

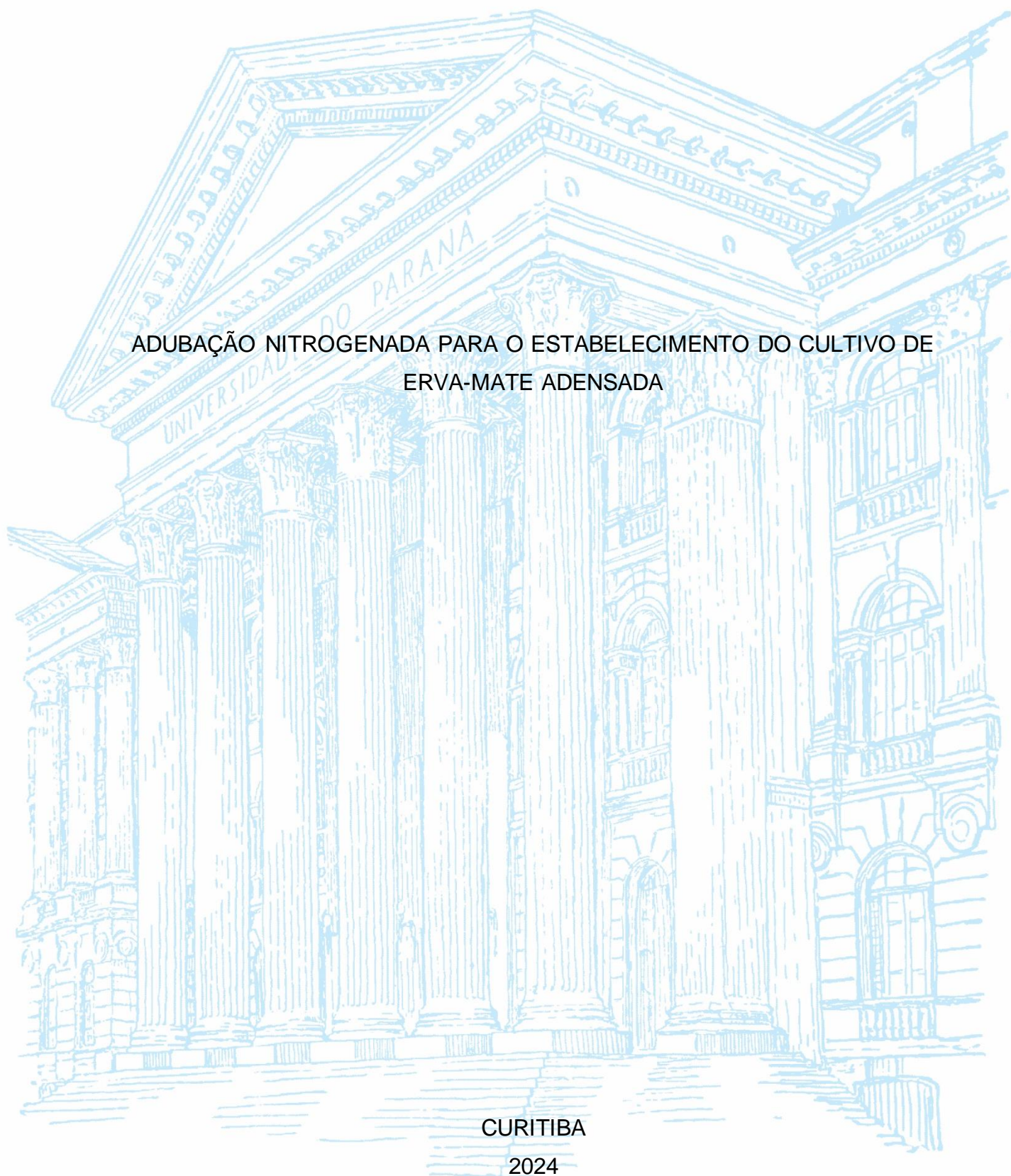
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIA DE SOUZA ALMEIDA

ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O ESTABELECIMENTO DO CULTIVO DE  
ERVA-MATE ADENSADA

CURITIBA

2024



JULIA DE SOUZA ALMEIDA

ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O ESTABELECIMENTO DO CULTIVO DE  
ERVA-MATE ADENSADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti.

CURITIBA

2024

## TERMO DE APROVAÇÃO

JULIA DE SOUZA ALMEIDA

### ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O ESTABELECIMENTO DO CULTIVO DE ERVA-MATE ADENSADA

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheira Agrônoma no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

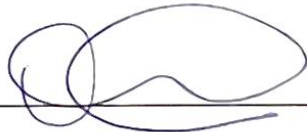


---

Orientador Professor Dr. Volnei Pauletti

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Setor de Ciências Agrárias

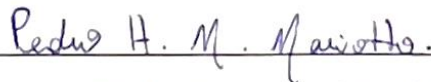


---

Professor Dr. André Carlos Euler

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Setor de Ciências Agrárias



---

Doutorando Pedro Henrique Malucelli Mariotto

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 19 de dezembro de 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, pelo dom da vida, coragem, inspiração e sabedoria para concluir este trabalho.

Aos meus pais, Antônio e Solange, que não me deixaram desistir e sempre foram meus maiores incentivadores, que nunca mediram esforços para tornar meus sonhos realidade.

Ao meu irmão, João, que com seu jeito carinhoso e divertido torna meus dias mais alegres.

