

**FABIANA MAIA DE ANDRADE**

**AVALIAÇÃO DE BIOMASSA, CLOROFILA, CAFEÍNA E TANINO EM  
*Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, CRESCENDO SOB SOMBREAMENTO  
E PLENO SOL.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

**Orientador: Prof. Dr. Rudi Arno Seitz**

Curitiba

2004



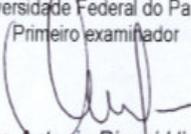
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

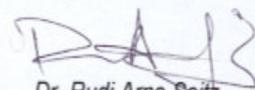
## PARECER

Defesa nº. 547

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) mestrando(a) *Fabiana Maia Andrade* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, sob sombreamento e pleno sol**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de **Mestre** no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

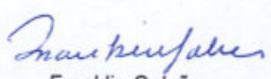
  
**Dr. Tomoe Nakashima**  
Universidade Federal do Paraná  
Primeiro examinador

  
**Dr. Antonio Riovei Higa**  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

  
**Dr. Rudi Arno Seitz**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 22 de janeiro de 2004.

  
**Franklin Galvão**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

NUNCA DESISTIR... ESTA É UMA DAS GRANDES VITÓRIAS DE NOSSAS VIDAS!

**OFEREÇO e DEDICO**

*À minha Mãe Adi,  
Ao meu Pai Sebastião,*

*As Duas Pessoas que Sempre Lutaram na Vida para que Eu Atingisse meus Objetivos  
e Pudessem Alcançar a Vitória... Amo Vocês Eternamente.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o amigo verdadeiro e precioso, que me deu força e persistência para cumprir mais uma etapa de minha vida.

A todos que de diferentes formas me ajudaram a crescer como pessoa e profissional, principalmente aos que sempre estarão em minhas lembranças:

Minha grande e maravilhosa família que sempre acreditou em mim, em especial meus pais Sebastião e Adi, minhas irmãs Almeri, Mariza e Mara Lúcia, meu irmão Sadi Jorge, meus sobrinhos João Gusthavo, Patricia Luzia, Cristiane Serena, Juliana Mara e Bruna Clara que, dão alegria e colorido a minha vida e, ainda meus cunhados Pedro, Bira e Luiz; lembrando em especial da boa vontade das minhas sobrinhas Patricia e Cristiane que ajudaram em atividades de campo e laboratório.

Ao professor e orientador Dr. Rudi Arno Seitz que contribuiu e enriqueceu o minha pesquisa, sempre compreensivo, terno e paciente em todos os momentos.

A professora e co-orientadora Dra. Tomoe Nakashima que dedicou tempo e conhecimento, além do carinho e grande amizade que sempre demonstrou.

Ao Sr. Arlindo Baldo, Diretor Presidente da empresa Baldo S/A e, ao amigo Eng.º Agrônomo Leandro Beninho Gheno, Gerente Geral da filial em São Mateus do Sul, que deram apoio e auxílio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa, lembrando também dos funcionários que ajudaram nas atividades em campo.

A Dra. Dalva Luiz de Queiroz Santana, pesquisadora da Embrapa-Florestas, grande amiga que deu valiosas sugestões e auxiliou em laboratório junto com seu marido Francisco de Assis Santana, que fez as fotos de laboratório para ilustração da pesquisa.

Aos pesquisadores da Embrapa-Florestas, Drs. Antonio Francisco Jurado Bellote, Helton Damin da Silva e Márcio Ferrari, que transmitiram conhecimentos e sempre demonstraram grande amizade.

Aos professores Drs. Ronaldo Viana Soares, Franklin Galvão, Antonio

Nogueira e, Alessandro C. Ângelo, que disponibilizaram os laboratórios para armazenamento e preparo do material de pesquisa.

Ao professor Dr. Marcelo Iacomini, do Laboratório de Química de Carboidratos do Centro de Ciências Biológicas da UFPR, que cedeu o laboratório e pessoal para as análises de clorofila.

Ao professor Dr. Werner Knoess da Universidade de Bonn na Alemanha, que analisou e enviou dados enriquecedores para a pesquisa.

A profissional e amiga Neuza G. A. Rucker do Departamento de Economia Rural - SEAB, pelo incentivo a pesquisa.

Aos colegas Rubens Marques Rondon Neto e Ivan Crespo Silva, que auxiliaram na formatação e análises estatísticas.

As amigas da FUPEF, Lucia Burda e Mariza Druzina que deram atenção e auxílio quando necessário.

As sempre amigas, Juliana Carolina Junkuhn Bueno Ignaszewski e Carla M<sup>a</sup> dos Santos Camargo Correa, que desde a época da graduação dão apoio, carinho e grande amizade.

A amiga Dra. Lucila Marchall de Araújo Maschio (ex-pesquisadora Embrapa-Florestas) que enriqueceu minha vida profissional e pessoal com muita amizade.

As amigas Ingrid Gueths, Silvana Gotlieb de Almeida Santos, Sandra Patrícia Ianser e, ao amigo Ronald Ferreira Sobrinho, todos sempre com palavras amigas e apoio nos dias difíceis.

Ao colega e amigo Eng.º Florestal Dr. Marcelo Sérgio Souza Wiecheteck, que contribuiu com sugestões, correções e traduções de textos e mensagens com a Universidade de Bonn.

A empresa Manasa Madeireira Nacional S/A, em especial ao Diretor Presidente Eng.º Florestal Marlus Rodnei Souza Wiecheteck, que permitiu o uso da estrutura em informática para a formatação e impressão desta dissertação.

Ao meu amor.

## SUMÁRIO

	<b>Pág</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	x
<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2 JUTIFICATIVA</b>	2
<b>3 OBJETIVOS</b>	3
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b>	5
<b>4.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ECOLÓGICAS DA <i>Ilex paraguariensis</i></b>	5
<b>4.2 CARACTERÍSTICAS SILVICULTURAIS E DE MANEJO DA <i>Ilex paraguariensis</i></b>	8
<b>4.3 CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS DA <i>Ilex paraguariensis</i></b>	11
<b>4.4 INFLUÊNCIA DA LUZ SOBRE AS PLANTAS</b>	12
4.4.1 Influência da Luz sobre o Crescimento e Desenvolvimento da <i>Ilex paraguariensis</i>	17
<b>4.5 CLOROFILA NAS PLANTAS</b>	20
<b>4.6 COMPONENTES FITOQUÍMICOS</b>	24
4.6.1 Metilxantinas	24
4.6.1.2 Cafeína	26
4.6.2 Taninos	26
4.6.3 Aspectos Fitoquímicos da <i>Ilex paraguariensis</i>	27
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	32
<b>5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA</b>	32
<b>5.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO</b>	32
5.2.1 Mudas do Experimento	33
<b>5.3 MÉTODOS DE ANÁLISE E AVALIAÇÃO</b>	34

5.3.1 Delineamento Estatístico	34
5.3.2 Avaliação de Luminosidade	34
5.3.3 Avaliação de Crescimento das Plantas	34
5.3.4 Análise de Clorofila <i>a</i> e <i>b</i> nas Folhas	35
5.3.5 Avaliação de Matéria Verde e Seca	36
5.3.6 Extração e Análise de Cafeína e de Compostos Polifenólicos em Folhas Frescas	38
5.3.6.1 Análise da Cafeína	38
5.3.6.2 Análise de Taninos e Outros Compostos Polifenólicos	39
5.3.7 Extração e Determinação de Cafeína e Tanino nas Folhas, realizada no Institute of Pharmaceutical Biology-University of Bonn, Alemanha	39
5.3.7.1 Extração de Metilxantinas, Rutina e Ácidos Cafeoil-quínicos	40
5.3.7.1.1 Análise por Cromatografia em Camada Delgada de Metilxantinas, Rutina e Ácidos Cafeoil-quínicos	41
5.3.7.1.2 Separação das Metilxantinas, Rutina e de Ácidos Cafeoil-quínicos	42
5.3.7.1.3 Análise HPLC Metilxantinas, Rutina e Ácidos Cafeoil-quínicos	42
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	44
<b>6.1 LUMINOSIDADE NOS TRATAMENTOS</b>	44
<b>6.2 VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS</b>	45
<b>6.3 VARIÁVEIS QUANTITATIVAS</b>	47
<b>6.4 CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILAS A E B</b>	50
<b>6.5 CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA</b>	52
<b>6.6 CROMATOGRAFIA LÍQUIDA EM ALTA RESOLUÇÃO (HPLC)</b>	54
<b>7 CONCLUSÕES</b>	58
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	60
<b>9 REFERÊNCIAS</b>	61
<b>ANEXOS</b>	70

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág</b>
Tabela 1 Média das luminosidades, % de luminosidade e % de sombreamento em relação a plena luz, para cada tratamento aplicado nas plantas de erva-mate (Klux).	44
Tabela 2 Média das alturas (cm), diâmetro do colo (mm) e comprimento de raízes (cm) de plantas de erva-mate aos 12 meses de idade, sob diferentes intensidades de luminosidade.	46
Tabela 3 Médias de biomassa seca das folhas (gr), ramos e caule (gr), raízes (gr), total (gr) e número de folhas das plantas de erva-mate sob diferentes intensidades de luminosidade.	48
Tabela 4 Médias das concentrações de clorofila a e clorofila b, soma de clorofila total e relação clorofila a/b nas plantas de erva-mate sob diferentes tratamentos de luminosidade aplicados (concentração em $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ ).	51
Tabela 5 Tempos de retenção para obtenção dos compostos químicos em HPLC.	55

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
Figura 01	Área de ocorrência natural de <i>Ilex paraguariensis</i> Saint-Hilaire no Brasil. 7
Figura 02	Separação dos segmentos vegetais para pesagem (A); Pesagem dos segmentos (B); colocação dos segmentos para secagem (C). 37
Figura 03	Medição de luminosidade: (A) T100, (B) TBr. 45
Figura 04	CCD de compostos polifenólicos. Ponto 1: T100 (álcool 70%); Ponto 2: ác. cafeico; Ponto 3: T50 (álcool 70%); Ponto 4: ác. ferúlico; Ponto 5: T25 (álcool 70%); Ponto 6: ác. clorogênico; Ponto 7: TBR (álcool 70%); Ponto 8: rutina. 54
Figura 05	CCD de compostos polifenólicos. Ponto 1: T100 (álcool 70%); Ponto 2: T50 (álcool 70%); Ponto 3: padrão teobromina; Ponto 4: T25 (álcool 70%); Ponto 5: TBR (álcool 70%); Ponto 6: padrão cafeína; Ponto 7: T100 (amônia + éter clorofórmio); Ponto 8: T50 (amônia + éter clorofórmio); Ponto 9: padrão teofilina; Ponto 10: T25 (amônia + éter clorofórmio); Ponto 11: TBR (amônia + éter clorofórmio) 54
Figura 06	Média do conteúdo de mono-cqa, cafeína e di-cqa, encontrados em 15 amostras de erva-mate após sapeco industrial para produção de chimarrão. 55
Figura 07	Total do conteúdo de Mono-CQA, Teobromina, Cafeína, Rutina e Di-CQA em mg%, encontrados em 15 amostras de erva-mate após sapeco industrial para produção de chimarrão. 57

## LISTA DE ABREVIATURAS

MS	Ministério da Saúde
ANVS	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
DFAR	Departamento de Farmácia
UFPR	Universidade Federal do Paraná
T	Tratamentos
H	Altura
Ø	Diâmetro de Colo
CR	Comprimento de Raízes
BF	Biomassa Foliar
BRC	Biomassa de Ramos e Caule
BR	Biomassa de Raízes
BT	Biomassa Total
NF	Número de Folhas
Ca	Clorofila <i>a</i>
Cb	Clorofila <i>b</i>
CCD	Cromatografia em Camada Delgada
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Resolução
Mono-CQA	Ácido Mono-cafeoil-quínicos
Di-CQA	Ácido Di-cafeoil-quínicos

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar: crescimento, biomassa, clorofilas *a* e *b* e, teores de cafeína e tanino em plantas de *Ilex paraguariensis* (erva-mate) crescendo sob diferentes condições de luminosidade. O experimento foi conduzido em campo, com plantas distribuídas em quatro tratamentos com intensidades lumínicas médias em relação a plena luz do dia de: 100% para T100, 53% para T50, 26% para T25 e, 13% para TBr sob floresta de *Mimosa scabrella* (bracatinga). No período de 12 meses, as plantas foram medidas mensalmente em altura, diâmetro de colo e número de folhas. No final do período colheram-se folhas em cada tratamento, para a determinação da concentração clorofilas. Para análise cromatográfica de cafeína e tanino no Laboratório de Fitoquímica-DFAR<sup>1</sup>/UFPR, 100 gramas de folhas foram colhidas em cada tratamento e ainda, enviadas 17 plantas após sapeco industrial para o Institute of Pharmaceutical Biology na University of Bonn na Alemanha, para determinação dos compostos químicos. Na seqüência todas as plantas tiveram as biomassas verde e seca mensuradas pelo método destrutivo. Após análise de variância, cada variável teve suas médias comparadas entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Com base nos resultados se obteve as seguintes conclusões: i) altura é favorecida pela menor luminosidade; ii) diâmetro demonstrou pouca variação; iii) comprimento de raízes não foi afetado pela luz; iv) biomassa foliar e número de folhas foram maiores para T50 e T25; v) biomassa de ramos e caule e, a de raízes foi maior para áreas sombreadas, devido a influência da altura das plantas; vi) clorofila *a* e *b* tiveram maior concentração em tratamentos com menor intensidade lumínica; vii) identificou-se a presença de cafeína, tanino, teobromina, teofilina, rutina, quercetina, isoquercetrina, ácidos mono-CQA e di-CQA; (viii) teores de cafeína e de ácido mono-CQA não foram afetados pela luz e, o conteúdo de ácido di-CQA foi maior para altas intensidades lumínicas; ix) baixos níveis lumínicos demonstraram que a erva-mate pode apresentar boa produtividade e qualidade; x) todos os resultados obtidos fornecem subsídios à silvicultura da erva-mate, bem como, para realização do controle de qualidade da matéria-prima vegetal e para os produtos derivados de *Ilex paraguariensis*, erva-mate.

---

<sup>1</sup> Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Paraná.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth, the biomass, the chlorophyll concentration, and the caffeine and tannin contents in plants of *Ilex paraguariensis* ('erva mate'), when submitted the different light conditions. This experiment was made in the field with plants distributed in four treatments treatments, changing the light percentage as compared to full light for treatment T100 with 100%, T50 with 53%, T25 with 26% and TBr with natural shading under *Mimosa scabrella* ('bracatinga') forest with 13%. In a 12 month-period, the plants were measured monthly for height, plant diameter (bottom), and leaf number. In the end of the period, leaves from four plants were collected to analysis the chlorophyll. About 100 g of leaves were collected in each treatment for caffeine and tannin chromatography analysis, carried out by the Phytochemical Laboratory of DFAR<sup>2</sup>/UFPR. A total of 17 leaf samples treated with 'industrial pre-dry' were sent to the Institute of Pharmaceutical Biology at the University of Bonn/Germany, for determination of the phytochemical composites. In the sequence, all plants were analysed by destructive method. For each variable, the means were compared using Tukey Test at 5% significance level. The following conclusions can be drawn from the results: i) The height development is better in low light conditions; ii) the diameter demonstrated little variation; iii) the root lenght was not affected by the variation of brightness; iv) the number and biomass of the leaves was larger for T50 and T25; v) the branches, stem and roots biomass was larger for shaded areas, due to itme "i"; vi) "a" and "b" chlorophyll had larger concentration in treatments with lower light intensity; vii) It was identified the caffeine presence, tannin, teobromin, teophillin, rutin, quercetin, isoquercetrin, acids mono-CQA and di-CQA; viii) caffeine and acid mono-CQA levels were not affected by the light exposure and, the content of acid di-CQA was larger in lightful experiments; ix) low light levels demonstrated that the "erva-mate" can present good productivity and quality; x) all the obtained results subsidizes the forestation of the "erva-mate", as well as, for accomplishment of the control of quality of the vegetable raw material and for the derived products of *Ilex paraguariensis*, erva-mate.

---

<sup>2</sup> Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Paraná.

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui grande vocação florestal, principalmente por suas favoráveis condições edafo-climáticas. Entre muitas espécies florestais exploradas em território brasileiro, destaca-se no âmbito das não-madeireiras a *Ilex paraguariensis* St. Hill, erva-mate.

A erva-mate se distribui naturalmente no país, principalmente nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e ainda em algumas áreas do Mato Grosso do Sul, São Paulo e Minas Gerais. Sua área total de ocorrência é de aproximadamente 540.000 Km<sup>2</sup>, abrangendo os países Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (pequenas áreas).

A exploração da erva-mate é uma atividade de grande importância econômica no sul do Brasil, bem como para os demais países do MERCOSUL. Por longo período, durante o século XIX e início do século XX, foi um dos principais produtos das exportações brasileiras. Apesar de sua importância, grande parte do ciclo da erva-mate ocorreu e, ainda ocorre, de forma extrativista e desorganizada, ou seja, sem visão conservacionista e técnicas de manejo adequadas. Estes fatores aliados à intensa exploração madeireira e ao avanço das áreas de lavouras causaram a erradicação de grande parte dos ervais em florestas nativas e assim, o desequilíbrio entre a oferta e a demanda do produto mate.

Há aproximadamente 20 anos, os estudos com a erva-mate tomaram um impulso maior, contribuindo para desenvolvimento de sistemas de produção e exploração, objetivando a melhoria da qualidade, produtividade e, maior renda ao produtor. Contudo, o crescimento das plantas depende de suas características genéticas e de condições ambientais que a influenciam direta ou indiretamente; o ambiente quando alterado por fatores antrópicos é de grande influência sobre as plantas. No ambiente, os fatores luz, temperatura, solo e água, são essenciais e determinantes para o desenvolvimento das florestas, além de afetarem a implantação e o manejo de novas florestas.

Este trabalho tem como objetivo determinar o crescimento, a produção de biomassa, variação na concentração de pigmentos de clorofila e teores de cafeína e

tanino em plantas de erva-mate, quando submetidas a diferentes condições de luminosidade.

## 2 - JUSTIFICATIVA

A erva-mate é uma planta típica do estrato inferior e médio da Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta com Araucária) e da Floresta Estacional Semidecidual e também pode ocorrer raramente na Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica). É classificada por CARVALHO (1994) como planta esciófila, isto é, aceita sombra em qualquer idade, tolerando a luz na fase adulta. Com isto, é frequentemente referenciada como umbrófila, ou seja, uma planta que se desenvolve em locais sombreados.

Para plantas com a classificação de umbrófilas, cita-se que condições de maior luminosidade podem ser estressantes (LOVELOCK<sup>3</sup> et al., 1994, citado por COELHO et al., 2000). Segundo LARCHER (1986), as plantas esciófilas são capazes de desenvolver formas adaptadas a níveis de luz extremamente baixos.

