05-30), em uma dosagem de 200 $g\text{ ano}^{-1}$ por árvore, foi aplicado em duas doses iguais de 100 $g\text{ ano}^{-1}$ por árvore nos meses de setembro e dezembro. Para aplicação desse fertilizante foi realizado abertura de cova circular de aproximadamente 20 cm de profundidade com auxílio de enxada, em torno do caule de cada árvore na projeção da copa.

O fertilizante de liberação lenta, na formulação de 15% de N, 8% P_2O_5 e 12% de K_2O (15-08-12), foi aplicado em setembro em uma única vez em dosagem de 30 $g\text{ ano}^{-1}$ por árvore. Para fornecimento individual a cada árvore, foram abertas três covas simples de 20 cm de profundidade, distribuídas ao redor do caule na projeção da copa.

Para compor as amostras foi realizada coleta de folhas das erveiras coincidindo com a estação de poda, que ocorreu no mês de julho de 2011 e 2012, onde foram colhidas 100 folhas de cada tratamento. As folhas foram triplamente lavadas com água corrente deionizada.

Foram submetidas à secagem em forno microondas (potência útil de 1100 W (máxima), frequência de 2450 MHz (operação), consumo de 1,6 kW/hora, velocidade do prato giratório de 3 rpm), em 2 ciclos de 2 minutos e 1 ciclo de 1 minuto até atingir peso constante. A secagem rápida das folhas de erva-mate por forno microondas é necessária para evitar a degradação e alterações químicas por oxidação dos tecidos, que pode ocorrer em método de secagem lenta por estufa de ar forçada, alterando a composição química do material seco (HORSTEN *et al.*, 1999).

Após a secagem das folhas, realizou-se a moagem das amostras em moinho com câmara de aço inoxidável tipo Willey, equipado com peneira de 0,5 mm, visando a

obtenção de material fino e homogêneo, para em seguida realizar a análise química e determinação dos teores de metilxantina total (MXT) e compostos fenólicos totais (CFT).

2.1 QUANTIFICAÇÃO DE METILXANTINAS TOTAIS

As metilxantinas foram extraídas de 2 g de amostras de erva-mate com ácido sulfúrico em banho-maria, seguido por neutralização com hidróxido de sódio a 40%, conforme metodologia descrita por Dutra *et al.* (2010). Estes foram filtrados em membrana filtrante politetrafluoroetileno (PTFE) de 0,45 µm da Millipore. Os extratos foram diretamente analisados após filtração em filtros (PTFE) com poros de 0,45 µm da Millipore.

Alíquotas de 5 µL da amostra foram injetadas em um cromatógrafo a líquido da marca Agilent, com sistema automático de injeção (ALS), detector de arranjo diodos (DAD), modelo 1200 séries controlado pelo Software EZ Chrom Elite. Foi utilizada uma coluna Zorbax Eclipse XDB-C18 (4,6 x 150 mm, 5 µm). A fase móvel utilizada foi solvente água/metanol (80:20 v/v), com fluxo de 1 mL/min, isocrático. O teor de metilxantinas totais foi calculado somando-se a concentração relativa à área de cada pico identificado como cafeína, teobromina e teofilina caracterizado pelo tempo de retenção e pelo espectro de absorção a 272 nm.

2.2 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

A extração foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Dutra *et al.* (2010). Consistiu em adicionar 100 mL de solução água:etanol 1:1 (v/v) em 2 g de erva-mate mantida por 12 horas, a temperatura ambiente. Seguem-se três extrações com 25 mL da solução hidro-etanólica a 50% sob refluxo por 30 min. cada e em seguida filtrado.

O conteúdo de CFT foi determinado espectrofotometricamente pelo método de Folin-Ciocalteu de acordo com metodologia descrita por Singleton *et al.* (1999). Brevemente 500 µL dos extratos serão misturados a 2,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu (1:10) e 2,0 mL de solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) (4% m/v). Após 120 minutos de reação na ausência de luz e temperatura ambiente, a absorbância foi medida em 740 nm. Como padrão, empregou-se o ácido 5-cafeoilquinico (5CQA), adquirido da marca Sigma, sendo os resultados expressos em mg de 5CQA equivalente/g de amostra.

3 RESULTADOS

Na TABELA 3.1 encontram-se os teores foliares de metilxantinas totais (MTX) e compostos fenólicos totais (CFT) em erva-mate produzida em diferentes luminosidades relativa e fertilizações para os dois anos de experimentação.

3.1 METILXANTINAS TOTAIS

Na estação climática de crescimento de 2011, os teores de MTX produzidas pelas erva-mates não diferiram entre os tratamentos de luminosidade e fertilização, exceto daquelas submetidas a 45% de luminosidade e fertilizadas com FLL as quais foram inferiores aos demais tratamentos com teor de $0,920 \text{ mg g}^{-1}$ (TABELA 3.1). Esse resultado foi semelhante ao estudo de Rachwal *et al.* (2002), os quais não observaram alteração da concentração de MXT na cultura da erva-mate sombreada, até 60% de luminosidade relativa.

A maior produção quantitativa no ano de 2011 foi de $1,12 \text{ mg g}^{-1}$, sendo correspondente ao tratamento com luminosidade de 45% e fertilizada com FC (T2). Podendo-se inferir que mesmo de forma não significativa estatisticamente, os teores de MXT foram alteradas pela luminosidade aparente de 45%, alterando os efeitos desta substância para os atributos de sabor e amargor no produto final da erva-mate.

Por outro lado, na estação climática de crescimento de 2012, a maior produção quantitativa de metilxantinas foi de $1,26 \text{ mg g}^{-1}$, das erva-mates sob luminosidade de 30% e fertilizadas com FLL (T9), apesar de não diferir das demais médias dentro do mesmo nível de luminosidade. As erva-mates submetidas à luminosidade de 45% e fertilizadas com FC (T2) produziram 9,10% mais MXT ($1,21 \text{ mg g}^{-1}$) quando comparado com o T1 ($1,10 \text{ mg g}^{-1}$), apesar de não diferirem estatisticamente entre si. Neste nível de luminosidade, o menor teor correspondente a $1,08 \text{ mg g}^{-1}$, foi verificado nas erva-mates fertilizadas com FLL.

Na comparação de teores de MXT entre os dois anos (TABELA 3.2) o tratamento com FLL foi o que mais resultou em incremento de MXT para todos os níveis de luminosidade, demonstrando efeito positivo desse tipo de fertilização ao sistema de consorcio. O incremento no teor de MXT foi de 23,5, 17,4 e 31,3% no segundo ano de tratamento para os níveis de luminosidade de 60, 45 e 30 % respectivamente.