Aos professores que tanto me guiaram nessa jornada durante a graduação, em especial ao meu orientador, Volnei Pauletti.

As minhas amigas que fiz durante a graduação, Amanda, Ana Carolina, Ana Flávia, Emanuely, Gabriela, Izadora, Luiza, Sara e Thalya, sou extremamente grata pela amizade de cada uma, levo cada uma de vocês no coração.

Aos meus amigos, Diogo, Enzo, Guilherme, Luis, obrigada por toda ajuda em diversos momentos, vocês me arrancaram as risadas mais sinceras e foram muitas vezes um alívio durante os dias ruins.

Aos meus familiares, padrinhos, tios, tias, primos e primas, que tanto me apoiaram e que mesmo de longe se fizeram presente.

## RESUMO

A erva-mate, *Ilex paraguariensis*, que é tradicionalmente consumida nas formas de chá, chimarrão e tereré, é amplamente cultivada na região sul do Brasil. O estado do Paraná se destaca, sendo em 2023 responsável por 87% da produção nacional. A adubação do erval e a maior população de plantas, podem proporcionar maior produtividade, tendo uma maior produção de folhas jovens de erva-mate, estas que contém elevado teor de compostos fitoquímicos benéficos. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo determinar a adubação nitrogenada que promova maior produtividade e qualidade de folhas jovens de erva-mate em sistema adensado de produção. Para alcançar este objetivo, um experimento foi implantado a campo em 2018, no município de General Carneiro - PR. Os tratamentos foram resultantes da combinação de três elevadas densidades populacionais de plantas (8.929, 13.333 e 27.027 plantas ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 300 % do recomendado). As colheitas são realizadas em intervalos de aproximadamente três meses. Neste trabalho foi avaliada a colheita realizada em maio de 2024, determinando-se a produtividade de massa fresca (MF) e seca (MS) de erva-mate comercial (galhos finos + folhas) e teor de N no material colhido. A massa fresca e a massa seca tiveram um aumento de produtividade conforme as maiores densidades populacionais. A maior produtividade se deu na maior população de plantas (27.027 plantas ha<sup>-1</sup>), chegando a 2731,08 kg ha<sup>-1</sup> de MF e 832,96 kg ha<sup>-1</sup> de MS, sendo que esta população é dez vezes maior que a utilizada em cultivos convencionais. As doses de nitrogênio em sistemas adensados de produção devem ser quase o triplo do recomendado para sistemas convencionais, equivalendo a 220,5 kg ha<sup>-1</sup> de N. O teor N não variou com os tratamentos aplicados.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*. Nitrogênio. Adensamento. Produtividade.

## ABSTRACT

Yerba mate, *Ilex paraguariensis*, which is traditionally consumed in the form of tea, mate and tereré, is widely grown in the southern region of Brazil. The state of Paraná stands out, accounting for 87% of national production in 2023. Fertilizing the yerba mate plant and increasing the plant population can lead to greater productivity, with a higher production of young yerba mate leaves, which contain a high content of beneficial phytochemical compounds. In this context, the aim of this study was to determine the nitrogen fertilization that promotes the highest productivity and quality of young yerba mate leaves in a dense production system. To achieve this objective, an experiment was set up in the field in 2018, in the municipality of General Carneiro - PR. The treatments were the result of a combination of three high plant densities (8,929, 13,333 and 27,027 plants ha<sup>-1</sup>) and five doses of N (0, 50, 100, 200 and 300 % of the recommended). Harvests were carried out at approximately three-month intervals. This study evaluated the harvest carried out in May 2024, determining the yield of fresh mass (MF) and dry mass (MS) of commercial yerba mate (thin branches + leaves) and the N content in the harvested material. Fresh mass and dry mass yields increased with the higher population densities. The highest productivity occurred with the highest plant population (27,027 plants ha<sup>-1</sup>), reaching 2731.08 kg ha<sup>-1</sup> of MF and 832.96 kg ha<sup>-1</sup> of DM, this population being ten times higher than that used in conventional crops. Nitrogen doses in dense production systems should be almost triple those recommended for conventional systems, equivalent to 220.5 kg ha<sup>-1</sup> of N. The N content did not vary with the treatments applied.

Keywords: Yerba mate. Nitrogen. Densification. Productivity.

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

N - Nitrogênio

ha - Hectare

t – Toneladas

MF – Massa fresca

MS – Massa seca

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                       | <b>9</b>  |
| 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO .....                 | 10        |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>           | <b>11</b> |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>               | <b>14</b> |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO .....                       | 14        |
| 3.2 DENSIDADES DE PLANTIO E ADUBAÇÃO .....     | 15        |
| 3.3 VARIÁVEIS AVALIADAS .....                  | 16        |
| 3.4 ANÁLISES LABORATORIAIS .....               | 18        |
| 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....                | 21        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>          | <b>22</b> |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>                       | <b>28</b> |
| 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ..... | 28        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                       | <b>29</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil) é uma planta nativa da região sul da América do Sul, é o principal produto florestal não madeireiro do estado do Paraná, sendo que o estado é responsável por 87% do volume total da produção brasileira (IBGE, 2024).

As folhas e galhos finos de erva-mate geralmente são consumidas nas formas de chá, chimarrão e também de tereré, sendo que a planta é conhecida por ter um efeito estimulante natural. Isso ocorre pela presença de compostos químicos como as metilxantinas, que têm como principais representantes a cafeína e a teobromina (FREITAS *et al.*, 2011), que atuam no sistema nervoso central aumentando o estado de alerta.

