

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

Chakira Londero

**COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS E PIGMENTOS EM PLANTAS DE
ERVA-MATE CULTIVADAS NO RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2024

Chakira Londero

**COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS E PIGMENTOS EM PLANTAS DE ERVA-
MATE CULTIVADAS NO RIO GRANDE DO SUL**

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

Orientador: Prof. Dilson Antônio Bisognin, PhD.

Santa Maria, RS
2024

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Londero, Chakira
COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS E PIGMENTOS EM PLANTAS DE
ERVA-MATE CULTIVADAS NO RIO GRANDE DO SUL / Chakira
Londero.- 2024.
54 p.; 30 cm

Orientador: Dilson Antônio Bisognin
Coorientadora: Maristela Machado Araujo
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2024

1. Ilex paraguariensis 2. Compostos fenólicos totais
3. Flavonóides 4. Clorofilas 5. Carotenóides I. Bisognin,
Dilson Antônio II. Araujo , Maristela Machado III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, CHAKIRA LONDERO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Chakira Londero

**COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS E PIGMENTOS EM PLANTAS DE ERVA-
MATE CULTIVADAS NO RIO GRANDE DO SUL**

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

Aprovada em 26 de fevereiro de 2024.

Dilson Antônio Bisognin, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Claudia Kaehler Sautter, Dra. (UFSM)

Kelen Haygert Lencina, Dra. (UFSC)

Santa Maria, RS
2024

**A minha família, em especial aos meus pais, Helio e Ivone,
com todo meu amor e gratidão,
vocês são meu eterno porto seguro.
Dedico.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, por ser fonte inesgotável de amor e força, por iluminar meu caminho e ser fonte de consolo em dias difíceis e por abençoar a minha vida com tantas pessoas maravilhosas, tornando cada etapa especial.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dilson Antônio Bisognin, pela orientação, apoio, ensinamentos transmitidos e pela confiança em mim depositada. Por abrir as portas do Núcleo de Melhoramento e Propagação Vegetativa de Plantas (MPVP) e me fazer sentir em casa.

Ao Prof. Dr. Nilton Mantovani, por ser o intermediário para a realização deste sonho, pelo incentivo, apoio e amizade demonstrados durante a graduação e mesmo após ela e por despertar em mim o interesse pela pesquisa.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), pela contribuição em minha formação acadêmica. Sinto-me muito orgulhosa e grata em fazer parte desta instituição.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de apoio financeiro, possibilitando a realização desta pesquisa.

A banca examinadora, Dr^a Kelen Haygert Lencina e Dr^a Claudia Kaehler Sautter, pela disponibilidade e contribuições para este trabalho.

A Dr^a Thaise da Silva Tonetto, pela paciência, carinho e amizade desenvolvidos durante o auxílio nos experimentos, sua contribuição foi valiosíssima.

Aos colegas e amigos do MPVP Alissa Frigotto, Elisane Kralik, Antônio Lunkes, Jacson Librelotto, Gabriel Lopes, Mariana Schopf, Paola Becker, Debora Pozzebon, Thayna Ferreira e Maria Eduarda Boemo pela amizade desenvolvida.

Um agradecimento especial às minhas queridas amigas Larissa Bittencourt, Rutiele do Nascimento, Marcia Calegare e Denise Gazzana, pela amizade, pelos momentos de descontração, pelos conselhos e conversas, pelo auxílio no decorrer do mestrado, por fazerem parte de todo este trajeto, me mantendo forte quando não acreditava mais em mim e por fazerem meus dias mais leves e alegres.

A Larissa Bittencourt, por todas as palavras de carinho e incentivo, por não medir esforços no auxílio deste trabalho, sua contribuição foi essencial e sua amizade é valiosíssima.

A Maria Gabrieli Krug Dorneles, pela amizade desenvolvida no decorrer destes dois anos dividindo apartamento.

Ao Marcelo Menezes e Mateus Milani, pelo auxílio na confecção dos mapas.

De forma especial a minha querida e amada família, meus pais Helio e Ivone, aos meus irmãos Micheli, Thays e Patrik e ao meu sobrinho Arthur, pelo amor, carinho, confiança, incentivo e apoio, por serem meus pilares quando comecei a fraquejar e por compreenderem a minha ausência enquanto estava em busca dos meus sonhos. Essa conquista é nossa. Amo vocês.

A todos meus familiares e amigos que, mesmo não mencionados, contribuíram direta ou indiretamente com a realização de mais esta etapa, jamais chegaria tão longe se não tivesse cada um de vocês comigo.

Meus mais sinceros agradecimentos!

RESUMO

COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS E PIGMENTOS EM PLANTAS DE ERVA-MATE CULTIVADAS NO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Chakira Londero
ORIENTADOR: Dilson Antônio Bisognin

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) é uma espécie arbórea, nativa do continente americano, com maior ocorrência na Argentina, Brasil e Paraguai. Apresenta grande destaque cultural, ambiental e socioeconômico. As folhas apresentam diversos compostos bioativos, que conferem benefícios à saúde. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de fitoquímicos e pigmentos em plantas de erva-mate cultivadas no Rio Grande do Sul. Foram coletadas amostras foliares de indivíduos adultos de erva-mate em 35 unidades de produção, distribuídas nos cinco polos ervateiros (Nordeste Gaúcho, Missões/Celeiro, Alto Uruguai, Região dos Vales e Alto Taquari). As folhas coletadas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até que atingissem massa constante e após trituradas em moinho de facas e peneiradas. Para o preparo do extrato foi pesado 1 g de amostra, que foi dissolvida em 50 ml de álcool 70%. Os polifenóis totais foram analisados pelo método de Folin Ciocalteu. As leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível, em comprimento de onda de 765 nm para os polifenóis totais e em comprimento de onda de 510 nm para os flavonóides totais. Para a determinação das clorofilas *a*, *b* e totais e dos carotenóides totais, o extrato foi diluído na proporção de 1:20 (v/v extrato:solução extratora acidificada). As absorvâncias das soluções foram lidas nos comprimentos de onda 647, 663 e 470 nm, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5%. Houve diferença significativa entre os polos ervateiros para os compostos fenólicos totais (de 181,82 a 1186,57* mg EAG.L⁻¹), flavonóides totais (de 5090,96 a 5660,80* mg CAT.L⁻¹), e para as clorofilas totais, *a* e *b*, enquanto para carotenóides não foi observada diferença significativa entre os polos. As concentrações de clorofila *b* foram superiores às encontradas para clorofila *a*, em todos os polos. De maneira geral, os polos que mais se destacaram foram Nordeste Gaúcho e Região dos Vales. Os resultados deste trabalho mostram que as condições de cultivo características dos polos de cultivo de erva-mate no Rio Grande do Sul, resultam em diferentes concentrações de fitoquímicos e pigmentos nas folhas, sendo possível a identificação de alguns indivíduos que apresentam maior potencial comercial, visando a produção de produtos específicos.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*. Compostos fenólicos totais. Flavonóides. Clorofilas. Carotenóides.

ABSTRACT

COMPOSITION OF PHYTOCHEMICALS AND PIGMENTS IN MATE PLANTS CULTIVATED IN THE RIO GRANDE DO SUL STATE

AUTHOR: Chakira Londero

ADVISOR: Dilson Antônio Bisognin

Mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) is a tree species, native to the American continent, with greater occurrence in Argentina, Brazil, and Paraguay. It has great cultural, environmental, and socioeconomic prominence. The leaves contain several bioactive compounds, which provide health benefits. The objective of this work was to evaluate the levels of phytochemicals and pigments in mate plants cultivated in the Rio Grande do Sul state. Leaf samples were collected from adult mate plants in 35 production units, distributed in the five recognized production regions (Nordeste Gaúcho, Missões/Celeiro, Alto Uruguai, Região dos Vales, and Alto Taquari). The collected leaves were dried in an oven with forced air circulation at 65°C, until they reached a constant mass, and then crushed in a knife mill and sieved. To prepare the extract, 1g of the sample was weighed and dissolved in 50 ml of 70% alcohol solution. Total polyphenols were analyzed using the Folin Ciocalteu method. Absorbance readings were performed on a UV-visible spectrophotometer, at a wavelength of 765 nm for total polyphenols, and at a wavelength of 510 nm for total flavonoids. To determine chlorophylls *a*, *b* and total, and total carotenoids, the extract was diluted in a ratio of 1:20 (v/v extract: acidified extracting solution) and the absorbances were read at wavelengths 647, 663 and 470 nm, respectively. The data were subjected to analysis of variance and the means compared using the Scott-Knott test, at a level of 5%. There were significant differences among production regions for total phenolic compounds (from 181.82 to 1186.57* mg EAG.L⁻¹), total flavonoids (from 5090.96 to 5660.80* mg CAT.L⁻¹), and for total chlorophyll, and chlorophylls *a* and *b*, while for carotenoids, no significant difference was observed. Chlorophyll *b* concentrations were higher than those found for chlorophyll *a* considering all production regions. In general, the Nordeste Gaúcho and Região dos Vales stood out the most among the production regions. The results of this work show that the conditions of the mate cultivation regions of the Rio Grande do Sul State result in different concentrations of phytochemicals and pigments in the leaves, indicating the possibility of identifying some individuals that have greater commercial potential, aiming to the production of specific products.

Keywords: *Ilex paraguariensis*. Total phenolic compounds. Flavonoids. Chlorophylls. Carotenoids.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (A) Árvore adulta; (B) folhas e flores; (C) frutos; e (D) sementes 16
- Figura 2 – Área de distribuição natural da *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil no Brasil 18
- Figura 3 – Distribuição dos polos ervateiros do Rio Grande do Sul 22
- Figura 4 – Dados de produção da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) para o estado do Rio Grande do Sul do ano de 2009 a 2022 23
- Figura 5 – Esquema com os principais fatores que podem influenciar no acúmulo de metabólitos secundários em plantas 27
- Figura 6 – (A) Diagrama de representação e disposição bidimensional, mostrando a variação de a^* e b^* , e as coordenadas de C^* . (B) Diagrama representando o espaço de cores CIELAB e de L^* 28
- Figura 7 – Distribuição geográfica das propriedades onde foram realizadas as coletas das amostras foliares de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. nos Polos Ervateiros do Rio Grande do Sul 30
- Figura 8 – Dados de precipitação total mensal (mm), com média de 15 anos, no intervalo de 2008 a 2023 para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul 36
- Figura 9 – Dados de Temperatura Média Mensal (°C) com média de 15 anos, no intervalo de 2008 a 2023 para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul 36
- Figura 10 – Dados de Vento, Velocidade Média Mensal (Km/h) com média de 15 anos, no intervalo de 2008 a 2023 para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul 37
- Figura 11 – Dendrograma de distância Euclidiana obtido pelo método UPGMA para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul [Nordeste Gaúcho (NG), Missões/Celeiro (MC), Alto Uruguai (AU), Região dos Vales (RV) e Alto Taquari (AT)] com base nos teores de fitoquímicos, pigmentos e cor de extratos das folhas coletadas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) = 0,7847344
- Figura 12 – Dendrograma de distância Euclidiana através do método UPGMA, para os diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul, separada por unidades de produção dentro de cada polo ervateiro [Nordeste Gaúcho (NG), Missões /Celeiro (MC), Alto Uruguai (AU), Região dos Vales (RV) e Alto Taquari (AT)] com base nos teores de fitoquímicos, pigmentos e cor em extratos de amostras de folhas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) = 0,7816 .45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os principais municípios produtores dos Polos ervateiros do Estado do Rio Grande do Sul.....	21
Tabela 2 – Dados de produção nacional de <i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil. para o ano de 2022	24
Tabela 3 – Valores de fitoquímicos (polifenóis totais e flavonoides totais) extraídos das folhas de <i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil. coletadas nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul	38
Tabela 4 – Valores dos pigmentos (mg g^{-1}) extraídos das folhas de <i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil. coletadas nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul.....	39
Tabela 5 – Valores dos fitoquímicos (compostos fenólicos totais e flavonóides) e pigmentos (clorofila <i>a</i> e <i>b</i> , clorofila total e carotenóides) extraídos das folhas de <i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil. nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul, separadas por unidades de produção (U.P) dentro de cada polo ervateiro do RS .	41
Tabela 6 – Correlação de Pearson entre compostos fenólicos totais (C.F. Totais), flavonóides totais (Flav. Totais), clorofila <i>a</i> (Cl. <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Cl. <i>b</i>), clorofilas totais (Cl. Totais), carotenóides totais (Carot. Totais), luminosidade (L), índice de saturação ou croma [IS (C*)] avaliados em extratos de folhas de <i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil. coletadas nos cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	16
3.2	POLOS ERVATEIROS DO RIO GRANDE DO SUL.....	20
3.3	COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS EM PLANTAS.....	25
3.3.1	Diferenças ambientais que afetam os metabólitos secundários.....	26
3.4	COLORIMETRIA.....	28
3.4.1	Clorofilas e carotenóides.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1	COLETA DAS AMOSTRAS.....	30
4.2	PREPARO DOS EXTRATOS DE ERVA-MATE	31
4.2.1	Determinação dos compostos fenólicos totais	31
4.2.2	Determinação dos flavonoides totais.....	32
4.2.3	Determinação das clorofilas <i>a</i>, <i>b</i> e totais e carotenóides totais.....	32
4.2.4	Determinação instrumental de cor.....	32
4.3	DADOS METEOROLÓGICOS.....	33
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6	CONCLUSÕES.....	46
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), pertencente à família Aquifoliaceae, é uma espécie arbórea nativa e endêmica do continente americano (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2016), tendo maior ocorrência no Brasil, Paraguai e Argentina. Apresenta grande destaque cultural, ambiental e socioeconômico, sendo suas folhas muito apreciadas para consumo em infusões quente ou gelada, na forma de chás, chimarrão ou tererê, além de ser apreciada como bebida tônica e estimulante. Atualmente, vem sendo também muito utilizada pelas indústrias farmacêutica, terapêutica e nutracêutica (DALLABRIDA et al., 2016).

As folhas da erva-mate apresentam substâncias com diversos compostos bioativos, como, por exemplo, os compostos fenólicos, que conferem inúmeros benefícios à saúde (CHAICOUSKI; LAZZAROTTO, 2021; POTRICKOS, et al., 2013; SCALBERT e WILLIAMSON, 2000). Assim, é de suma importância os estudos que quantifiquem e qualifiquem esses compostos, não só pela importância e o consumo da erva-mate, mas principalmente pelo aumento da demanda e utilização das suas folhas, além da tradicional confecção de chás e bebidas estimulantes, mas na ampliação de mercado, na produção de alimentos e cosméticos, devido às suas propriedades medicinais (SOUZA; LORENZI, 2019). Nos tecidos das plantas também são encontradas as clorofilas, que apresentam importância comercial, como corantes ou como antioxidantes, e os carotenóides (EFING, 2008), que estão relacionados ao efeito antioxidante e anti-inflamatório (NEUNFELD, 2022).