Plantas umbrófilas, sob alta irradiação, têm sua utilização da luz disponível pequena e, passam por uma depressão de fotossíntese quando subitamente expostas à luz forte, mas, podem adaptar-se à luz gradualmente crescente, pelo menos na medida em que não forem afetadas por intensidades demasiadamente elevadas. Estes efeitos podem ser observados nos ervais nativos quando há um aumento da luminosidade, proporcionado pelo raleamento das árvores do dossel.

Nos estratos em que ocorre erva-mate, a luz penetrante é difusa, devido às folhagens das copas que a interceptam, proporcionando períodos de diferentes intensidades, distribuição espectral e duração da luz. Assim, a erva mate, passando da condição sombreada para condição de plena luminosidade, pode ter o seu crescimento e desenvolvimento afetado. Contudo, independente de sua exigência lumínica, a erva-

---

<sup>3</sup> LOVELOCK, C. E.; JEBB, M.; OSMOND, C. B. Photoinhibition and recovery in tropical plant species: response to disturbance. *Oecologia*, vol. 97, p. 297-307.

mate é submetida a diversas situações de luminosidade, em função do manejo das áreas em que são conduzidas ou plantadas.

Pesquisas na silvicultura e biologia da erva-mate ainda são muito solicitadas pelo setor ervateiro. O fato de a erva-mate ser uma espécie florestal, com características de uma cultura agrícola, em função de algumas formas de condução, faz com que a planta tenha que se adaptar a condições bem diferentes do seu ambiente natural.

Neste contexto, observa-se a importância do estudo sobre a determinação de intensidade lumínica para a condução dos ervais. A luz, entre outras características do ambiente, poderá influenciar as plantas de erva-mate em aspectos como:

- a) quantidade de biomassa foliar, que compõem a matéria prima do produto mate;
- b) produção e concentração de clorofilas, que captam a energia luminosa necessária para ocorrer a fotossíntese e, tem influência na cor do produto beneficiado, ex. chimarrão.
- c) composição química das folhas, que influencia sabor e aroma do produto;

As análises abrem possibilidades da atividade com erva-mate em diferentes condições de luminosidade e com isto, poder atender diferentes segmentos de mercado criando alternativas de comercialização para os produtos gerados.

### 3 - OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo geral de obter informações sobre o comportamento das plantas de erva-mate crescendo sob diferentes condições lumínicas.

Os objetivos específicos são:

- a) determinar o crescimento e desenvolvimento das plantas;
- b) determinar a produção de biomassa foliar e total nas plantas;
- c) determinar a concentração de clorofilas *a* e *b* nas folhas das plantas;
- d) analisar os teores de cafeína e tanino nas folhas das plantas.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ECOLÓGICAS DA *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire

Em 1822, o naturalista francês August de Saint-Hilaire, coletou nas proximidades de Curitiba e, classificou botanicamente a erva-mate ou erva-do-paraguai como era conhecida na época, como *Ilex paraguariensis*, pertencente a família Aquifoliaceae. Esta família é representada por aproximadamente 660 espécies, a maioria do gênero *Ilex*, sendo que no Brasil ocorrem em torno de 60 espécies (MAZUCHOWSKI, 1989; CARVALHO, 1994).

A erva-mate possui diversas denominações populares, entre elas no Brasil: chá-argentino, chá-do-brasil, chá-dos-jesuítas, chá-das-missões, chá-do-paraguai, chá-do-paraná, chá-mate, carvalho-branco, caúna, congoín, congonha, congonha, congonhinha, congonha-das-missões, congonha-de-mato-grosso, congonha-genuína, congonha-grande, congonha-mansa, congonha-verdadeira, erva, erva-congonha, erva-de-são-bartolomeu, erva-piriquita, erva-mate, erva-mate-peluda, erva-mate-de-talo-branco, erva-mate-de-talo-roxo, erva-senhorita, erva-verdadeira, erveira, mate, mate-do-paraguai, mate-legítimo, mate-verdadeiro, orelha-de-burro e pau-de-erva. Outras denominações: Indígenas: caá, caá-caati, caá-emi, caá-ete, caá-guaçu, caá-meriduvi e caá-ti; Argentina: yerba mate; Paraguai: ka'a (MAZUCHOWSKI, 1989; CARVALHO, 1994).

É uma árvore perenifólia com casca de cor cinza-clara a acastanhada, em geral com 20 a 25 cm de diâmetro, podendo atingir até 70 cm de DAP, sua altura na floresta atinge até 25 m de altura, mas quando a árvore recebe poda não passa dos 7 m (MAZUCHOWSKI, 1989; CARVALHO, 1994).

A parte que interessa na planta para a exploração são as folhas e, estas são simples, distribuem-se de forma alterna, são sub-coriáceas até coriáceas, glabras,

verde-escuro em cima e mais clara embaixo, estreitas na base e ligeiramente obtusas no vértice; a margem é irregularmente serrilhada ou denteada, no terço da base geralmente lisa; nervuras laterais pouco impressas por cima e salientes por baixo; pecíolo relativamente curto, medindo de 7 a 15 mm, e mostra-se um pouco retorcido; a folha inteira mede geralmente de 8 a 10 cm de comprimento por 4 a 5 cm de largura (MAZUCHOWSKI, 1989; CARVALHO, 1994), quando no interior de florestas naturais, as folhas podem chegar a 23 cm de comprimento com 8 a 10 cm de largura (ANDRADE, 1998).

A erva-mate é uma planta dióica, suas flores são brancas, pequenas, em inflorescência em pequenos fascículos com até cinco flores, dispostas na axila das folhas superiores. O fruto é uma drupa globosa, com superfície lisa de cor verde quando novo, passando a vermelho-arroxeados e violáceo quando maduro, nesta fase atraem pássaros, que irão favorecer a disseminação da planta; compõe-se de quatro sementes pequenas, de forma variável, que apresentam o tegumento áspero e duro, o que dificulta sua germinação.

De acordo com VALDUGA (1995), a taxonomia da erva-mate pode ser identificada pelos Sistemas de Engler (1964) e Cronquist (1981):

SISTEMA DE ENGLER	SISTEMA DE CRONQUIST
Divisão: Angiospermae	Divisão: Magnoliophyta
Classe: Dicotyledoneae	Classe: Magnoliopsida
Subclasse: Archichlamydeae	Subclasse: Rosidae
Ordem: Celastrales	Ordem: Celastrales
Família: Aquifoliaceae	Família: Aquifoliaceae
Gênero: <i>Ilex</i> L.	Gênero: <i>Ilex</i> L.
Espécie: <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.	Espécie: <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.

A erva-mate é uma planta característica do estrato inferior e médio da Floresta Ombrófila Mista Montana, sempre em associações nitidamente evoluídas com o Pinheiro-do-Paraná, também penetra na Floresta Estacional Semidecidual do Paraná

e no sul do Mato Grosso do Sul. Segundo observações de CARVALHO (1994), é muito rara na Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica).

A principal área de abrangência geográfica se estende desde as latitudes de 21° até 30° sul e longitudes de 48°30' até 56°10'W, com altitudes variáveis entre 500 e 1000 metros, o que corresponde a uma extensão com cerca de 540.000 Km<sup>2</sup>, o Brasil possui 450.000 Km<sup>2</sup> do total (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

No Brasil, a erva-mate está distribuída principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e pouco do Mato Grosso do Sul (figura 1). Também ocorre em reduzidos nichos do estado de São Paulo (Serra da Cantareira e sul), Minas Gerais (sul) e Rio de Janeiro (Itatiaia) (CARVALHO, 1994). A espécie pode ocorrer em pontos isolados, fora destes limites, ocorrendo também em regiões subtropicais e temperadas da América do Sul (MAZUCHOWSKI, 1989).

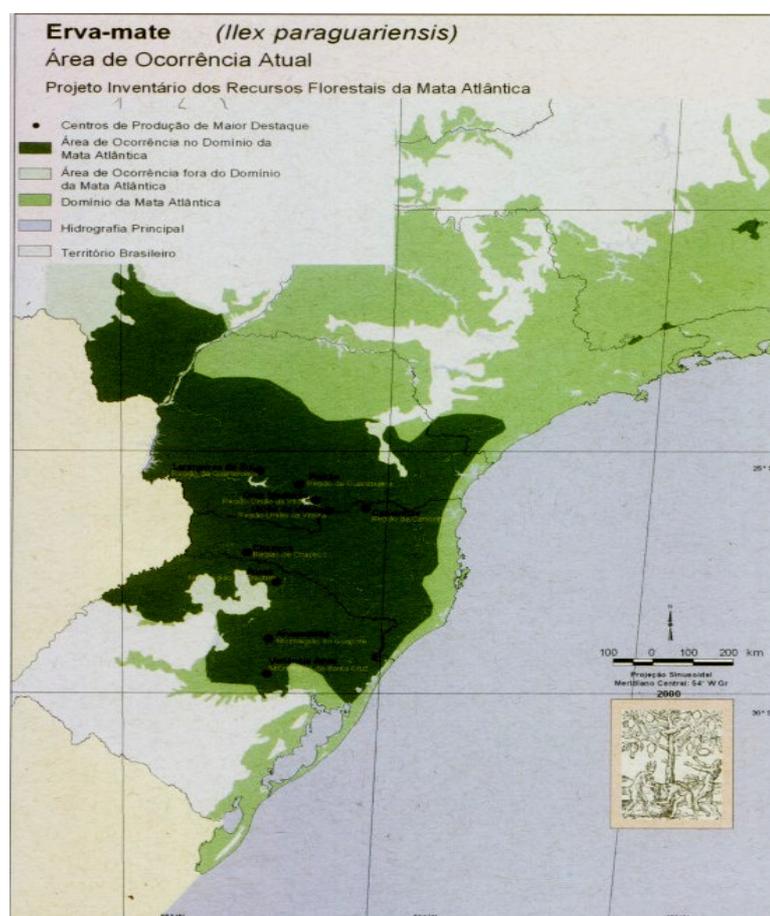


FIGURA 1 – ÁREA DE OCORRÊNCIA NATURAL DE *Ilex paraguariensis* no BRASIL. Fonte: SUSTENTÁVEL MATA ATLÂNTICA: A EXPLORAÇÃO DE SEUS RECURSOS FLORESTAIS. EDITORA SENAC. SÃO PAULO. P. 197, 2002.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS SILVICULTURAIS E DE MANEJO DA *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire

No sul do país, grande parte da matéria-prima provém de ervais nativos. Só no Paraná 91,2% são ervais nativos, o que corresponde a aproximadamente 258 mil ha. O Estado do Paraná possui em torno de 51 mil propriedades produtoras de erva-mate, destas 64,4% conservam ervais nativos e 35,6% realizam o adensamento e/ou plantio de ervais. Nota-se com esta situação, que os produtores paranaenses estão preocupados com a conservação das áreas naturais, além da aplicação de tecnologias com a realização do plantio (MAZUCHOWSKI; RUCKER,1993).

Na busca de alternativas que maximizem a rentabilidade e, ao mesmo tempo, conservem e recuperem os recursos naturais, a atividade da erva-mate é sem dúvida, uma alternativa muito promissora, desde que praticada com técnicas adequadas no manejo.

ANDRADE (2002) após observações de campo considerou os ervais para classificação de acordo com o padrão de exploração a que estão submetidos, sendo:

- a) *em ser* (terminologia utilizada por produtores): com erveiras nativas nunca podadas/exploradas (virgens), hoje raras de serem encontradas;
- b) nativos: áreas com erveiras nativas em exploração;
- c) homogêneos: plantio solteiro de erva-mate a pleno sol;
- d) consorciados: plantio de erva-mate intercalado com espécies florestais, lavoura e/ou atividade pecuária;
- e) adensados: plantio nas clareiras existentes em áreas nativas de florestas com erva-mate;
- f) em transformação: erval homogêneo sendo diversificado com plantio de espécies florestais.

As áreas caracterizadas acima, com exceção dos ervais em ser, são submetidas a diferentes práticas silviculturais e, em geral, com técnicas de manejo inadequadas para plantios, qualidade de muda, poda, colheita, controle de pragas e

doenças (ANDRADE, 2002).

O sistema de produção, o tamanho da propriedade, a área de erval plantado e nativo, a produtividade e a qualidade da matéria-prima, são alguns dos indicadores do perfil dos produtores. Basicamente os sistemas de produção são: extrativista, não tecnificado e, tecnificado (MAZUCHOWSKI; RUCKER, 1993).

O manejo sustentável em áreas nativas deve ser aplicado em áreas que apresentam uma elevada concentração do recurso, de modo a assegurar a regeneração natural e propiciar a produção de sementes para o reflorestamento. O manejo da erva-mate deve ser planejado e cuidadoso como para qualquer outra espécie, sabendo-se que toda a condução de ervais tem que ocorrer com vistas a alcançar retornos em benefícios sócio-econômicos e ambientais significativos para a comunidade e meio ambiente (ANDRADE, 1999).

Em áreas nativas de erva-mate, encontramos indivíduos isolados e em agrupamentos com alta densidade, além da ocorrência simultânea de outras espécies florestais. Assim, para que haja eficácia dos tratamentos culturais e silviculturais, melhor aproveitamento da mão de obra e maior rendimento por unidade de área, é necessário uma densidade ideal de plantas no erval nativo, para isso, se faz o raleamento e/ou adensamento do erval (ANDRADE, 1999).

A limpeza do erval é um pouco onerosa, por isso alguns produtores consorciam o erval nativo com pecuária, que ajuda a manter limpo e aumenta o aproveitamento do terreno. Nestas áreas, as erveiras têm a base da copa a mais ou menos dois metros de altura. Nesta situação: a produtividade é menor, a colheita é dificultada em função da altura das erveiras e, pouco se consegue com regeneração natural e adensamentos por causa do pisoteio dos animais e conseqüente compactação do solo. A vantagem está no consórcio das atividades (ANDRADE, 1998).

O período ideal de colheita da erva-mate (safra), é de maio a setembro, se concentrando nos meses de junho a agosto, antes de ocorrer nova brotação, pois nesta época as folhas estão maduras e a erva está em repouso fisiológico. Para a colheita dos ramos e folhas, as plantas de erva-mate recebem podas de formação, condução e

de produção (MAZUCHOWSKI, 1989).

Há produtores e empresas que colhem durante todo o ano, seja por aspectos financeiros ou mercado que atuam, outros colhem apenas em dois períodos do ano (safra e safrinha), estes contribuem para a recuperação dos ervais após a poda, mantêm melhor homogeneidade do produto e conseqüente qualidade, pois se sugere que o produto possa sofrer alterações de acordo com a época de colheita (ANDRADE, 1998).

A safrinha ocorre nos meses de dezembro a fevereiro. Esta é de interesse para as indústrias que renovam seus estoques e, passam a trabalhar com toda sua capacidade instalada, não permanecendo muito tempo ocioso durante o ano (ANDRADE, 1999). Nem todos os produtores a praticam, pois vêem como riscos para a planta geadas precoces e insolação, que matam as brotações e ressecam galhos e tronco, podendo em casos graves matar a planta. Tecnicamente, não é uma poda recomendada (MAZUCHOWSKI, 1989).

Os intervalos dados pelos produtores entre uma colheita e outra, principalmente para ervais nativos são de no mínimo dois anos, para não reduzir o rendimento das erveiras. Alguns deixam por três a quatro anos, mas, podem ocorrer problemas de queda das folhas mais velhas além da formação de ramos muito grossos, o que pode afetar a produção (MAZUCHOWSKI; RUCKER, 1993).

A perda de ervais nativos é maior do que o plantio efetuado, devido à falta de aplicação de técnicas adequadas por alguns produtores ou, o sistema de produção extrativista que existe em cerca de 80% das propriedades brasileiras de erva-mate. Porém a tendência é decrescer com o aumento das áreas cultivadas, o uso de técnicas apropriadas e, a assistência técnica dada por órgãos de extensão rural, órgãos de pesquisa e indústrias do setor ervateiro (MAZUCHOWSKI; RUCKER, 1993).

O maior rendimento das áreas cultivadas, depende de sua localização adequada e, dos processos que possibilitam o melhor aproveitamento industrial da planta. As melhores condições de desenvolvimento, longevidade e produtividade da erva-mate estão intimamente ligadas à fertilidade do solo e exploração racional.

Calcula-se que a planta seja capaz de viver, em estado selvagem, algumas dezenas de anos, permitindo colheitas remuneradas, desde que sua exploração seja realizada com cuidado, pois existem indicações que a produção aumenta gradativamente até os 30 anos de idade (VALDUGA, 1995).

#### 4.3 CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS DA *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire

A atividade ervateira apresenta grande importância econômica na região Sul do Brasil e em países vizinhos, como Argentina e Paraguai. É importante na economia local com o mercado consumidor se expandido de forma significativa, além de novos mercados consumidores. No período de 1970-1992, a comercialização cresceu aproximadamente 83,6 % na região Sul do Brasil, desempenhando um importante papel sócio-econômico, cultural e ambiental, principalmente para os pequenos produtores (RODIGHERI et al., 1996).

A zona produtora de erva-mate está dividida entre Brasil, Argentina e Paraguai. As regiões apresentam certa similaridade nas tendências climáticas, mas por características próprias de cada uma e das diferenças no sistema de produção e de beneficiamento, ocorrem diferenças no **blend** do produto, mais ou menos amargo, principalmente em ervais cultivados a pleno sol (RUCKER, 1996 b).

O Rio Grande do Sul no início da década de 70 era o principal produtor com 50% da produção nacional, mas reduziu sua participação em 1989 para 25%. Neste período o Paraná assumiu a liderança participando com 37% e, Santa Catarina com 36% da produção nacional. A queda na produção ocorreu devido à exaustão dos ervais pela exploração contínua, sem técnica e, ao avanço das áreas de lavouras sobre as matas nativas. Porém, paralelamente a demanda interna, a externa aumentou, o que incentivou os plantios comerciais de erva-mate (DA CROCE, 1996). A classificação dos estados produtores na região sul é: Paraná - 42 %; Santa Catarina - 36,9% e; Rio Grande do Sul - 21,1% (GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES, 2000).

As exportações brasileiras do produto mate, entre 1992-2001, apresentaram variação negativa dos valores negociados, principalmente a partir de 1996, quando se totalizou US\$ 39,5 milhões contra US\$ 27,7 milhões em 2001. Entretanto, em volume, as exportações de mate se mantiveram estáveis, com variações de 25.100 toneladas em 1993 para 26.600 toneladas em 2001. No mesmo período, as importações também apresentaram variação negativa para os valores negociados, quando em 1995 o total foi de US\$ 10,6 milhões para US\$ 3,5 milhões em 2001 (RUCKER, 2003).