Além do efeito estimulante, a planta apresenta também outros efeitos benéficos a saúde como a ação antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano, antiobesidade, antidiabético, neuroprotetor, proteção cardiovascular, regulação da microbiota intestinal e anticâncer (CARDOZO *et al.*, 2021).

As folhas jovens de erva-mate contêm grande quantidade de cafeína, podendo chegar até 2,2%, onde este percentual vai diminuindo em folhas adultas e mais velhas (CARVALHO, 2003).

Quando tratamos da produção da erva-mate, os principais sistemas de produção são a pleno sol, em sistemas agroflorestais e em sistemas sombreados, onde a densidade de plantio comumente recomendada é a de 2.222 plantas ha<sup>-1</sup>.

Como a colheita da erva-mate exporta grande quantidade de macro e micronutrientes a não reposição desses nutrientes, pode diminuir a produtividade da espécie (OLIVA *et al.*, 2014). O nitrogênio (N) é o elemento mais limitante a produção de matéria seca para erva-mate (WENDLING; SANTIN, 2015), sendo que o N promove o desenvolvimento vegetativo por sua participação na fotossíntese e também por ser componente dos principais metabólicos secundários de interesse (BASTOS *et al.*, 2007, HAWKESFORD *et al.*, 2012 *apud* SANTOS, 2023). A adubação nitrogenada que é recomendada para plantios convencionais é de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N (NEPAR, 2019).

Embora a erva-mate seja uma cultura brasileira centenária (CARVALHO, 2003) que conta com vários efeitos benéficos associados ao seu uso, e ainda que tenha um interesse grande pelo consumo de seus produtos e derivados, ainda existem

poucos estudos que relacionem a produção adensada de plantas com a adubação nitrogenada dos ervais.

### 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente estudo tem como objetivo analisar o efeito do adensamento das plantas de erva-mate e definir as doses de nitrogênio que promovam maior produtividade de folhas jovens de erva-mate em sistema adensado de produção.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma espécie florestal ombrófila, que tem ocorrência natural na região nordeste da Argentina (MARTINEZ-CROVETTO, 1963), nas províncias de Misiones e Corrientes (FONTANA; PRAT KRINCUN; BELINGHERI, 1990), leste do Paraguai (LOPEZ *et al.*, 1987) e norte do Uruguai (LOMBARDO, 1964), e também em todos os estados do sul do Brasil (CARVALHO, 2003). A região de ocorrência natural da espécie situa-se entre as latitudes de 21°S e 30°S e longitudes de 48°30'W e 56°10'W, com altitudes variáveis entre 500 e 1000m, abrangendo aproximadamente 5% do território brasileiro (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

FIGURA 1 – Área de ocorrência endêmica da *Ilex paraguariensis*.



FONTE: Gerhardt (2013).

A produção da erva-mate no estado do Paraná, teve grande importância histórica, tendo relevância no processo de emancipação política do estado em 1853, sendo responsável pela primeira fase de industrialização, e também a forte economia

ervateira deu condições a fundação em 1912, da Universidade Federal do Paraná (GOVERNO DO PARANÁ, 2022).

O Brasil é o maior produtor e exportador de erva-mate mundial, segundo IBGE (2024), foram produzidas aproximadamente 736 mil toneladas de folhas, em uma área de 82 mil hectares. No país a erva-mate é explorada em cerca de 486 municípios divididos entre os estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul, englobando aproximadamente 180 mil propriedades rurais (WENDLING, 2016).

Conforme dados do IDR (2024), a erva-mate destaca-se como o principal produto florestal não madeireiro produzido no estado do Paraná, sendo que a produção da erva-mate é uma fonte crucial de renda para mais de 37 mil propriedades rurais.

Segundo IBGE (2023), o estado do Paraná tem um rendimento médio de produção de folhas de erva-mate de  $9.692 \text{ kg ha}^{-1}$ , estando acima da produção média brasileira, que gira em torno de  $8.976 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Há uma diferença de produtividade encontrada entre ervais comerciais e experimentais; diferença qual está ligada principalmente a baixa adoção de tecnologias pelos produtores de erva-mate (PENTEADO JUNIOR; GOULART, 2019). Embora a erva-mate tenha um amplo histórico de tradição da sua produção, as áreas de ervais tem sido cada vez mais substituídas por outras atividades, já que a produtividade dos ervais brasileiros vem cada vez mais diminuindo (CARMO *et al.*, 2018).

A planta tende a se adaptar melhor nos locais de sua distribuição natural, onde ocorrem dois tipos climáticos Cfb (clima temperado) e Cfa (clima subtropical) segundo a classificação de Köeppen; estes locais contam com chuvas bem distribuídas ao longo do ano variando entre 1.500 a 2.000 mm anuais e tem temperaturas médias variando de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $21^{\circ}\text{C}$ , podendo ocorrer geadas frequentes a pouco frequentes (MEDRADO; STURION, 2014).