No início do século XIX atingiu o segundo lugar em relação aos produtos mais exportados pelo Brasil (WENDLING; DUTRA; GROSSI., 2007) e ainda apresenta grande importância na conservação da Mata Atlântica (DOMINGUES et al., 2019). Ao longo dos anos, na área florestal, é notável a diminuição de matéria-prima de qualidade (SILVEIRA; SCHULTZ, 2019), além do aumento na demanda por produtos florestais não madeireiros, como a erva-mate (XAVIER; SILVA, 2010), sendo assim de grande necessidade a produção de matéria-prima que apresente características desejáveis.

O Rio Grande do Sul (RS) hoje é um dos maiores produtores de erva-mate, com cerca de 36% da produção nacional (IBGE, 2022), presente em 206 municípios do Estado. Nesse Estado, a produção da erva-mate está dividida em cinco polos: Missões/Celeiro, Alto Uruguai, Nordeste Gaúcho, Alto Taquari e Região dos Vales, que devido seus potenciais de produção, turísticos e especificidades de cada polo, conferem maior valorização, qualidade e organização produtiva da erva-mate (SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO, 2020). Por sua relevância, em 1980 a erva-mate foi

consagrada como sendo a árvore símbolo do Estado do Rio Grande do Sul (Lei nº 7.439) (RIO GRANDE DO SUL, 1980), em 2003, o chimarrão foi considerado como sua bebida típica (Lei nº 11.929) (RIO GRANDE DO SUL, 2003) e, em 2023, foi nomeada como o primeiro patrimônio cultural imaterial do Estado (SECRETARIA DA CULTURA - RS, 2023).

Desta forma, a relevância do presente trabalho se dá diante da restrita disponibilidade de informações referentes a quantificação de compostos fitoquímicos e pigmentos presentes em plantas de erva-mate cultivadas nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul. Com isso, será possível analisar a existência e extensão das variações entre unidades de produção e polos ervateiros e inferir sobre as relações entre as variações dos compostos fitoquímicos e dos pigmentos com alguma condição de cultivo de erva-mate.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores de fitoquímicos e pigmentos em plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) cultivadas nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

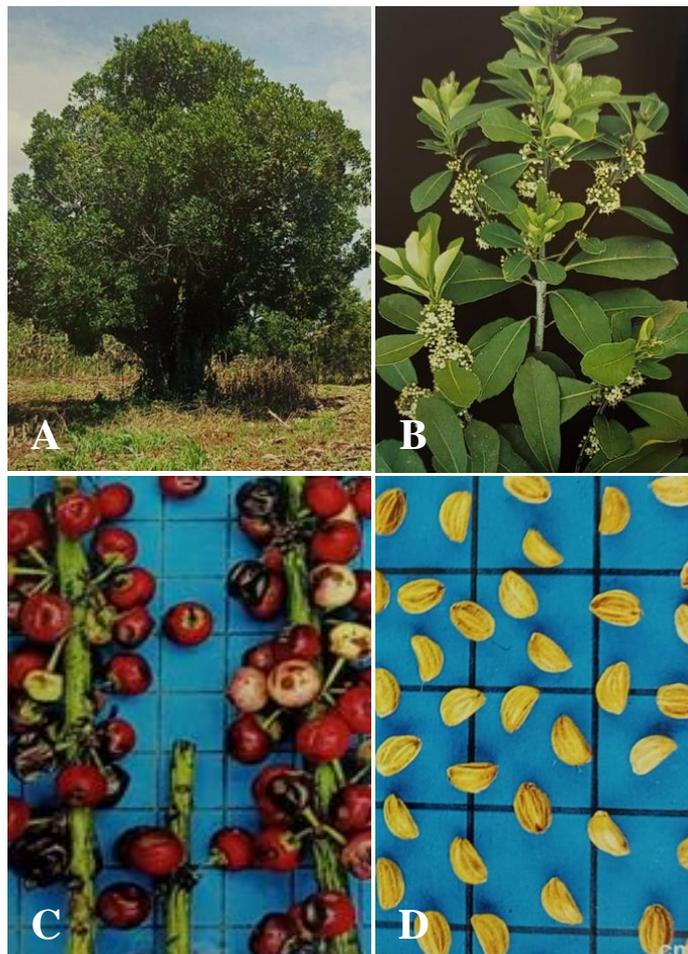
- i) Quantificar e analisar a variação nos teores de fitoquímicos em folhas de plantas de erva-mate cultivadas no Rio Grande do Sul;
- ii) Quantificar e analisar a variação nos teores de pigmentos em folhas de plantas de erva-mate cultivadas no Rio Grande do Sul;
- iii) Analisar a variação nos teores de fitoquímicos e de pigmentos entre unidades de produção e polos ervateiros no Rio Grande do Sul.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

A *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil, popularmente conhecida como erva-mate (Figura 1), foi classificada pelo viajante e pesquisador francês Auguste de Saint-Hilaire (1779-1853) no início do século XIX (GERHARDT, 2013) e o material da espécie está registrado no Herbário do Museu de Paris (BRUXEL et al., 2018). Pertencente à família Aquifoliaceae, a planta apresenta porte arbóreo, podendo variar de arvoreta a árvore perenifólia, com grande longevidade. Apresenta altura que varia de 3 a 5 metros quando cultivada, podendo alcançar 30 metros de altura em florestas. Seu tronco é reto e de coloração acinzentada, com diâmetro a altura do peito (DAP) de 20 a 40 cm quando cultivada e podendo atingir até 70 cm em áreas de mata (CABRAL et al., 2018; CARVALHO, 2003; LORENZI, 2016).

Figura 1– *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (A) Árvore adulta; (B) folhas e flores; (C) frutos; e (D) sementes



Fonte: Adaptado de Lorenzi (2008).

Possui folhas simples e alternas, com coloração verde-escura na parte superior e mais clara na parte inferior, com margem irregular serrilhada ou dentada (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2016; REITZ et al, 1983). Dependendo do local de ocorrência da planta, o tamanho das folhas é variável, podendo apresentar folhas maiores no interior da mata e menores a pleno sol, devido a menor intensidade de luz (DA COSTA et al., 2005). Também pode apresentar diferente morfotipos, ou seja, alguns órgãos específicos podem ter pequenas diferenças de uma planta para outra dentro da mesma espécie, o que pode refletir em diferenças na quantidade de compostos químicos, como cafeína, teobromina e taninos (WENDLING; SANTIN, 2014).

A erva-mate é uma espécie dióica, tendo, assim, fecundação cruzada. Suas flores são de coloração branca e tamanho pequeno. Os frutos do tipo drupa globosa ou oval, glabras e de coloração vermelha a púrpura quando maduros, e, praticamente todos os frutos comportam quatro sementes (BACKES; IRGANG, 2002; CABRAL et al., 2018; CARVALHO, 2003; LORENZI, 2016; REITZ et al, 1983; STURION; RESENDE, 2010). As sementes apresentam dormência múltipla, sendo necessária estratificação, cujo processo tradicionalmente utilizado é em areia, o qual pode durar até seis meses (DICKEL; RITTER; BARROS, 2011; LORENZI, 2016). A eficácia da estratificação está relacionada com as tensões de oxigênio, umidade e temperatura (CUNHA; FERREIRA, 1987), além do tempo de maturação do embrião (FERREIRA, A., 1997).

É considerada uma espécie clímax e esciófita, ou seja, aceita sombreamento durante o desenvolvimento, com maior tolerância à luz na fase adulta. O período de floração ocorre de setembro a dezembro, mais marcante em outubro. A polinização é basicamente entomófila, sem especificidade de polinizadores. A maturação dos frutos ocorre de janeiro a abril, dependendo da localidade pode se prolongar até maio, com heterogeneidade na maturação fisiológica. A dispersão é zoocórica, comumente realizada por pássaros (DICKEL; RITTER; BARROS, 2011; LORENZI, 2016; PIRES, E. et al., 2014).

Segundo os critérios da Botânica, a erva-mate é uma planta endêmica do continente americano, com ocorrência natural na Argentina, Paraguai e Brasil (OLIVEIRA; ROTTA, 1985). Também, foi registrada sua ocorrência no Equador, Colômbia, Bolívia, Peru e Uruguai (DICKEL; RITTER; BARROS, 2011).

No Brasil, ocorre em regiões de Floresta Ombrófila Mista Montana e Altomontana e Floresta Estacional Semidecidual, geralmente em associação com *Araucaria angustifolia* (MARTINS-RAMOS et al., 2011; OLIVERIA; ROTTA, 1985), podendo também ocorrer em matas ciliares e campos rupestres (CABRAL et al., 2018; FLORA DO BRASIL, 2020). As áreas confirmadas de ocorrência no Brasil são: Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, com

distribuição majoritariamente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul, e com alguns relatos de ocorrência nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Distrito Federal e Bahia (Figura 2) (FLORA DO BRASIL, 2020; LORENZI, 2016). Ocorre de forma natural nas matas de altitude (400 a 800 m), em solos de baixa fertilidade, normalmente com baixos teores de cátions trocáveis, altos teores de alumínio e pH ácido, não sendo recomendado o seu plantio em solos úmidos não permeáveis, prefere-se que seu plantio seja feito em solos de profundidade média a profundo, com sua textura variando de franca a argilosa (CARVALHO, 2003; DA CROCE, 2000; OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

Figura 2 – Área de distribuição natural da *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil no Brasil



Fonte: Flora do Brasil (2024).

A erva-mate possui utilização histórica pelos povos indígenas, chamada de “cangoy” (o que alimenta), os quais faziam uso de suas folhas para o preparo de bebidas. Desde a colonização da América do Sul, após a sua identificação, a sua abundância e a sua elevada apreciação, teve início a exploração e produção da espécie pelos colonizadores espanhóis, uso este que se perpetua até a atualidade (GERHARDT, 2013; MACCARI JUNIOR; SANTOS, 2000; WACHOWICZ, 1972). Atualmente tem-se uma ampla utilização das suas folhas e ramos, para o preparo de chás e bebidas estimulantes, além de outros produtos, como a produção de

balas e sorvetes, entre tantos outros usos no ramo alimentício (MEDRADO, 2003; SOUZA; LORENZI, 2019).

A produção de cosméticos também tem gerado grande interesse, principalmente pelos seus inúmeros benefícios e propriedades medicinais, principalmente pela atividade antioxidante, presença de cafeína, teobromina, metilxantinas, vitaminas, ácido fólico, entre outros (GNOATTO et al., 2007; PIRES, D. et al., 2016; SCHINELLA et al., 2000; VALDUGA et al., 2016). No entanto, assim como outras plantas medicinais, deve ser utilizada com moderação, devido a riscos toxicológicos (SAMPAIO et al., 2012). Outros usos são relatados para a espécie, como ornamental, plantios de recuperação de áreas degradadas, sistemas agroflorestais, que além de se obter benefícios ambientais, pode-se aliar a fins econômicos (LORENZI, 2016; MARQUES; REIS; DENARDIN, 2019). Devido a todas características, funcionalidade e grande utilização da erva-mate, se trata de uma espécie com elevada importância na sociedade, de forma cultural e histórica, ambiental e, principalmente, econômica (MARQUES; REIS; DENARDIN, 2019).

Pela importância socioeconômica da erva-mate, somente no Brasil, a espécie está inserida em aproximadamente 180 mil propriedades rurais, na sua grande maioria de pequenos produtores, reunindo cerca de 600 empresas e 700 mil empregos (CHECHI et al., 2017, RESENDE et al., 2000). Além disso, está fortemente ligada à cultura, à história e à tradição de parte de sua população, principalmente na região Sul, onde é responsável pela maior parte de sua produção (ZANIN; MEYER, 2018). Suas folhas e ramos finos são o principal produto comercializado, servindo de matéria-prima na produção de bebidas. Ainda apresenta potencial de comercialização de alimentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, na área da saúde, entre outros (DALLABRIDA et al., 2016), além de apresentar diversos compostos que podem influenciar no metabolismo humano (CASTALDELLI et al., 2011). Além disso, devem ser considerados os benefícios fornecidos para a conservação dos remanescentes florestais, do solo e da água, principalmente com os relatos atuais de desmatamentos e fragmentações florestais. Assim, a sensação de satisfação histórica e cultural das famílias que produzem erva-mate está além do lucro, incluindo o orgulho, a tradição familiar, a manutenção do pequeno produtor no meio rural, a geração de empregos, o desenvolvimento de tecnologias e da própria cadeia produtiva e a expansão de mercado demonstram, de fato, a enorme importância da cultura. E, mesmo que sejam grandes os desafios, e por tamanha potencialidade e importância, tem-se um amplo grupo de pesquisadores e produtores que estão sempre em busca de melhorias para a espécie, com o aumento de pesquisas e programas de extensão rural, melhores formas de

manejos e formação de clones superiores para produção e utilização, além de incentivos, que agregam funções sociais, ecológicas e econômicas.

3.2 POLOS ERVATEIROS DO RIO GRANDE DO SUL

A erva-mate está presente em 206 municípios do Rio Grande do Sul, por meio de ervais plantados ou nativos, e de seu potencial turístico, sendo organizada em cinco polos ervateiros, os quais estão identificados como: Polo Missões/Celeiro (com sede em Palmeira das Missões), Polo Alto Uruguai (com sede em Erechim), Polo Nordeste Gaúcho (com sede em Machadinho), Polo Alto Taquari (com sede em Ilópolis) e Polo Região dos Vales (com sede em Venâncio Aires) (Tabela 1; Figura 3).