O comércio exterior do mate possui características próprias da única zona produtora de erva-mate do mundo. A Argentina, principal país produtor, tem a Síria e o Brasil como principais parceiros comerciais. O Brasil, segundo maior produtor, tem o Uruguai como seu principal parceiro comercial. O Paraguai, também país produtor, possui pequena participação no comércio exterior do mate. O volume das exportações brasileiras no período 1992-2001 tem se mantido constante devido a inelasticidade da demanda externa e, a queda gradual dos preços médios negociados. De acordo com esta tendência estima-se que a partir de 2003, os negócios ervateiros poderão sofrer novo ciclo de expansão, na medida em que houver a conquista de novos nichos de mercado e ou aumento de consumo interno (RUCKER, 2003).

O setor ervateiro precisa acompanhar as tendências que vem ocorrendo no mercado de consumo de bebidas e as mudanças comportamentais do consumidor do mate. Os ecoprodutos, produtos verdes ou ambientalmente corretos, sinalizam e refletem um novo paradigma de consumo, contrário à mentalidade de uso e descarte de produtos. A elevação do grau de consciência ambiental da população é o vetor de crescimento deste novo mercado (MAZUCHOWSKI, 1997).

#### 4.4 INFLUÊNCIA DA LUZ SOBRE AS PLANTAS

A luz é um fator ecológico fundamental. Intervém em numerosos processos fisiológicos, dos quais o mais importante é a fotossíntese, com grande importância na produtividade dos ecossistemas (CARVALHO, 1996).

A radiação solar que incide sobre um vegetal, como fator limitante do crescimento e produção de matéria seca, é um dos principais fatores estudados na fisiologia vegetal, visto que interfere diretamente na produtividade decorrente do processo de fotossíntese. Quando uma árvore cresce em terreno aberto, como as pioneiras em geral, expande-se para cima e horizontalmente à medida que os ramos laterais se multiplicam. Enquanto há esse crescimento, as árvores alteram o ambiente circundante quanto à luz, umidade, oxigênio e demais elementos atmosféricos, bem como a textura e o teor de nutrientes e outros elementos do solo (OLIVER; LARSON 1996).

Da radiação solar que atravessa a atmosfera, somente 47% atinge as superfícies, inclusive a parte superior de um dossel. Desse percentual que representa 100% da luz incidente sobre o topo do dossel, a redução de luz pelas folhas e ramos é significativa, atingindo o percentual de 3 a 30% nas folhas inferiores das árvores, ou seja, 1,41% a 14,10% da radiação solar antes de atravessar a atmosfera e as folhas. Ao mesmo tempo, a temperatura e a velocidade do vento também diminuem, enquanto a umidade aumenta à medida que o dossel cresce. Em dependência desses fatores, a orientação e a morfologia das folhas se alteram nos diversos níveis da copa de uma árvore e, podem reduzir a intensidade de luz. Considerando ainda que uma folha em posição perpendicular à radiação solar direta, estimulada pela luz, sofre um aumento de até 25% na taxa de fotossíntese e que sob iluminação três vezes menor à necessária para cada espécie em questão ocasiona uma taxa de respiração maior em relação à fotossíntese, com balanço energético negativo, esse fator continua sendo intensivamente estudado na fisiologia dos vegetais em decorrência das alterações ambientais por atividades antropogênicas. À medida que a parte aérea se desenvolve, as folhas expostas à radiação solar direta desenvolvem mecanismos que permitem a eficiência da fotossíntese, enquanto as torna resistentes ao calor e desidratação, folhas denominadas como folhas de sol; as quais diferem significativamente das folhas de sombra, mais finas e menos resistentes ao estresse por calor e desidratação, com fotossíntese mais eficiente sob intensidade luminosa baixa (OLIVER; LARSON

1996).

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 entre outras características: 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; j) cloroplastos maiores com formação de grana em maior quantidade (LARCHER, 1986; LÜTTGE, 1997).

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 e, a duração e periodicidade (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979; WHATLEY; WHATLEY, 1982). A intensidade da luz tem sua importância na conversão em energia química, para alguns efeitos morfogênicos e para a distribuição das plantas. A qualidade espectral tem sua influência no fototropismo, no controle da germinação e florescimento. A duração tem seu efeito no fotoperiodismo, que controla os padrões de desenvolvimento das plantas. Todos estes efeitos dependem da absorção da luz, por determinados pigmentos como clorofila e fitocromo (WHATLEY; WHATLEY, 1982).

A variação em quaisquer destas características podem modificar o crescimento, seja quali ou quantitativamente. As plantas jovens que crescem sob luz de baixa intensidade diferem daquelas que crescem em pleno sol, não só na altura e no peso de matéria seca, mas também na razão raiz/caule e, na estrutura da folha e do caule (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).

No interior das florestas, o efeito dos estratos superiores ao filtrarem a luz que penetra e, chega até a vegetação dos estratos médios e inferiores, tem um significado ecológico muito importante (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979). Estes

autores citam, com base em outros estudos científicos, a variação da intensidade da luz sob as copas das árvores que oscila de 0,1 a 20 % da luz que atinge as copas.

A intensidade de saturação da luz pode variar entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie, em virtude de diferenças na transparência das folhas e, afeta as moléculas de clorofila que dependem da espessura da folha (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).

A adaptação das folhas ao sol e à sombra influencia a fotossíntese. Dentro de um intervalo de intensidade lumínica, as folhas de sombra têm um verde mais escuro do que as que estão na luz e, a absorvem mais eficientemente. Com o aumento da luz as folhas de sombra apresentam uma intensidade máxima da fotossíntese mais baixa e, uma saturação luminosa precoce (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979). Estes autores também citam, que as folhas de sombra das espécies *Cryptomeria japonica* e *Chamaecyparis obtusa* submetidas a luz de baixas intensidades realizam mais eficientemente a fotossíntese do que as folhas de sol, possivelmente devido a sua maior concentração em clorofila.

Na maioria das espécies, intensidades relativamente altas de luz originam entrenós mais curtos, plantas de menor porte e de folhas menores, mas com peso de matéria seca, sistema radicial e uma produção de flores e frutos maiores do que sob intensidades mais baixas (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, 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).

Plantas umbrófilas de uma mesma espécie, quando crescem em condições de sombreamento apresentam maiores alturas, tem maior área foliar e menor peso de matéria seca, do que as que crescem sob luz solar plena. Assim, é que muitas plantas tropicais são espécies típicas de sombra e obtém seu máximo de desenvolvimento em

níveis de luminosidade inferiores à radiação solar normal (CORREIA<sup>4</sup>, citado por CARVALHO, 1996).

A maioria das plantas, em resposta à sombra, produz menos matéria seca, retém fotossintetizados na parte aérea às expensas do crescimento da raiz, desenvolve maiores internós e pecíolos mais longos, e as folhas são maiores e mais delgadas, porém, as espécies diferem quanto à forma de resposta. A capacidade de maximizar a produção de matéria seca à sombra, através de modificações de fenótipo, é mais aparente em espécies características de ambientes não sombreados ou levemente sombreados, enquanto as plantas típicas de sombra tendem a crescer lentamente e mostrar uma menor reação morfogênica em resposta às condições de sombra (GRIME<sup>5</sup>, citado por CARVALHO, 1996).

GOULET e BELLEFLEUR (1986), observaram que espécies pioneiras e intermediárias, não têm a capacidade de formar folhas típicas de sol e sombra. Ao contrário, as espécies tolerantes à sombra têm a capacidade de se ajustar morfológicamente melhor ao ambiente de luz, formando folhas de sombra e de sol típicas.

Uma planta usa mais eficientemente a luz, quando as suas folhas são uniformemente iluminadas com intensidades baixas, em relação às que ficam supersaturadas por intensidades altas, ou permanecem em profunda sombra (CARVALHO, 1996).

ALENCAR e ARAUJO (1980), compararam o crescimento em diâmetro, altura e a sobrevivência de 21 espécies florestais amazônicas plantadas em duas condições de luminosidade, uma sob sombra de floresta primária não explorada e a outra, em plena abertura de luz. Observaram na quase totalidade das espécies, que a luz foi um fator de importância fundamental, tanto como limitante do crescimento como também regulador da sobrevivência das espécies florestais.

---

<sup>4</sup> CORREIA, L.G. Efeito da luminosidade e do ccc na formação de mudas de pimentão. Viçosa, 1977. 49 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

<sup>5</sup> GRIME, J.P. Estratégias de adaptación de las plantas que controlam la vegetación. México: Limasa, 1982. 291 p.

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.

RACHWAL et al. (1998), visando introduzir a espécie *Maytenus ilicifolia*, no estrato arbustivo da floresta ombrófila mista, no estágio sucessional de capoeirão e avaliar o seu desenvolvimento, observaram um reduzido crescimento da espécie, que possivelmente, tenha se dado em função de deficiência lumínica e, mostra ser um indicativo para não recomendá-la em plantios de enriquecimento ou com fins econômicos neste ambiente. Possivelmente, o manejo de capoeirões com o objetivo elevar a intensidade lumínica, possibilitaria o maior desenvolvimento da espécie, com retorno econômico, a médio e longo prazo.

#### 4.4.1 Influência da Luz sobre o Crescimento e Desenvolvimento da *Ilex paraguariensis*

A erva-mate é classificada por CARVALHO (1994) como planta esciófila, aceita sombra em qualquer idade, tolerando mais luz na fase adulta; escio = sombra e filo = amigo, o termo esciófita também é aceito, (LARCHER, 1986). Os trabalhos consultados sobre erva-mate, com relação a sua exigência lumínica, também classificam a planta como uma espécie umbrófila (umbro = sombra).

Quando cultivadas em locais abertos espécies umbrófilas ficam sujeitas a estresses fisiológicos, que predisõem as plantas ao aparecimento de pragas e doenças. Em estado natural, a erva-mate tem crescimento lento a moderado, é típica de florestas maduras e, cresce espontaneamente nas áreas com matas de araucárias, onde pode atingir densidade de centenas de indivíduos por hectare (CARPANEZZI, 1995).

A erva-mate tolera plantios solteiros a pleno sol, ou em sistemas

agroflorestais (DA CROCE; NADAL, 1993; SCHREINER; BAGGIO, 1983); com fertilização prévia (PRAT KRICUN, 1985; STURION, 1988), ou uso de coberturas verdes como fertilização natural (PHILIPPOVSKY et al., 2000).

A mata dos pinhais é a associação preferencial da erva-mate. A presença de araucárias (*Araucaria angustifolia*) e imbuías (*Ocotea porosa*), em geral garantem maior freqüência desta planta. Além destas, citam-se outras espécies que promovem um bom ambiente para a formação das erveiras, como o cedro (*Cedrela fissilis*), pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*), canjarana (*Cabrlea canjerana*), pinho bravo (*Podocarpus* sp.), alecrim (*Holocalyx balansae*), mirtáceas, lauráceas e, leguminosas diversas. Em associações de araucárias com a canela-lageana (*Ocotea pulchella*) a ocorrência da erva mate é menor (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

Apesar de ser uma espécie de sombra com poucos exemplares jovens nas submatas dos imbuiais, regenera-se facilmente com o raleamento dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo. Assim, as sementes dispersas pelos pássaros encontram ambiente mais favorável para a germinação e desenvolvimento (GALVÃO, 1986).

Em vários locais da região sul com presença da atividade ervateira, as folhas são extraídas de ervais nativos ou adensados, em ambos os casos praticamente, não há o controle do número de árvores por área, nem tão pouco da intensidade lumínica, a qual é em geral muito variável (RACHWAL et al., 1997).

RACHWAL et al. (1997) realizaram uma pesquisa sobre as variações que ocorrem no crescimento da erva-mate e na sua produção de massa aérea, em função de diferentes níveis de sombreamento a que o erval está submetido, proveniente de diferentes níveis de raleio efetuado na floresta na qual se encontra. Nesta pesquisa, verificou 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. No entanto, os maiores coeficientes de correlação foram encontrados entre a produção de matéria seca e luminosidade média e luminosidade de verão.

Estudos ecofisiológicos com mudas de seis meses de idade de erva-mate mostraram melhor crescimento entre 15 e 50% da plena luz do dia, quando comparada

com 75 e 100% de luminosidade. Tal comportamento foi verificado nas variáveis de sobrevivência, altura, peso de matéria seca total, aérea e radicial (INOUE, 1983).

GALVÃO (1986) verificou, que na erva-mate os pontos de compensação lumínica variam de 550 lux (em novembro) a 1000 lux (em setembro), assim estes valores, além de se tornarem um parâmetro auxiliar na definição da tolerância, permitem constatar a plasticidade da erva-mate em manter uma assimilação líquida em condições de luminosidade ambiental fraca.

COELHO et al. (2000), realizaram investigações para verificar as respostas da erva-mate ao sombreamento artificial e natural, com relação a sobrevivência, morfologia e teores de metilxantinas. Observaram nos tratamentos com uso de telas de sombreamento, em 75 mudas após 23 meses de plantio, um significativo aumento da sobrevivência de acordo com o aumento do sombreamento. Com 0% de sombreamento obteve-se sobrevivência de 13,3%, enquanto com 50% chegou-se a 64%. No aspecto morfológico, não houve diferenças entre tratamentos quanto à área foliar, mas verificou-se um aumento da massa foliar específica inversamente proporcional ao grau de sombreamento. Como condições de maior luminosidade podem ser estressantes, especialmente para plantas umbrófilas, a incapacidade de redução da superfície foliar pode ser um dos fatores que contribui para a relação inversa entre sobrevivência e intensidade de luz natural. Em condições de sombreamento de sub-bosque denso (95,3 % de sombra), as mudas de erva-mate apresentaram teores de metilxantinas (teobromina e cafeína) significativamente mais elevados do que em sombreamentos artificiais. MAZZAFERA<sup>6</sup> citado por COELHO (2000), verificou também que se comparando folhas de uma mesma planta de erva-mate, as folhas mais sombreadas apresentam teores mais elevados de teobromina e cafeína.

Em folhas mais sombreadas de erva-mate, há um maior investimento em substâncias químicas de defesa, como a cafeína e teobromina, contra fungos e insetos desfolhadores, o que pode permitir uma longevidade foliar maior (COELHO, 2000;

---

<sup>6</sup> MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, vol. 6, p. 149-151, 1994.

COELHO et al., 2000; FLOSS et al., 2000). Assim, a assimilação fotossintética, teria uma duração mais longa e, seria capaz de compensar o investimento biológico necessário na formação do órgão (COELHO, 2000 e COELHO et al., 2000).

COELHO (2000), sugere que no caso da erva-mate, o grau de sombreamento necessário para gerar diferenças parece ser igual ou maior que 50% da luz natural. Por outro lado, a sobrevivência das plantas jovens já aumenta significativamente em condições de sombreamento de 50%.

RACHWAL et al. (2000), em estudo realizado para verificar a influência de luminosidade sobre teores de macronutrientes e tanino em folhas de erva-mate, formularam a hipótese que em ambiente mais sombreado, a erva-mate tem atividade metabólica mais constante, apresentando menores variações nos conteúdos de N, entre as estações do ano. No sítio com maior sombreamento (19% de luminosidade relativa), o teor de Mg foi mais elevado, enquanto que o teor de P foi mais reduzido. Os teores de tanino foram mais elevados nos sítios com maior luminosidade, a importância desses resultados está no fato de que essas variações podem alterar o sabor do produto e, abrem a possibilidade de poderem ser destinados a segmentos específicos do mercado, ampliando, desta forma, as alternativas de comercialização pelos produtores.

#### 4.5 CLOROFILA NAS PLANTAS

A intensidade de luz afeta o crescimento vegetativo por exercer efeitos diretos sobre a fotossíntese, a abertura estomática e a síntese de clorofila (KOZLOWSKI et al., 1991).

Há três grupos principais de pigmentos associados as fotorrespostas fundamentais das plantas: (a) as clorofilas, envolvidas na fotossíntese; (b) o fitocromo, relacionado com mudanças morfogênicas, com a percepção do fotoperíodo e provavelmente também com os ritmos diários que afetam alguns movimentos da planta e (c)  $\beta$ -caroteno ou flavinas, envolvidos com o fototropismo (WHATLEY; WHATLEY, 1982).

Somente a luz absorvida pode ser quimicamente ativa. Em todos os organismos fotoautótrofos, a clorofila é o pigmento absorvente fundamental. Entre as diversas clorofilas existentes, *a*, *b*, *c*<sub>1</sub>, *c*<sub>2</sub> e *d*, a clorofila *b* desempenha o papel principal em todos os organismos que produzem oxigênio na fotossíntese. Nas plantas superiores se tem mais clorofila *b* (cerca de 1/3 da concentração de clorofila *a*), incluem-se também alguns grupos de algas (STRASBURGER et al., 1994). Um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas e, conseqüentemente, ao crescimento e adaptabilidade aos diversos ambientes é a clorofila, presente em todos os vegetais verdes (CARVALHO, 1996).

Somente após a produção das clorofilas é que ocorre a fotossíntese. A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas sintetizam compostos orgânicos a partir de matéria prima inorgânica, à custa da luz solar. Assim, a energia luminosa é convertida em energia química, que acaba sendo armazenada sob forma de carboidratos e outros constituintes dos tecidos vegetais, sendo liberado oxigênio como resíduo (WHATLEY; WHATLEY, 1982).

A quantidade de clorofila em condições naturais não é um fator limitante para a intensidade da fotossíntese (STRASBURGER et al., 1994). De acordo com HEATH<sup>7</sup> citado por CARVALHO (1996), sob baixas intensidades de luz e baixa concentração de clorofila (menos do que 5 mg.dm<sup>-2</sup>) a taxa fotossintética é dependente do nível de pigmentos das folhas. Para que a fotossíntese ocorra é essencial à absorção de radiação pelos cloroplastos. O grau em que a radiação é utilizada depende da concentração de clorofila, ou seja, da concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos. Sob luz intensa, pode ser este o fator limitante do processo fotoquímico. A deficiência em clorofila, evidente na aparência de uma planta através da clorose, sempre reduz a taxa de fotossíntese. São diversos os fatores que contribuem para este estado clorótico: estação do outono; quando o equilíbrio mineral é perturbado; durante épocas de seca; após doenças; quando expostas a gases nocivos; entre outros

---

<sup>7</sup> HEATH, O.V.S. Physiologie der photosynthese. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 1972. 314p.

(LARCHER, 1986).