Naturalmente, a espécie tem seu desenvolvimento em solos caracterizados de baixa fertilidade, que apresentam baixos teores de cátions trocáveis, altos teores de alumínio e pH baixo (CARVALHO, 2003). A presença da espécie tem maior frequência em solos com textura média a argilosa (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

Considerando que a colheita da erva-mate envolve a retirada de material vegetal na forma de folhas e galhos finos da área de produção, há uma significativa

exportação de nutrientes contidos nesse material para fora da área de produção (PENTEADO JUNIOR; GOULART, 2019). Diante desse cenário de grande remoção de massa verde para fora do erval, se torna imprescindível a reposição de nutrientes para a manutenção da fertilidade e potencial da planta (PANDOLFO *et al.*, 2003).

Em relação à nutrição do erval, o nitrogênio é o maior limitante na produção de matéria seca, seguido por cálcio, fósforo, potássio, magnésio, zinco, cobre e ferro (BELLOTE; STURION, 1985). Ademais, estudos indicam que os níveis de nutrientes extraídos do solo pela cultura equivalem aos níveis extraídos por culturas como milho e soja (PENTEADO JUNIOR; GOULART, 2019). Por fim, como os nutrientes são limitantes da produtividade, a deficiência de nutrientes pode resultar em reduzir a produtividade do erval em mais de 50% (SANTIN *et al.*, 2019).

Os ervais comerciais podem ser nativos, usados de modo extrativista, ou ervais plantados, onde estes geralmente podem ser expostos a pleno sol ou em sistemas agroflorestais (UFESM, 2018). O espaçamento comumente usado em ervais plantados é de 3 m x 1,5 m gerando uma densidade populacional de 2.222 planta ha<sup>-1</sup> (PENTEADO JUNIOR; GOULART, 2019), onde este espaçamento pode variar conforme o tipo de produção (pleno sol ou sistemas agroflorestais).

O adensamento da erva-mate pode ser realizado em ervais que já estejam implantados em sistemas agroflorestais, podendo ser uma forma de se otimizar o sistema (PENTEADO JUNIOR; GOULART, 2019).

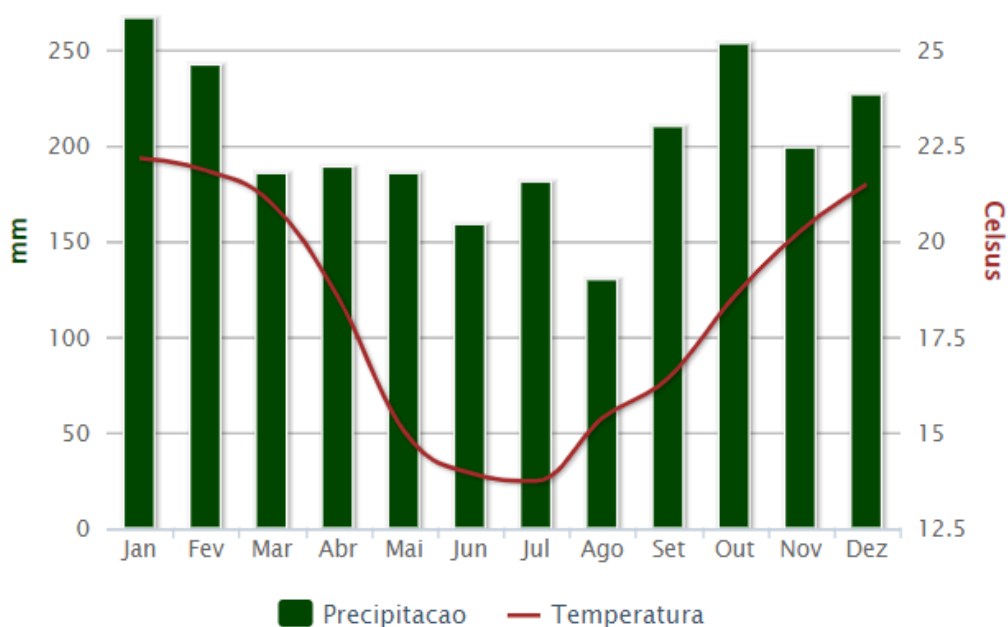
Ainda quanto ao adensamento da erva-mate, pode ser realizado no plantio de novos ervais com maiores densidades de plantas. Ao tratarmos do plantio adensado da erva-mate, este surge como uma opção ao plantio convencional, sendo que a alta densidade de plantas a campo, apresenta-se como um sistema de maior grau tecnológico, visando maior produtividade (GABIRA, 2023).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo teve origem a partir de um experimento instalado na cidade de General Carneiro, localizada no estado do Paraná, nas seguintes coordenadas geográficas: 26°25'39" S, 51°18'56" W, a uma altitude de 983 metros; sendo que este experimento foi instalado no ano de 2018. No que diz respeito às características climáticas da região, temos a classificação Cfb (ALVARES *et al.*, 2013), indicando um clima temperado, com chuvas amplamente distribuídas ao longo do ano, verões amenos e também geadas recorrentes. O município registra uma precipitação média mensal de 202,85 mm e uma temperatura média mensal de 18,20°C conforme INMET (2024).

GRÁFICO 1 - Precipitação e temperatura média mensal dos últimos 30 anos no município de General Carneiro



FONTE: Adaptado de Sisdagro (2024).