TABELA 3.1 - TEORES FOLIARES DE METILXANTINAS TOTAIS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS EM ERVA-MATE

	60%	45%	30%	60%	45%	30%
	----- 2011 -----			----- 2012 -----		
	Metilxantinas Totais (mg g ⁻¹)					
SF	0,874 a	1,081 a	0,92 a	1,05 a	1,10 ab	1,14 a
FC	0,925 a	1,120 a	0,92 a	1,09 a	1,21 a	1,16 a
FLL	0,966 a	0,920 b	0,96 a	1,19 a	1,08 b	1,26 a
CV (%)	8,32	6,083	6,53	9,13	4,35	5,37
	Compostos Fenólicos Totais (mg g ⁻¹)					
SF	120,50 a	115,67 a	118,42 a	128,09 a	130,00 a	126,84 a
FC	119,28 a	128,04 a	117,33 a	129,92 a	129,04 a	129,35 a
FLL	117,02 a	125,94 a	117,93 a	128,90 a	126,50 a	130,11 a
CV (%)	6,26	4,25	4,61	3,88	2,96	3,38

Médias na vertical seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Legenda: SF = sem fertilização; FC = fertilização convencional; FLL = fertilização de liberação lenta; CV = coeficiente de variação

FONTE: O AUTOR (2013)

Na luminosidade de 30% houve um incremento nos teores de MXT para todos os tipos de fertilização correspondente a 24,2, 25,5 e 31,3 % para SF, FC e FLL respectivamente (TABELA 3.2). Dados também demonstrados com estudo de Coelho *et al.* (2000), onde observa que em folhas mais sombreadas de erva-mate há um maior investimento em substâncias químicas de defesa.

Na luminosidade aparente de 60 e 45% SF e FC não apresentaram incremento de metilxantinas entre as estações de crescimento, entretanto percebe-se efeito dos fertilizantes para a luminosidade de 30%. Embasadas na teoria do balanço entre carbono/nutrientes proposta por Bryant *et al.* (1983), os dados apresentados na luminosidade 60% e 30% estão de acordo com esta teoria, condições ambientais capazes de limitar a fotossíntese diminuem a produção de substâncias não-nitrogenadas, enquanto a produção de substâncias nitrogenadas é favorecida. O interior das florestas, onde o sombreamento das árvores dos estratos superiores diminui

a intensidade de luz disponível para as plantas nos estratos intermediários e inferiores, é uma das situações onde se verifica estas condições ambientais desfavoráveis.

Schubert *et al.* (2006) ao estudarem a variação de teores de MXT em erva-mate, de distintas procedências, encontraram teores de 1,77 a 10,37 mg g⁻¹, sendo que os menores teores foram detectados nas amostras coletadas entre os meses de menor atividade de biossíntese da planta (junho a agosto). Segundo Silva (2012), há uma tendência de diminuição na produção de cafeína e metilxantinas totais ao longo do tempo, uma vez que os teores são menores em folhas de seis meses, intermediários em folhas de dois meses e maiores em folhas de brotação. Outrossim, podem ser adicionados muitos outros fatores que influenciam nos teores de metilxantinas, como idade da planta, luminosidade, período de colheita, época da poda e genética. Essas variáveis vêm sendo estudadas com a finalidade de padronizar os teores de metilxantinas (COELHO *et al.*, 2002; DA CROCE, 2002; SCHUBERT *et al.*, 2006).

Segundo Valduga (1995) variações qualitativas e quantitativas no teor de alcaloides, como as MXT, podem ser observadas ao longo do processo de senescência da planta, tendo sido constatadas reduções no teor destes compostos com o aumento de idade da mesma. Ou seja, podem ocorrer variações nos dados de composição química em função da: idade da planta, idade das folhas, erval nativo ou plantado, e da luminosidade disponível no erval. Este aspecto ainda é carente de informações, sendo necessário mais estudo a este respeito, de maneira que, no futuro, possam ser feitos plantios e colheitas específicas de acordo com o perfil do consumidor e/ou mercado.

Os dados do presente trabalho podem ser usados como uma referência para avaliar e melhorar os sistemas consorciados com esta espécie em especial para aprimorar as técnicas silviculturas de fertilização e manejo de luminosidade do povoamento. Esta afirmação corrobora com a teoria de que os altos teores de metilxantinas identificados no verão, conforme aqueles obtidos por Schubert *et al.* (2006), podem ser atribuídos às folhas jovens, em desenvolvimento, pois os resultados do final de outono e inverno podem indicar folhas mais velhas, maduras, e com baixa atividade biossintética.

3.2 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Com relação aos teores de compostos fenólicos totais (CFT) verificou-se que os resultados da primeira estação de crescimento 2011 e da segunda 2012, não houve influência dos tratamentos de luminosidade e fertilizações, não havendo variação estatística na análise comparativa dos três níveis de luminosidade relativa e fertilização (TABELA 3.1).

As médias de maiores teores de CFT ocorreram nas folhas produzidas no sítio de 45% e 30% respectivamente de luminosidade relativa, de forma similar a Rachwal *et al.* (2002). Teores menores de CFT, em ervais consorciados com outras espécies florestais e de menor luminosidade, foram encontrados por Strassmann *et al.* (2008), quando compararam com o cultivo de erva-mate a pleno sol.

Em ambientes com excesso de luz, a produção de CFT é maior, pois eles protegem a planta, absorvendo o excesso de raios ultravioleta. O aumento na intensidade luminosa eleva os teores de CFT em diversas plantas (DUDT; SHURE, 1994).

No entanto, vantagens com sombreamento moderado podem ser observados em outros produtos químicos componentes, bem como aumento de conteúdo de potássio e CFT são reduzidos (RACHWAL *et al.*, 2000). Compostos fenólicos como o ácido clorogênico, que é observado em erva-mate (FILIP *et al.*, 2001), pode contribuir para o amargor e adstringência, características consideradas negativas entre os consumidores.

Como observa-se na TABELA 3.2, houve resposta da planta a fertilização, tendo um incremento na estação de crescimento de 2012 em todos os tratamentos de luz e fertilizantes, comparado com o ano anterior. O incremento de teores de CFT, quando comparados com o ano anterior, foi verificado nos tratamentos que receberam adubação na luminosidade de 60 e 30%. Na luminosidade de 60%, os teores foram maiores de um ano para outro, variando de 8,9 e 10,1 % nos tratamentos com FC e FLL, respectivamente.

O maior teor de CFT foi verificado com erveiras submetidas ao T9 (30% + FLL) na estação de crescimento do ano de 2012, sendo correspondente a 130,11 mg g⁻¹, embora não diferindo estatisticamente dos outros tratamentos (TABELA 3.1).

Os teores obtidos para CFT, mostraram-se similares aos levantados por Borille *et al.* (2005), embora superiores aos de Valduga (1995), Rachwal *et al.* (2000) e Zampier (2001). Tais diferenças podem estar ligadas à idade das folhas, procedência, insolação e mecanismo de defesa contra herbivoria (MISRA *et al.*, 1999).

Verificou-se que os tratamentos T8 (30%FC) e T9 (30%FLL) apresentaram teores maiores no ano de 2012, comparativamente com o ano de 2011, de 10,2 e 10,3 % respectivamente. Para a luminosidade de 45% não houve diferenciação entre os tratamentos na comparação entre as duas estações de crescimento (TABELA 3.2).