As clorofilas *a* e *b* juntamente com alguns carotenóides, capturam a energia luminosa necessária para a fotossíntese. Os outros pigmentos, não se envolvem com a conversão da luz em energia química, eles têm a função de aceitar sinais luminosos e então criar mensagens químicas que podem alterar o curso do metabolismo e crescimento da planta (WHATLEY; WHATLEY, 1982). Uma maior proporção relativa de clorofila *b* em plantas sombreadas é uma característica importante, pois possibilita a captação de energia de outros comprimentos de onda e transferência para uma molécula específica de clorofila *a*, que efetivamente toma parte das reações fotoquímicas da fotossíntese (WHATLEY; WHATLEY, 1982). Espécies crescendo em ambientes de baixa radiação, geralmente têm valores mais altos de clorofila total e menor relação de clorofila *a* e *b* e conteúdo de carotenos do que espécies típicas de ambientes de alta radiação (BOARDMAN<sup>8</sup>; MARTIN; WARNER<sup>9</sup> citados por CARVALHO, 1996).

Dois sistemas de pigmentos estão envolvidos nas reações provocadas pela luz. O Fotossistema I consiste em grupos de pigmentos com uma organização estrutural particular; seu componente predominante é a clorofila *a* (a proporção de clorofila *a* para clorofila *b* é de aproximadamente 6:1 a > 10:1). O centro de reação de cada um é um complexo clorofila-*a*-proteína, com um pico de absorção a 700 nm - esse complexo se chama Pigmento 700. A proporção da clorofila total para o pigmento 700 é de cerca de 300:1 nas plantas herbáceas, cerca de 450:1 em árvores latifoliadas e de 600-1500:1 em coníferas. Nas folhas jovens, a proporção de P-700 é, tipicamente, bastante elevada. O Fotossistema II contém uma proporção maior de clorofila *b* (proporção *a/b* 1,2:1 a 2:1) e um complexo clorofila-*a*-proteína, com absorção máxima a 680 nm. Ambos os fotossistemas incluem também pigmentos acessórios (carotenóides e, nas algas as ficobilinas) (LARCHER, 1986).

---

<sup>8</sup> BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, n. 28, p. 355-377, 1977.

<sup>9</sup> MARTIN, C.E.; WARNER, D.A. The effects of dessication on concentrations and *a/b* ratios of chlorophyll in *Leucobryum glaucum* and *Thuidium delicatulum*. New Phytologist, Cambridge, n. 96, p. 545-550, 1984.

Normalmente, folhas de sombra mostram maior quantidade de clorofila do que folhas de sol (CARVALHO, 1996). Dependendo das características das espécies e considerando o teor de pigmento expresso por unidade, as relações entre pigmentos e intensidade luminosa podem diferir da tendência acima. Estudando diferentes espécies de plantas, LICHTENTHALER e WELLBURN<sup>10</sup> citados por CARVALHO (1996) detectaram baixa quantidade de clorofila sob alta intensidade luminosa, quando o pigmento era expresso sobre a área foliar básica, mas o oposto foi encontrado quando o nível de clorofila foi expresso sobre o peso de matéria seca básico da folha.

Segundo KRAMER e KOZLOWSKI (1979) a clorofila é constantemente sintetizada e destruída na presença da luz e, sob intensidades luminosas muito altas, a velocidade de decomposição é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa. Neste contexto, encontramos na literatura citações de alguns autores que estudaram a concentração de clorofilas em função da luminosidade, sendo:

- STUTZ e FREY<sup>11</sup> citados por CARVALHO (1996), encontraram que a clorofila nas folhas de *Ilex opaca* expressa em área ou peso, foi significativamente menor a 100% de intensidade luminosa do que 50% ou 18%.

- INOUE (1977), para as espécies *Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata*, obteve um conteúdo de clorofila quase três vezes maior em plantas de sombra do que naquelas de luz.

- CARVALHO (1996), com as espécies *Cabralea canjerana*, *Calophyllum brasiliense* e *Centrolobium robustum*, concluiu que as condições lumínicas do ambiente podem afetar a composição pigmentária destas espécies.

---

<sup>10</sup> LICHTENTHALER, H.K.; WELLBURN, A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, Essex, n.11, p. 591-592, 1983.

<sup>11</sup> STUTZ, J.C.; FREY, D.R. Altered light levels on growth, fruiting and leaf characteristics of natural stands of *Ilex opaca*. HortScience, Alexandria, v.15, n.1, p.94-96. 1980.

## 4.6 COMPONENTES FITOQUÍMICOS

### 4.6.1 Metilxantinas

As metilxantinas são constituintes químicos importantes de várias bebidas alimentícias ou estimulantes não alcoólicas, como café, chá-da-índia, guaraná, cola e chocolate, sejam, como preparações caseiras ou produtos industrializados, com grande importância econômica e cultural. As mais abundantes são a cafeína, a teofilina e a teobromina. A cafeína e a teofilina tem grande aplicação farmacêutica. A cafeína é obtida de fontes vegetais, principalmente o café e, a teofilina é encontrada em pequenas quantidades no reino vegetal, sendo obtida principalmente por síntese total (RATES, 1999).

Em função de sua origem biogenética, não sendo originárias de aminoácidos, mas de bases púricas, e de seu caráter antófero, pois podem se comportar como ácidos ou bases, as metilxantinas são geralmente consideradas como pseudoalcalóides. Mas, devido à sua atividade biológica marcante, distribuição restrita e presença de nitrogênio heterocíclico, muitos autores classificam as metilxantinas como alcalóides verdadeiros, denominados alcalóides purínicos (RATES, 1999).

As metilxantinas ocorrem em famílias não filogeneticamente relacionadas, com distribuição restrita principalmente a regiões tropicais e subtropicais. Mais raramente ocorrem em zonas temperadas como China e Japão. Aproximadamente 60 espécies vegetais, distribuídas especialmente nos gêneros *Coffea* (*Rubiaceae*), *Cola* e *Theobroma* (*Sterculiaceae*), *Paullinia* (*Sapindaceae*), *Ilex* (*Aquifoliaceae*) e *Camellia* (*Theaceae* = *Ternstroemiaceae*) contêm metilxantinas (RATES, 1999).

Nos vegetais, as metilxantinas estão envolvidas no metabolismo do nitrogênio e do carbono, participando de reações de transmetilação-desmetilação. O estágio de desenvolvimento, as alterações sazonais e outros fatores ambientais, bem como métodos silviculturais ou agrônômicos influenciam os teores de metilxantinas. Os teores de cafeína no chá-da-índia, por exemplo, aumentam com o crescimento do

vegetal e a utilização de fertilizantes nitrogenados (RATES, 1999).

As metilxantinas podem ter significado ecológico para as plantas que as produzem, influenciando a relação entre organismos e favorecendo a adaptação do vegetal a ambientes desfavoráveis. Porém, estes papéis devem ser individualmente avaliados, pois podem diferir de vegetal para vegetal, ou mesmo em tecidos do mesmo vegetal. Por exemplo, nas folhas de chá-da-índia (*Camellia* spp.) a cafeína está envolvida no metabolismo ativo, mas nas flores e frutos secos, a cafeína parece ser um produto final e inerte do metabolismo da planta. Nas sementes, ao contrário do que se poderia esperar, as purinas não possuem um papel nutritivo como reserva de nitrogênio, mas são alelopáticas e autotóxicas (RATES, 1999).

A cafeína, teofilina e teobromina podem ser diferenciadas em função de sua solubilidade, temperatura de sublimação e faixa de fusão dos respectivos sublimados (RATES, 1999).

As metilxantinas são extraídas por solventes clorados em meio amoniacal ou por solventes clorados diretamente de suas soluções aquosas ácidas, pois são bases muito fracas e seus sais dissociam-se muito facilmente em água. Para obtenção de maior grau de pureza, utiliza-se o método clássico para extração de alcalóides. Também podem ser extraídas diretamente através de métodos de sublimação e de extração com fluido supercrítico (RATES, 1999).

As metilxantinas apresentam um amplo espectro de atividades farmacológicas, agindo sobre o sistema nervoso central, cardiovascular, renal, muscular e digestivo; sobre o metabolismo de carboidratos e lipídeos, estimulando a lipólise, entre outros. Os efeitos são qualitativamente semelhantes, mas quantitativamente diferentes e, em função da potência, as diferentes metilxantinas são empregadas com diferentes finalidades terapêuticas (RATES, 1999).

#### 4.6.1.2 Cafeína

A cafeína faz parte do grupo das bases de purina. A purina, em si, não ocorre

na natureza, mas inúmeros derivados são biologicamente significativos. As bases deste grupo que tem importância farmacêutica são todas derivadas metiladas da 2,6-dioxipurina (xantina). A cafeína é a 1,3,7-trimetilxantina que ocorre no café, chá, cacau, guaraná, cola e na erva-mate. Embora possa ser produzida sinteticamente, em geral, é preparada a partir do pó das folhas do chá ou de seus restos; também pode ser retirada através de máquinas de torrefação de café (VELOSO, 2002).

A hidrossolubilidade da cafeína aumenta em presença de ácido cítrico, benzoatos, salicilatos e brometos; os compostos medicinais são constituídos por cafeína citrada e por cafeína com benzoato de sódio. Essa última forma é a mais adequada à injeção intramuscular, servindo como analéptico no tratamento do envenenamento, como estimulante na insuficiência circulatória aguda e como diurético, sendo também um estimulante do sistema nervoso central (VELOSO, 2002).

A cafeína é uma droga estimulante consumida por via oral, que em pequenas quantidades aumenta a circulação por provocar dilatação dos vasos sanguíneos. Pode, em dose excessiva, produzir excitação, insônia, dores de cabeça, taquicardia, problemas digestivos e nervosismo (IMESC/INFOdrogas, 2003).

Alguns a usam para resolver problemas cardíacos, auxiliar pessoas com depressão nervosa decorrente do uso do álcool, ópio e outras drogas. Porém alguns estudiosos não observam nenhum uso terapêutico na cafeína, alertando para o perigo da dependência psíquica e da síndrome de abstinência (IMESC/INFOdrogas, 2003).

#### 4.6.2 Taninos

Os taninos são substâncias fenólicas solúveis em água com massa molecular entre 500 e cerca de 3000 Dalton, que apresentam a habilidade de formar complexos insolúveis em água com alcalóides, gelatina e outras proteínas. Tais compostos possuem importância, pois são responsáveis pela adstringência de muitos frutos e outros produtos vegetais. A complexação entre taninos e proteínas é a base para suas propriedades como fator de controle de insetos, fungos e bactérias (SANTOS et al.,

1999).

Este composto tem muita afinidade com as proteínas formando complexos e causando sua precipitação. Por isso causam uma sensação de desconforto na boca e língua quando ingeridos, conhecido popularmente como "cica", também chamado de sabor adstringente. Por terem afinidade e precipitar proteínas, os taninos são empregados na curtição de couros e peles. São encontrados, por exemplo, em plantas das famílias Rosaceae, Leguminosae, Myrtaceae, e Rubiaceae. Autores acreditam que sua função nos vegetais é de proteção, além de poderem atuar como precursores de glicídios (SANTOS, 1999).

Plantas ricas em tanino são empregadas na medicina tradicional como remédios para o tratamento de diversas moléstias orgânicas, tais como diarreia, hipertensão arterial, reumatismo, hemorragias, feridas, queimaduras, problemas estomacais, renais e do sistema urinário e, processos inflamatórios em geral (SANTOS et al., 1999). Por exemplo, as folhas e a casca da goiabeira (*Psidium guajava*), usada popularmente no tratamento de diarreia é rica em taninos e, a hamamelis (*Hamamelis virginiana*) possui atividade antidiarréica, cicatrizante e antiinflamatória.

#### 4.6.3 Aspectos Fitoquímicos da *Ilex paraguariensis*

As investigações químicas relativas à erva-mate iniciaram-se em 1836, constatando a presença de diversas substâncias resinosas, matéria corante amarela, ácido tânico, etc. A identificação do principal alcalóide, a cafeína, ocorreu em 1843. Em 1848 foi descoberto o ácido do mate, o ácido café-tânico, já conhecido das sementes do café (VALDUGA, 1995).

Em 1944, foram identificados como constituintes da erva mate os seguintes compostos: água, celulose, gomas, dextrina, mucilagem, glicose, pentose, substâncias graxas, resina aromática (formada por uma mistura de oleína, palmitina, lauroestearina e um óleo cujas características muito se aproximam da cumarina), legumina, albumina, cafeína, teofilina, cafearina, cafamarina, ácido matetânico, ácido fólico,

ácido caféico, ácido virídico, clorofila, colesteroína e óleo essencial. Nas cinzas encontram-se grandes quantidades de potássio, lítio, ácido fosfórico, sulfúrico, carbônico, clorídrico e cítrico, além de magnésio, manganês, ferro, alumínio e traços de arsênico. A cafeína, teofilina e teobromina são três alcalóides, estreitamente relacionados, encontrados na erva-mate e são os compostos mais interessantes sob o ponto de vista terapêutico. O teor de cafeína na erva atinge em média 1,6 % enquanto que nas infusões o valor médio é de 1,1 % (VALDUGA, 1995).

As folhas e ramos finos da erva mate após serem secos e triturados, são utilizados para preparação de bebidas alimentícias, como chá, mate solúvel, chimarrão, tererê e em preparações farmacêuticas sendo incorporada por várias farmacopéias (VALDUGA et al., 1997). Tem sido consumida no mercado europeu como matéria-prima para obtenção de produtos fitoterápicos indicados como auxiliares em regimes hipocalóricos, como diuréticos e no tratamento de astenias funcionais (RATES, 1999).

A erva-mate apresenta em sua constituição química, vitaminas, aminoácidos, saponinas triterpênicas (SCHENKEL et al., 1997), compostos fenólicos, principalmente ácido clorogênico (ácido 3-cafeoil-quinico) e seus produtos de oxidação, metilxantinas (0,7 a 2,3% de cafeína, 0,3% de teobromina e traços de teofilina), além de aminoácidos, açúcares e vitaminas (RATES, 1999).

VALDUGA et al. (1997), em análise cromatográfica de polifenóis, observou a presença de substância com comportamento semelhante a rutina. PROVENSI (2003), extraiu e identificou teores de rutina em plantas de erva-mate, de 153,6 µg/g de planta para a extração exaustiva e 125,8 µg/g de planta para a decocção, para ESN1 foi obtido 82,51 µg /g de extrato seco e para ESN2 37,63 µg/g de extrato seco. O rendimento em rutina nos ESN em relação à solução extrativa (decocção), foi de 65,6% para ESN1 e de 29,9% para ESN2, sendo esse segundo considerado baixo.

O mate é uma bebida estimulante, elimina a fadiga, estimula a atividade física e mental, atuando benéficamente sobre os nervos e músculos. A cafeína presente no mate, exerce efeito sobre o sistema nervoso central, estimulando o vigor mental. Com vitaminas do complexo B, o mate participa do aproveitamento do açúcar nos

músculos, nervos e atividade cerebral do homem; vitaminas C e E agem como defesa orgânica e como benefício sobre os tecidos do organismo; sais minerais, juntamente com a cafeína, ajudam o trabalho cardíaco e a circulação do sangue, diminuindo a tensão arterial, pois a cafeína atua como vasodilatador. Em tais situações, também, pode ser suprida a sensação de fome. Também favorece a diurese, sendo de grande utilidade nas moléstias de bexiga, atua também sobre o tubo digestivo ativando os movimentos peristálticos, facilita a digestão, suaviza os embaraços gástricos, favorecendo a evacuação e a mictação (VALDUGA, 1995).

Os principais componentes da erva-mate podem ser associados nos seguintes grupos (VALDUGA, 1995):

- a) Polifenóis – Flavonóides: em geral constituem 20% - 30% da composição da erva-mate, são solúveis em água, incolores e conferem o gosto adstringente ao mate. Sabe-se que a qualidade da erva-mate beneficiada é positivamente correlacionada com a concentração de flavonóides. A alta concentração de materiais polifenólicos confere excelentes características químicas à erva-mate. Os principais flavonóides encontrados na erva-mate são: a rutina, a quercetina-3-glicosídeo e canferol-3-rutinosídeo.
- b) Metilxantinas (alcalóides): a cafeína, teofilina e teobromina são os compostos mais interessantes sob o ponto de vista terapêutico. A riqueza destes varia com a idade da planta, diminuindo com aumento desta.
- c) Taninos: a presença de substâncias tânicas, responsáveis pela adstringência (aroma) da erva-mate, é conhecida deste o final do século, podemos encontrar: ácido clorogênico, ácido 3,4 di-cafeoil-quínico, ácido 3,5 di-cafeoil-quínico, ácido 4,5 di-cafeoil-quínico, ácido 3-cafeoil-quínico, ácido 4-cafeoil-quínico, ácido 5-cafeoil-quínico.
- d) Aminoácidos: podemos encontrar: ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina, alanina, triptofano, cistina, arginina, histidina, lisina, tirosina, valina, leucina, isoleucina, treonina, metionina e asparagina.
- e) Vitaminas: entre as vitaminas presentes no mate temos: vitamina C (ácido

ascórbico), vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina), ácido nicotínico, vitamina A, ácido fólico e derivados do ácido pantotênico. Os teores vitamínicos dosados na infusão ficam reduzidos, na melhor das hipóteses, a cerca de 1/30, quando comparado com a erva-mate, que não é a porção comestível do produto.

f) Componentes Voláteis: presente no óleo volátil, cujo teor já foi relatado por Peckolt, em quantidades reduzidas (0,001 a 0,005%), de coloração amarelada, cheiro agradável, que traduz o aroma característico do mate. Como constituintes do óleo volátil podemos citar: ácido graxo, ácido fórmico, ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico, ácido valeriânico e ácido capríco. Um total de 196 componentes voláteis foram identificados no óleo volátil, muitos provavelmente são resultantes da degradação térmica dos carotenóides, ácidos graxos, degradação hidrolítica ou formados pela reação de Maillard, durante os processos de secagem e torrefação.

g) Componentes Minerais: as concentrações de minerais são específicas não somente para a espécie, idade e tecido, como também dependem do ambiente. Diversos fatores controlam o teor de minerais nos vegetais, principalmente o genético.

h) Saponinas: são substâncias glicosídeas com a propriedade de, em soluções aquosas, provocar a formação de espumas. Devido à redução da tensão superficial apresentam ação detergente e emulsificante. É o composto da erva-mate responsável pelo índice de amargor e espuma do produto.

i) Clorofila: é responsável pela coloração da erva-mate durante o processamento da mesma.

j) Carotenóides: constituem apenas 0,03 – 0,06% da erva-mate, mas são importantes na formação do aroma. Estes compostos incluem: caroteno, luteína, zeaxantina, violaxantina e outros.

k) Lipídios: a presença de ácidos graxos insaturados derivados dos fosfolipídios é significativa na geração do aroma da erva-mate. Principais

ácidos graxos – ácidos palmítico, oléico, linoléico, esteárico, araquídico e palmitoléico. Podemos identificar também uma resina aromática (mistura de oleína, palmitina, lauro-estearina e um óleo cujas características muito se aproximam da cumarina).