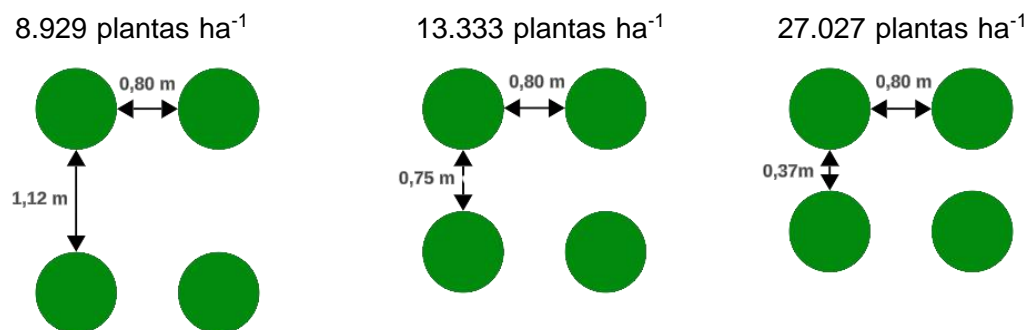
Segundo IBGE (2023), o município de General Carneiro, produziu 4.900 t de folhas verdes de erva-mate, em uma área de 490 ha, gerando um rendimento médio de 10.000 kg ha<sup>-1</sup>.

No que diz respeito às características do solo da região, este se caracteriza por uma textura argilosa, com  $745 \text{ g kg}^{-1}$  de argila. Na instalação do experimento na camada superficial do solo (0-20 cm), os teores de nutrientes foram de  $1,05 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo (P),  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  de potássio (K),  $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de cálcio (Ca) e  $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de magnésio (Mg), o que representa níveis considerados muito baixos, médios, muito baixos e muito baixos, respectivamente.

### 3.2 DENSIDADES DE PLANTIO E ADUBAÇÃO

Para o presente estudo, foram empregadas três diferentes populações de plantas, mantendo o espaçamento de 0,80 m em fileiras duplas e entre estas fileiras duplas o espaçamento é de 2,20 m. Para obter as diferentes populações, foram variados os espaçamentos entre as plantas na linha: 1,12 m ( $8.929 \text{ plantas ha}^{-1}$ ), 0,75 m ( $13.333 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) e 0,37 m ( $27.027 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) (Figura 2). As parcelas contam com duas linhas, contendo 18 plantas cada linha, sendo um total de 36 plantas em cada parcela. Todas estas populações estão muito acima da densidade comumente aplicada em plantios comerciais de erva-mate que é de  $2.222 \text{ plantas ha}^{-1}$ . Quanto às doses de nitrogênio aplicadas, foram utilizadas 0, 50, 100, 200 e 300 % do recomendado para cada fase do erval, sendo na fase de produção de 0, 37,5, 75, 150, 225  $\text{kg ha}^{-1}$  (NEPAR, 2019).

FIGURA 2 – Espaçamento entre plantas na linha.



FONTE: A autora (2024).

Para o presente experimento, foi adotado o delineamento de blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições cada, formando um total de 60 parcelas diferentes (Figura 3). Onde na imagem, a letra B

representa o bloco, a letra N a dose de N e a letra E o espaçamento (população) de plantas usados.

FIGURA 3 – Croqui da área experimental em General Carneiro – PR.

|           |        |        |        |        |        |         |           |        |        |        |        |        |         |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| BORDADURA |        |        |        |        |        | ESTRADA | BORDADURA |        |        |        |        |        | ESTRADA |
| B3N4E3    | B3N4E2 | B3N4E1 | B3N1E1 | B3N1E3 | B3N1E2 |         | B1N2E1    | B1N2E2 | B1N2E3 | B1N3E3 | B1N3E2 | B1N3E1 |         |
| BORDADURA |        |        |        |        |        |         | BORDADURA |        |        |        |        |        |         |
| B3N5E2    | B3N5E3 | B3N5E1 | B3N2E3 | B3N2E2 | B3N2E1 |         | B1N5E1    | B1N5E2 | B1N5E3 | B1N4E3 | B1N4E2 | B1N4E1 |         |
| BORDADURA |        |        |        |        |        |         | BORDADURA |        |        |        |        |        |         |
| B4N1E2    | B4N1E1 | B4N1E3 | B3N3E1 | B3N3E3 | B3N3E2 |         | B2N4E3    | B2N4E2 | B2N4E1 | B1N1E3 | B1N1E1 | B1N1E2 |         |
| BORDADURA |        |        |        |        |        |         | BORDADURA |        |        |        |        |        |         |
| B4N3E1    | B4N3E2 | B4N3E3 | B4N4E3 | B4N4E2 | B4N4E1 |         | B2N3E2    | B2N3E1 | B2N3E3 | B2N5E3 | B2N5E2 | B2N5E1 |         |
| BORDADURA |        |        |        |        |        |         | BORDADURA |        |        |        |        |        |         |
| B4N2E3    | B4N2E2 | B4N2E1 | B4N5E2 | B4N5E3 | B4N5E1 |         | B2N1E3    | B2N1E1 | B2N1E2 | B2N2E3 | B2N2E1 | B2N2E2 |         |
| BORDADURA |        |        |        |        |        |         | BORDADURA |        |        |        |        |        |         |

FONTE: A autora (2024).

No momento do estabelecimento do experimento, foi realizada a adubação com 44 kg ha<sup>-1</sup> de N, 154 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 42,5 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (K<sub>2</sub>O). Após o plantio, foram aplicados anualmente 154 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 44 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em todos os tratamentos. Para as adubações, foram utilizados o superfosfato simples (21% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e ureia (45% de N). As adubações anuais de K<sub>2</sub>O e de N foram divididas em partes iguais e aplicadas nos meses de janeiro e setembro de cada ano, já a adubação fosfatada anual foi aplicada no mês de setembro.