TABELA 3.2 - COMPARAÇÃO ENTRE DUAS ESTAÇÕES DE CRESCIMENTO DOS TEORES FOLIARES DE METILXANTINAS TOTAIS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS EM ERVA-MATE

	60%			45%			30%		
	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)	2011	2012	Teste F ⁽¹⁾ (CV%)
Metilxantinas Totais (mg g ⁻¹)									
SF	0,874 a	1,056 a	3,6 ^{ns} (12,1)	1,087 a	1,107 a	0,2 ^{ns} (4,2)	0,925 b	1,149 a	9,8*(8,4)
FC	0,925 a	1,095 a	6,3 ^{ns} (8,2)	1,125 a	1,212 a	4,1 ^{ns} (4,4)	0,928 b	1,165 a	103,7**(2,7)
FLL	0,966 b	1,193 a	20,0*(5,7)	0,921 b	1,081 a	7,9*(6,9)	0,961 b	1,262 a	40,8**(5,2)
Compostos Fenólicos Totais (mg g ⁻¹)									
SF	120,5 a	128,0 a	0,8 ^{ns} (8,0)	115,6 a	130,0 a	7,6 ^{ns} (5,1)	118,4 a	126,8 a	2,4 ^{ns} (5,4)
FC	119,2 b	129,9 a	9,6*(3,3)	128,0 a	129,0 a	0,7 ^{ns} (1,1)	117,3 b	129,3 a	27,1**(2,2)
FLL	117,0 b	128,9 a	48,0**(1,7)	125,9 a	126,5 a	0,0 ^{ns} (3,5)	117,9 b	130,1 a	10,5*(3,7)

Médias na horizontal seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste de F foi realizado para comparar os dois anos de produção.

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo.

FONTE: O AUTOR (2013)

Concomitantemente com estudos de Mazzafera (1994), os dados obtidos no presente trabalho, sugerem que a presença de CFT em tecidos foliares de erva-mate estão, de alguma forma reguladas positivamente pela intensidade da radiação solar para o qual as culturas estão expostas, em particular em sistemas consorciados. No entanto, possíveis influências relevantes de outros fatores abióticos e bióticos não devem ser negligenciadas.

4 CONCLUSÕES

- a) As luminosidades relativas de 45% e 30% e a fertilização com FLL e FC provocaram o aumento dos teores de metilxantina totais.
- b) Há uma tendência de aumento dos teores dos compostos fenólicos totais produzidos por plantas de erva-mate sob luminosidade relativa de 45%, 60% e 30% respectivamente.
- c) Os teores dos compostos fenólicos respondem significativamente, ao uso de FLL e FC, com expressivo incremento sob a luminosidade relativa de 60%.

REFERÊNCIAS

ANGELO, P. M.; JORGE, J. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 232-240, 2007.

ASHIHARA, H.; SUZUKI, T. Distribution and biosynthesis of caffeine in plants. **Frontiers in Bioscience**, v. 9, p. 1864-1876, 2004.

BORILLE, A. M. W.; REISSMANN, C. B.; DE FREITAS, R. J. S. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hil.). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, América do Norte, 23, 2005.

BORTOLUZZI, A. L. M.; PASQUALATTO, R. P. R.; GUESSER, G.; CARDOSO JÚNIOR, E. L.; DONADUZI, C. M.; MITSUI, M. Quantificação de metilxantinas e compostos fenólicos em amostras comerciais de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., 2006, Posadas. **Anais...** Posadas: INYM, INTA, UNaM, EPAGRI, p. 143-147. 2006.

BRAVO, L.; GOYA, L.; LECUMBERRI, E. LC/MS characterization of phenolic constituents of mate (*Ilex paraguariensis*, St. Hil.) and its antioxidant activity compared to commonly consumed beverages. *Food Research International*, v. 40, p. 393-405, 2007.

BRUNETON, J. **Elementos de fitoquímica y de farmacognosia**. Zaragoza: Acribia S.A, 1991.

BRYANT, J. P.; CHAPIN III, F. S.; KLEIN, D. R. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory (hare *Lepus capensis*). **Oikos**, v. 40, (3), p. 357-368, 1983.

BUGARDT, A. C. **Desenvolvimento de uma Bebida Utilizando Extrato de Erva-Mate Verde (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia Química. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 124 p. 2000.

CARDOSO JÚNIOR, E. L. Teores de metilxantinas e compostos fenólicos em extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) –

Área de Concentração em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.

COELHO, G. C.; RACHWAL, M. F. G.; SCHNORRENBERGER, E.; SCHENKEL, E. P. Efeito do sombreamento sobre a sobrevivência, morfologia e química da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2; Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate, 3., 2000. Encantado. **Anais ...** Porto Alegre. UFRGS e FEPAGRO. p. 396-399. 2000.

COELHO, G. C.; MARIATH, J. E. A.; SCHENKEL, E. P. Populational diversity on leaf morphology of maté (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. Aquifoliaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, p. 47–51. 2002.

DA CROCE, D. M. Características físico-químicas de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) no estado de Santa Catarina. *Ciência Florestal*, v. 12, n. 2, p.107-113, 2002.

DA SILVA, V. P. **Modificações Microclimáticas em Sistema Silvipastoril com *Grevilea robusta* A. Cunn. ex R. BR na Região Noroeste do Paraná.** Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas: Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 128 p. 1998.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKY, J. N. **Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos.** *Visão Acadêmica*, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DUDT, J. F.; SHURE. D. J. The influence of ligth and nutrients on foliar phenolics and insect herbivory. **Ecology**, v. 75, n. 1, p. 86-98, 1994.

DUTRA, F. L. G.; HOFFMANN-RIBANI, R.; RIBANI, M. Determinação de compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência isocrática durante estacionamento da erva-mate. **Química Nova**. v. 33, n.1, p. 119-123, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006.

ESMELINDRO, M. C.; TONIAZZO, G.; WACZUK, A.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, D. Caracterização físico-química da erva-mate: Influência das etapas do processamento industrial. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 22, n. 2, p. 193-204, 2002.

FILIP, R. *et al.* Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species. **Fitoterapia**, 72: 774-778, 2001.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P.. Plantas Medicinais: Fatores de Influência no Conteúdo de metabólitos secundários. **Quím. Nova**, São Paulo, v 30, n. 2, abril de 2007.

GUGLIUCCI, A., Antioxidant effects of *Ilex paraguariensis*: induction of decreased oxidability of human LDL in vivo. **Biochemical and Biophysical Research Communications** 224, 338–344. 1996.

HORSTEN, D. VON.; HARTNING, T.; VON HORTEN, D. Processing of medicinal plants using microwaves. **Landtechnik**, Dusseldorf, v. 54, n. 4, p. 206-207, 1999.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 49 p. ilustr. (IAPAR, Documento, 18). 1994.

KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento e trocas gasosas de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.)**. Porto Alegre, 42 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1985.

MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Produtos Alternativos e Desenvolvimento da Tecnologia Industrial na Cadeia Produtiva da Erva-Mate**. Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva - Mate / MCT / CNPq / Projeto PADCT Erva-Mate. Curitiba, 176 p. 2000.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Influência de níveis de sombreamento e de nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill)**. UFPR (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo). Curitiba, 112 p. il. 2004.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Patentes Industriais e as Prioridades para os Investimentos Tecnológicos na Cadeia Produtiva da Erva-Mate**. Serie PADCT da Erva-Mate n. 2. EMATER. Curitiba, 178 p. 2000.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; RUCKER, N. G. de A. **Diagnóstico e Alternativas para a Erva-Mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.** Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Curitiba, 141 p. 1993.

MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 62, n. 2, p. 149 – 151, 1994.

MEDRADO, M. J. S.; MOSELE, S. H. **O futuro da investigação científica em erva-mate.** Embrapa Florestas, Colombo – PR, 2004.

MELLO, E. A.; GUERRA, N. B. Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 36, n. 1, p. 1-11, 2002.

MERCOMATE. Economia Ervateira no MERCOSUL. Comitê de Cooperação Técnica. Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores. Brasília, 10 p. 1993.

MISRA, N.; LUTHRA, R.; SINGH, K. L.; KUMAR, S. Recent advances in biosynthesis of alkaloid. In: BARTON, S. D.; NAKANISHI, K.; METH-COHN, O. **Comprehensive natural products chemistry.** London, Ed. Elsevier, v. 4. 1999.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and Analysis of Phenolics in Food (Review). *Journal of Chromatography A*, n.1054, p.95-111, 2004. In: berry extracts: an evaluation by the ORAC-pyrogallol red methodology. **Food chem.**, v. 113, p. 331-335, 2004.

NIETSCHE, K. **Caracterização da qualidade da erva-mate cancheada.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 89 f. Curitiba, Paraná, 2002.

OLIVEIRA, T. T.; ROSA, C. O. B.; STRINGUETA, P. C.; VILELA, M. A. P. **Ação antioxidante dos flavonóides.** In: Costa, N. M. B; Rosa, C. O. B. (Ed.). *Alimentos Funcionais.* Viçosa: Editora Folha de Viçosa. p. 31-56. 2006.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E.. Área de distribuição natural da erva-mate. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS:

SILVICULTURA DA ERVA-MATE. (1983: Curitiba). **Anais....** Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, p.17-36. (Documentos, 15). 1985.

RACHWAL, M. F. G.; COELHO, G. C.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SCHENKEL, E. P. **Influencia da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de macronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de erva-mate.** Colombo: EMBRAPA CNPFlorestas. Com. Tec. 5 p. 2002.

RACHWAL, M. F. G; CURCIO, G. R; DEDECECK, R. A; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, M. I. Influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes e tanino em folhas de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) In: II CONGRESSO SULAMERICANO DA ERVA-MATE; III REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2, 2000, Encantado. **Resumos.** Encantado, p. 225. 2000.

RACHWAL, M. F. G; CURCIO, G. R; DEDECEK, R; NIETSCHKE, K; FILHO, F. E. S. E.; VOGEL, R. C. Influência da luminosidade sobre a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) aos quatro anos e quatro meses de idade sobre Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico em São Mateus do Sul, PR: In: I CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE; II REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1, 1998: Curitiba. **Resumos.** Curitiba, p.445. 1998.

RATES, S. M. K. Metilxantinas. In: FARMACOGNOSIA: DA PLANTA AO MEDICAMENTO. Organizado por: SIMÕES, C. M. O; SCKENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. Editora da UFSC e Editora da UFRGS. Porto Alegre/Florianópolis. 1ª Edição. p. 723 a 737. 1999.

RIBANI, R. H. **Compostos fenólicos em erva-mate e frutas.** 137 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 24, p. 75-92, jan/jun 2002.

SCHERER, R., URFER, P., MAYOL, M. R., BELINGHERI, L. D., MARX, F., JANSSENS, M. J. J., Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. **Euphytica** 126, 203–210. 2002.

SCHINELLA, G. R., TROIANI, G., DA VILA, V., BUSCHIAZZO, P. M. DE., TOURNIER, H. A., Antioxidant effects of an aqueous extract of *Ilex paraguariensis*. **Biochemical and Biophysical Research Communications** 269, 357–360. 2000.

SCHUBERT, A.; ZANIN, F. F.; PEREIRA, D. F.; ATHAYDE, M. L. Variação anual de metilxantinas totais em amostras de *Ilex paraguariensis* A. St. - Hil. (erva-mate) em Ijuí e Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Quím. Nova**. vol. 29, n. 6. 2006.

SILVA, C. H. B. **Influência da idade das folhas e da luminosidade nos teores de metilxantinas, ácido clorogênico, fenólicos totais e na atividade de captação de radicais livres de extratos aquosos de *Ilex paraguariensis* A. St. Hilaire.**

Dissertação de Mestrado em Farmácia do Centro de Ciências e Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SIMÕES, M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia : da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 1102 p. 2004.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; RAVENTÓS-LAMUELA, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, New Yourk, v. 299, p.152-178, 1999.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences**. New York, Mc Graw Hill, 481 p. 1960.

STRASSMANN, B. B.; VIEIRA, A. R.; PEDROTTI, E. L.; MORAIS, H. N. F.; DIAS, P. F.; MARASCHIN, M. Quantitation of Methylxanthinic Alkaloids and Phenolic Compounds in Mate (*Ilex paraguariensis*) and Their Effects on Blood Vessel Formation in Chick Embryos. **J. Agric. Food Chem.**, v. 56, n. 18, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p. 2004.

VALDUGA, E. **Caracterização Química e Anatômica da Folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. e de Algumas Espécies Utilizadas na Adulteração do Mate.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Química do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995.

ZAMPIER, A. C. **Avaliação dos níveis dos nutrientes, cafeína e taninos em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) após adubação e sua relação com a produtividade.** Curitiba, 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2001.

CAPITULO IV - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NIR PARA DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES NA ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST.-HIL)

RESUMO

A técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tem sido proposta porque determina vários compostos simultaneamente, de forma rápida, precisa, não-destrutiva, adequada para uso em linhas de produção, permitindo análises em tempo real (*on-line*), de baixo custo e livre de poluição, tornando-se uma técnica adequada para a gestão e tomada de decisões no processo produtivo da indústria ervateira. Diante dessas vantagens, o objetivo do trabalho é a previsão da concentração dos macro (C, N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Na, Fe, Mn, Cu, Zn) em folhas de erva-mate, utilizando a técnica NIR e calibração multivariada. Os resultados obtidos utilizando amostras de calibração e validação permitiram uma ótima determinação dos elementos (macro e micro), com valores do coeficiente de correlação (R) acima de 0.90. A capacidade de previsão dos modelos foi verificada e mostrou (R) entre 0.62 a 0.89 e com RMSEP entre 0.16 a 5.63, obtido para os compostos P, Fe e Cu respectivamente, demonstrando que podem ser quantificados pela espectroscopia NIR. Já a previsão dos demais compostos ainda precisa ser melhorada.

Palavras-chave: Espectroscopia no infravermelho próximo. Calibração multivariada. Macro e micronutrientes.