Tabela 1 – Os principais municípios produtores dos Polos ervateiros do Estado do Rio Grande do Sul

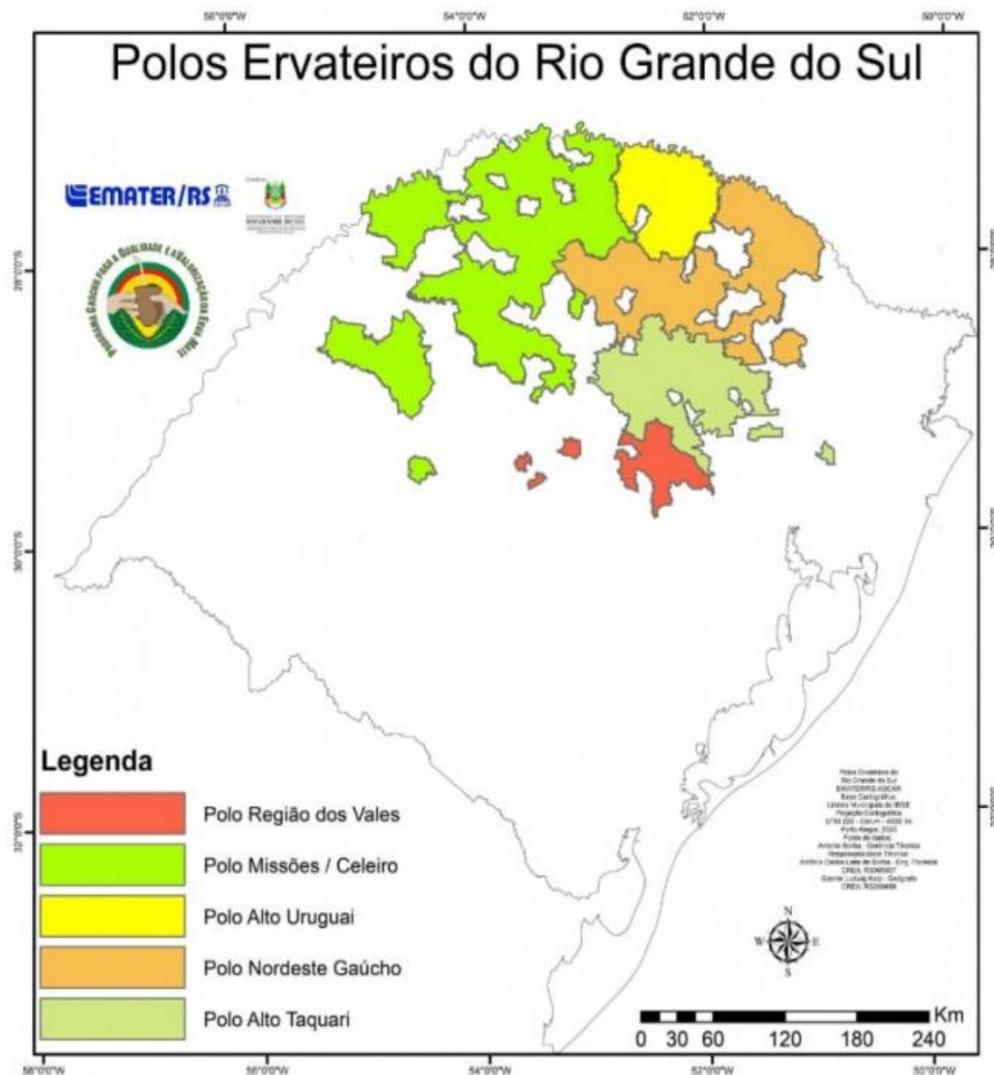
Polos Ervateiros	Principais Municípios
Alto Taquari	Anta Gorda, Arvorezinha, Barros Cassal, Bento Gonçalves, Camargo, Canudos do Vale, Capitão, Carlos Barbosa, Coqueiro Baixo, Cotiporã, Cruzeiro do Sul, Dois Lajeados, Doutor Ricardo, Encantado, Fagundes Varela, Fontoura Xavier, Forquetinha, Gramado Xavier, Guaporé, Ibirapuitã, Ilópolis, Itapuca, Marques de Souza, Montauri, Monte Belo do Sul, Muçum, Nicolau Vergueiro, Nova Alvorada, Nova Bassano, Nova Brésia, Pouso Redondo, Progresso, Putinga, Relvado, Roca Sales, Santa Clara do Sul, Santa Maria do Herval, Santa Tereza, São José do Herval, São Valentin do Sul, Serafina Corrêa, Sério, Soledade, Tio Hugo, União da Serra, Veranópolis, Vespasiano Correa, Vista Alegre do Prata.
Nordeste Gaúcho	Água Santa, André da Rocha, Barracão, Cacique Doble, Capão Bonito do Sul, Casca, Caseiros, Ciríaco, Coxilha, Esmeralda, Gentil, Guabiju, Ibiaçá, Ibirairaras, Lagoa Vermelha, Machadinho, Marau, Mato Castelhana, Maximiliano de Almeida, Muliterno, Nova Araçá, Nova Prata, Paim Filho, Paraí, Passo Fundo, Pinhal da Serra, Santa Cecília do Sul, Santo Antônio do Palma, Santo Expedito do Sul, São Domingos do Sul, São João da Urtiga, São José do Ouro, Tapejara, Tupanci do Sul, Vanini, Vila Maria.
Alto Uruguai	Aratiba, Áurea, Barão de Cotegipe, Barra do Rio Azul, Benjamin Constant do Sul, Campinas do Sul, Carlos Gomes, Centenário, Charrua, Cruzaltense, Entre Rios do Sul, Erebangó, Erechim, Erval Grande, Estação, Faxinalzinho, Floriano Peixoto, Gaurama, Getúlio Vargas, Ipiranga do Sul, Itatiba do Sul, Jacutinga, Marcelino Ramos, Mariano Moro, Paulo Bento, Ponte Preta, Quatro Irmãos, São Valentin, Sertão, Severiano de Almeida, Três Arroios, Viadutos.
Missões/Celeiro	Ajuricaba, Alecrim, Alegria, Almirante Tamandaré do Sul, Alpestre, Ametista do Sul, Augusto Pestana, Barra Funda, Boa Vista das Missões, Boa Vista do Cadeado, Bom Progresso, Bossoroca, Bozano, Braga, Caiçara, Campina das Missões, Campo Novo, Cândido Godói, Carazinho, Catuípe, Chiapetta, Colorado, Condor, Constantina, Coqueiros do Sul, Coronel Barros, Coronel Bicaco, Cristal do Sul, Cruz Alta, Doutor Maurício Cardoso, Engenho Velho, Ernestina, Erval Seco, Fortaleza dos Valos, Frederico Westphalen, Gramado dos Loureiros, Horizontina, Humaitá, Ijuí, Inhacorá, Jaboticaba, Jóia, Lagoa dos Três Cantos, Lajeado do Bugre, Liberato Salzano, Não-Me-Toque, Nonoai, Nova Boa Vista, Nova Candelária, Nova Ramada, Novo Barreiro, Novo Machado, Novo Xingu, Palmeira das Missões, Palmitinho, Panambi, Pinheirinho do Vale, Planalto, Pontão, Porto Lucena, Porto Mauá, Quinze de Novembro, Redentora, Rio dos Índios, Rodeio Bonito, Ronda Alta, Rondinha, Sagrada Família, Saldanha Marinho, Santa Rosa, Santo Antônio do Planalto, Santo Augusto, Santo Cristo, São José das Missões, São Martinho, São Pedro das Missões, São Valério do Sul, Sarandi, Seberi, Senador Salgado Filho, Taquaruçu do Sul, Tenente Portela, Três de Maio, Três Palmeiras, Três Passos, Trindade do Sul, Tucunduva, Tuparendi, Ubiretama, Vicente Dutra, Victor Graeff, Vista Alegre.
Região dos Vales	Boqueirão do Leão, Candelária, Dois Irmãos, Herveiras, Ibarama, Mato Leitão, Santa Cruz do Sul, Vale do Sol, Venâncio Aires.

Fonte: Melo, 2016.

O polo com maior quantidade de municípios envolvidos é o polo Missões/Celeiro, com 80 municípios, em contrapartida o polo Região dos Vales é o polo com menor abrangência, contendo apenas oito municípios (SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO, 2020). Segundo a Embrapa (2020), a divisão entre os polos propõe a valorização, a qualidade e a organização produtiva, buscando assim uma caracterização mais adequada de cada um dos polos, ressaltando suas particularidades e aspectos regionais, como o manejo, as condições de solo e clima, além da diferenciação entre seus produtos.

Figura 3 – Distribuição dos polos ervateiros do Rio Grande do Sul

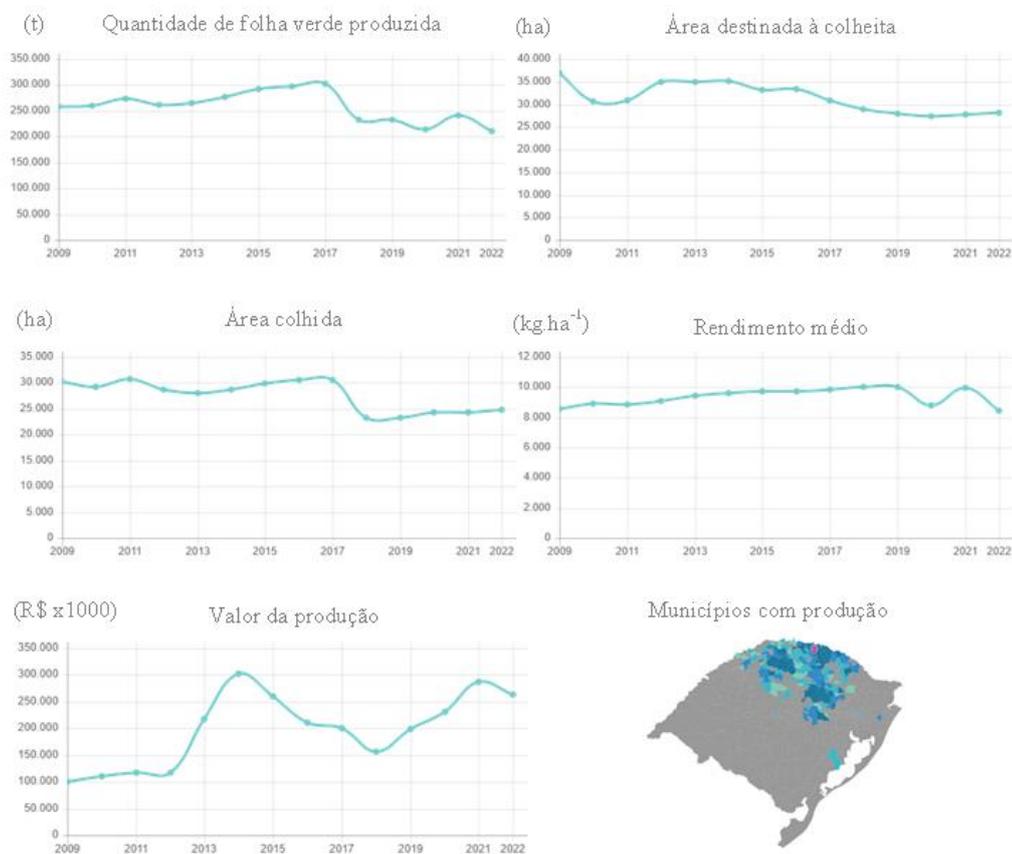


Fonte: Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, 2020.

Apesar do protagonismo da cultura da erva-mate no Rio Grande do Sul tem-se observado uma diminuição da produção nos últimos anos (Figura 4). O Rio Grande do Sul vem perdendo espaço, principalmente para o Estado do Paraná, como demonstram os últimos resultados do IBGE 2022 (Tabela 2). Destinada principalmente ao mercado interno, a produção

da erva-mate no RS é verde e moída, contrastando com Paraná e Santa Catarina, a qual é direcionada para a produção de erva-mate cancheada e envelhecida, o que atende mais o mercado de exportação, principalmente para o Uruguai. Acredita-se que este pode ser um dos fatores responsáveis pela diminuição de produção no Rio Grande do Sul. Porém, já se tem inúmeras atividades e estratégias que vêm sendo criadas e fomentadas, como incentivo para a volta do RS ao ranking de produção da erva-mate (EBBING e RUSH, 2018).

Figura 4 – Dados de produção da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) para o estado do Rio Grande do Sul do ano de 2009 a 2022



Fonte: Adaptado de IBGE (2022).

Tabela 2 – Dados de produção nacional de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. para o ano de 2022

Estados	Quantidade produzida (t)	Valor de produção (R\$ x 1000)	Área destinada à colheita (ha)	Área colhida (ha)	Rendimento médio (kg/ha ⁻¹)
Paraná	316615	485213	33811	33811	9364
Rio Grande do Sul	210462	263988	28190	24840	8473
Santa Catarina	90518	96080	14736	14701	6157
Mato Grosso do Sul	1005	1242	103	103	9757
Amazonas	1	17	3	3	333

Fonte: Adaptado de IBGE (2022).

Ocupando primeiro lugar no Estado, tanto pela sua elevada produção, quanto pela grande quantidade de área cultivada com a espécie dentro da região, principalmente nos municípios de Ilópolis e Arvorezinha. Ilópolis, que significa “Cidade da Erva-mate” (Ilo - do latim - significa erva, e Polis - do grego - significa cidade) é conhecida popularmente como a “Capital da Erva-mate” e sedia um dos principais festivais sobre o produto, o Turismate, bem como o IBRAMATE (Instituto Brasileiro da Erva-mate) (PICOLOTTO et al., 2013).

O polo Missões/Celeiro foi constituído em maio de 2010, e sua sede já possui vasta história quando se refere a produção de erva-mate. Em 24 de maio de 2023 foi conferido ao município Palmeira das Missões o título de Capital Berço da Erva-mate, com a aprovação do Projeto de Lei n° 1.499/2019 e o Projeto de Lei n° 526/2020. O objetivo da criação deste polo foi centrado na criação de ações para estruturação da cadeia produtiva e unificar ações comuns ao setor ervateiro de cada polo. Esta divisão visa a sustentabilidade das empresas ervateiras regionais e o fortalecimento das atividades já tradicionais na região, beneficiando diretamente os produtores rurais.

O polo Alto Uruguai enfrentou algumas dificuldades no que se refere à produção, apresentando um decréscimo gradativo, devido a extinção de alguns ervais e a substituição por outras culturas como soja, milho e trigo. Também pela falta de conhecimento e interesse em obter mudas de melhor qualidade e formas adequadas de manejo (SILVEIRA, 2017). No entanto, este cenário vem gradativamente se alterando, através dos incentivos e do fomento à cadeia produtiva da erva-mate, percebe-se o crescimento na produção, sendo que em 2018 foi o terceiro polo com maior produção no Estado do RS (EBBING e RUSH, 2018).

O polo Nordeste Gaúcho compõe a Associação dos Municípios do Nordeste Riograndense (AMUNOR) consiste na menor região e de menor produção. Entretanto, este polo vem demonstrando um crescimento e nos últimos anos, está entre os polos que apresentou maior

aumento em produção, tanto quanto área colhida como em quantidade produzida e valor de produção (PICOLOTTO et al., 2013).

O polo Região dos Vales, é o menor em quantidade de municípios e também em produção, também enfrenta dificuldade com a perda de seus ervais e substituição por culturas mais rentáveis. No entanto, há uma associação positiva entre área plantada, colhida e quantidade produzida, demonstrando o potencial desta região, e a importância de cada polo para a cadeia produtiva como um todo.

Estes fatos demonstram uma evolução da cultura da erva-mate, e incentivam a inovação e melhorias de tecnologias, implantação de programas de manejo, melhoramento genético, certificações, qualificação dos produtores e extensionistas, entre outros. Também são relevantes as ações que visam, não só o crescimento da produção e qualidade do produto, mas também a diversificação, a visibilidade e o reconhecimento da espécie e a expansão de mercado para o estado. Dentro da cadeia produtiva da erva-mate no Rio Grande do Sul, é visível a importância de todos os polos ervateiros para as regiões, para as famílias e produtores nela inseridos, além de influenciar diretamente o sistema de erva-mate brasileiro, já que o Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores, com cerca de 36% da produção nacional (IBGE, 2022).

3.3 COMPOSIÇÃO DE FITOQUÍMICOS EM PLANTAS

Luz (2016) destaca que muitas plantas apresentam uma grande fonte para a obtenção de moléculas com potencial nutricional e terapêutico, podendo se tornar fonte no preparo de medicamentos, por isso é notável um aumento no seu interesse e em pesquisas relacionadas a elas. Atualmente observa-se também um crescimento na procura de produtos *in natura*, que trazem consigo benefícios à saúde humana. As angiospermas, onde a erva-mate se inclui, são consideradas o grupo mais promissor no que se relaciona ao desenvolvimento de novos fármacos.