### 3.3 VARIÁVEIS AVALIADAS

Foi determinada a produtividade de erva-mate comercial colhendo-se em cada parcela 10 plantas, sendo 5 sequências em cada linha, em local aleatório na área útil da parcela, onde a primeira e a última planta são bordaduras. Foram determinadas a massa fresca (MF) dos galhos finos (< 6 mm) e folhas jovens com o auxílio de um podador da marca Stihl. A MF foi pesada com o auxílio de um poncho e uma balança (Imagem 1). Após a pesagem de todo material colhido, foi separada uma amostra de aproximadamente 500 g que foi pesada fresca e levada para secagem a fim de determinar a umidade das amostras. Após a colheita das amostras, todo o erval foi podado e deixado com cerca de 0,8 m de altura (Imagem 2).

As amostras separadas no campo foram levadas ao laboratório e secas a uma temperatura de 40°C em estufa. Após as amostras atingirem peso constante estas foram retiradas da estufa para pesagem a fim de se obter a umidade e posteriormente a massa seca (MS) do material colhido.

Com a massa fresca e seca do material colhido, foi calculada a produtividade de MF e MS em kg ha<sup>-1</sup>.

IMAGEM 1 – Pesagem de MF com auxílio de poncho.



FONTE: A autora (2024).

IMAGEM 2 – Área experimental após colheita em maio de 2024.



FONTE: A autora (2024).

### 3.4 ANÁLISES LABORATORIAIS

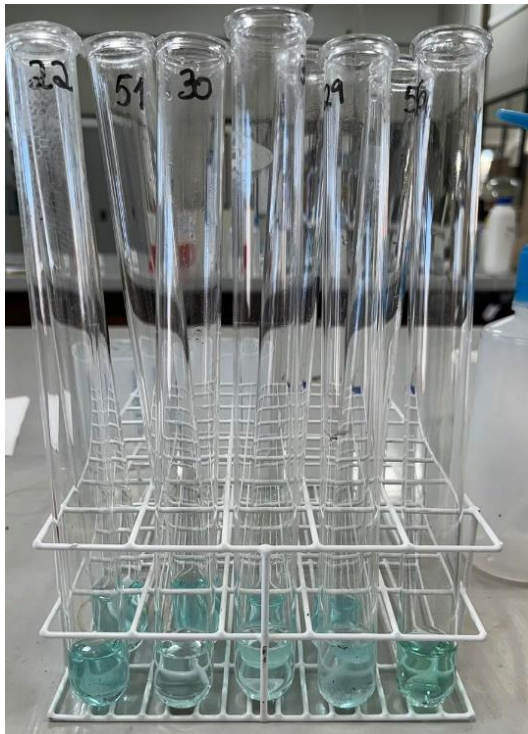
As amostras previamente secas foram moídas com o auxílio de um moedor de café para que pudessem ser utilizadas na determinação do teor de N nas amostras. Para isso foi utilizado o método de Kjeldahl, o qual consiste em três etapas principais, sendo as de digestão, destilação e por fim a titulação, conforme descrito por Silva (2009).

O princípio do método de Kjeldahl, é que o  $\text{NH}_4^+$  (amônio) produzido na digestão da amostra com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico) seja destilado em meio fortemente

alcalino. O  $\text{NH}_4^+$  condensado pelo destilador e é coletado na solução de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (ácido bórico), para então ser titulado com a solução de  $\text{HCl}$  (ácido clorídrico) (SILVA, 2009).

Para a digestão das amostras moídas, foram pesadas cerca de 0,1g de amostra em papel de seda, qual foi colocado em tubos com sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) que age como catalisador da reação (Imagem 3), em seguida sendo adicionado 5mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e 1 mL de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), onde os tubos foram levados para digestão em bloco digestor com aumento gradual de temperatura até atingir  $380^\circ\text{C}$ .

IMAGEM 3 - Amostras após digestão.



FONTE: A autora (2024).

Após a digestão foi realizada a destilação das amostras, que foram deixadas esfriar e posteriormente foi adicionado em cada tubo água deionizada; para a destilação foram colocados cerca de 35 mL de solução de ácido bórico 3% em béqueres que foram levados ao destilador (Imagem 4), sendo adicionado 20 mL de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) na amostra e ligado o destilador, após a amostra levantar fervura foram contados 10 minutos para a retirada do béquer com ácido bórico que era róseo e passou para azul esverdeado.

IMAGEM 4 – Destilação das amostras.



FONTE: A autora (2024).

Por fim, as amostras foram tituladas usando ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,1 até o ponto de viragem da coloração de azul esverdeado para vinho (Imagem 5), então foi anotado o volume consumido na titulação para a realização dos cálculos de teor de nitrogênio presente na amostra.

IMAGEM 5 – Titulação das amostras destiladas com ácido sulfúrico.



FONTE: A autora (2024).

A partir do volume consumido na titulação das amostras e da quantidade de massa pesada, foi possível obter a porcentagem de N da amostra, por meio da seguinte fórmula descrita por Kjeldahl:

$$N (\%) = (V_a - V_b) * 0,1 * 0,14 * 0,1 * 1 / P$$

Onde:

N: Teor de Nitrogênio total na amostra dado em porcentagem;

V<sub>a</sub>: Volume gasto na titulação da amostra;

V<sub>b</sub>: Volume gasto na titulação do branco;

P: Massa de amostra em gramas.