CHAPTER IV - APPLICATION OF METHODOLOGY NIR FOR DETERMINATION OF NUTRIENTS IN YERBA MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST.-HIL)

ABSTRACT

The technique of near infrared spectroscopy (NIR) has been proposed because it determines several compounds simultaneously for fast, accurate, non-destructive, suitable for use in the production line, allowing real-time analysis (online), low cost and pollution-free, making it a suitable technique for the management and decision making in the production process of the industry yerba mate. Given these advantages, the objective is to predict the concentration of macronutrients (C, N, P, K, Ca, Mg) and micronutrients (Na, Fe, Mn, Cu, Zn) in leaves of yerba mate, using the NIR technique and multivariate calibration. The results obtained using the calibration and validation samples allowed a determination of the optimal elements with values of the correlation coefficient (R) greater than 0.90. The predictive power of the models was checked and showed that some compounds can be quantified by NIR spectroscopy.

Key-words: Near infrared spectroscopy. Multivariate calibration. Macro and micronutrients.

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) é um vegetal típico na América do Sul, desempenhando uma importante atividade econômica e ambiental, principalmente nas pequenas propriedades agrícolas (BASTOS *et al.*, 2007).

As folhas dessa planta têm recebido atenção por ser uma importante fonte de elementos essenciais, entre eles o carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) (SAIDELLES *et al.*, 2010). A concentração desses nutrientes nas folhas pode representar mais que 30% do total da planta (VAN DER DRIESSCHE, 1984), mas pode sofrer variações por diversos fatores, como o período de colheita, idade da planta, época de poda, características genéticas, tipo de solo, exposição à luminosidade e adubação (REGINATTO *et al.*, 1999).

Os sistemas de processamento como a industrialização e o beneficiamento também interferem diretamente nos componentes físico-químicos da erva-mate, além de determinarem a qualidade e as características organolépticas do produto final (DA CROCE *et al.*, 1994). Portanto, os minerais identificados na folha de erva-mate são de suma importância para o bom funcionamento metabólico de organismos vivos, podendo considerá-la uma boa fonte alimentar desses nutrientes (HEINRICHS; MALAVOLTA, 2001).

As técnicas empregadas para análise desses compostos nas folhas de erva-mate são muitas vezes demoradas, caras, destrutivas e requerem a utilização de numerosos reagentes. Para superar essa limitação, têm sido direcionados esforços para o estudo e desenvolvimento da técnica espectroscópica na região do infravermelho próximo (NIR), a qual apresenta vantagens na aplicação, pois é rápida, precisa, não destrutiva e com baixo custo de análise por não utilizar reagente.

A técnica NIR se potencializa quando associada à calibração multivariada, ferramenta que permite extrair informações presentes nos espectros. Uma das ferramentas que auxilia na construção dos modelos de calibração multivariada é o

método de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), método de calibração mais comumente usado para interpretar os dados obtidos (LEE *et al.*, 2006).

Neste estudo, verificou-se a viabilidade do uso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) para quantificação de teores de nutrientes na folha de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), comparando os resultados com os obtidos pelos métodos convencionais, visando uma opção mais barata e rápida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA EXPERIMENTAL

A área experimental é composta por erval comercial instalado no município de Guarapuava/PR, localizado no terceiro planalto paranaense, sob as coordenadas geográficas 25°20'18,52''S e 51°10'54,67''O. O clima, segundo classificação de Köeppen, caracteriza-se como temperado (Cfb) (IAPAR, 1994), e a unidade fitoecológica é definida como floresta Ombrófila Mista (RODERJAN *et al.*, 2002).

O relevo é ondulado a suave ondulado, com altitude em torno de 1110 m s.n.m., com solos classificados como Cambissolo Háplico álico latossólico textura muito argilosa, horizonte a proeminente relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

O erval encontra-se em consórcio com eucalipto, sendo que as erveiras com 25 anos de idade foram produzidas a partir de sementes coletadas de árvores matrizes nativas da própria fazenda, cujas mudas foram plantadas no espaçamento 4 x 2 m. As árvores de eucalipto com 6 anos de idade, sombreiam as erveiras, em espaçamento de 10 x 8 m, com aproximadamente 13 m de altura. As amostras foliares foram coletadas nas estações de colheita da erva-mate, dos anos de 2011 e 2012.

Cada parcela experimental foi constituída por 10 plantas úteis das quais foram coletadas 100 folhas inteiras, acondicionadas em saco de papel e transportadas até o Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, onde foi realizada a análise química foliar dos elementos minerais.

O processo de beneficiamento das amostras consistiu na lavagem de 100 folhas de cada planta selecionada com água deionizada, seguido da secagem em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de 60 °C, até peso constante. Posteriormente, as folhas foram pesadas, moídas em moinho de faca tipo Willey, deixando a amostra com partículas menor ou igual a 0.5 mm, sendo acondicionadas em frascos limpos, devidamente tampados e identificados.

2.2 ANALISE DE ELEMENTOS MINERAIS

A análise química mineral total foi desenvolvida para os elementos P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn, após a incineração das folhas de erva-mate em mufla à 500°C, com posterior solubilização em HCl 3 mol L⁻¹.

O P foi determinado por colorimetria com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. A determinação de K e Na foi realizada por fotometria de emissão enquanto o Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, foram determinados por espectroscopia de absorção atômica por chama (MARTINS; REISSMANN, 2007).

2.2.1 Obtenção de extratos de hidrossolúveis

A extração aquosa foi realizada usando a proporção de 100 ml de água deionizada para 1 g de material foliar (1:100), com posterior filtragem do extrato em papel de filtro faixa azul 3893. A água deionizada foi adicionada no balão já em estado aquecido (75 a 80 °C), o qual continha a amostra e mantida sob aquecimento em chapa quente durante 5 minutos. Após este período filtrou-se o extrato ainda quente em balão volumétrico de 250 ml, utilizando método adaptado de Reissmann *et al.* (1994).

Ao atingir a temperatura ambiente, pipetaram-se 25 ml de cada amostra em cadinho de porcelana, sendo deixados em chapa aquecida a temperatura de 40 °C até evaporar todo o líquido. Posteriormente, determinaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, e Na, pela mesma metodologia já descrita (MARTINS; REISSMANN, 2007).

2.2.2 Análise de carbono (C) e nitrogênio (N)

Do material beneficiado (seco e moído) foram pesadas sub-amostras de 2 mg (± 0.013), as quais foram acondicionadas em cápsulas de estanho.

Estas cápsulas foram introduzidas no analisador elementar (Vario El III), para determinação de C e N, via combustão.

2.3 OBTENÇÃO DE ESPECTROS NIR

Os espectros foram obtidos em espectrofotômetro da marca BRUKER, modelo TENSOR 37- (*Bruker Optics, Ettlingen, Germany*) com transformada de Fourier, esfera de integração e detector InGaAs-TE, coletados na faixa de 10.000 a 4.000 cm^{-1} por reflectância difusa, com resolução de 4 cm^{-1} e 64 varreduras em temperatura controlada próxima de 22°C. Foram efetuadas leituras em triplicata de cada amostra de material vegetal beneficiado, num total de 810 espectros.