- l) Ácidos orgânicos.
- m) Proteína.
- n) Celulose.
- o) Lignina.
- p) Enzimas.

Dados do Instituto Adolfo Lutz de 1962, obtidos em 100 g de erva-mate indicaram inúmeras substâncias na sua composição, das quais a cafeína com teores variando de 0,8 a 2,0g/100g, extrato aquoso (35g/100g), resíduo mineral fixo (5,95g/100g), resíduo mineral fixo insolúvel em HCl (0,534g/100g) e umidade e substâncias voláteis com teores variando de 7g a 11g/100g (DA CROCE, 2003).

A Portaria nº 234 de 25 de março de 1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVS-MS), define que os extratos de erva-mate devem conter no mínimo 0,5g de cafeína a cada 100g de erva-mate.

Em estudo realizado no estado de Santa Catarina com extrato de erva-mate, os teores médios de cafeína oscilaram de 0,35g/100g, em setembro, a 1,0g/100g em fevereiro, sendo que em setembro houve uma oscilação entre 0,19g/100g a 0,47g/100g de erva-mate. Estes resultados mostram que o teor de cafeína apresenta diferença significativa de acordo com a época de colheita das folhas da erva-mate. No período de maior crescimento vegetativo (setembro a dezembro), o teor de cafeína é mais baixo e, a medida em que as folhas vão envelhecendo o teor aumenta. Os resultados obtidos indicam que o índice de cafeína fixado pela Portaria 234 ANVS-MS, pode inviabilizar a exploração da erva-mate para chimarrão e tererê nos meses de setembro a dezembro; ou deve se reavaliar a época da colheita (DA CROCE, 2003).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

O experimento foi conduzido nas áreas da empresa Baldo S/A Comércio, Indústria e Exportação, no município de São Mateus do Sul-PR que está localizado no segundo planalto paranaense, apresenta relevo suave, altitude entre 750m e 830m, a 50°22'58" de longitude oeste e 25°52'28" de latitude sul.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb, clima temperado propriamente dito, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2003), precipitação média anual entre 1400 e 1500 mm. A cobertura florestal da região pertence à Floresta Ombrófila Mista Montana (Mata de Araucária).

No município, a produção de erva-mate baseia-se nos sistemas de extrativismo e adensamento dos ervais nativos. Em ambas as situações, não há o controle do número de árvores por área, nem tampouco da intensidade lumínica, a qual é, em geral, muito variável (RACHWAL, 2000). A atividade econômica está concentrada na agricultura e na exploração e beneficiamento de erva-mate para chimarrão e chá.

### 5.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento teve a duração de um ano, iniciou-se em agosto de 2000 e finalizou em agosto de 2001. Foram utilizadas 200 mudas de erva-mate, distribuídas em quatro tratamentos, sendo:

- a) T100: 100% de luz (pleno sol)
- b) T50: 50% de luz (com sombrite)
- c) T25: 25% de luz (com sombrite)

d) TBr : sombreamento natural (plântio de Bracatinga)

A disposição dos tratamentos obedeceu ao sentido leste-oeste para evitar efeitos de sombreamento não desejáveis.

As mudas foram dispostas em cada tratamento em uma área de 6 m x 6 m (36 m<sup>2</sup>), em abrigos construídos na seguinte forma:

a) suportes de madeira com 1,50 m de altura nas laterais e 2,00 m no centro (formando um vértice para não empoçar água da chuva) e, cobertos por telas de sombrite inclusive nas laterais, com exceção do tratamento sombreado por bracatinga.

b) chão foi coberto por pedra brita tipo 2, para favorecer a drenagem da água evitando o encharcamento da área.

### 5.2.1 Mudas do Experimento

As mudas de erva-mate foram produzidas no viveiro da empresa Baldo S/A, com sementes de procedência de Ivaí, Paraná.

Cada tratamento recebeu as mudas com idade aproximada de um ano e meio, com o seguinte padrão:

a) altura = 15 cm; diâmetro de colo = 2 mm; número de folhas = 12 folhas;

b) as mudas foram retiradas de sua embalagem original (recipientes plásticos com 10 x 18 cm) e plantadas em recipientes plásticos de 5 litros, sendo que em cada recipiente foi plantada uma muda;

c) os recipientes foram completados com substrato semelhante ao original das mudas, constituído de solo retirado do horizonte A da floresta, rico em matéria orgânica e, não recebeu nenhum tipo de adubação.

d) espaçamento entre os recipientes de cada tratamento foi de 0,70 x 0,70 m.

## 5.3 MÉTODOS DE ANÁLISE E AVALIAÇÃO

### 5.3.1 Delineamento Estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado. A distribuição das 200 mudas foi feita em 4 tratamentos com 50 exemplares (5x10). Para os cálculos foram utilizadas 4 repetições com 11 plantas, ou seja, 176 plantas, pois 24 plantas foram retiradas de campo ao final do experimento e enviadas após sapeco industrial ao Institute of Pharmaceutical Biology na University of Bonn na Alemanha para análise fitoquímica completa.

Para a interpretação dos resultados foram realizadas análises de variância seguidas de testes de comparações de médias através de Tukey.

### 5.3.2 Avaliação de Luminosidade

Após três meses de instalação do experimento, no mês de novembro (fim de primavera, início do verão), com o auxílio de um luxímetro foram obtidas medições de luminosidade em cada um dos tratamentos, fazendo-se três medições aproximadamente nos horários de 8:00, 14:00 e 17:00 horas.

Nos tratamentos T50 e T25, foram realizadas cinco medições de luz na altura da gema apical das plantas, sendo uma medição na planta central do tratamento e as demais nas plantas dos cantos extremos da área. Na área reflorestada com bracatinga, as medições de luz foram feitas em cada uma das plantas (50 medições), em função da variação lumínica no interior do tratamento por causa das copas das árvores.

### 5.3.3 Avaliação de Crescimento das Plantas

Todas as plantas foram avaliadas mensalmente no período de agosto/2000 a agosto/2001, medindo-se as variáveis biométricas de:

- a) altura (com trena);

- b) diâmetro de colo (com paquímetro);
- c) contagem do número de folhas vivas;

Também foram observadas as condições fitossanitárias das plantas, principalmente as relacionadas com danos causados por insetos (lagartas, cochonilhas e formigas) e fungos (pinta-preta e fumagina).

#### 5.3.4 Análise de Clorofila *a* e *b* nas Folhas

Antes da colheita do experimento, foram coletadas de quatro plantas da área central de cada tratamento, quatro folhas maduras e saudáveis na posição direcionada ao norte das plantas. Depois de colhidas, as folhas identificadas foram armazenadas, imediatamente, em sacos plásticos escuros (evitando luz e conseqüente degradação da clorofila) e, acondicionadas com gelo em caixa de isopor durante seu transporte de São Mateus do Sul para Curitiba, onde ficaram em geladeira no Laboratório de Fisiologia Florestal do Centro de Ciências Florestais e da Madeira-CCFM da Universidade Federal do Paraná-UFPR até o preparo no dia seguinte dos extratos.

A preparação dos extratos de clorofila foi feita no Laboratório de Fisiologia Florestal, através do método DMSO (dimetil-sulfóxido) e, a leitura da extração foi realizada em espectrofotômetro do Laboratório de Química de Carboidratos do Setor de Ciências Biológicas-SCB/UFPR.

O procedimento após a coleta das folhas para preparo dos extratos de clorofila através do método DMSO, constou dos seguintes passos:

- a) de cada folha coletada se retirou com o auxílio de um perfurador de folhas, quatro discos foliares (entre 20-25 mg cada disco), que foram colocados separados em tubos de ensaio e identificados, preparando assim 256 tubos com extrato (4 tratamentos x 4 mudas x 4 folhas x 4 discos foliares = 256 tubos);
- b) cada tubo foi coberto com papel alumínio para evitar incidência da luz, adicionou-se 5 ml de DMSO (dimetil-sulfóxido) e vedou-se com tampa

de borracha;

- c) os tubos foram dispostos em pequenas grades e colocados em banho térmico por aproximadamente 3 horas, sendo que a cada hora as grades eram agitadas manualmente para homogeneizar os extratos.
- d) após este tempo as grades foram retiradas, resfriadas e armazenadas em freezer no Laboratório de Ecologia do CCFM-UFPR, até sua leitura em espectrofotômetro.

Com os extratos prontos, os tubos um por vez tiveram um pouco de seu extrato colocado em uma cubeta para leitura da concentração dos pigmentos em espectrofotômetro digital. O equipamento utilizado foi o modelo U-2001 (U-V/Visible) da marca Hitachi, que fez a leitura das clorofilas nos comprimentos de onda 648 nm e 665 nm. Para o cálculo da concentração de clorofila, usou-se a fórmula de BARNES et al. (1992):

$$C_a = 14,85 (A_{665}) - 5,14 (A_{648})$$

$$C_b = 25,48 (A_{648}) - 7,36 (A_{665})$$

onde:

$C_a$ : quantidade de clorofila *a*, em  $\mu\text{g/ml}$ ;

$C_b$ : quantidade de clorofila *b*, em  $\mu\text{g/ml}$ ;

$A_{648}$  e  $A_{665}$ : valor da absorbância como indicada no comprimento de onda.

### 5.3.5 Avaliação de Matéria Verde e Seca

Ao final do período de observações, as plantas foram cuidadosamente retiradas dos recipientes plásticos, separadas da terra, identificadas, acondicionadas individualmente em sacos plásticos de 15 litros e transportadas ao Laboratório de Sementes do CCFM-UFPR. Em laboratório, as plantas foram separadas em folhas, ramos e caule, raízes, para: contagem do número final de folhas, medição do comprimento das raízes e determinação da matéria verde total dos segmentos. Após, cada segmento foi colocado em embalagens de papel individuais com identificação e,

levados para estufa a 70° C para determinação da matéria seca total (figura 02, A, B e C).



A



B



C

FIGURA 02 – SEPARAÇÃO DOS SEGMENTOS VEGETAIS PARA PESAGEM (A); PESAGEM DOS SEGMENTOS (B); COLOCAÇÃO DOS SEGMENTOS PARA SECAGEM (C).

### 5.3.6 Extração e Análise de Cafeína e de Compostos Polifenólicos em Folhas Frescas

A extração de cafeína e de compostos polifenólicos foram realizadas através de métodos usuais e a análise destes através de cromatografia em camada delgada (CCD).

Foram selecionadas amostras, de um experimento de 24 plantas centrais, evitando as bordaduras e foram coletadas aproximadamente 100 g de folhas da erva-mate por tratamento. O peso das folhas coletadas variou em função de cada tratamento: 105g (T100), 200g (T50), 105g (T25) e 185g (TBr).

As folhas foram separadas por tratamento, sobre uma folha de papel e secas naturalmente, para posterior fragmentação e moagem em aparelhos apropriados.

Cinco gramas de folhas moídas de cada tratamento foram colocadas em frascos apropriados para maceração com: n-hexano, éter-clorofórmico amoniacal, álcool 70% e metanol 70%, obtendo-se 16 frascos (4 tratamento x 4 produtos). Após, uma semana, foram filtrados e concentrados para serem monitorados através da cromatografia em camada delgada, frente a diversas fases móveis e reveladores.

#### 5.3.6.1 Análise da Cafeína

Fase móvel: a) Clorofórmio: Metanol (98:2)

b) Clorofórmio : Metanol (95:5)

Fase fixa (adsorvente): Sílica gel G e GF<sub>254</sub> (MERCK)

Cuba: retangular (saturada com vapores de amônia)

Tempo de desenvolvimento: 8 a 20 minutos

Percurso: 10cm

Reveladores: luz ultravioleta 254nm e 365nm

Iodo iodeto de potássio e posterior nebulização com o ácido sulfúrico a 5% em etanol.

Reagente de Dragendorff

Substância de referência: Cafeína, Teobromina e Teofilina padrões

autênticos; todos a 0,1mg%.

### 5.3.6.2 Análise de Taninos e Outros Compostos Polifenólicos

Fase móvel: a) Acetato de etila : Metanol : Água (100:13:11,50)

b) Acetato de etila : Ácido fórmico : Água (95:5:5)

Fase fixa: Sílica gel FG<sub>254</sub> (MERCK)

Cuba: semi-saturada

Tempo: 20 minutos

Percurso: 10cm

Reveladores: luz ultravioleta 254nm e 365nm

Cloreto férrico a 5% em Etanol

Reagente de NEU (Ácido etilborilaminoéster 1% em etanol e Propilenoglicol 4000 5% em Metanol).

Substâncias de referência: Ácido gálico; ácido elágico, ácido pirogálico, ácido tânico; ácido clorogênico, todos a 0,1mg%.

### 5.3.7 Extração e Determinação de Cafeína e Tanino nas Folhas, realizada no Institute of Pharmaceutical Biology-University of Bonn, Alemanha.

Para análise de cafeína e taninos nas folhas, em cada tratamento foram retiradas seis plantas, em um total de 24 plantas, cortadas suas raízes e colocadas para sapeco em sapecador de tambor giratório na Indústria Baldo S/A.

Cada planta foi amarrada a uma corda com uma placa de metal para que fossem identificadas na saída do sapecador, estas foram sapecadas uma a uma, submetidas ao processo normal da indústria, isto é, junto com as folhas que estavam sendo sapecadas na safra de 2001. Em função de serem colocadas junto com as folhas do processo normal, algumas plantas se soltaram da corda com a placa sendo perdida, portanto foram enviadas para análise 17 plantas após sapeco.

O procedimento de trabalho neste laboratório constou das seguintes etapas:

1. Descrição do material: quantidade, tamanho, cor, aparência externa, qualidade, foto-documentação usando um varredor de cor ou uma câmera digital;
2. Extração: 5 ml de solvente (metanol/água 6/4) por 100 mg (usar ou o pó homogêneo ou folha inteira);
3. Análise por cromatografia em camada delgada do extrato (UV 254 nm antes de pulverizar, após ter pulverizado 366 nm e luz do dia);
4. Análise cromatográfica em camada delgada para o controle qualitativo e o semi-quantitativo:
  - a) Cafeína (Purinalcalóides);
  - b) Ácidos Cafeoil-quínicos;
  - c) Rutina;
  - d) Quantificação por Fotometria/Densitometria.
5. Análise por Cromatografia Líquida: controle qualitativo e o semi-quantitativo:
  - a) Cafeína (Purinalcalóides);
  - b) Ácidos Cafeoil-quínicos;
  - c) Rutina;
  - d) Quantificação por análise de pico usando detector “diodo-array”.
6. Repetição, recuperação e validação;
7. Uso de padrões internos em estágios diferentes (ácido clorogênico, cafeína e rutina).

#### 5.3.7.1 Extração de Metilxantinas, Rutina e Ácidos Cafeoil-quínicos

- a) preparação de material: secagem por sapeco ou por congelamento – freeze drying) e ruptura usando um moedor de pó;
- b) extração: 100 mg do material são suspensos em 5 ml de metanol/água (6:4); homogeneização usando um ultra-turrax, 2 vezes por 10 s; extração na temperatura ambiente por pelo menos 30 minutos; os extratos têm que ser mantidos fora da luz; as soluções são filtradas; 10µl de cada amostra é

analisada por Cromatografia em Camada Delgada, ou cada amostra é diluída 1:10 com 50 µl de amostra diluída, são analisados por RP-HPLC; a identificação dos compostos é feita de acordo com OHEM; BREUER (2001).

#### 5.3.7.1.1 Análise por Cromatografia em Camada Delgada de Metilxantinas, Rutina e Ácidos Cafeoil-quínicos:

##### Sistema Cromatográfico:

- a) fase estacionária: Sílica G 60, Sílica GF254, vidro, Merck;
- b) início: 2 cm;
- c) frente: 12 cm (distância de corrida/varredura): 10 cm;
- d) aplicação de amostra: forma de linha, 1 cm;
- e) fase móvel: acetato de etila/água/ácido fórmico/ácido clorídrico 75:8:6:1; (fase superior). A câmara cromatográfica é saturada com papel “whatman” por no mínimo 1 h.

##### Deteção

- a) Secando a placa na temperatura ambiente;
- b) Extinção de UV em 254 nm (foto-documentação), eventualmente densitometria;
- c) Secando a placa a 120°C por 5 minutos;
- d) Pulverizando com: 5 ml de “Naturstoffreagenz” a 1% em metanol e adicionalmente 5 ml de solução Polietilenoglicol 400 a 5% em metanol;
- e) Absorção em 366 nm (foto-documentação), cores a luz do dia (foto-documentação).

##### Solução padrão:

- a) Solução estoque: 1 mg cafeína, 1 mg rutina e 1 mg ácido cafêico em 1 ml de metanol; a solução estoque é diluída 1:10, 10 µl e 20 µl são

aplicados ao CCD.

- b) Solução estoque: 1 mg ácido clorogênico em 1 ml de metanol; a solução estoque é diluída 1:10, 10 µl e 20 µl são aplicados ao CCD.

#### 5.3.7.1.2 Separação das Metilxantinas, Rutina e de Ácidos Cafeoil-quínicos

Fase estacionária: colunas de extração de fase sólida  
Machery & Nagel, colunas 6 ml PA (poliamida)

Condicionamento: 7 ml metanol  
7 ml água

Aplicação da amostra: amostra de 0.5 ml (solução aquosa de um total de 2 ml após a extração, metanol tem que ser removido por concentração a vácuo)

Lavagem: 5 ml água	fração 1, metilxantinas
Eluição: 5 ml água/metanol (7:3)	fração 2, rutina
15 ml metanol	fração 3
10 ml metanol + 10 µl TFA	fração 4, ácido cafeoil-quínico

Todas as frações são evaporadas até secarem (fração 1 a 40°C).

10 µl de cada fração são objetos à TLC

10 µl de cada fração são objetos à RP-HPLC

#### 5.3.7.1.3 Análise HPLC Metilxantinas, Rutina e Ácidos Cafeoil-quínicos:

Fase móvel: Água/Metanol/Ácido acético 59:39:2

Fase estacionária: ET 250/4 Nucleosil 120-5 C<sub>18</sub>, Macherey and Nagel

Pré-coluna: 30/4 aço inoxidável completo com Perisorb RP-8

Pressão: 17.6 Mpa

Fluxo: 0.6 ml/min

Substâncias de referência: rutina, ácido cafêico e cafeína:

- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| a) solução estoque | 1 mg/ml              |
| b) diluição        | 1:10, i.d. 0.1 mg/ml |

c) volume da amostra 10  $\mu$ l, 25, 50, 75

Amostras: extratos são diluídos 1:10 e 50  $\mu$ l de amostra diluída são injetados

Deteção: 245 nm, 270 nm, 320 nm

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis obtidas e analisadas neste trabalho foram: altura das plantas, número de folhas, diâmetro de colo, comprimento da raiz e, biomassa seca das folhas, ramos e caule, raiz e total.