Os produtos dos metabólitos secundários, não são necessariamente essenciais na sobrevivência das plantas, porém garantem vantagens nas funções de defesa contra microrganismos, herbívora e contra os raios ultravioleta (UV), além de auxiliar na polinização, com a atração de polinizadores e na propagação, através de animais que possam dispersar suas sementes (SILVA, 2012).

Dentre esses compostos secundários estão os compostos fenólicos, também conhecidos como polifenóis, que apresentam grande diversidade de estruturas químicas, podendo ser simples ou complexas, possuem número de grupamentos hidroxila (OH) variável, e são

encontrados em abundância em vegetais, microrganismos e no metabolismo de animais. Eles são classificados conforme a natureza de sua estrutura hidrocarbônica e são apresentados como ácidos fenólicos, flavonóides, taninos, antocianinas, cumarinas, antraquinonas, estilbenos e lignanas (EFING, 2008).

Os compostos fenólicos são importantes metabólitos secundários que são sintetizados pelas plantas ao longo do seu processo de desenvolvimento e em resposta a condições ambientais de estresse, agindo como uma forma de proteção contra microrganismos, bactérias e insetos, além de serem os responsáveis pela pigmentação da maior parte de frutos e flores (ESCARPA; GONZALES, 2001). Ainda apresentam grande parcela de propriedade biológicas, tais como atividades antialérgicas, anti-inflamatórias, antimicrobianas, antioxidantes, cardioprotetoras e efeitos de vasodilatador (KIM; JEONDS; LEE, 2003). Segundo Scalbert e Williamson (2000), os compostos fenólicos influenciam em características sensoriais de alimentos que tenham origem vegetal.

A erva-mate apresenta em suas folhas substâncias com variados compostos bioativos, como por exemplo, os compostos fenólicos, que são responsáveis pela ação anti-inflamatória, estimulante, pela cafeína, taninos, β -caroteno, vitamina B, entre outros. Os compostos fenólicos são considerados como agentes redutores e juntamente com outras substâncias redutoras, tais como as vitaminas do complexo C, E e os carotenóides, atuam protegendo os tecidos contra o excesso de substâncias que apresentam potencial oxidativo, os radicais livres, demonstrando assim seu poder antioxidante, sendo muito relacionado a prevenção do câncer e de doenças cardiovasculares e inflamatórias (CHAICOUSKI; LAZZAROTTO, 2021; POTRICKOS, et al., 2013; SCALBERT; WILLIAMSON, 2000). O composto fenólico mais abundante e importante na dieta humana são os flavonóides, estes por sua vez estão divididos conforme o grau de oxidação do oxigênio heterocíclico, em flavonas, flavonóis, isoflavonas, antocianinas, flavanóis, proantocianidinas e flavanonas (SCALBERT; WILLIAMSON, 2000). Os flavonoides apresentam propriedades antioxidantes, antimicrobianas, antitrombóticas, antialérgicas, antitumorais, antiasmáticas e inibidoras de enzimas (EFING, 2008).

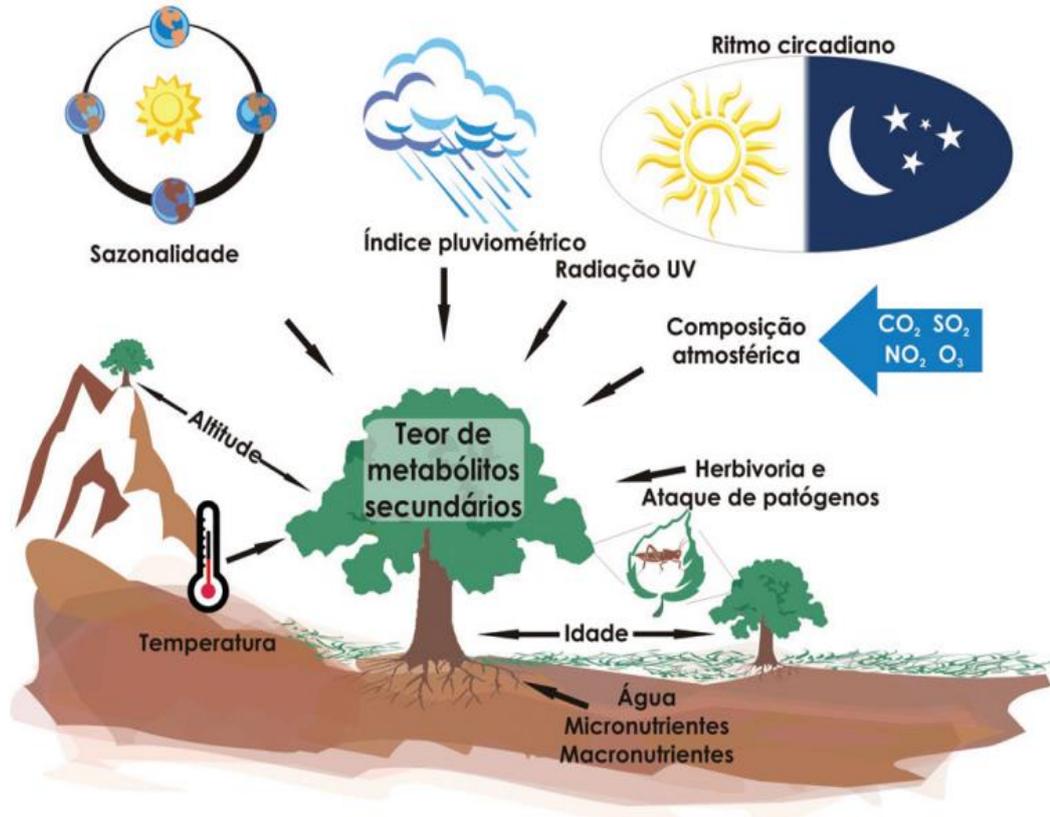
Nesse sentido, fica evidente a importância dos estudos de quantificação desses compostos para espécies como a erva-mate.

3.3.1 Diferenças ambientais que afetam os metabólitos secundários

Os metabólitos secundários ocorrem em resposta às necessidades ecológicas e biossintéticas das plantas, envolvendo funções de defesa ou atração (SILVA, 2012). Por

estarem intrinsecamente relacionados as condições do ambiente, os metabólitos secundários podem variar suas taxas conforme as alterações ambientais como, sazonalidade, nível de desenvolvimento, idade e órgãos vegetais (Figura 5) (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Figura 5 – Esquema com os principais fatores que podem influenciar no acúmulo de metabólitos secundários em plantas



Fonte: GOBBO-NETO; LOPES, 2007.

Segundo Gobbo-Neto e Lopes (2007), a temperatura apresenta variação ao longo dos dias, meses e anos, e é considerado um dos fatores que desempenha maior influência no desenvolvimento das plantas, conseqüentemente, também afeta a produção de metabólitos secundários. O estresse hídrico pode resultar em alterações fisiológicas nas plantas, tais como na fotossíntese, na abertura e fechamento de estômatos, na mobilização de reservas e crescimento, o que também afeta a produção de metabólitos secundários. Os autores ainda destacam que o estresse hídrico não demonstra ter uma relação clara entre os compostos fenólicos e o estresse osmótico, em contrapartida, quando analisamos o índice de radiação ultravioleta e a produção de compostos fenólicos, tem-se uma correlação positiva. Os

flavonoides apresentam um aumento nos seus compostos, conforme o aumento da exposição solar, já que este atua como uma barreira protetora, que dificulta os danos nos tecidos internos da planta.

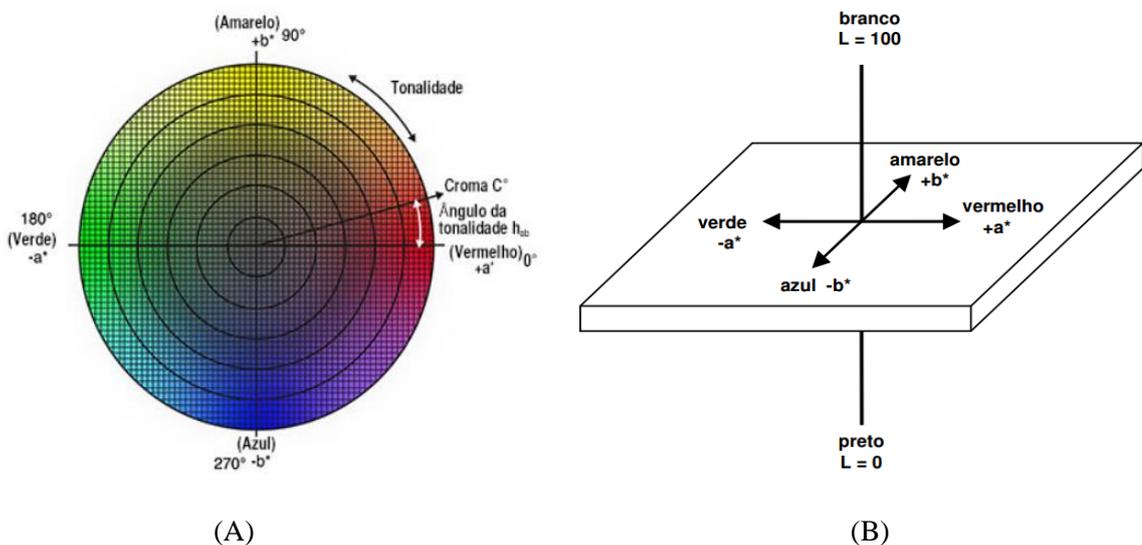
3.4 COLORIMETRIA

A cor é a assimilação resultante da detecção da luz em resposta à interação com um objeto, a sua percepção pode interferir na escolha do consumidor sobre o produto e dessa forma pode também influenciar na percepção de outros atributos, como o sabor e o aroma, sendo um dos principais critérios na aceitação de produtos no mercado (MALHEIROS, 2007).

Um dos métodos colorimétricos mais importantes utilizados é o sistema de colorimetria tristimulus, que geralmente apresenta três combinações de filtro-fotocélula, as quais imitam as respostas dos cones vermelho, verde e azul do olho. Através do sistema de cores, os valores encontrados pelo equipamento são convertidos em dados matemáticos que descrevem a cor da amostra, um exemplo é o sistema CIELab (MALHEIROS, 2007).

O colorímetro, através do sistema CIELab tem como premissa ampliar a percepção das cores pelos olhos humanos, neste sistema o valor de a^* varia do vermelho ao verde ($+a =$ vermelho; $-a =$ verde) e o valor de b^* varia do amarelo ao azul ($+b =$ amarelo; $-b =$ azul) (Figura 6a), a luminosidade (L^*) varia de branco puro (100) a preto absoluto (zero) (Figura 6b) (FRANÇA, et al., 2019).

Figura 6 – (A) Diagrama de representação e disposição bidimensional, mostrando a variação de a^* e b^* , e as coordenadas de C^* . (B) Diagrama representando o espaço de cores CIELAB e de L^*



Fonte: adaptado de KOMICA MINOLTA (A); e adaptado de Hunterlab, 1996 (B).

A partir do sistema CIELab, outros sistema colorimétricos, podem ser adotados, como é o caso do sistema CIELCH, sistema este que utiliza a luminosidade (L^*) e ainda os parâmetros Cromo ou índice de saturação (C^*) e o Ângulo de matiz (h°), onde cromina indica o quanto a cor do objeto se difere do cinza, através da saturação ou brilho, o ângulo matiz é a percepção da cor dominante e a luminosidade da cor de um objeto indica sua relação através da reflexão e absorção da luz, ou seja, sua intensidade luminosa (MALHEIROS, 2007).

3.4.1 Clorofilas e carotenóides

Os pigmentos naturais mais abundantes em todas as espécies vegetais são as clorofilas, que estão inseridas nos cloroplastos de folhas e de outros tecidos vegetais (EFING, 2008; HENCES et al., 2023). A concentração da clorofila, dita a cor verde em folhas de erva-mate, e a sua intensidade estão diretamente relacionadas à sua concentração (HENCES et al., 2023), sendo de grande importância comercial, já que podem ser utilizadas como corante ou como antioxidantes (EFING, 2008).

Segundo Efing (2008) na natureza encontramos várias clorofilas, porém as mais importantes são a Clorofila *a* e a Clorofila *b*, que estão presentes nos tecidos vegetais das plantas na proporção 3:1 (três Clorofilas *a* para uma Clorofila *b*). A Clorofila *a* está inserida nos organismos que desempenham a fotossíntese oxigênica, mas também podem ocorrer nas clorofilas *b* e *c*.

Os carotenóides, assim como as clorofilas, atuam como pigmentos naturais. A Clorofila *b* e os carotenóides são considerados pigmentos acessórios. As clorofilas possuem uma tendência a se degradarem através da foto-oxidação, quando expostas a alta radiação, enquanto os carotenóides apresentam capacidade de prevenir a foto-oxidação das mesmas (STREIT et al., 2005). Uenojo et al., (2007) destaca que os carotenóides apresentam características de prevenção do câncer, bem como de poder antioxidante e desta forma pode auxiliar na inibição de outras doenças relacionadas com as ações dos radicais livres.