2.4 DESENVOLVIMENTOS DOS MODELOS DE CALIBRAÇÃO MULTIVARIADA

O processamento e análise dos dados foram efetuados através do software Unscrambler 10.1[®]. O método de regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS) foi aplicado com algoritmo NIPALS e *leverage correction* para a calibração e validação interna dos dados. Para a correção da linha base e redução de interferências externas do equipamento e granulometria da amostra, foram efetuados os pré-tratamentos de “*normalization*”, “*de-trending*” and “*second derivation*”. Para o processamento dos dados foi utilizada a média das repetições, separando-se 216 amostras para a calibração e validação interna dos modelos e 54 amostras para a predição externa.

3 RESULTADOS

Os resultados estatísticos dos macro (C, N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Na, Fe, Mn, Cu, Zn) nas folhas de erva-mate (TABELA 4.1), foram avaliados pela faixa de valores (mínimo e máximo) e desvio padrão dos elementos, utilizando métodos convencionais e a técnica NIR.

TABELA 4.1 - VALOR DOS ELEMENTOS MACRO E MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE ANALISADOS PELOS MÉTODOS CONVENCIONAIS E PELA TÉCNICA NIR

Elementos	Métodos Convencionais		Técnica NIR		
	Estimativa	DP	Estimativa	DP	
Macronutrientes (g kg ⁻¹)	C	461.10 - 540.49	10.45	469.24 - 501.70	6.35
	N	24.07 - 40.84	4.28	24.67 - 39.64	3.36
	P	0.80 - 1.77	0.20	0.85 - 1.58	0.17
	K	3.40 - 18.00	2.53	3.74 - 10.49	1.45
	Ca	0.12 - 5.45	1.13	0.01 - 4.36	1.12
	Mg	0.80 - 9.55	2.14	0.93 - 7.99	1.78
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)	Na	0.10 - 0.35	0.06	0.053 - 0.32	0.06
	Fe	8.00 - 130.00	31.58	1.95 - 122.07	31.91
	Mn	236.00 - 1440.00	270.99	80.61 - 1359.84	239.84
	Cu	1.0 - 44.00	12.53	0.46 - 38.21	11.73
	Zn	34.00 - 146.00	26.41	27.35 - 146.05	22.08

FONTE: O AUTOR (2013)

Os resultados obtidos pelos métodos convencionais mostraram uma alta variabilidade quanto à composição, indicando uma ampla distribuição da amostragem, que pode ser influenciada por vários fatores, especialmente pelo solo, idade da planta, luminosidade, fatores climáticos e além das características genéticas (RACHWAL *et al.*, 2002, REISSMANN; CARNEIRO, 2004).

Os valores dos elementos analisados por meio do método NIR, não apresentaram diferenças quando comparados, com os métodos convencionais, indicando que por este método pode ser analisado elementos na erva-mate com a mesma confiabilidade dos métodos convencionais. Outro aspecto observado no desvio padrão das amostras, foi a menor diferença quando utiliza-se o NIR, como por exemplo, o elemento C teve um desvio de 10.49 g kg^{-1} pelo método convencional e 6.35 g kg^{-1} pela técnica NIR.

Os elementos estudados apresentaram concentrações em ordem decrescente para os macro C, N, K, Mg, Ca e P, seguido pelos micronutrientes Mn, Zn, Fe, Cu e Na respectivamente.

Esses elementos também foram avaliados por Giulian *et al.* (2009), para investigar a influência do processamento industrial sobre os teores de minerais na matéria prima para chá mate utilizando a Técnica PIXE. Os autores observaram que mudanças consideráveis foram observadas após as principais etapas do processo industrial. A concentração de Mg, P, K e Ca aumentaram após os processos de secagem e torrefação, possivelmente devido à presença de contaminantes nos gases quentes, com queima de biomassa e evaporação de água. Elementos como o Mn aumentam a concentração após a torrefação mas diminuem após o processo de secagem, enquanto que o Fe não foi afetado pelo passo de secagem.

Trabalho de Ducat e Quinaia (2004), avaliando compostos em folhas de erva-mate cultivadas, indica que as amostras apresentaram valores médios de 9.02 e $3.40 \mu\text{g g}^{-1}$ para K e Ca, respectivamente. O teor de Mn ($3.306 \mu\text{g g}^{-1}$) e Cu ($9.08 \mu\text{g g}^{-1}$) foi semelhante aos resultados obtidos neste trabalho.

3.1 PREVISÃO DOS NUTRIENTES POR PLS

Na construção dos modelos de regressão foi empregado o Método dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS), onde são avaliados os erros padrões na calibração (RMSEC), na validação externa (RMSECV) e na previsão externa (RMSEP). A robustez

do modelo é indicada quando os valores de RMSEC, RMSECV, RMSEP são próximos de 0 e R aproximando a 1 (BOTELHO *et al.*, 2012). Assim, a TABELA 4.2 mostra os modelos PLS dos onze elementos de avaliação.

TABELA 4.2 - CALIBRAÇÃO ESTATÍSTICA PARA OS MACRO E MICRONUTRIENTES NA ERVA-MATE DETERMINADOS POR NIR

Elementos	Calibração (n=216)		Validação Interna (n=216)		Previsão Externa (n=54)		
	R	RMSEC	R	RMSECV	R	RMSEP	
Macronutrientes (g kg ⁻¹)	C	0.90	2.99	0.90	3.10	0.17	11.14
	N	0.95	1.17	0.95	1.22	0.49	4.09
	P	0.94	0.05	0.94	0.05	0.62	0.16
	K	0.95	0.78	0.94	0.81	0.00	3.03
	Ca	0.93	0.39	0.93	0.41	0.42	1.23
	Mg	0.94	0.66	0.94	0.68	0.43	2.17
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)	Na	0.94	0.02	0.94	0.02	0.29	0.07
	Fe	0.98	6.58	0.98	6.82	0.75	0.22
	Mn	0.91	105.5	0.91	109.68	0.35	303.00
	Cu	0.98	2.23	0.98	2.29	0.89	5.63
	Zn	0.91	10.81	0.91	11.21	0.07	32.90

FONTE: O AUTOR (2013)

Os modelos de macro e micronutrientes apresentaram erros padrões na calibração e validação interna acima de 0.90, mostrando uma alta correlação entre o valor obtido pelos métodos convencionais e o previsto pela técnica NIR. Foram obtidos valores de calibração e validação interna bons para a maioria dos macronutrientes, com valores de RMSEC e RMSECV próximos a zero, indicando que as melhores respostas interpretadas pelos espectros foram para os elementos com maior concentração, e assim, proporcionaram melhores correlações.