### 6.1 LUMINOSIDADE DOS TRATAMENTOS

No mês de novembro (13/11/2000), período de transição entre as estações de primavera e verão, cada tratamento teve a luminosidade medida com um luxímetro (figura 3). A luminosidade foi medida em três horários diferentes do dia, a primeira pela manhã às 8:30 horas quando ainda havia forte neblina (característica da região de São Mateus do Sul) e, no período da tarde quando o céu não apresentava nenhuma nebulosidade, sendo a segunda medição às 14 horas e a terceira às 17 horas da tarde. A média da luminosidade obtida em cada tratamento nos três períodos do dia consta na tabela 1:

TABELA 1 – MÉDIA DAS LUMINOSIDADES, % DE LUMINOSIDADE E % DE SOMBREAMENTO EM RELAÇÃO A PLENA LUZ, PARA CADA TRATAMENTO APLICADO NAS PLANTAS DE ERVA-MATE (K lux).

Tratamentos	Horário								
	8:30 h			14:00 h			17:00 h		
	Médias*	% luz	% sombra	Médias*	% luz	% sombra	Médias*	% luz	% sombra
T100	30,20	100,00	0,00	172,00	100,00	0,00	66,00	100,00	0,00
T50	16,44	54,44	45,56	90,40	52,56	47,44	36,40	55,15	44,85
T25	8,96	29,67	70,33	44,00	25,58	74,42	16,32	27,20	72,80
TBr	2,07	6,85	93,15	21,43	12,46	87,54	3,53	5,34	94,66

\*média a partir das leituras em luxímetro.

O TBr que teve como sombreamento para as plantas de erva-mate um plantio com dois anos de *Mimosa scabrella* (bracatinga), foi o que apresentou grande variação da luminosidade sobre as plantas em função da influência das copas das árvores. Neste tratamento foram realizadas medidas de luz em todas as plantas, mostrando diferenças no decorrer do dia em função de fatores como a posição do sol, velocidade do vento sobre as folhas das árvores, bem como a formação das copas e suas folhas. Os dados

obtidos em cada tratamento constam no Anexo.



A



B

FIGURA 03 – MEDIÇÃO DE LUMINOSIDADE: (A) T100 e (B) TBr.

O T100 teve apenas interferência na luminosidade quando houve cerração pela manhã ou o dia permanecia nublado (esta situação não foi mensurada). Nos tratamentos que tiveram algum tipo de interceptação da luz, observamos que em relação ao período do dia medido que tinha maior intensidade luminosa e sem nebulosidade, isto é, às 14 horas com 172 Klux, os tratamentos T50 e T25 apresentaram respectivamente em relação a luz plena 90,40 Klux (52,56%) e 44,00 Klux (25,58%), no TBr a média percentual de luz obtida foi de 12,46%, o que está de acordo com OLIVER; LARSON (1996), que relatam sobre a redução de luz pelas folhas e ramos e que atinge de 3 a 30% nas folhas inferiores das árvores (tabela 1).

## 6.2 VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS

As variáveis biométricas altura (H), diâmetro do colo ( $\emptyset$ ) e comprimento de raízes (CR) das plantas de erva-mate, obtidas em função da intensidade luminosa a que foram submetidas estão apresentadas na tabela 2.

TABELA 2 – MÉDIA DAS ALTURAS (H cm), DIÂMETRO DO COLO ( $\varnothing$  mm) E COMPRIMENTO DE RAÍZES (CR cm) DE PLANTAS DE ERVA-MATE AOS 12 MESES DE PLANTIO, SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE LUMINOSIDADE.

Tratamentos	H (cm)	$\varnothing$ (mm)	CR (cm)
T100	30,8 c	9,0 bc	34,8 a
T50	48,5 b	10,5 a	38,3 a
T25	57,0 a	9,6 b	35,0 a
TBr	55,4 a	8,9 c	37,3 a

NOTA: médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se nos resultados obtidos que no tratamento T25 as plantas de erva-mate tiveram na média maior altura (57,0 cm) e não mostrou diferença estatística com o TBr (55,4 cm). Os tratamentos T100 (30,8 cm) e T50 (48,5 cm) diferiram estatisticamente entre si e também dos demais tratamentos para esta variável, sendo que o tratamento T100 foi o que apresentou as menores alturas na média final das repetições.

Os resultados mostram que as plantas desta espécie tendem a crescer e se desenvolver melhor em situações onde há sombreamento e, que quando as plantas são colocadas em plena luz apresentam um desenvolvimento inferior para a maioria das variáveis, quando comparadas com as plantas nas situações de sombra.

A variável de diâmetro no T50 foi estatisticamente diferente em relação a todos os demais tratamentos, obtendo na média também o maior diâmetro (10,5 mm). O T100 (9,0 mm) mostrou-se estatisticamente igual aos tratamentos T25 (9,6 mm) e TBr (8,9 mm), sendo que estes dois diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para o comprimento de raízes todos os tratamentos foram iguais pelo teste de Tukey a 5%, porém observa-se que na média das repetições em ordem decrescente tivemos T50 (38,3 cm), TBr (37,3 cm), T25 (35,0 cm) e T100 (34,8 cm). Em campo nenhum dos tratamentos apresentou problemas de desenvolvimento de raízes, como danos por enovelamento ou encachimbamento, apesar do período de um ano que as plantas permaneceram em recipientes plásticos.

Para WHATLEY; WHATLEY (1982) e LARCHER (1986), na maioria das espécies vegetais, altas intensidades de luz originam entre outras características plantas de menor porte e folhas menores, de acordo com o que foi obtido e observado no

tratamento T100. Entretanto, citam que o peso de matéria seca e o sistema radicial são maiores do que em situação de luz mais fraca, o que não foi encontrado para as situações estudadas, pois o T100 obteve menor peso de matéria seca para todas as variáveis e menor sistema e massa radicial.

Para a variável altura, temos nos tratamentos sombreados as maiores médias obtidas. De acordo com CORREIA<sup>12</sup>, citado por CARVALHO (1996), plantas umbrófilas quando crescem em condições de sombreamento apresentam maiores alturas e área foliar.

Segundo INOUE (1983), a variável altura das plantas de erva-mate com seis meses de idade foi melhor entre 15% e 50% da plena luz do dia do que em 75% e 100%, sendo semelhantes aos resultados obtidos neste estudo que teve sua melhor resposta em altura nos tratamentos sombreados T25 e TBr, respectivamente 25,58% e 12,46% no período de maior intensidade lumínica.

Todos os tratamentos apresentaram 100% de sobrevivência nas plantas após o período de 12 meses de plantio. Segundo COELHO et al. (2000) após 23 meses de plantio as plantas de erva-mate apresentaram em 100% de luz uma sobrevivência de 13,3% e para 50% de luz chegou-se a 64%.

Duas variáveis não mensuradas, mas que foram observadas em campo, são em relação a área foliar e espessura do mesófilo. Para estas, principalmente os tratamentos TBr e T25, apresentaram maior área foliar e menor espessura do mesófilo em relação ao T100, estas características são citadas por LARCHER (1986) e LÜTTGE (1997) que estudaram o efeito do sombreamento sobre os vegetais.

### 6.3 VARIÁVEIS QUANTITATIVAS

As variáveis quantitativas de biomassa seca das folhas (BF), ramos e caule (BRC), raízes (BR), total (BT) e número de folhas (NF) das plantas de erva-mate,

---

<sup>12</sup> CORREIA, L.G. Efeito da luminosidade e do ccc na formação de mudas de pimentão. Viçosa, 1977. 49 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

obtidas em função da intensidade luminosa a que foram submetidas estão apresentadas na tabela 3.

TABELA 3 – MÉDIAS DE BIOMASSA SECA DAS FOLHAS (BF g), RAMOS E CAULE (BRC g), RAÍZES (BR g), TOTAL (BT g) E NÚMERO DE FOLHAS (NF) DAS PLANTAS DE ERVA-MATE AOS 12 MESES DE PLANTIO, SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE LUMINOSIDADE.

Tratamentos	BF (gr)	BRC (gr)	BR (gr)	BT (gr)	NF
T100	4,5 c	4,0 b	6,2 b	14,7 c	33,3 c
T50	12,4 a	8,0 a	12,2 a	32,4 a	58,5 a
T25	12,0 a	7,4 a	12,7 a	32,1 a	42,3 b
TBr	7,5 b	7,3 a	13,0 a	27,8 b	33,3 c

NOTA: médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias dos volumes de biomassa quantitativas foram testadas pelo teste de Tukey a 5% apresentando os seguintes resultados:

e) Biomassa Foliar (BF): os tratamentos estatisticamente iguais em suas médias foram T50 (12,4 g) e T25 (12,0 g), sendo que diferiram dos tratamentos TBr (7,5 g) e T100 (4,5 g) e estes foram diferentes entre si. Os resultados mostram que quando a planta de erva-mate é submetida ao T50 ou T25 o volume a ser obtido em biomassa foliar seca serão semelhantes em ambos os tratamentos e superiores aos demais.

f) Biomassa dos Ramos e Caule (BRC): os resultados desta variável quantitativa apresenta que os tratamentos T50 (8,0 g), T25 (7,4 g) e TBr (7,3 g) não foram diferentes entre si. O T100 que obteve na média das repetições 4,0 g, diferiu dos outros tratamentos apresentando a menor média. Sugere-se uma avaliação com plantas adultas de erva-mate em diferentes situações de luminosidade sobre o diâmetro dos ramos e sua relação com o diâmetro de colo ou DAP, pois esta é uma variável importante na colheita das folhas, que segundo a literatura e mercado para o produto chimarrão, por exemplo, este não deve ser produzido com o uso de ramos muito grossos.

g) Biomassa das Raízes (BR): apresentou o mesmo comportamento estatístico que a variável BRC, isto é, os tratamentos T50, T25 e TBr foram iguais entre si, diferindo do T100 que apresentou a menor média (6,2 g).

Pode-se supor que há uma relação do peso seco dos ramos e caules com a raiz das plantas, verifica-se que a medida que a biomassa dos ramos e caule diminui do T50 (8,0 g) para TBr (7,3 g), a biomassa de raízes aumenta do T50 (12,2 g) para TBr (13,0 g).

h) Biomassa Total (BT): esta variável mostra relação estatística igual a variável BF, onde os tratamentos T50 e T25 são iguais entre si e, diferentes dos tratamentos T100 e TBr que diferem entre eles. Observa-se ainda que a variável de biomassa foliar e total tem o mesmo comportamento para peso, onde os tratamentos T50 e T25 têm na média os maiores pesos, seguidos pelos tratamentos TBr e T100 com os menores.

i) Número de Folhas (NF): na média final esta variável mostrou que os tratamentos com maiores ou menores intensidades luminosas (T100 e TBr) apresentaram resultados estatísticos iguais entre si. O tratamento T50 foi o que obteve na média o maior número de folhas (58) seguido pelo T25 (42), sendo que foram diferentes entre si estatisticamente, bem como dos demais tratamentos (T100 e TBr).

Na avaliação destas cinco variáveis quantitativas o tratamento T50 supera os demais tratamentos, mesmo quando não há diferenças estatísticas.

Para a espécie e condições estudadas neste trabalho, os resultados obtidos para as variáveis quantitativas de biomassa seca, são contrários aos citados na literatura, de acordo com os seguintes autores: KRAMER; KOZLOWSKI (1960), CORREIA<sup>13</sup> (1977), citado por CARVALHO (1996), TORRES (1980), WHATLEY; WHATLEY (1982), LARCHER (1986), OLIVER; LARSON (1996), CARVALHO (1996), LÜTTGE (1997), RACHWAL et al. (1997) e COELHO (2000), que obtiveram para diferentes espécies, inclusive erva-mate, que a matéria seca é maior na medida que se aumenta à intensidade lumínica ou se a planta está a plena luz.

No presente estudo as condições com sombreamento foram onde se

---

<sup>13</sup> CORREIA, L.G. Efeito da luminosidade e do ccc na formação de mudas de pimentão. Viçosa, 1977. 49 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

obtiveram os maiores pesos de matéria seca para a biomassa foliar, ramos e caule, raízes e total. Este fato pode ser explicado por WHATLEY; WHATLEY (1982), pois a intensidade da luz tem sua importância na conversão em energia química, para alguns efeitos morfogênicos e para a distribuição das plantas, assim como a duração tem seu efeito no fotoperíodismo, que controla os padrões de desenvolvimento das plantas, todos estes efeitos dependem da absorção da luz, por determinados pigmentos como clorofila e fitocromo. De acordo com GALVÃO (1986) nas espécies tolerantes e, CORREIA<sup>14</sup>, citado por CARVALHO (1996) para plantas tropicais que são típicas de sombra, altas intensidades luminosas provocam reações de retardo, e estas só atingem o seu máximo desenvolvimento sob condições inferiores à radiação solar normal. Porém, para CARVALHO (1996) a capacidade de maximizar a produção de matéria seca à sombra, através de modificações de fenótipo, é mais aparente em espécies características de ambientes não sombreados ou levemente sombreados, enquanto as plantas típicas de sombra tendem a crescer lentamente e mostrar uma menor reação morfogênica em resposta às condições de sombra, entretanto este fato não ocorreu para o presente estudo, pois a erva-mate, uma espécie típica de sombra e que pode tolerar luz em alguns estágios de sua vida, apresentou para as situações de baixa intensidade lumínica uma maximização de sua matéria seca para diferentes variáveis.

#### 6.4 CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILAS *a* E *b*

As médias das concentrações de clorofila *a* (Ca), clorofila *b* (Cb), clorofila total (Ca+Cb) e relação clorofila *a/b* (Ca/Cb) nas folhas das plantas de erva-mate, submetidas a diferentes níveis de luminosidade obtidas neste trabalho, estão apresentadas na tabela 4.

---

<sup>14</sup> CORREIA, L.G. Efeito da luminosidade e do ccc na formação de mudas de pimentão. Viçosa, 1977. 49 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

TABELA 4 – MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA *a* e CLOROFILA *b*, SOMA DE CLOROFILA TOTAL E RELAÇÃO CLOROFILA *a/b* NAS PLANTAS DE ERVA-MATE SOB DIFERENTES TRATAMENTOS DE LUMINOSIDADE APLICADOS (CONCENTRAÇÃO EM  $\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ ).

Tratamento s	Ca		Cb		Ca+Cb	Ca/Cb
	Total da média da repetição	Média	Total da média da repetição	Média		
T100	2,01	0,50 a	17,69	4,42 b	19,69	0,11
T50	2,12	0,53 a	18,88	4,72 b	21,00	0,11
T25	2,10	0,53 a	23,66	5,91 b	25,76	0,09
TBr	2,95	0,74 a	45,92	11,48 a	48,87	0,06

NOTA: valores seguidos da mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo KRAMER e KOZLOWSKI (1960), folhas submetidas a baixas intensidades de luz realizam mais eficientemente a fotossíntese do que as folhas de sol, possivelmente devido a sua maior concentração em clorofila. A influência da sombra também é direta na cor da folhas, pois apresentam um verde mais escuro do que as que estão na luz, pois a absorvem mais eficientemente. Esta citação foi verificada em observações de campo para os tratamentos de sombra T50, T25 e TBr em relação a tonalidade da cor verde mais escura a medida que havia mais sombreamento (TBr). A clorofila é responsável pela coloração da erva-mate durante o processamento da mesma (VALDUGA, 1995).

A clorofila *a* não apresentou diferença estatística em nenhum dos quatro tratamentos pelo teste de Tukey a 5%, entretanto o tratamento TBr obteve na média a maior concentração tanto para clorofila *a* ( $0,74 \mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ ) como para clorofila *b* ( $11,48 \mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ ). De acordo com LARCHER (1986) e LÜTTGE (1997), as plantas de sombra apresentam mais clorofila *b* e menos clorofila *a*, bem como menor relação clorofila *a/b*. Ainda os autores BOARDMAN<sup>15</sup>; MARTIN; WARNER<sup>16</sup> citados por CARVALHO (1996) citam que espécies crescendo em ambientes sombreados têm a clorofila total mais alta além da menor relação *a/b*, resultados estes obtidos para o TBr que apresentou o mais alto valor de clorofila total entre os tratamentos, sendo  $48,87 \mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ , enquanto para o T100 foi de  $19,69 \mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ .

<sup>15</sup> BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, n. 28, p. 355-377, 1977.

<sup>16</sup> MARTIN, C.E.; WARNER, D.A. The effects of dessication on concentrations and *a/b* ratios of chlorophyll in *Leucobryum glaucum* and *Thuidium delicatulum*. New Phytologist, Cambridge, n. 96, p. 545-550, 1984.

A clorofila *b* em todos os tratamentos foi superior as concentrações obtidas para a clorofila *a* e, a relação *a/b* também foi menor nos tratamentos sombreados sendo a menor relação para o TBr com 0,06  $\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$  (tabela 4), conforme citado pelos autores LARCHER (1986) e LÜTTGE (1997).

O TBr foi o único tratamento aplicado nas plantas de erva-mate estatisticamente diferente para a concentração de clorofila *b* em relação aos demais. A clorofila *b* desempenha o papel principal em todos os organismos que produzem oxigênio na fotossíntese; nas plantas superiores se tem mais clorofila *b* (STRASBURGER et al, 1994). Uma maior proporção relativa de clorofila *b* em plantas sombreadas é uma característica importante, pois possibilita a captação de energia de outros comprimentos de onda e transferência para uma molécula específica de clorofila *a*, que efetivamente toma parte das reações fotoquímicas da fotossíntese (WHATLEY; WHATLEY, 1982).

De acordo com os resultados obtidos, concorda-se com KRAMER e KOZLOWSKI (1979), que citam que a clorofila é constantemente sintetizada e destruída na presença da luz e, sob intensidades luminosas muito altas, a velocidade de decomposição é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa. Outros autores que estudaram a concentração de clorofilas em função da luminosidade como STUTZ e FREY<sup>17</sup> citados por CARVALHO (1996), INOUE (1977) e, CARVALHO (1996), também concluíram ser a luz um fator limitante em algumas espécies para a produção e concentração de pigmentos como a clorofila.

## 6.5 CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

Os monitoramentos da cafeína e dos compostos polifenólicos foram realizados através de análises cromatográficas, com diversas fases móveis e fixas (figuras 4 e 5).

---

<sup>17</sup> STUTZ, J.C.; FREY, D.R. Altered light levels on growth, fruiting and leaf characteristics of natural stands of *Ilex opaca*. HortScience, Alexandria, v.15, n.1, p.94-96. 1980.