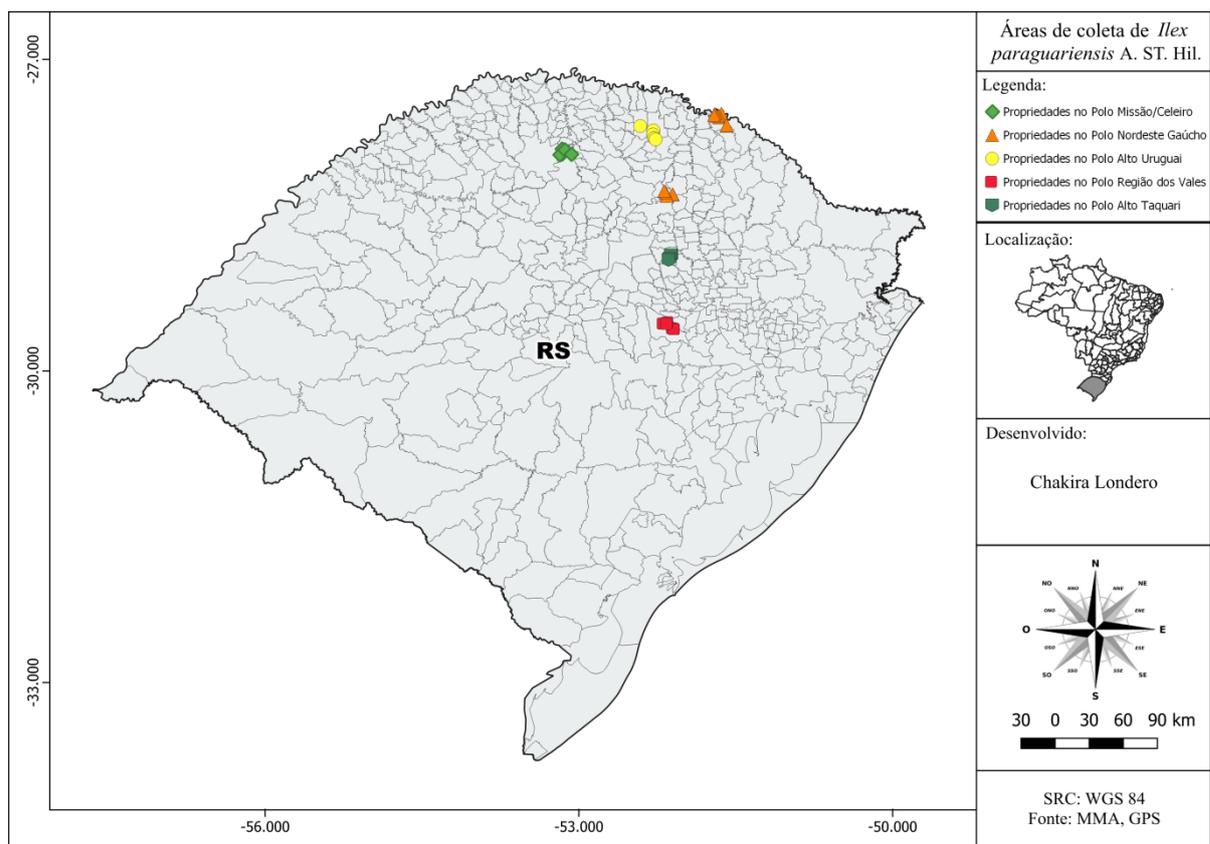
Os carotenóides apresentam função fundamental para a fotossíntese, pois auxiliam na captação de luz e sobretudo agem protegendo-as contra danos causados a elas, podem ainda ser vantajosas para as plantas, pois auxiliam na reprodução, através da coloração de flores e frutos, onde polinizadores e dispersores são atraídos, pode ainda ser responsável pelo aroma de flores, chás, frutos e legumes (DIAS, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA DAS AMOSTRAS

Foram coletadas amostras foliares de 201 indivíduos adultos de erva-mate em 35 unidades de produção, distribuídas nos cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul, ou seja, nos polos Nordeste Gaúcho, Missões/Celeiro, Alto Uruguai, Região dos Vales e Alto Taquari (Figura 7). Cada árvore foi escolhida com base na representatividade das suas características fenotípicas associada ao interesse do produtor, estando todas em produção e que não haviam sido submetidas a colheita por pelo menos 18 meses. Todas as árvores (indivíduos ou genótipos amostrados) foram identificadas e as unidades de produção georreferenciadas a campo.

Figura 7 – Distribuição geográfica das propriedades onde foram realizadas as coletas das amostras foliares de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. nos Polos Ervateiros do Rio Grande do Sul



Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM 2024.

Foram coletadas folhas maduras, a partir da 6ª folha contada do ápice do ramo, na porção central da copa e de forma homogênea nos quatro quadrantes. As amostras de folhas foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados, fechados e levadas para o Núcleo de Melhoramento e Propagação Vegetativa de Plantas (MPVP) do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. As amostras foram imediatamente submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até que atingissem massa constante.

4.2 PREPARO DOS EXTRATOS DE ERVA-MATE

Para as análises, as amostras de folhas de erva-mate foram trituradas em micromoinho (Marconi®, modelo MA-630), peneiradas e armazenadas em freezer a -18°C para conservar seus compostos até o momento da extração.

A preparação dos extratos foi realizada de acordo com Tsai et al. (2014), com adaptações de Bisognin et al. (2019). Foram utilizadas soluções de etanol e água como solvente, na proporção de 70:30 (v/v - solvente:água). A extração foi realizada a partir da adição da amostra com o solvente, preparados na proporção 1:50 (p/v - amostra:solvente), aquecidos em banho ultrassônico de 40KHz (*Ultra Sonic Clean*, modelo USC 1600) por 15 minutos, a 60°C. Em seguida foram submetidas à agitação mecânica em agitador de microplacas (Marconi®, modelo MA562) por 30 minutos e centrifugados com rotação de 3400 ppm, por 5 minutos, para que ocorresse a separação dos compostos sólidos e líquidos. Por fim, os extratos foram filtrados em papel filtro e acondicionados em frascos de vidro âmbar, devidamente identificados e protegidos da luz, e armazenados a -18°C até o momento das análises.

4.2.1 Determinação dos compostos fenólicos totais

Os polifenóis ou compostos fenólicos totais produzidos a partir dos extratos de erva-mate foram quantificados com base na reação de oxirredução com Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich®), o qual reage com as hidroxilas (OH) que estão presentes nos polifenóis. Os extratos foram deixados em temperatura ambiente e no escuro durante 2 horas. As leituras de absorvância foram realizadas em triplicata, em comprimento de onda de 765 nm, em espectrofotômetro UV-visível (HOMIS SF, modelo 200DM), conforme Singleton & Rossi (1965). A curva de calibração foi realizada utilizando como padrão o ácido gálico, nas seguintes concentrações 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 mg.L⁻¹. A partir da regressão (teor de compostos

fenólicos = $145,15 \times \text{absorbância} - 20,508$, com $R^2 = 0,9711$), foi obtido o teor de compostos fenólicos totais, expresso em miligramas de equivalentes de ácido gálico por litro (mg EAG.L⁻¹).

4.2.2 Determinação dos flavonoides totais

Com base no método colorimétrico descrito por Zhishen, Mengcheng e Jianming (1999) foi quantificado o teor de flavonoides totais. As leituras de absorbância foram realizadas em triplicatas em espectrofotômetro UV-visível (HOMIS SF, modelo 200DM), em comprimento de onda de 510 nm. Para a determinação do teor de flavonóides totais foi utilizada uma curva padrão de catequina (CAT), nas concentrações de 0, 50, 100, 150, 200 mg.L⁻¹. A partir da curva de regressão (teor de flavonóides = $488,68 \times \text{absorbância} - 4,8374$, $R^2 = 0,9976$) foi quantificado o teor de flavonóides totais, expresso em miligramas de equivalentes de catequina por litro (mg CAT.L⁻¹).

4.2.3 Determinação das clorofilas *a*, *b* e totais e carotenóides totais

Para a determinação das clorofilas *a*, *b* e totais e dos carotenóides totais, o extrato de erva-mate foi diluído na proporção de 1:20 (v/v extrato:solução extratora acidificada). As absorbâncias das soluções foram lidas em triplicata em espectrofotômetro UV-visível (HOMIS SF, modelo 200DM), nos comprimentos de onda 647, 663 e 470 nm, respectivamente. Os teores das clorofilas *a*, *b* e totais e dos carotenóides totais foram expressos em mg.g⁻¹ de amostra e calculados com base nas equações estabelecidas por Lichtenthaler (1987), em que:

$$\text{Clorofila } a = 12,25(A_{663}) - 2,79 (A_{647})$$

$$\text{Clorofila } b = 21,50 (A_{647}) - 5,10 (A_{663})$$

$$\text{Clorofilas totais} = 7,15 (A_{663}) + 18,71 (A_{647})$$

$$\text{Carotenóides totais} = [1000 (A_{470}) - 1,82 (\text{Clorofila } a) - 85,02 (\text{Clorofila } b)] / 198$$

4.2.4 Determinação instrumental de cor

Os parâmetros de cor L*, a*, b* e C*, foram obtidos através de um colorímetro Konica Minolta CR-300, operando no sistema CIELab, onde os parâmetros de cor indicam luminosidade (L*), que varia do preto (0) ao branco (100), a* e b* indicam a variação das cores

(+a*= vermelho; -a*= verde; +b*= amarelo e -b*=azul) e o croma ou índice de saturação (C*) que demonstra quanto a cor do objeto se difere do cinza. O colorímetro foi calibrado em uma base branca, conforme instruções do fabricante. As leituras do extrato foram realizadas em triplicata.

Com base nos resultados obtidos foi possível calcular o croma das amostras, este foi determinado a partir da equação estabelecida por Schmalko e Alzamora (2001) e está descrita a seguir:

Croma ou índice de saturação (C*): $(a^{*2} + b^{*2})$.

4.3 DADOS METEOROLÓGICOS

As variáveis precipitação total mensal (mm), temperatura média mensal (°C) e vento, velocidade média mensal (Km/h) foi obtida na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de janeiro de 2008 à dezembro de 2023, totalizando 15 anos. Cada polo ervateiro foi representado pela cidade sede do polo ou a cidade com estação automática mais próxima. Os polos Missões/Celeiro e Alto Uruguai estão representados com seus municípios sede, Palmeira das Missões e Erechim, respectivamente. O Polo Nordeste gaúcho está representado pelo município de Passo Fundo, o polo Alto Taquari foi representado pelo município de Soledade, enquanto o polo Região dos Vales foi representado pelo município de Santa Maria.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise foi realizada com a média das determinações em triplicata. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott (1974), ao nível de 5% de probabilidade de erro. Foi utilizado o pacote estatístico Sisvar (Sistema para Análise de Variância) para Windows® versão 5.1 (FERREIRA, D., 2011).

Com auxílio do software PAST 3.04 (HAMMER et al., 2001), foi realizada análise de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados. Utilizou-se como classificação o sistema de Shimakura (2006), atribuindo-se os valores qualitativos aos valores numéricos do coeficiente de correlação de Pearson (r), onde: r= |0,00| a |0,19| - correlação bem fraca; r= |0,20| a |0,39| - correlação fraca; r= |0,40| a |0,69| - correlação moderada; r= |0,70| a |0,89| - correlação forte; r= |0,90| a |1,00| - correlação muito forte. Também foi construído um dendrograma pelo método

unweighted pair group method using arithmetic averages (UPGMA), utilizando a distância euclidiana, para separação de grupos nos diferentes polos ervateiros e unidades de produção e calculado o respectivo coeficiente de correlação cofenética (CCC).

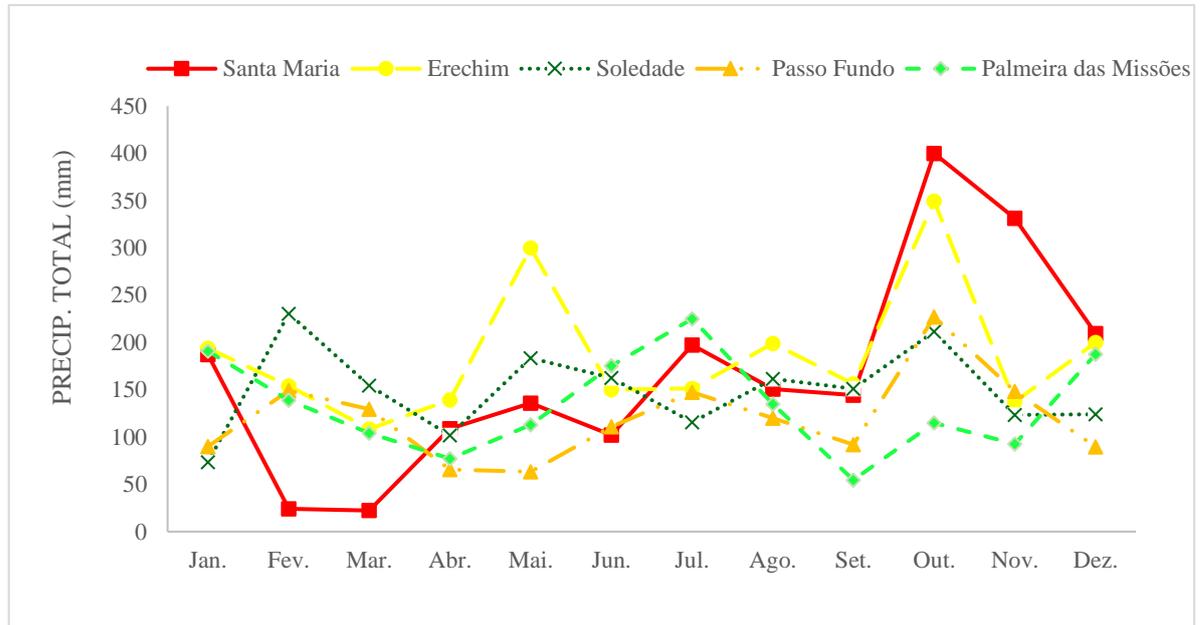
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de metabólitos secundários é influenciada pelas condições ambientais em que a planta está inserida, uma vez que, esses compostos atuam na defesa contra fatores bióticos e abióticos. Dentre os fatores abióticos, a temperatura, a pluviometria e o vento afetam a produção desses compostos (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Nesse sentido, as quantificações de fitoquímicos das plantas de erva-mate devem ser analisadas considerando essas variáveis climáticas nos polos ervateiros do Rio Grande do Sul. As amostras foliares utilizadas neste trabalho foram coletadas em locais e com condições ambientais diferentes, desta forma é possível que se expressem as taxas de seus metabólitos secundários em diferentes níveis.

As variáveis analisadas foram obtidas na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre o período de janeiro de 2008 à dezembro de 2023. Os dados foram analisados a partir da média do mês correspondente para os 15 anos, demonstrando a variação de precipitação, temperatura e vento ao longo dos 15 anos, para cada um dos meses correspondentes do ano.

Os municípios de Soledade, Passo Fundo e Palmeira das Missões apresentaram uma distribuição mais uniforme de chuvas ao longo dos meses, no intervalo de tempo de coleta de dados, enquanto o município de Erechim demonstrou épocas com maiores níveis de chuvas, mas ainda com níveis bem distribuídos ao longo dos meses, Santa Maria acabou tendo episódios de precipitação em períodos mais específicos e de pouca chuva em outros meses (Figura 8).

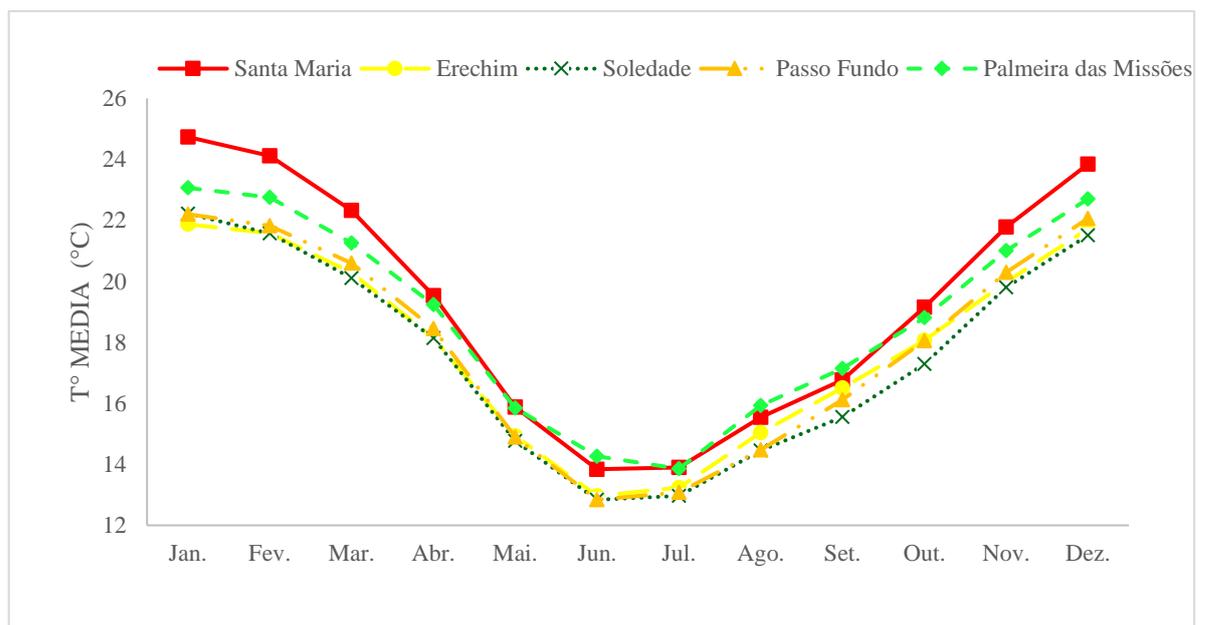
Figura 8 - Dados de precipitação total mensal (mm), com média de 15 anos, no intervalo de 2008 a 2023 para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul



Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM 2024.