Os valores de R na TABELA 4.2 para a previsão externa, avaliando o poder do modelo construído com amostras externas ao conjunto ou que não participam da etapa de calibração (SCAFI, 2005), foi bom para os elementos P, Fe e Cu nas amostras de erva-mate. Um R de 0.62, com RMSEP de 0.16 foi obtido para P, e R igual a 0.75 com RMSEP de 0.22 para Fe e Cu apresentou R de 0.89 com 5.63 de RMSEP. Foram

considerados bons indicadores, pois as amostras foram coletadas em momentos diferentes (anos de 2011 e 2012), aliado a concentrações de compostos serem distintas, conforme estimativas de cada composto demonstradas na TABELA 4.1. Adicionalmente, existe falta de homogeneidade das amostras.

A predição externa dos compostos P, Fe e Cu, com melhor correlação, estão demonstradas na FIGURA 4.1, com diagrama de correlação entre a concentração dos valores preditos pelo NIR e os valores de referência obtidos pelos métodos convencionais.

Segundo Garnsworthy *et al.* (2000), o NIR mede ligações dentro de compostos orgânicos, os quais são negativamente relacionadas com materiais inorgânicos. Se a matéria mineral estiver ligada dentro de compostos orgânicos, a distorção do espectro será detectável em determinados comprimentos de onda, sugerindo que o NIR pode prever materiais inorgânicos usando a relação entre a matéria orgânica.

Assim, González-Martín *et al.* (2007) concluíram que a técnica de NIR com uma sonda de fibra óptica é adequada para a determinação da composição mineral em macro (Ca, K, P) e micro elementos (Fe, Mn, Na, Zn) em amostras de alfafa.

Cozzolino e Moron (2004) também exploraram a técnica NIR para prever a concentração de mineral em leguminosas, quando as estatísticas obtidas na calibração e validação tiveram potencial para prever minerais em leguminosas, especialmente B, Cu, Mn e Zn.

Embora a precisão tenha sido muito baixa para análise de rotina, os autores concluíram que a técnica NIR pode ser usada como ferramenta de rastreamento para o diagnóstico de necessidades de fertilizantes em culturas forrageiras.

Em um estudo semelhante, Huang *et al.* (2009) obtiveram melhores resultados pela calibração e validação para prever a concentração de minerais em amostras de palha coletadas na zona rural da China, embora a previsão de alguns compostos ainda precise ser melhorada.

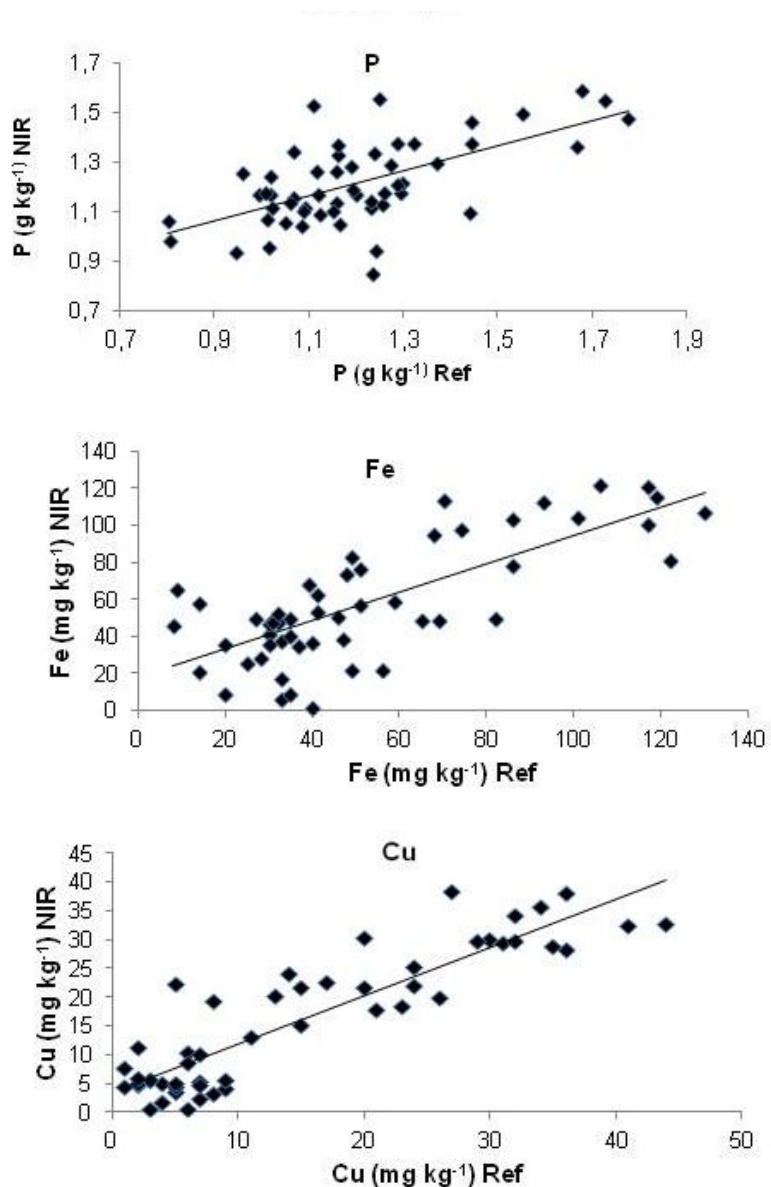


FIGURA 4.1 – RESULTADOS DA PREVISÃO EXTERNA NIR PARA OS COMPOSTOS P, Fe E Cu NA FOLHA DE ERVA-MATE
FONTE: O AUTOR (2013)

Embora a predição do teor de compostos em folhas de erva-mate por NIR precise ser aperfeiçoada, a velocidade de análise e o tempo mínimo de preparação das amostras são aspectos vantajosos em comparação com outros métodos de referência.

Neste trabalho, foram necessárias mais de 72 horas para verificar a calibração, fazer a digestão das amostras por via seca e solubilização, a preparação dos extratos

hidrossolúveis e a determinação de C e N. Apesar de requerer vários reagentes e equipamentos especializados, aproximadamente setenta amostras de erva-mate podem ser digitalizadas por hora pelo sistema NIR, e a estimativa de todos os elementos macro e micronutrientes pode ser obtido simultaneamente em menor tempo.

Porém, não foram encontrados trabalhos sobre os elementos analisados em folhas de erva-mate utilizando NIR.