A melhor fase móvel para a detecção da cafeína foi a mistura de Clorofórmio:Metanol na proporção de 95:5; em cuba retangular saturada com vapores de amônia. O revelador foi à mistura de iodo-iodeto de potássio e posterior nebulização da solução etanólica a 5% de Ácido Sulfúrico. A coloração desenvolvida castanho para a substância referência Cafeína e a presença deste composto na amostra, com a mesma coloração, como também, a detecção de outras metilxantinas (Teobromina e Teofilina) em menor intensidade, com o mesmo perfil das substâncias referência (Cafeína, Teobromina e Teofilina), padrão MERCK utilizada. Conforme VALDUGA (1995), a cafeína, teobromina e a teofilina são compostos mais interessantes, sob o ponto de vista terapêutico. A riqueza destes compostos varia com a idade, diminuindo com o aumento desta.

O melhor cromatograma obtido, dos extratos para a determinação dos compostos polifenólicos foi através da mistura de solventes: Acetato de etila:Ácido fórmico:Água (90:5:5), utilizando como fase fixa cromatoplas de sílica gel GF<sub>254</sub> (MERCK). Os reveladores empregados foram inicialmente a exposição da cromatoplasa à luz UV e posterior nebulização com Cloreto férrico a 5% em Etanol, desenvolvendo colorações esverdeadas, marrom e castanho para os taninos. Como substâncias de referência foram: ácidos tânico, ácido gálico, ácido elágico, ácido pirogálico, ácido clorogênico e o ácido cafêico. Outra cromatoplasa foi revelada com o reagente de NEU (NST/PEG), onde foram evidenciadas a presença de compostos flavônicos, com diversas colorações sob a luz UV. As substâncias referência utilizadas foram: rutina (Rf 0.1), quercetina (Rf 0.87), isoquercetrina (Rf 0.31) e ácido clorogênico e o ácido cafêico, todos padrão autêntico MERCK.

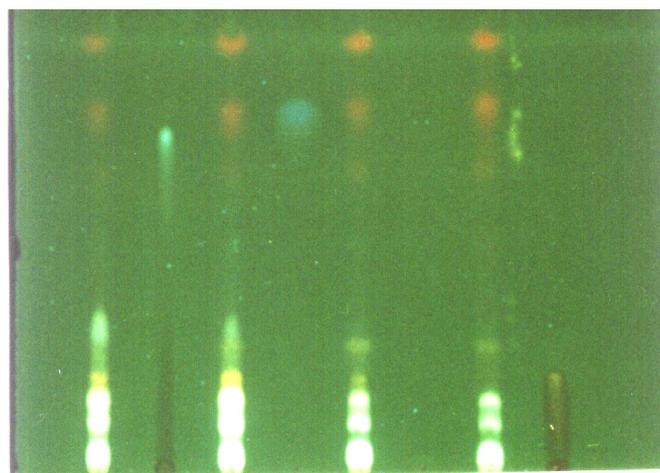


FIGURA 04: CCD DE COMPOSTOS POLIFENÓLICOS. PONTO 1: T100 (ÁLCOOL 70%); PONTO 2: ÁC. CAFEICO; PONTO 3: T50 (ÁLCOOL 70%); PONTO 4: ÁC. FERÚLICO; PONTO 5: T25 (ÁLCOOL 70%); PONTO 6: ÁC. CLOROGÊNICO; PONTO 7: TBr (ÁLCOOL 70%); PONTO 8: RUTINA.

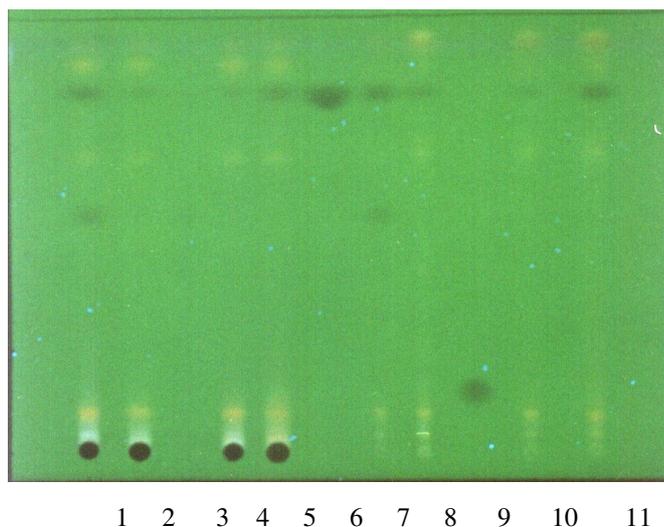


FIGURA 05: CCD DE COMPOSTOS POLIFENÓLICOS. PONTO 1: T100 (ÁLCOOL 70%); PONTO 2: T50 (ÁLCOOL 70%); PONTO 3: PADRÃO TEOBROMINA; PONTO 4: T25 (ÁLCOOL 70%); PONTO 5: TBr (ÁLCOOL 70%); PONTO 6: PADRÃO CAFEÍNA; PONTO 7: T100 (AMÔNIA + ÉTER CLOROFÓRMIO); PONTO 8: T50 (AMÔNIA + ÉTER CLOROFÓRMIO); PONTO 9: PADRÃO TEOFILINA; PONTO 10: T25 (AMÔNIA + ÉTER CLOROFÓRMIO); PONTO 11: TBr (AMÔNIA + ÉTER CLOROFÓRMIO)

## 6.6 CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUÇÃO (HPLC)

A análise por cromatografia líquida apresentou os seguintes resultados nas amostras de erva-mate sapecada:

TABELA 5 – TEMPOS DE RETENÇÃO PARA OBTENÇÃO DOS COMPOSTOS QUÍMICOS EM HPLC.

Tempos de Retenção	Minutos	Processamento de dados A partir da área de pico
Ácido Cafêico	Cerca de 7	320 nm
Ácido 3,5-dicafeoil-quínico	12.4	320nm
Ácido 3,4-dicafeoil-quínico	10.7	320nm
Ácido 4,5-dicafeoil-quínico	20.4	320nm
Cafeína	7.2	270nm
Teobromina	4.8	270 nm
Ácido 3-cafeoil-quínico	4.4	320 nm
Ácido 4-cafeoil-quínico	5.3	320 nm
Ácido 5-cafeoil-quínico	5.3	320 nm
Rutina	19.0	320 nm

Os conteúdos percentuais de cafeína, ácidos mono-cafeoil-quínicos (mono-CQA) e de ácidos di-cafeoil-quínicos (di-CQA) podem ser observados na figura 06. Na média percentual temos para cafeína resultados bem diferentes entre os tratamentos, pois os tratamentos T100 e TBr, que têm níveis de luminosidade praticamente inversos, apresentam os maiores valores para a cafeína. Comparando-se aos resultados da literatura verifica-se que folhas mais sombreadas apresentam teores mais elevados de cafeína (MAZZAFERA<sup>18</sup> citado por COELHO, 2000).

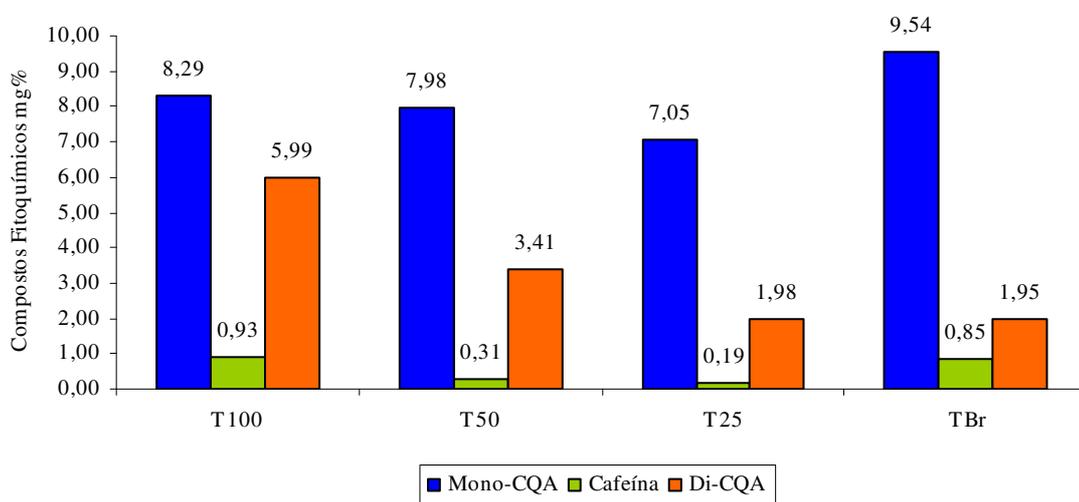


FIGURA 06 – MÉDIA DO CONTEÚDO DE MONO-CQA, CAFEÍNA E DI-CQA EM mg%, ENCONTRADOS EM 15 AMOSTRAS DE ERVA-MATE APÓS SAPECO INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE CHIMARRÃO.

<sup>18</sup> MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, vol. 6, p. 149-151, 1994.

De acordo com os resultados, observamos que os constituintes fitoquímicos apresentam resultados muito diferentes. Os níveis de cafeína e de ácidos mono-cafeoil-quínicos (mono-CQA) parecem não serem afetados pela luz e, o conteúdo de ácidos di-cafeoil-quínicos (di-CQA) é maior nas amostras que cresceram sob condições de céu aberto (T100).

O T100 apresenta o mais elevado teor do composto di-CQA (5,99 mg%), que é um composto fenólico encontrado nos taninos, que são responsáveis pela adstringência (aroma) da erva-mate, sendo também encontrados como: ácido clorogênico, ácido 3,4 di-cafeoil-quínico, ácido 3,5 di-cafeoil-quínico, ácido 4,5 di-cafeoil-quínico, ácido 3-cafeoil-quínico, ácido 4-cafeoil-quínico, ácido 5-cafeoil-quínico (VALDUGA, 1995). RACHWAL et al. (2000) obteve teores de taninos mais elevados nos sítios de maior luminosidade, confirmando os resultados obtidos para o tratamento T100.

Interessantes foram os resultados dos tratamentos T50 (0,31 mg%) e T25 (0,19mg%) que para a cafeína se mostraram totalmente diferentes dos demais tratamentos, mostrando a necessidade de novas análises futuras.

Outros compostos identificados são apresentados na figura 7, onde se verifica o total do conteúdo de mono-CQA, teobromina, cafeína, rutina e di-CQA em mg%, encontrados em 15 amostras de erva-mate após sapeco industrial para produção de chimarrão, de acordo com o tratamento de luminosidade aplicado. Os compostos encontrados são citados por VALDUGA (1995), SCHENKEL et al. (1997) e RATTES (1999), que mostraram que a erva-mate apresenta em sua constituição química, vitaminas, aminoácidos, saponinas triterpênicas, compostos fenólicos, principalmente ácido clorogênico (ác. 3-cafeoil-quínico) e seus produtos de oxidação, metilxantinas (cafeína, teobromina e traços de teofilina), além de aminoácidos, açúcares e vitaminas. VALDUGA et al. (1997), em análise cromatográfica de polifenóis, observou a presença de substância com comportamento semelhante a rutina, o que pode ser comprovada nas análises realizadas para os tratamentos T100, com maior concentração e, T50 e T25, porém não foi identificada para o TBr. Teores de rutina

também foram encontrados por PROVENSI (2003) em plantas de erva-mate, através da extração exaustiva, decocção, ESN1 e ESN2 em extrato seco, que mostrou o rendimento em rutina nos ESN em relação à solução extrativa (decocção) ser maior.

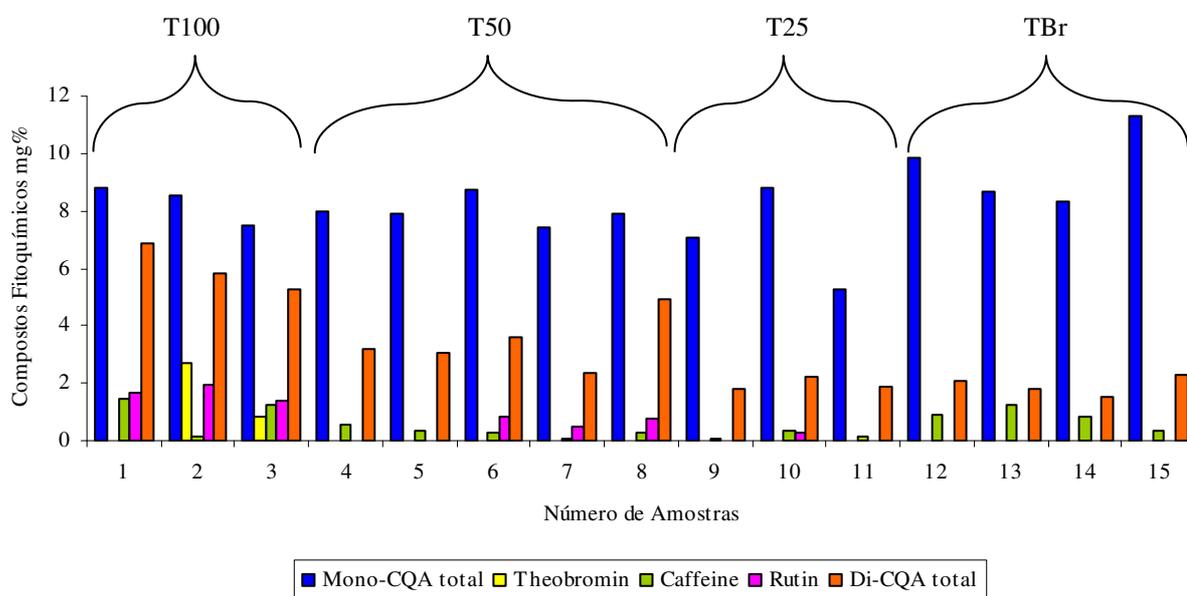


FIGURA 07 – TOTAL DO CONTEÚDO DE MONO-CQA, TEOBROMINA, CAFEÍNA, RUTINA E DI-CQA EM MG%, ENCONTRADOS EM 15 AMOSTRAS DE ERVA-MATE APÓS SAPECO INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE CHIMARRÃO.

## 7 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente estudo foi conduzido, os resultados obtidos permitiram a obtenção das seguintes conclusões para o efeito que a luminosidade exerce sobre as plantas de *Ilex paraguariensis*:

- 1) A variável altura é favorecida pela menor intensidade lumínica.
- 2) A variável diâmetro apresenta pouca variação, independente da luminosidade que a planta é submetida, entretanto tende a ser maior para plantas sob algum sombreamento.
- 3) O comprimento de raízes não foi aparentemente afetado pela luminosidade.
- 4) A biomassa foliar apresentou comportamento diferente aos referenciados na literatura. As maiores biomassas e número de folhas, foram para os locais com sombreamento, T50 e T25, o que mostra que a planta de erva-mate pode apresentar boa produtividade em locais sombreados superando áreas com plantios a plena luz.
- 5) A biomassa de ramos e caule e, a de raízes foi maior para áreas sombreadas, podendo ter sido influenciada pela altura das plantas.
- 6) A biomassa seca total e a biomassa seca foliar apresentaram igualdade estatística.
- 7) A concentração de clorofila *b*, conforme esperado, foi maior nos tratamentos com menor intensidade lumínica, bem como apresentou a menor relação *a/b*.
- 8) A clorofila *a* apesar de não apresentar diferenças entre os tratamentos, também obteve os maiores teores para os tratamentos sombreados.
- 9) A identificação dos compostos fitoquímicos foi satisfatória, demonstrando a presença da cafeína, tanino, teobromina, teofilina, rutina, quercetina, isoquercetrina, ácidos mono-cafeoil-quinicos (mono-CQA) e di-cafeoil-quinicos (di-CQA).
- 10) A cafeína apresentou resultados bem diferentes entre os tratamentos, sendo os

tratamentos extremos de luminosidade, maior ou menor luz, com os maiores teores obtidos. Os níveis de cafeína e de ácido mono-CQA parecem não serem afetados pela luz e, o conteúdo de ácido di-CQA foi maior para altas intensidades lumínicas.

- 11) Os resultados dos tratamentos T50 e T25, apresentaram resultados totalmente diferentes dos tratamentos T100 e TBr para a cafeína. Por serem níveis intermediários de luminosidade, mostram a necessidade da continuidade nas pesquisas.
- 12) Baixos níveis de luminosidade demonstram que a erva-mate pode obter boa produtividade e qualidade, podendo superar áreas com plantas submetidas à plena luz.
- 13) Os resultados obtidos fornecem subsídios ao manejo de áreas com a presença da espécie estudada, assim como para a realização do controle de qualidade da matéria-prima vegetal e, para os produtos derivados de *Ilex paraguariensis*, erva-mate.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espécie *Ilex paraguariensis* (erva-mate) sob seus aspectos fisiológicos e de produção, demonstra que a prática da atividade ervateira pode e deve ser realizada com critérios de manejo adequado, visando sua qualidade de plantio ou condições de desenvolvimento de ervais nativos, a partir das condições de luminosidade a que são submetidos após exploração da área, podendo ser associada com outras espécies florestais, agrícolas ou atividade pecuária o que consideravelmente irá garantir benefícios em toda a sua cadeia produtiva.

Basicamente, a qualidade da matéria-prima, produtos finais e, as exigências do mercado consumidor é que definirão a forma de cultivo.

## 9 REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. C.; ARAUJO, V.C. **Comportamento de espécies florestais amazônicas quanto à luminosidade.** Acta Amazônica, Manaus, v.10, n. 3, p. 435-444, 1980.

ANDRADE, F. M. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. In: SUSTENTÁVEL MATA ATLÂNTICA: A EXPLORAÇÃO DE SEUS RECURSOS FLORESTAIS. Organizadores: Luciana Lopes Simões, Clayton Ferreira Lino – São Paulo: Editora SENAC São Paulo. p. 19-34, 2002.

ANDRADE, F. M. **Projeto Sustentabilidade e Certificação Florestal na Mata Atlântica - Recurso Erva-mate.** Relatório parcial de consultoria. Circulação restrita. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 2001. 34 p.

ANDRADE, F. M. A exploração e utilização do recurso *Ilex paraguariensis* St. Hill - erva-mate, seus impactos sócio-econômicos atuais e potencialidades de manejo sustentável. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RECURSOS FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA, I., 1999. São Paulo. **Anais ...** Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000. Novofotolito Editora Gráfica. p. 24-33.

CARPANEZZI, A. A. Cultura da erva-mate no Brasil: conflitos e lacunas. In: ERVA-MATE: BIOLOGIA E CULTURA NO CONE SUL. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p. 43-46.