A temperatura média mensal (°C) nos municípios de Erechim, Soledade e Passo Fundo foram muito similares, enquanto as maiores médias mensais foram demonstradas na cidade de Santa Maria (Figura 9).

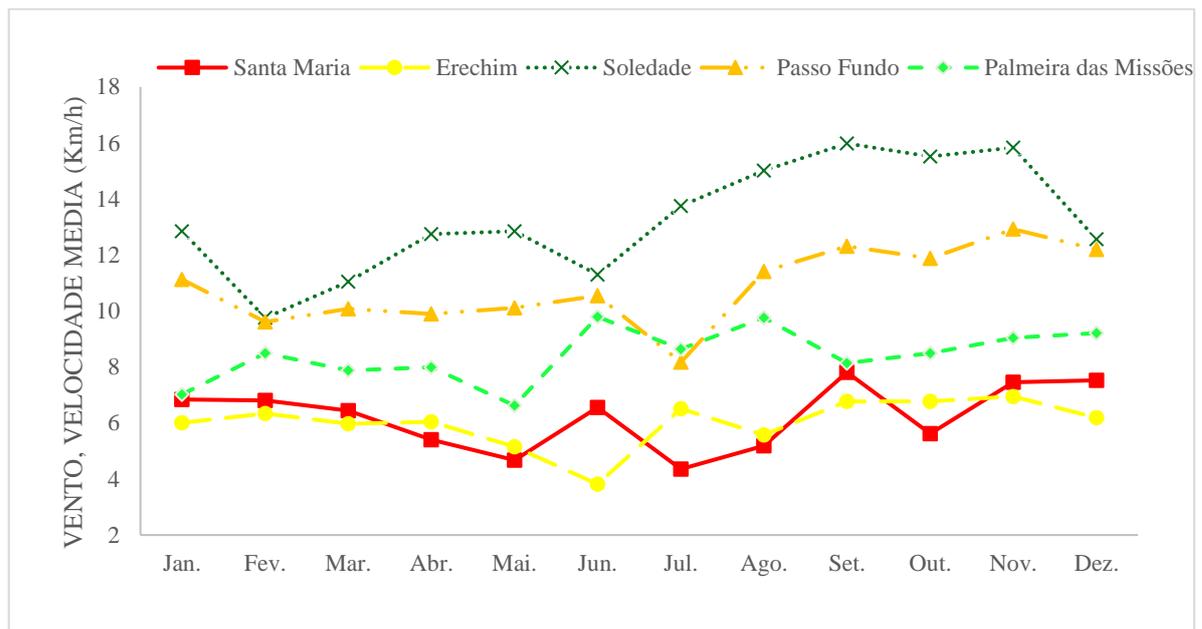
Figura 9 – Dados de Temperatura Média Mensal (°C) com média de 15 anos, no intervalo de 2008 a 2023 para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul



Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM 2024.

Para a variável vento, velocidade média (Km/h), foi observada diferença entre os municípios analisados, onde Soledade demonstrou maior valores em todos os meses do ano enquanto os municípios de Santa Maria e Erechim demonstraram os menores valores médios de velocidade do vento (Figura 10).

Figura 10 – Dados de Vento, Velocidade Média Mensal (Km/h) com média de 15 anos, no intervalo de 2008 a 2023 para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul



Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM 2024.

Além dos fatores edáficos e climáticos variáveis em cada polo ervateiro, o manejo representativo de cada polo ervateiro aplicado nas diferentes unidades produtivas também pode afetar a composição qualitativa e quantitativa dos compostos fenólicos. Algumas amostras foram coletadas de plantas sombreadas por outras espécies arbóreas, outras eram cultivadas a pleno sol, enquanto outras eram cultivadas em consórcio com culturas anuais, fatores esses que podem influenciar na disponibilidade de nutrientes, horas de sol e umidade para as plantas de erva-mate. Isso se deve ao fato de que a composição química da erva-mate pode se diferenciar com base na forma de cultivo, idade da planta, variabilidade genética, clima, entre outros (ROSSA et al., 2017). Vale ressaltar ainda que as amostras coletadas são oriundas de árvores nativas e plantadas, podendo apresentar uma maior diferença nos seus compostos, porém todas as plantas eram regularmente submetidas a colheita e tinham pelo menos 18 meses da última poda realizada.

Foi observado a partir das análises realizadas nos extratos das folhas de erva-mate que houve diferença significativa entre os polos ervateiros para os fitoquímicos ($p=0,000001$) (compostos fenólicos totais e flavonóides totais) (Tabela 3), e para os pigmentos ($p=0,000001$) (clorofilas totais, *a* e *b*), enquanto para carotenóides não foi observada diferença significativa entre os polos (Tabela 4). A erva-mate possui uma fonte natural de compostos fenólicos, que atuam de diversas formas na saúde humana, como com funções antioxidante, anti-inflamatória, antialérgica, entre outros (DUARTE, 2020). Desta forma, é desejável o consumo de alimentos ou bebidas que apresentem maiores níveis de compostos fitoquímicos. Entre os resultados obtidos pela análise de compostos fenólicos totais, o polo Nordeste Gaúcho se sobressaiu (1186,57 mg EAG.L⁻¹), se diferenciando significativamente dos demais polos.

Tabela 3 – Valores de fitoquímicos (polifenóis totais e flavonoides totais) extraídos das folhas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. coletadas nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul

Polos Ervateiros	Polifenóis Totais (mg EAG.L ⁻¹)	Flavonóides Totais (mg CAT.L ⁻¹)
Nordeste Gaúcho	1186,57 a*	5283,59 b
Missões/Celeiro	455,50 c	5090,96 c
Alto Uruguai	283,32 c	5165,53 c
Região dos Vales	854,21 b	5660,80 a
Alto Taquari	181,82 c	5206,86 b
Média	715,64	5289,51
CV (%)	93,36	4,27

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. A letra 'a' representa o resultado mais favorável para as variáveis analisadas. CV= coeficiente de variação. EAG = Equivalentes de Ácido Gálico, CAT = Catequina.

Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM, 2024.

Assim como os compostos fenólicos totais, os flavonóides também apresentam benefícios a partir de sua ingestão. Os flavonóides fazem parte de um grupo dos compostos fenólicos, e são os mais abundantes na alimentação humana, estando entre os antioxidantes mais potentes encontrados em plantas. Quando observado os teores de flavonóides totais o polo Região dos Vales diferiu significativamente dos demais, onde obteve os maiores valores (5660,80 mg CAT.L⁻¹).

A análise da quantificação de clorofila pode apresentar diferenças quando levamos em consideração os processos pelos quais as amostras de erva-mate são submetidas, como

tratamentos de calor (secagem) e armazenamento, quando comparado a amostras frescas, onde podem ocorrer impactos significativos na sua quantificação. Outro fator que deve ser levado em consideração, é que o teor de clorofilas pode apresentar alterações conforme o ambiente de desenvolvimento da planta, pois é esperado que plantas geneticamente iguais, quando cultivadas em ambientes diferentes, apresentem níveis diferentes de clorofila em sua composição.

Segundo Souza et al. (2015) a clorofila *a* está presente em todos os organismos que fazem fotossíntese oxigênica, enquanto a clorofila *b* desempenha a função de pigmento nas folhas. Nas análises realizadas, a clorofila *a* foi encontrada em maior quantidade (1,84 mg.g⁻¹) no polo Alto Uruguai, estatisticamente superior aos demais polos. A clorofila *b*, por sua vez, dividiu estatisticamente os polos em dois grupos, sendo a maior quantidade de pigmento observada nos polos Nordeste Gaúcho, Missões/Celeiro e Região dos Vales (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores dos pigmentos (mg.g⁻¹) extraídos das folhas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. coletadas nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul

Polos Ervateiros	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofilas Totais	Carotenóides
Nordeste Gaúcho	1,71 b	2,08 a	3,79 a	1,85 a
Missões/Celeiro	1,59 c	2,002 a	3,59 b	1,71 a
Alto Uruguai	1,84 a*	1,91 b	3,76 a	1,75 a
Região dos Vales	1,71 b	2,01 a	3,72 a	1,82 a
Alto Taquari	1,55 c	1,92 b	3,47 b	1,78 a
Média	1,70	2,00	3,70	1,80
CV (%)	15,19	8,59	10,04	30,37

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. A letra 'a' representa o resultado mais favorável para as variáveis analisadas. CV= coeficiente de variação.

Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM, 2024.

As clorofilas totais são calculadas utilizando as clorofilas *a* e *b*, desta forma ela também dividiu os polos estatisticamente em dois grupos. Além disso, as concentrações de clorofilas totais obtidas no presente trabalho variaram entre 3,47 a 3,79 mg.g⁻¹, valores próximos foram encontrados por Malheiros (2007), que analisou a concentração de clorofilas em lotes de erva-mate com tempos diferentes de armazenagem, variando de zero a doze (12) semanas e com dois

tipos de embalagem (papel e laminado), e obteve concentração de 4,02 mg.g⁻¹ de clorofilas totais, com tempo zero de armazenagem.

Em relação às proporções de clorofilas *a* e *b*, as concentrações de clorofila *b* foram superiores às encontradas para clorofila *a*, em todos os polos ervateiros. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por Hences et al. (2023), que avaliaram a erva-mate processada utilizando acetona como solução extratora e obtiveram maiores concentrações de clorofila *b* (6,8 mg.g⁻¹), quando comparada às concentrações de clorofila *a* (3,8 mg.g⁻¹). Da mesma maneira, resultados similares foram encontrados por Mattos (2021) que testou três quantidades de solventes no preparo dos extratos (o primeiro com água destilada, o segundo com água destilada e etanol absoluto (50:50) e o terceiro com etanol absoluto). Para os dois primeiros extratos a concentração de clorofila *b* foi maior do que a de clorofila *a*, e no terceiro extrato foi o contrário. No mesmo trabalho, Mattos (2021) ainda avaliou a quantidade de clorofilas *a* e *b* e de carotenóides em infusões de *Pereskia aculeata* (ora-pro-nobis) e *I. paraguariensis* encontrando, na amostra com erva-mate pura, menores concentrações de clorofila *a* (0,37 mg.L⁻¹), comparado às concentrações de clorofila *b* (0,64 mg.L⁻¹). Os resultados destes trabalhos divergem de alguns resultados descritos na literatura, como por exemplo, Efing (2008) que determina que a concentração de clorofila *a*, para a clorofila *b* é de 3:1; e de Malheiros (2007) que também encontrou a concentração de clorofila *a* maior do que a de clorofila *b*.

Os carotenóides não apresentaram diferença significativa para nenhum dos polos ervateiros (Tabela 4). Segundo Uenojo, Junior e Pastore (2007), os carotenóides além de fazerem parte de um grupo de pigmentos, ainda desempenham papéis importantes para a saúde humana, sendo essenciais para a visão e como fontes de vitamina A, além de auxiliar na prevenção de cânceres, doenças do coração e degeneração muscular, desta forma todos os polos apresentam estatisticamente as mesmas condições para desempenhar esta função tão importante.

Para ter uma melhor visualização dos dados, os cinco polos ervateiros foram divididos em 35 unidades de produção (U.P). Ao realizar as análises separadamente entre as unidades de produção, somente para carotenóides não foi observada diferença significativa, sendo observada diferença significativa ($p=0,000001$) para as demais características avaliadas (Tabela 5). Desta forma, foi possível observar que algumas unidades de produção se sobressaem dentro do próprio polo, demonstrando diferenças entre as plantas amostradas.

Tabela 5 – Valores dos fitoquímicos (compostos fenólicos totais e flavonóides) e pigmentos (clorofila *a* e *b*, clorofila total e carotenóides) extraídos das folhas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. nos diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul, separadas por unidades de produção (U.P) dentro de cada polo ervateiro do RS

Polos Ervateiros	U.P	Compostos Fenólicos Totais (mg EAG.L ⁻¹)	Flavonóides (mg CAT.L ⁻¹)	Clorofila <i>a</i> (mg.g ⁻¹)	Clorofila <i>b</i> (mg.g ⁻¹)	Clorofilas Totais (mg.g ⁻¹)	Carotenóides (mg.g ⁻¹)
Polo Nordeste Gaúcho	M1	582,67 c	5314,90 c	2,01 a	2,27 a	4,29 a	1,77 a
	M2	1153,59 b	5264,08 c	1,69 b	2,10 b	3,80 b	1,75 a
	M3	778,13 c	5180,68 c	2,10 a	2,41 a	4,51 a	1,83 a
	M4	477,38 c	5241,92 c	2,12 a	2,14 b	4,27 a	1,87 a
	M5	1257,71 b	5536,43 b	1,67 b	2,13 b	3,80 b	1,78 a
	M6	1623,94 a*	5274,29 c	1,53 b	1,91 c	3,44 c	1,72 a
	M7	563,94 c	5223,52 c	1,56 b	1,88 c	3,45 c	2,66 a
	M8	1341,70 b	5233,29 c	1,54 b	2,00 c	3,54 c	1,69 a
	M9	2450,01 a	5416,55 b	1,43 b	1,99 c	3,43 c	1,70 a
	M10	1808,89 a	5382,66 b	1,77 b	2,19 b	3,96 b	1,75 a
	M11	742,14 c	5163,73 c	1,74 b	2,02 c	3,77 b	1,75 a
	M12	1817,80 a	5387,22 b	1,52 b	1,98 c	3,51 c	1,66 a
	M13	1136,56 b	5142,88 c	1,74 b	2,13 b	3,88 b	1,69 a
Polo Missões / Celeiro	P1	679,17 c	5219,99 c	1,73 b	2,22 b	3,95 b	1,73 a
	P2	334,36 c	4994,65 c	1,55 b	1,92 c	3,47 c	1,72 a
	P3	554,51 c	5138,00 c	1,62 b	1,99 c	3,61 c	1,72 a
	P4	230,82 c	4933,30 c	1,57 b	1,85 c	3,42 c	1,69 a
	P5	335,33 c	4990,85 c	1,47 b	1,89 c	3,36 c	1,70 a
	P6	571,99 c	5229,45 c	1,61 b	2,08 b	3,69 c	1,71 a
Polo Alto Uruguai	E1	326,48 c	5258,31 c	1,94 a	1,91 c	3,85 b	1,77 a
	E2	365,74 c	5138,23 c	1,62 b	1,93 c	3,55 c	1,71 a
	E3	178,18 c	5125,94 c	1,70 b	2,01 c	3,71 c	1,76 a
	E4	231,60 c	5105,09 c	1,90 a	1,97 c	3,88 b	1,66 a
	E5	233,31 c	5141,95 c	1,70 b	1,79 c	3,50 c	1,74 a
	E6	311,68 c	5188,49 c	2,10 a	1,91 c	4,02 b	1,81 a
Polo Região dos Vales	V1	1268,44 b	5919,19 a	1,86 a	2,12 b	3,99 b	1,90 a
	V2	827,87 c	5660,89 b	1,76 b	2,00 c	3,77 b	1,84 a
	V3	760,46 c	5594,64 b	1,72 b	1,95 c	3,68 c	1,85 a
	V4	791,79 c	5579,44 b	1,66 b	2,00 c	3,66 c	1,78 a
	V5	666,49 c	5567,13 b	1,57 b	1,98 c	3,55 c	1,77 a
Polo Alto Taquari	I1	92,03 c	5164,29 c	1,44 b	1,91 c	3,35 c	1,73 a
	I2	152,44 c	5178,72 c	1,65 b	1,87 c	3,53 c	1,77 a
	I3	97,28 c	5166,78 c	1,63 b	1,84 c	3,48 c	1,75 a
	I4	215,34 c	5164,60 c	1,43 b	1,80 c	3,24 c	1,76 a
	I5	301,88 c	5292,75 c	1,65 b	2,01 c	3,67 c	1,86 a
Média		715,64	5289,51	1,70	2,005	3,71	1,80
CV (%)		85,21	4,13	12,71	7,1	8,00	31,18

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. A letra 'a' representa o resultado mais favorável para as variáveis analisadas. CV= coeficiente de variação.

Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM, 2024.

Para a análise das 35 unidades de produção amostradas, apenas as unidades M6, M9, M10, M12 obtiveram uma alta concentração de compostos fenólicos, sendo todas do polo ervateiro Nordeste Gaúcho. Já para os flavonóides, apenas a unidade de produção V1, pertencente ao polo Região dos Vales, se sobressaiu sobre as demais. Quando analisamos as clorofilas, o polo ervateiro Nordeste Gaúcho apresentou os melhores resultados para clorofila *b*, para as clorofilas totais e três das melhores amostras da clorofila *a*. Estes resultados demonstram uma grande variação entre os fitoquímicos e os pigmentos entre plantas de ervamate, o que se deve a variabilidade genética inerente a fecundação cruzada e as diferentes condições de cultivo das plantas analisadas, como tratado anteriormente, o que pode influenciar na produção de metabólitos secundários. Aquelas plantas submetidas a um maior nível de estresse por fatores abióticos, como disponibilidade hídrica, horas e intensidade de luz solar, nutrientes, entre outros fatores, podem desenvolver maior quantidade de metabólitos secundários, como forma de defesa.

A matriz de correlação de Pearson demonstrou que alguns caracteres avaliados apresentam correlação significativa (Tabela 6). Na comparação entre os compostos fenólicos totais e os flavonóides totais, como esperado, houve correlação significativa positiva, ou seja, quanto maior a concentração de compostos fenólicos, maior é a quantidade de flavonóides, resultados que corroboram com os encontrados por Luz (2016), que obteve correlação significativa entre os compostos fenólicos e os flavonóides totais.

Tabela 6 – Correlação de Pearson entre compostos fenólicos totais (C.F. Totais), flavonóides totais (Flav. Totais), clorofila *a* (Cl. *a*), clorofila *b* (Cl. *b*), clorofilas totais (Cl. Totais), carotenóides totais (Carot. Totais), luminosidade (L), índice de saturação ou croma [IS (C*)] avaliados em extratos de folhas de *Ilex paraguariensis* A. St-Hil. coletadas nos cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul

Correl. Pearson*	C.F. Totais	Flav. Totais	Cl. <i>a</i>	Cl. <i>b</i>	Cl. Totais	Carot. Totais	Lumin. (L)	IS (C*)
C.F. Totais		1,51 ⁻¹⁴	9,23 ⁻⁰²	1,93 ⁻⁰⁴	5,79 ⁻⁰¹	9,99 ⁻⁰¹	7,82 ⁻⁰¹	7,90 ⁻⁰¹
Flav.	0,507		5,23 ⁻⁰¹	4,19 ⁻⁰²	1,55 ⁻⁰¹	1,17 ⁻⁰¹	3,14 ⁻⁰⁸	6,64 ⁻⁰¹
Cl. <i>a</i>	-0,119	0,045		5,36 ⁻⁰⁹	2,08 ⁻⁷³	7,56 ⁻⁰¹	6,70 ⁻⁰¹	4,50 ⁻⁰⁵
Cl. <i>b</i>	0,26	0,144	0,397		7,44 ⁻³⁹	6,59 ⁻⁰¹	9,75 ⁻⁰¹	4,19 ⁻⁰²
Cl. Totais	0,039	0,101	0,899	0,758		9,91 ⁻⁰¹	7,74 ⁻⁰¹	1,07 ⁻⁰⁴
Carot. Totais	-11,144	0,111	0,022	-0,031	7,77 ⁻⁰⁴		1,09 ⁻⁰¹	6,21 ⁻⁰¹
Lumin. (L)	-0,02	-0,378	-0,03	0,002	-0,02	0,113		4,12 ⁻⁰²
IS (C*)	-0,019	-0,031	0,284	0,144	0,27	0,035	0,144	

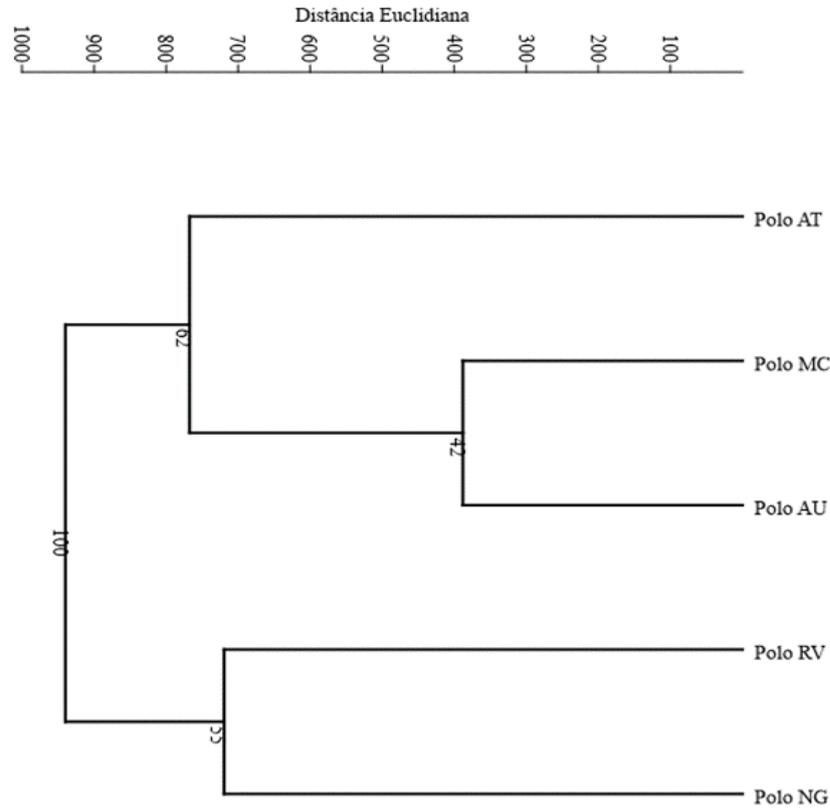
* Valores de correlação de Pearson, abaixo da diagonal principal; valores dos “*p* value”, acima da diagonal principal. Valores sublinhados apresentam significância ao nível de 5%.

Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM, 2024.

As clorofilas (*a*, *b* e totais) e o croma apresentaram correlação significativa positiva demonstrando que esses caracteres são dependentes entre si. Este resultado era esperado, uma vez que, as clorofilas estão intrinsecamente relacionadas entre si, bem como o croma é calculado com base nas mesmas. A clorofila *b*, ainda apresentou correlação positiva com os compostos fenólicos totais e com os flavonoides totais. Já o croma apresentou também correlação positiva com a luminosidade. A luminosidade obteve correlação significativa negativa com os flavonoides totais, sendo a única entre todos os caracteres analisados. Assim como visto anteriormente, os carotenóides não apresentaram correlação significativa com nenhum outro dos caracteres avaliados (Tabela 6).

Um dendrograma foi então obtido pelo método UPGMA, com base na distância euclidiana, considerando todos os caracteres analisados nas amostras de erva-mate, sendo observada a formação de três grupos considerando os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul (Figura 11). Os polos que apresentaram maior similaridade foram os polos Região dos Vales e Nordeste Gaúcho, e os polos Missões/Celeiro e Alto Uruguai, o polo que demonstrou maior diferença entre os demais foi o polo Alto Taquari, não sendo agrupado com os demais.

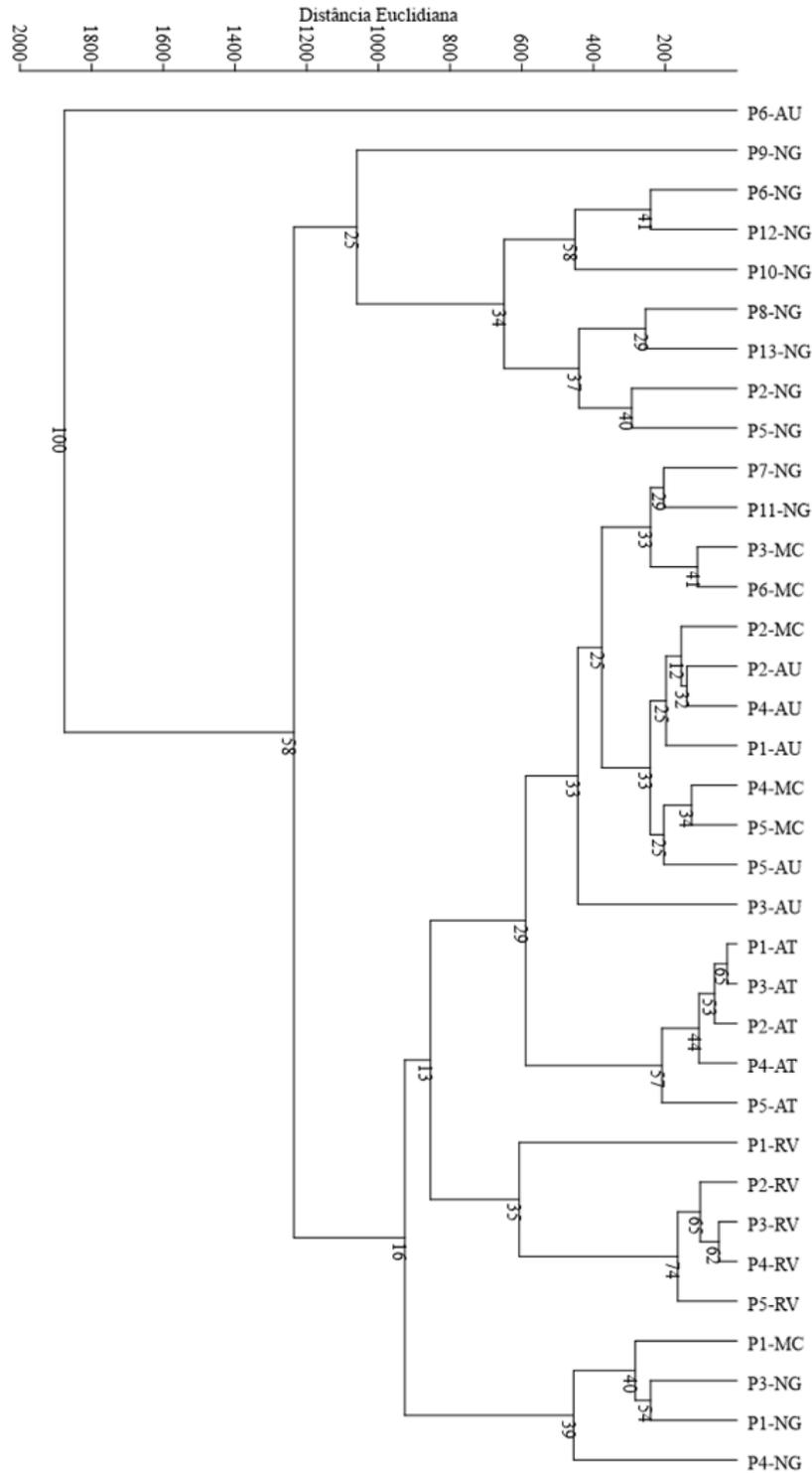
Figura 11 – Dendrograma de distância Euclidiana obtido pelo método UPGMA para os cinco polos ervateiros do Rio Grande do Sul [Nordeste Gaúcho (NG), Missões/Celeiro (MC), Alto Uruguai (AU), Região dos Vales (RV) e Alto Taquari (AT)] com base nos teores de fitoquímicos, pigmentos e cor de extratos das folhas coletadas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) = 0,78473



Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM, 2024.

Também foi obtido um dendrograma pelo método UPGMA considerando todas as unidades de produção amostradas nos cinco polos ervateiros (Figura 12), dividindo e agrupando cada uma delas. De maneira geral, as unidades produtoras se agruparam de acordo com seus polos, demonstrando equilíbrio entre as análises e as plantas amostradas, porém algumas unidades produtoras foram agrupadas com unidades produtoras de polos diferentes, demonstrando certa similaridade entre os caracteres avaliados e as unidades produtoras de locais distintos. Desta forma é possível notar que plantas oriundas de locais diferentes podem apresentar compostos (fitoquímicos e pigmentos) com concentrações que possam ser semelhantes.

Figura 12 – Dendrograma de distância Euclidiana através do método UPGMA, para os diferentes polos ervateiros do Rio Grande do Sul, separada por unidades de produção dentro de cada polo ervateiro [Nordeste Gaúcho (NG), Missões /Celeiro (MC), Alto Uruguai (AU), Região dos Vales (RV) e Alto Taquari (AT)] com base nos teores de fitoquímicos, pigmentos e cor em extratos de amostras de folhas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) = 0,7816



Fonte: Autora. Santa Maria, RS, UFSM, 2024.

6 CONCLUSÕES

A concentração de compostos fenólicos e flavonóides totais e de clorofilas *a*, *b* e totais variam entre plantas cultivadas nos polos ervateiros do Rio Grande do Sul.

O polo Nordeste Gaúcho se destaca pela maior concentração de compostos fenólicos totais e o da Região dos Vales pelos flavonoides totais nas folhas de erva-mate.