Para determinar a quantidade de N em g kg<sup>-1</sup> presente por amostra, o teor de nitrogênio (%) é multiplicado por 10.

### 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos de MF, MS e teor de N, passaram por teste de normalidade, sendo considerados normais e foram submetidos a análise de variância (ANOVA) por meio do programa R. Em caso de variação significativa, a população de plantas foi comparada por Tukey a 5% de probabilidade e as doses de N por regressão.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está o resultado da análise de variância das variáveis MF, MS e teor de N na erva-mate comercial (folhas + galhos finos). Verifica-se que houve efeito isolado das doses e população para MF e MS e não houve interação significativa e nem efeito isolado na variação do teor de N na erva-mate comercial.

TABELA 1 – Resumo da análise de variância para massa fresta (MF), massa seca (MS) e teor de N na erva-mate comercial, em função da população de plantas e doses de N aplicadas e interação entre os fatores.

| Fator variação | Variável |    |        |
|----------------|----------|----|--------|
|                | MF       | MS | Teor N |
| Dose N         | *        | *  | ns     |
| População (P)  | **       | ** | ns     |
| P x D          | ns       | ns | ns     |

FONTE: A autora (2024).

NOTA: ns= variação não significativa; \*Variação significativa a 5% de probabilidade; \*\*Variação significativa a 1% de probabilidade

A maior produtividade de erva-mate em MF e em MS, ocorreu na maior população de plantas, com uma redução de produtividade conforme ocorre a redução da população de plantas (Tabela 2).

TABELA 2 – Produtividade média de erva-mate comercial e umidade média, em função da população de plantas.

| População                       | MF (kg ha <sup>-1</sup> ) | MS (kg ha <sup>-1</sup> ) | Umidade (%) |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|
| 8.929 plantas ha <sup>-1</sup>  | 1147,32 a                 | 339,69 a                  | 29,6%       |
| 13.333 plantas ha <sup>-1</sup> | 1485,33 a                 | 439,36 a                  | 29,6%       |
| 27.027 plantas ha <sup>-1</sup> | 2731,08 b                 | 832,96 b                  | 30,5%       |

FONTE: A autora (2024).

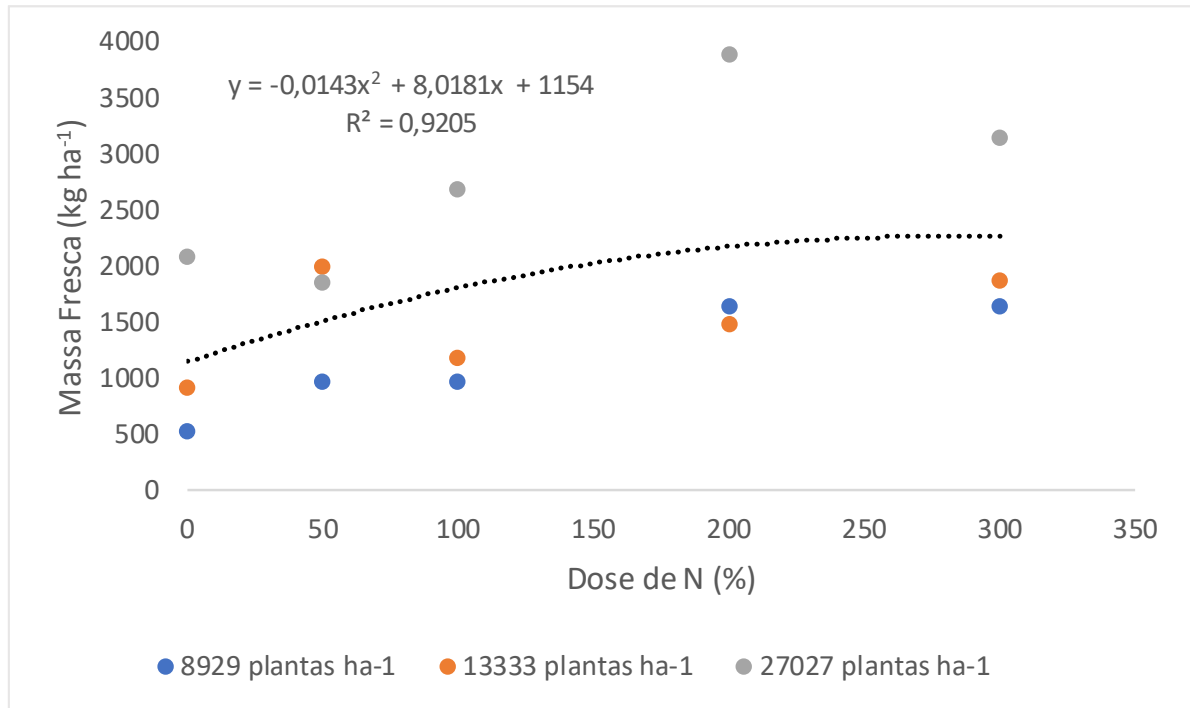
NOTA: Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível 5% de significância.