4 CONCLUSÕES

- a) As estatísticas de calibração e validação obtidas mostraram o potencial da técnica do NIR em prever os compostos em folhas de erva-mate.
- b) Na previsão de **P**, **Fe** e **Cu**, a técnica de espectroscopia NIR é viável.
- c) A utilização do NIR para previsão dos outros elementos dependem de tratamentos matemáticos, principalmente por causa da larga faixa de amplitude dos compostos.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, D. H. M.; DE OLIVEIRA, D. M.; MATSUMOTO, R. L. T. Yerba maté: pharmacological properties, research and biotechnology. Medicinal and Aromatic Plant **Science and Biotechnology**. 1(1): 37-46. 2007.
- BOTELHO, B. G.; MENDES, B. A. P.; SENA, M. M. Development and analytical validation of robust near-infrared multivariate calibration models for the quality inspection control of mozzarella cheese. **Food Anal. Methods**. DOI 10.1007/s12161-012-9498-z. 2012.
- COZZOLINO, D.; MORON, A. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict trace minerals in legumes. **Animal Feed Science and Technology**. 111: 161–173. 2004.
- DA CROCE, D. M.; HIGA, A. R.; FLOSS, P. A. Escolha de fontes de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) para Santa Catarina. **Boletim Técnico**. EPAGRI Florianópolis. 69: 23. 1994.
- DUCAT, G.; QUINÁIA, S. P. Avaliação do teor de minerais da *Ilex paraguariensis* da região Centro-Oeste do Estado do Paraná. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. 6 (1): 31–42. 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro. 286 p. 2006.
- GARNSWORTHY, P. C.; WISEMAN, J.; FEGEROS, K. Prediction of chemical, nutritive and agronomic characteristics of wheat by near infrared spectroscopy. **J. Agric. Sci. (Camb.)** 135: 409–417. 2000.
- GIULIAN, R.; SANTOS, C. E. I.; SHUBEITA, S. M.; SILVA, L. M.; YONEAMA, M. L.; DIAS, J. F. The study of the influence of industrial processing on the elemental composition of mate tealeaves (*Ilex paraguariensis*) using the PIXE technique. **Food Science and Technology**. 42(1): 74–80. 2009.

GONZÁLEZ-MARTÍN, I.; HERNÁNDEZ-HIERRO, J. M.; GONZÁLEZ-CABRERA, J. M. Use of NIRS technology with a remote reflectance fibre-optic probe for predicting mineral composition (Ca, K, P, Fe, Mn, Na, Zn), protein and moisture in alfalfa. **Anal Bioanal Chem.** 387: 2199–2205. 2007.

HEINRICH, R.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.). **Ciência Rural.** 31(5): 781-785. 2001.

HUANG, C.; HAN, L.; YANG, Z.; LIU, X. **Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy to predict minerals in straw.** *Fuel* 88:163–168. 2009.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná.** IAPAR, Documento, 18. Londrina, PR, Brasil. 49 p. 1994.

LEE, Y.; CHUNG, H.; ARNOLD, M. A. Improving the robustness of a partial least squares (PLS) model based on pure component selectivity analysis and range optimization: Case study for the analysis of an etching solution containing hydrogen peroxide. **Analytica Chimica Acta.** 572 (1): 93–101. 2006.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria,** Curitiba. 8 (1): 1-17. 2007.

RACHWAL, M. F. G.; COELHO, G. C.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SCHENKEL, E. P. Influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de acronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de erva-mate. Embrapa Florestas. **Comunicado técnico.** Colombo, Paraná, 81:5. 2002.

REGINATTO, F. H.; ATHAYDE, M. L.; GOSMANN, G. Methylxantines accumulation in *Ilex* species – caffeine and theobromine in erva-mate and other *Ilex* species. **Journal of the Brazilian Chemical Society.** 10 (6): 443-446. 1999.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. Relação entre os teores e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn e Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia,** Curitiba. 37 (4): 959-971. 1994.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.), transcorridos oito anos de calagem. **Revista Floresta**. 34 (3): 381–386. 2004.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 24: 75-92. 2002.

SAIDELLES, A. P. F.; KIRCHNER, R. M.; SANTOS, N. R. Z.; FLORES, É. M.; BARTZ, F. R. Análise de metais em amostras comerciais de erva-mate do sul do Brasil. **Alim. Nutr.** 21 (2): 259-265. 2010.

SCAFI, S. H. F. **Sistema de monitoramento em tempo real de destilações de petróleo e derivados empregando a espectroscopia no infravermelho próximo.** Tese, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. 196 p. 2005.

VAN DER DRIESSCHE, R. Nutrient Storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition. **Nutrition of Plantation Forest**. Londres. Academic Press/Bowen. 181-209. 1984.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No **primeiro estudo** conclui-se que:

a) Não houve influência na variável altura das erveiras devido a utilização de fertilizantes, embora os níveis de luminosidade relativa de 30%, 45% e 60% e sem fertilização química tenham induzido um maior crescimento de altura das árvores.

b) A fertilização não mostrou influência no crescimento e incremento do diâmetro de copa, embora as melhores condições ambientais foram verificadas sob maior luminosidade relativa.

c) A maior área foliar foi observada sob luminosidade relativa de 30% e 45%, sendo similar sob fertilizações convencional e de liberação lenta.

d) O peso da biomassa comercial úmida sob luminosidade relativa de 60% demonstrou tendência de aumento quando comparada com luminosidade relativa de 45% e 30%, enquanto a fertilização promoveu efeitos discretos à produtividade.

No **segundo experimento** observou-se que:

a) Os níveis de luminosidade afetam diferentemente os teores de nutrientes foliares.

b) O N e o Mn no teor foliar, sob as luminosidades relativas de 60, 45 e 30%, tiveram comportamento idêntico, parecendo não ser afetados pela luminosidades.

c) O P foi o nutriente mais afetado sob luminosidade relativa de 30%, com teores mais elevados e maior incremento; o mesmo ocorre com o Mg em luminosidade relativa de 45%.

d) O Fe teve comportamento semelhante em todas as luminosidades, apesar do significativo incremento sob luminosidade relativa de 30%.

e) Com fertilizante FLL houve incremento dos teores de N, Ca e Fe, em todas as luminosidades, enquanto para o Mg e Zn ocorreu sob luminosidades de 45 e 30%. O carbono teve incremento sob luminosidade de 30% com FLL, enquanto

para Na foi 65,5% sob luminosidade de 45%. Na luminosidade relativa de 30% houve incremento do P em todos os tratamentos de fertilizações.

f) O FC foi o fertilizante que proporcionou maior incremento de K nas luminosidades relativa de 60 e 45%.

g) As fertilizações FC e FLL incrementaram o teor de Cu sob todas as luminosidades, enquanto o Mn não teve incremento sob a adubação e luminosidade.

h) Os teores de macro e micronutrientes considerados suficientes para a erva-mate, deram incrementos modestos de biomassa comercial, depois de 2 anos.

No **terceiro experimento** conclui-se que:

- a) As luminosidades relativas de 45% e 30% foram as principais influências do aumento de metilxantina totais, seguida pela fertilização FLL e FC.
- b) Houve tendência de aumento dos teores de compostos fenólicos totais sob luminosidade relativa de 45%; 60% e 30% respectivamente.
- c) Os teores de compostos fenólicos foram significativamente superiores nos tratamentos com FLL e FC, sob a luminosidade relativa de 60%.

No **quarto experimento** verificou-se que:

a) As estatísticas de calibração e validações mostraram o potencial do NIR em prever os compostos em folhas de erva-mate.

b) A previsão do NIR para C, K, Na, Mn e Zn não teve bons resultados, em especial devido a larga faixa de concentração dos compostos. Contudo, na previsão de P, Fe e Cu é viável.

c) Mais pesquisas precisam ser desenvolvidas para aperfeiçoar a precisão dos modelos de calibração, ampliação do número de amostras e uso de outros métodos quimiométricos.