Os polos Nordeste Gaúcho e Região dos Vales se caracterizam pelas maiores concentrações de clorofilas *b* e totais e o Alto Uruguai pela maior concentração de clorofila *a* nas folhas de erva-mate.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos benefícios para a saúde, provenientes do consumo, principalmente, de compostos fenólicos e flavonoides, houve um crescente interesse em novos subprodutos, tanto na área alimentícia, quanto na farmacológica, proveniente das folhas de erva-mate, demonstrando ser de extrema importância o conhecimento e a quantificação dos compostos que a constituem.

Apesar disto ainda existe pouca informação disponível de quantificação de fitoquímicos e pigmentos presentes nas folhas de erva-mate, distribuídas entre os polos ervateiros do Rio Grande do Sul. Desta forma, os resultados alcançados a partir deste trabalho trazem um direcionamento para a sua quantificação e para a distribuição das variações existentes em plantas de erva-mate cultivadas no Rio Grande do Sul. Além disto, foi possível demonstrar a possibilidade de identificar indivíduos que apresentam maior potencial comercial, visando a produção de produtos específicos.

As diferenças encontradas devem estar associadas as diferenças genéticas inerentes a espécies de fecundação cruzada e as variações ambientais, principalmente a disponibilidade de radiação solar, temperatura, precipitação, vento entre outros. A variação entre as épocas de coleta do material, locais de coleta, condições de cultivo, idade das plantas, além de outros fatores também podem interferir nestas concentrações. Vale ressaltar que as metodologias utilizadas na extração e na quantificação dos fitoquímicos e dos pigmentos podem sofrer alterações de um trabalho para outro, com isso, as comparações entre os resultados obtidos neste trabalho e na literatura não são completas.

Para complementação, sugere-se estudos futuros com a utilização de análises de solo, que podem vir a demonstrar relações entre a disponibilidade de nutrientes nos polos ervateiros e os elementos presentes nas folhas, bem como a quantificação de elementos da natureza, tais como intensidade solar, disponibilidade hídrica, ventos, formas de manejo, que também podem alterar a quantidade de metabólitos secundários presentes nas folhas de erva-mate.

REFERÊNCIAS

- BACKES, P; IRGANG, B. **Árvores do sul: Guia de identificação e interesse ecológico – As principais espécies nativas do sul**. 1. ed., Pallotti Clube da árvore: Instituição Souza Cruz, 2002. 325 p.
- BISOGNIN, D. A. et al. Contents of total phenolics and flavonoids and antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* leaves. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. 1-8, 2019.
- BRUXEL, F. et al. Taxonomia, descrição e distribuição geográfica de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. In: FERLA, N. J.; SILVA, G. L.; JOHANN, L. (Orgs.). **A cultura da erva-mate e os ácaros: situação atual e perspectivas**. 1. ed., Porto Alegre: Evangraf, 2018. 168 p.
- CABRAL, A. et al. Aquifoliaceae na Serra Negra, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, 2018.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1ª Ed., Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, p. 1039, 2003.
- CASTALDELLI, A. P. A. et al. Efeito da erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – Hil.) no comportamento e fisiologia de ratos Wistar. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre. V. 9. N. 514-519. 2011.
- CHAICOUSKI, A.; LAZZAROTTO, M. Aplicabilidade de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em diferentes alimentos. **Evidência**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 49–62, 2021.
- CHECHI, L. A.; SCHULTZ; G.; FERRPNATTO, E. M. O.; MONTAGNER, J. M. Ativos territoriais e desenvolvimento: Estudo da articulação pela Indicação Geográfica da Erva-mate no Polo Ervateiro Alto Taquari - RS. **Estratégia e Desenvolvimento**, Santana do Livramento, v. 1, n. 1, p. 16-34, 2017.
- CUNHA, G. G.; FERREIRA, A. G. Viabilidade das sementes de erva-mate. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 10, 1987.
- DA COSTA, R. B. et al. Avaliação genética de indivíduos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) na região de Caarapó, MS, pelo procedimento REML/BLUP. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, 2005.
- DA CROCE, D. M. **Cadeias produtivas do estado de Santa Catarina: erva-mate**. Epagri, Boletim Técnico n. 112, Florianópolis, SC, p. 41, 2000.
- DALLABRIDA, V. R. et al. Com erva-mate não se faz só chimarrão! Situação atual e perspectivas de inovação no setor ervateiro do planalto norte catarinense. **Desenvolvimento Regional em debate**, v. 6, n. 2, p. 247-273, 2016.
- DICKEL, M. L.; RITTER, M. R.; BARROS, I. B. I. *Ilex paraguariensis*: Erva-mate. In: COORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: MMA, 2011. 934 p.

DOMINGUES, S. et al. Regrowth of yerba mate plants (*Ilex paraguariensis* A. St. - hill.) submitted to dynamized high-dilution preparations. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 36, n. 6, p. 1-11, 2019.

DUARTE, M. M. *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.: Caracterização de morfotipos e genótipos para produção de compostos bioativos e propagação. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 2020.

EBBING, M; RUSH, F. **Diagnóstico da cadeia produtiva da erva-mate no estado do Rio Grande do Sul**. Instituto Brasileiro da Erva-mate, Ano I, n° 1, Ilópolis - RS, 2018.

Disponível em: <https://www.ibramate.com.br/wp-content/uploads/2018/05/DIAGN%C3%93STICO-DA-EM-DO-RGS-doc-final-revista.pdf>.

EFING, L. M. A. C. **Compostos bioativos do material resinoso, subproduto de processamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.)**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

ESCARPA, A.; GONZALES, M. C. An overview of analytical chemistry of phenolic compounds in foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.31. p.57-119, 2001.

EMBRAPA. **Programa gaúcho para qualidade e valorização da Erva-mate envolve cinco polos ervateiros**. Notícias: 22/12/2020. Disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58304745/programa-gaucho-para-qualidade-e-valorizacao-da-erva-mate-envolve-cinco-polos-ervateiros>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2024.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, A. G. Estrutura e desenvolvimento da semente e embrião. In: Congresso Sul-Americano da erva-mate e Reunião técnica do Cone Sul sobre a cultura da erva-mate, Colombo, PR. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 1997. 133-139 p.

FLORA DO BRASIL. Aquifoliaceae. In: **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB4904>. Acesso em: 12 de dez. 2023.

FRANÇA, G. S.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M. MATA, V. C.; SOUZA, E. S. C. Parâmetros colorimétricos no sistema CIELab para madeiras de florestas naturais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16. n.30. 2019.

GERHARDT, M. **História ambiental da Erva-mate**. 2013. 290p. Tese (Doutorado em História Cultural) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em História, Florianópolis, SC, 2013.

GNOATTO, S. C. B. et al. Influência do método de extração nos teores de metilxantinas em erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil., Aquifoliaceae). **Química nova**, v. 30, n. 2, 2007.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais; Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Quim. Nova**, v.30. n.2. p374-381, 2007.

HAMMER O.; HARPER, DAT; RYAN PD. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4: 4, 2001

HENCES, V. G. et al. **Teor de clorofila e colorimetria da erva-mate**. VII CIT - Congresso de inovação tecnológica. 9ª Semana integrada UFPEL, 2023.

HUNTERLAB. **CIE L*a*b* color scale: applications note**, v.8, n.7, 1996. Disponível na internet: http://www.hunterlab.com/color_theory.ph

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola: Lavoura permanente - Erva-mate**. 2022. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/15/0?tipo=ranking&indicador=11943>. Acesso em: 27/01/2024.

KIM, D; JEONDS, S; LEE, C. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chem.**, v. 81; p.321-326. 2003.

KOMICA MINOLTA. **Entendendo o Espaço de cor L*a*b***. Disponível

em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 28/01/2024.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, v.148, p. 362-385, 1987. Disponível em: < [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes - ScienceDirect >

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, v. 1, p.348, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1, 7. ed., São Paulo: Instituto Plantarum de estudos da Flora, 2016.

LUZ, L. V. da. **Análise fitoquímica e resgate de plantas adultas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) por estaquia**. 2016. 91p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

MACCARI JUNIOR, A.; SANTOS, A.P.R. O alimento erva-mate e a erva-mate em alimentos. In: MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate**. Curitiba: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-Mate do Paraná, 2000. 43-69 p.

MALHEIROS, G. C. **Estudo da alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão**. 2007. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

MARQUES, A. C.; REIS, M. S.; DENARDIN, V. F. As paisagens da erva-mate: uso das florestas e conservação socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 22, 2019.

MARTINS-RAMOS, D. et al. Florística de Floresta Ombrófila Mista Altomontana e de Campos em Urupema, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira Biociências**, v. 9, n. 2, 2011.

- MATTOS, L. A. **Caracterização química e potencial de aceitabilidade do chá misto de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) e erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2021.
- MEDRADO, M. J. S. **Trabalhador no cultivo de plantas industriais – Erva-mate: produção**. 1. ed., n. 1, Curitiba: SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, 2003. 47 p.
- MELO, I. B. de. **Os Polos ervateiros do RS: Distribuição geográfica**. EMATER (Regional Passo Fundo), 2016.
- NEUNFELD, T. H. et al. Características físico-químicas e compostos bioativos de acessos de batata-doce na região centro-sul do Paraná. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022.
- OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. 17-36 p.
- PICOLOTTO, P., VARGAS, G. M., RIGO, L., OLIVEIRA, S. V. A Dinâmica de Produção e de Comercialização da Erva-Mate nos Cinco Polos Ervateiros do Estado do Rio Grande do Sul. Primeiro Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia e Desenvolvimento - SJPE&D, v.1, n.1. **Anais...** 2013.
- PIRES, D. A. C. K. et al. A erva-mate no Planalto Norte Catarinense: os compostos bioativos como variável na determinação das especificidades necessárias ao reconhecimento como indicação geográfica. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 6, n. 2, 2016.
- PIRES, E. Z. et al. Biologia reprodutiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) em remanescente de Floresta Ombrófila Mista Altomontana. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 13, n. 2, 2014.
- POTRICKOS, R. et al. Determinação de fenóis totais em infusões aquosas de chá verde (*Camelia sinensis*) e de erva mate (*Ilex paraguariensis*) preparada na forma de chimarrão. **RIES**. v.2, n.1, p.27-38, 2013.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Erva-mate**. In: Projeto madeira do Rio Grande do Sul. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1983. p.284-292.
- RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A.; CARVALHO, A. P. de; SIMEÃO, R. M.; FERNANDES, J. S. C. Programa de melhoramento da Erva-Mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones. Colombo: Embrapa Florestas, **Circular técnica 43**, 2000.
- RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 7.439, de 8 de dezembro de 1980. Institui a Erva-Mate “*Ilex Paraguariensis*” como Árvore Símbolo do Rio Grande do Sul. **Assembleia do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, 08 de dez de 1980. Disponível em <https://leisestaduais.com.br/rs/lei-ordinaria-n-7439-1980-rio-grande-do-sul-institui-a-erva->

mate-*Ilex paraguariensis* como a árvore símbolo do Rio Grande do Sul. Acesso em 15 de jun de 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 11.929, de 20 de junho de 2003. Institui o churrasco como “prato típico e o chimarrão como “bebida símbolo” do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. **Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, 23 de jun de 2003. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/replegis/arquivos/11.929.pdf>. Acesso em 15 de jun de 2023.

ROSSA, U. B. et al. Influência da luminosidade e fertilizantes nos teores de metilxantinas e compostos fenólicos em folhas de erva-mate. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1365-1374, 2017.

SAMPAIO, J. et al. Estudo da genotoxicidade *in vitro* e *in vivo* após exposição aguda e subcrônica de extratos aquosos de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. obtidos por infusão. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, RS, v. 10, n. 4, 2012.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols, **Nutr.** V.103, p.2073S-2085S, 2000.

SCHINELLA, G. R. et al. Antioxidant effects of an aqueous extract of *Ilex paraguariensis*. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 269, 2000.

SCHMALKO, M. E; ALZAMORA, S.M. Color, chlorophyll, caffeine, and water content variation during yerba.mate processing. **Drying Technology**, v. 3, n. 19, p. 597-608, 2001.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster- analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO, **Secretaria e Emater apresentam novo mapa da erva-mate no Rio Grande do Sul**, 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/secretaria-e-emater-apresentam-novo-mapa-da-erva-mate-no-rio-grande-do-sul>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

SECRETARIA DA CULTURA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Erva-mate torna-se o primeiro patrimônio cultural imaterial do Rio Grande do Sul**. Notícias. 2023. Disponível em: <https://cultura.rs.gov.br/erva-mate-torna-se-o-primeiro-patrimonio-cultural-imaterial-do-rio-grande-do-sul>. Acesso em 22 de novembro de 2023.

SHIMAKURA, S. **Correlação**. In: CE003 - Estatística II. Paraná: Departamento de Estatística da Universidade Federal do Paraná, 2006. 71-78 p.

SILVA, C. H. B. da. **Influência da idade das folhas e da luminosidade nos teores de metilxantinas, ácido clorogênico, fenólicos totais e na atividade de captação de radicais livres de extratos aquosos de *Ilex paraguariensis* A. St. Hilaire**. 2012. 92p. Dissertação (Mestrado em Farmácia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

- SILVEIRA, C. S.; SCHULTZ, G. Desempenho das indústrias ervateiras do Alto Taquari/RS: uma análise com a aplicação da matriz importância – desempenho. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 7, p. 215-229, 2019.
- SILVEIRA, C. S. **Análise do desempenho das indústrias ervateiras do Alto Taquari no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2017.
- SINGLETON, V.L. AND ROSSI, J.A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagent. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16, 144-158, 1965.
- SOUZA, S. J. C. et al. **Clorofila A e B, Clorofila total e sua relação com área foliar total em mudas de Caju**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal/RN. 2015.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG IV**. 4. ed., Nova Odessa, SP: Jardim Botânico Plantarum, 2019.
- STREIT, N. M; CANTERLE, L. P; CANTO, M. W. de; HECKTHEUER, L. H. H. As Clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3. p.748-755, 2005.
- STURION, J. A; RESENDE, M. D. V. de. **Melhoramento genético da erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 274 p.
- TSAI, C. C. et al. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Phyllanthus emblica* LL. And evaluation of antioxidante activities. **Int J Cosmetic Sci**. 36(5): 471-476. 2014.
- UENOJO, M.; JUNIOR, M. R. M.; PASTORE, G. M. Carotenóides: Propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, Vol. 30, n. 3, 616-622, 2007.
- VALDUGA, A. T. et al. Phytochemical profile of morphologically selected yerba-mate progênies. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 1, 2016.
- XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomia Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010.
- WACHOWICZ, R. C. **História do Paraná**. Curitiba: Editar. 1972. 188 p.
- WENDLING, I., DUTRA, F. D., GROSSI, F. Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.2, p. 289-292, fev. 2007.
- WENDLING, I.; SANTIN, D. (Eds.). **Propagação e nutrição de erva-mate**. 1. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2014. 195 p.
- ZANIN, V.; MEYER, L. G. Evolução de comercialização da erva mate no Rio Grande do Sul. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 4, n. 1, p. 7-18, 2018.

ZHISHEN, J., MENGCHENG, T. AND JIANMING, W. (1999) The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and Their Scavenging Effects on Superoxide Radicals. **Food Chemistry**, 64, 555-559.