CARVALHO, P. E. R. **Influência da intensidade luminosa e do substrato no crescimento, no conteúdo de clorofila e na fotossíntese de *Cabralea canjerana* (Vell) Mart. subsp. *canjerana*, *Calophyllum brasiliense* Camb. e *Centrolobium robustum* (Vell) Mart. ex Benth., na fase juvenil.** Curitiba, 1996. 157 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisas em Florestas. Colombo: EMBRAPA - CNPF, Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. p. 280-287.

COELHO, G. C. Variabilidade morfológica 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, 2000. p. 125-128.

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, 2000. p. 396-399.

DA CROCE, D. M. **Cadeia Produtiva da erva-mate em Santa Catarina.** Chapecó: EPAGRI-Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Centro de Pesquisa para Pequenas Propriedades - CPPP, 1996. 35 p.

DA CROCE, D. M.; NADAL, R. Viabilidade técnico-econômica de sistemas de produção de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill) consorciada com culturas anuais. In: ERVA-MATE: BIOLOGIA E CULTURA NO CONE SUL. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p. 47-53.

DOMINGO, A. **Area de distribuicion natural de la yerba mate.** INTA. Estacion Experimental Agropecuaria Misiones. Miscelânea n.º 14.

FLOSS, P. A.; BOHNER, J. A. M.; DITTRICH, R. C. Estudo da longevidade foliar na erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil). 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, 2000. p. 133-136.

GALVÃO, F. **Variação sazonal da fotossíntese líquida e respiração de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Ilex paraguariensis* St. Hil. e *Podocarpus lambertii* Kl. em função da intensidade luminosa e temperatura.** Curitiba, 1986. 116 p. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário Brasileiro da Erva-mate 2000.** Santa Cruz do Sul-RS. Gráfica e Editora Pallotti. 2000. 80 p.

GOULET, F.; BELLEFLEUR, P. Leaf morphology plasticity in response to light environment in deciduous tree species and its implication on forest succession. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.16, n.6, p.1192-1195, 1986.

INOUE, M.T. Bases ecofisiológicas para a silvicultura de espécies nativas. In: A SILVICULTURA DE ESPÉCIES NATIVAS. Curitiba: FUPEF, 1983. p.1-18.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants.** San Diego: Academic Press, 1991. 657 p.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Fisiologia da árvore.** Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1979. 745 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** Editora Pedagógica Universitária Ltda. São Paulo. 1986. 319 p.

LÜTTGE, U. **Physiological Ecology of Tropical Plants.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997. Germany. 384 p.

MAZUCHOWSKI J.Z. Controle de qualidade da erva-mate com vistas a certificação. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1; Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate, 2., 1997,.. Curitiba. **Anais** ... Colombo. EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 99-120. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33).

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, 1997. 27 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; DA CROCE, D. M.; WINGE, H. **Diagnóstico e perspectivas da erva-mate no Brasil**. Chapecó, 1996. 28 p.

MAZUCHOWSKI, J.Z.; RUCKER, N.G.A. **Erva-Mate - Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 1996. 130 p.

MAZUCHOWSKI, J.Z.; RUCKER, N.G.A. **Diagnóstico e alternativas para a erva-mate *Ilex paraguariensis***. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 1993. 141 p.

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

OLIVEIRA, Y.M.M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill), 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Documentos, 15, 1985, p. 17-36.

OLIVER, C.D. & LARSON, B.C. **Forest Stand Dynamics** John Wiley & Sons Inc, 1996, New York. 520 p.

PHILIPPOVSKY, J.F.; MEDRADO, M.J.S.; DEDECEK, R.A. Produtividade da erva-mate (*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, 2000. p. 286-289.

PRAT KRICUN, S.D. Investigacion Agronômica e la Republica Argentina. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., Curitiba, 1983. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1985. p. 82-93.

RACHWAL, M.F.G.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, M.I.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A.. 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. **EMBRAPA-CNPf, Pesquisa em Andamento**, nº 92, nov. 2000, p.1-3.

RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, M.I. Influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes e tanino em folhas de 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, 2000. p. 417-420.

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 SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1; Reunião Técnica do cone Sul sobre a Cultura da erva-mate, 2., 1997,.. Curitiba. **Anais ...** Colombo. EMBRAPA-CNPf, 1997. p. 445. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 33).

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. 1998, p.1-2.

RATES, S.M.K. Metilxantinas. In: FARMACOGNOSIA: DA PLANTA AO MEDICAMENTO. Organizado por: Claudia Maria Oliveira Simões, Eloir Paulo Sckenkel, Grace Gosmann, João Carlos Palazzo de Mello, Lílian Auler Mentz e Pedro Ros Petrovick. Editora da UFSC e Editora da UFRGS. Porto Alegre/Florianópolis. 1ª Edição. 1999. p.723 a 737.

RODIGHERI, H.R.; SCHLOSSNACHER NETO, L.; CICHACZEWSKI, I.F. Custos, produtividade e renda de erva-mate cultivada na região de Guarapuava, PR. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 22 p. **EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica**, 24.

RUCKER, N. G.A. Erva-mate. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 2003. 12 p (**não publicado**).

RUCKER, N. G.A. **Análise do agronegócio da erva-mate**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 1996 a. 38 p.

RUCKER, N. G.A. **Mercomate: cooperação na competitividade**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 1996 b. 48 p.

SANTOS, S.C.; MELLO, J.C.P. Taninos. In: FARMACOGNOSIA: DA PLANTA AO MEDICAMENTO. Organizado por: Claudia Maria Oliveira Simões, Eloir Paulo Sckenkel, Grace Gosmann, João Carlos Palazzo de Mello, Lílian Auler Mentz e Pedro

Ros Petrovick. Editora da UFSC e Editora da UFRGS. Porto Alegre/Florianópolis. 1ª Edição. 1999. p.517 a 544.

SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G.; MONTANHA, J.A.; HEIZMANN, B.M.; ATHAYDE, M.L.; TAKETA, A; PIRES, V.S.; GUILLAUME, D. Saponins from mate (*Ilex paraguariensis*) and other South American Ilex species: Ten years research on Ilex saponins. **Ciência e Cultura**, v.49. n. 5/6, 1997. p.359-363.

SCHREINER, H.G.; BAGGIO, A.J. Sistemas agroflorestais com erva-mate: resultados experimentais. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., Curitiba, 1983. **Anais ...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p. 75-81.

SIMÕES, L.L.; LINO, C.F. (organizadores). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2002. 215 p.

STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHENCK, H.; SCHUMPER, A.F.W. **Tratado de Botânica**. 8ª Edición Castellana. 33ª Edición Alemana actualizada por: SITTE, P.; ZIEGLER, H.; EHRENDORFER, F.; BRESINSKY, A. Ediciones Omega SA, Barcelona, 1994. p. 264-266, 272, 273, 294-296.

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

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

VALDUGA, E.. **Caracterização química e anatômica da folha de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire e de algumas espécies utilizadas na adulteração do mate.** Curitiba, 1995. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 97 p.

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. Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos-CEPPA, UFPR. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.15, n.1, jan/jun 1997.p.25-36.

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

## **SITES**

ANDRADE, F. M. **Diagnóstico da Cadeia Produtiva da *Ilex paraguariensis* St. Hil - Erva-Mate.** Projeto “Inventário dos Recursos Florestais da Mata Atlântica: a exploração e utilização dos recursos, seus impactos sócio-econômicos atuais e potencialidades de manejo sustentável”. Relatório final de consultoria. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 1998. 118 p. Disponível na World Wide Web: <<http://www.unicamp.br/nipe/rbma/ervamate.htm>>. Acesso em: março de 2000.

DA CROCE, D. M.. **Características físico-químicas de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) no Estado de Santa Catarina.** Disponível na World Wide Web: <http://www.epagri.rct-sc.br/ervamate/Modelo.rtf>>. Acesso em: outubro de 2003.

Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR. **Monitoramento Agroclimático do Paraná:** Cartas Climáticas do Paraná. Disponível na World Wide Web:

[http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas\\_Climaticas/Classificacao\\_Climatica.htm](http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm). Acesso em: novembro de 2003.

IMESC/INFOdrogas. **Cafeína**. Disponível na World Wide Web: <<http://www.imesc.sp.gov.br/infodrogas/cafeina.htm>>. Acesso em: novembro de 2003.

PROVENSI, G.; GNOATTO, S.C.B.; SCHENKEL, E.P.; BASSANI, V.L. **Determinação do teor de rutina em soluções extrativas e extratos secos nebulizados de *Ilex paraguariensis* (A. St. Hil.)**. Faculdade de Farmácia- Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Centro de Ciências da Saúde- Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível na World Wide Web: <[http://www.seberi.propesq.ufrgs.br/jornadas2003/arquivos/resumos/GPUFRGS\\_80930387015.doc](http://www.seberi.propesq.ufrgs.br/jornadas2003/arquivos/resumos/GPUFRGS_80930387015.doc)>. Acesso em: novembro de 2003.

VELOSO, E. S. **Extração e Identificação de Cafeína**: Teoria da Prática. Disponível na World Wide Web: <<http://www.lapemm.ufba.br/cafeina.htm>>. Acesso em: novembro de 2002.

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Resultados das Análises de Variância

### Variáveis Biométricas

TABELA A1.1: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ALTURA (H)

Fonte de Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	1733,66	577,89	66,45 *
Resíduo	12	104,36	8,70	
Total	15	1838,02		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{8,70}}{\sqrt{4}} = 1,4745$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 1,4745 = 5,5588$$

TABELA A1.2: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA DIÂMETRO DE COLO ( $\varnothing$ )

Fonte de Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	6,70	2,23	16,20 *
Resíduo	12	1,65	0,14	
Total	15	8,35		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{0,14}}{\sqrt{4}} = 0,1856$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,1856 = 0,6997$$

TABELA A1.3: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA COMPRIMENTO DE RAIZ (CR)

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	35,12	11,71	3,06 ns
Resíduo	12	45,93	3,83	
Total	15	81,05		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. < F tab. = não existe diferença entre os tratamentos ns

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{3,83}}{\sqrt{4}} = 0,9782$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,9782 = 3,6878$$

TABELA A1.4: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA SECA FOLIAR (BF)

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	170,26	56,75	56,64 *
Resíduo	12	12,02	1,00	
Total	15	182,28		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{1,0019}}{\sqrt{4}} = 0,5005$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,5005 = 1,8869$$

TABELA A1.5: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA SECA DE RAMOS E CAULE (BRC)

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	40,11	13,37	35,82 *
Resíduo	12	4,48	0,37	
Total	15	44,59		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{0,3733}}{\sqrt{4}} = 0,3055$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,3055 = 1,1517$$

TABELA A1.6: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA SECA DE RAIZ (BR)

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	125,93	41,98	94,57 *
Resíduo	12	5,33	0,44	
Total	15	131,26		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{0,4439}}{\sqrt{4}} = 0,3331$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,3331 = 1,2558$$

TABELA A1.7: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA SECA TOTAL (BT)

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	826,56	275,52	63,99 *
Resíduo	12	51,67	4,31	
Total	15	878,23		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{4,3057}}{\sqrt{4}} = 1,0375$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 1,0375 = 3,9114$$

TABELA A1.8: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NÚMERO DE FOLHAS (NF)

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	1.701,19	567,06	27,97 *
Resíduo	12	243,25	20,27	
Total	15	1.944,44		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{20,2708}}{\sqrt{4}} = 2,2512$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 2,2512 = 8,4869$$

TABELA A1.9: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CLOROFILA a

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	0,1445	0,0482	2,72 ns
Resíduo	12	0,2120	0,0177	
Total	15	0,3565		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. < F tab. = não existe diferença entre os tratamentos ns

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{0,0177}}{\sqrt{4}} = 0,0665$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,0665 = 0,2507$$

TABELA A1.10: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CLOROFILA b

Fonte Variação	de GL	SQ	QM	F calc.
Tratamento	3	130,2521	43,4174	24,26 *
Resíduo	12	21,4797	1,7900	
Total	15	151,7318		

F tab. (5% probabilidade) = 3,49

F calc. > F tab. = existe diferença em pelo menos dois tratamentos \*

Erro Padrão Médio:

$$S = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\sqrt{n^{\circ} rep}} = \frac{\sqrt{1,7900}}{\sqrt{4}} = 0,6690$$

$$q = \frac{GL_{trat}}{GL_{res}} = \frac{3}{12} = 3,77$$

$$\Delta = q \cdot S = 3,77 \cdot 0,6690 = 2,5221$$

## Anexo 2: Análise do Substrato Utilizado nas Plantas

TABELA A2.1: ANÁLISE DOS MICRO E MACRONUTRIENTES DO SUBSTRATO.

pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	T	P mg/dm <sup>3</sup>	C g/dm <sup>3</sup>	pH SMP	V %
	cmolc/dm <sup>3</sup>									
4,00	4,80	13,10	3,50	1,90	0,79	17,39	2,0	27,3	4,00	24,67

P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al	N (g/kg)
-	-	-	-	12,9	8,2	0,8	0,6	-	-	3,68

Realizado pelos Laboratórios de Nutrição de Plantas, Biologia do Solo e Fertilidade do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

### Anexo 3: Tabelas dos Dados de Medições de Luminosidade por Tratamento

TABELA A3.1: DADOS DE MEDIÇÃO DOS TRATAMENTOS T100, T70 E T30 EM Klux (5 PONTOS DE MEDIÇÃO EM CADA TRATAMENTO).

Pontos de Medição	Medição em Klux								
	T100			T50			T25		
	9:00 horas*	14:05 horas**	17:30 horas**	9:05 horas	14:10 horas	17:35 horas	9:10 horas	14:15 horas	17:40 horas
1	32,00			14,00	96,00	35,00	8,60	42,00	10,60
2	30,00			16,60	94,00	44,00	8,60	42,00	22,00
3	30,00	172,00	66,00	16,00	94,00	28,00	8,60	48,00	18,00
4	29,00			17,60	84,00	35,00	9,60	44,00	18,00
5	30,00			18,00	84,00	40,00	9,40	44,00	13,00
Média	30,20	172,00	66,00	16,44	90,40	36,40	8,96	44,00	16,32

\* Com nebulosidade

\*\* Sem nebulosidade

TABELA A3.2: DADOS DE MEDIÇÃO DO TRATAMENTO TBr EM Klux. Horário: 8:25 horas à 8:35 horas (MEDIÇÃO EM TODAS AS PLANTAS DO TRATAMENTO).

Medidas em Klux – Média: 2,07 Klux*									
1.	2,10	11.	2,60	21.	2,25	31.	2,85	41.	2,10
2.	2,00	12.	2,40	22.	2,30	32.	3,90	42.	2,30
3.	2,05	13.	2,15	23.	1,80	33.	2,60	43.	1,85
4.	2,00	14.	1,95	24.	2,05	34.	2,50	44.	1,95
5.	1,95	15.	1,90	25.	2,10	35.	2,40	45.	1,70
6.	2,25	16.	1,70	26.	1,95	36.	2,60	46.	1,50
7.	2,25	17.	1,65	27.	1,95	37.	2,55	47.	1,50
8.	1,95	18.	1,70	28.	1,90	38.	2,25	48.	1,65
9.	1,95	19.	1,75	29.	1,70	39.	2,25	49.	1,75
10.	2,05	20.	1,65	30.	1,55	40.	2,10	50.	1,60

\* Com nebulosidade

Variação nas leituras do luxímetro em função da luz difusa pela folhagem das árvores: de 1,50 a 3,90 Klux

TABELA A3.3: DADOS DE MEDIÇÃO DO TRATAMENTO TBr EM Klux. Horário: 14:35 horas à 14:50 horas (MEDIÇÃO EM TODAS AS PLANTAS DO TRATAMENTO).

Medidas em Klux - Média 21,43 lux**									
1.	80,00	11.	5,00	21.	13,00	31.	3,00	41.	32,00
2.	100,00	12.	20,00	22.	7,00	32.	10,00	42.	7,00
3.	70,00	13.	3,40	23.	4,00	33.	3,60	43.	20,00
4.	20,00	14.	30,00	24.	32,00	34.	3,20	44.	80,00
5.	30,00	15.	6,00	25.	2,90	35.	8,00	45.	20,00
6.	3,00	16.	4,00	26.	2,80	36.	2,90	46.	2,70
7.	2,40	17.	20,00	27.	3,60	37.	8,00	47.	15,00
8.	2,20	18.	42,00	28.	10,00	38.	70,00	48.	2,80
9.	40,00	19.	19,00	29.	24,00	39.	80,00	49.	40,00
10.	18,00	20.	3,20	30.	20,00	40.	22,00	50.	3,80

\*\* Sem nebulosidade

Variações nas leituras do luxímetro em função da luz difusa pela folhagem das árvores: de 2,20 a 100,00 Klux

TABELA A3.4: DADOS DE MEDIÇÃO DO TRATAMENTO TBr EM Klux. Horário: 17:00 horas à 17:15 horas (MEDIÇÃO EM TODAS AS PLANTAS DO TRATAMENTO).

Medidas em Klux - Média: 3,58 Klux**				
1. 2,40	11. 2,20	21. 1,80	31. 1,80	41. 1,80
2. 2,80	12. 2,00	22. 2,40	32. 12,00	42. 2,20
3. 2,80	13. 1,80	23. 9,00	33. 5,20	43. 1,90
4. 2,40	14. 1,80	24. 9,00	34. 1,80	44. 2,40
5. 2,40	15. 4,80	25. 1,80	35. 2,80	45. 2,40
6. 5,00	16. 2,40	26. 4,20	36. 1,80	46. 2,00
7. 2,40	17. 2,00	27. 9,60	37. 1,80	47. 2,40
8. 5,40	18. 1,80	28. 2,20	38. 1,70	48. 3,00
9. 1,80	19. 1,80	29. 2,40	39. 2,40	49. 10,00
10. 2,00	20. 2,20	30. 1,54	40. 4,80	50. 16,00

\*\* Sem nebulosidade

Variações nas leituras do luxímetro em função da luz difusa pela folhagem das árvores: de 1,54 a 16,00 Klux

#### Anexo 4: Disposição dos Tratamentos em Campo



FIGURA A4.1: DISPOSIÇÃO E ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NO TRATAMENTO T100.



FIGURA A4.2: DISPOSIÇÃO E ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NO TRATAMENTO T50.



FIGURA A4.3: DISPOSIÇÃO E ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NO TRATAMENTO T25.



FIGURA A4.4: DISPOSIÇÃO E ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NO TRATAMENTO TBt.

## Anexo 5: Aspectos do Desenvolvimento das Plantas por Tratamento



FIGURA A5.1: ASPECTO DO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA NO TRATAMENTO T100.



FIGURA A5.2: ASPECTO DO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA NO TRATAMENTO T50.



FIGURA A5.3: ASPECTO DO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA NO TRATAMENTO T25.



FIGURA A5.4: ASPECTO DO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA NO TRATAMENTO TBr.