Quanto o teor de N encontrado na amostra (folhas + galhos finos), foi encontrado um valor médio de 28,63 g kg<sup>-1</sup>, sendo que este valor está dentro do esperado para plantas adultas de erva-mate, onde os teores foliares de N devem variar de 15,0 g kg<sup>-1</sup> (REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1999) até 46,9 g kg<sup>-1</sup> (BRONDANI *et al.*, 2008); o valor também está dentro do esperado para teor de N foliar de 24 g kg<sup>-1</sup> a 36 g kg<sup>-1</sup> (NEPAR, 2019). O teor de N, ainda pode ter variações relacionadas a época de colheita do material, onde em estações mais quentes são encontrados níveis mais elevados (REISSMANN *et al.*, 1985). É válido ressaltar que os valores de referência citados, foram analisados em amostras de apenas folhas, então há possibilidade de que ao analisar o teor de N apenas foliar, possam ser encontrados diferentes resultados em g kg<sup>-1</sup>.

A umidade média da erva-mate comercial foi de 70%, representando um rendimento de MS de aproximadamente 30%. Esta umidade não foi influenciada pela alteração na população de plantas (Tabela 2).

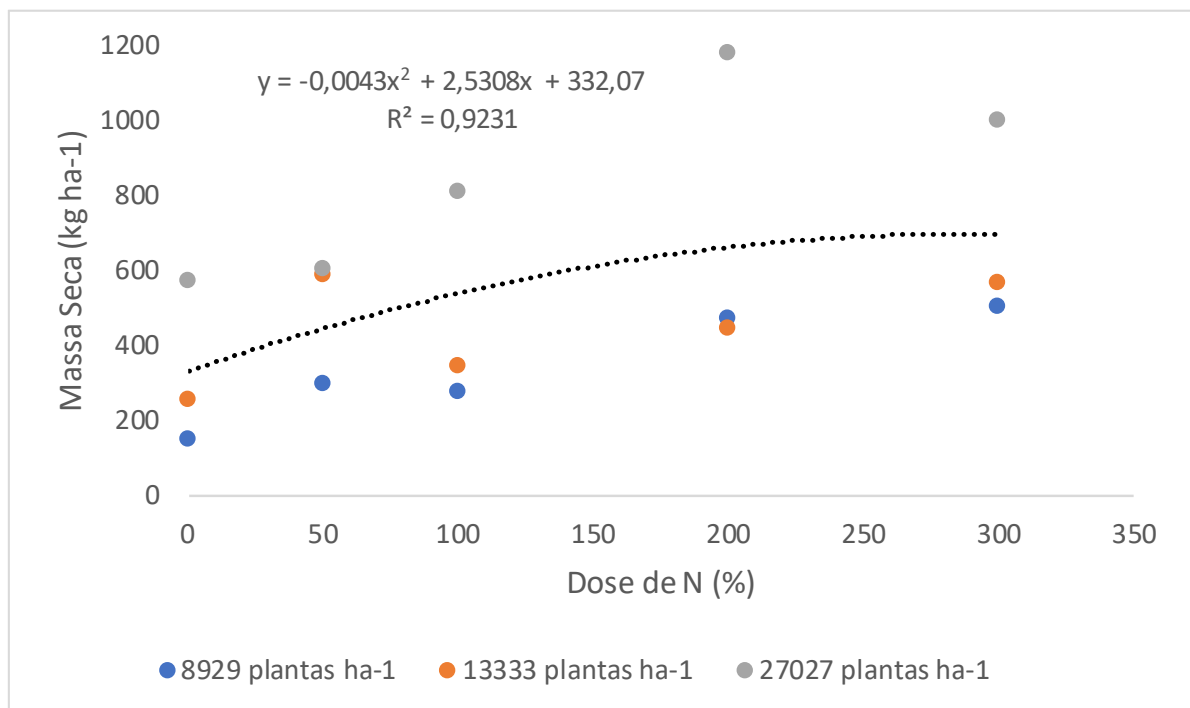
A produtividade de MF e MS da erva-mate foram influenciadas pelo aumento da dose de N (Figuras 4 e 5). As doses que proporcionaram maiores produtividades foram de 280% e 294%, respectivamente, da adubação recomendada para cultivos com espaçamento convencionais e populações próximas a 2.222 plantas ha<sup>-1</sup>. Esta porcentagem equivale a doses de 210 e 220,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, consideradas elevadas. Este resultado demonstra que a elevada população de plantas implica em elevada demanda de N nesta fase inicial de estabelecimento de erval altamente adensado.

FIGURA 4 – Variação da produtividade de massa fresca de erva-mate comercial, em função da dose de nitrogênio aplicada em ervais adensados.



Fonte: A autora (2024).

FIGURA 5 – Variação da produtividade de massa seca de erva-mate comercial, em função da dose de nitrogênio aplicada em ervais adensados.



FONTE: A autora (2024).

Podemos ressaltar que a resposta da produtividade do erval ao N também é influenciada pelo intervalo de colheita (WENDLING; SANTIN, 2015), onde a dose de N aplicada deverá ser maior para ervais colhidos com maiores intervalos de tempo; onde o convencional de colheita de ervais é em média a cada um ano e meio, e no experimento as colheitas são realizadas a cada três meses. A resposta do erval para a adubação nitrogenada, pode ser influenciada por diferentes fatores como a textura do solo (LOURENÇO *et al.*, 1997), o tempo de colheita (SANTIN *et al.*, 2019) e também pela densidade de plantas no local (PRAT KRICUN; BELINGHERE, 1995).

Ao considerarmos que a produtividade de massa fresca de erva-mate comercial obtida na colheita realizada em março de 2024, com a dose de N de máxima produção (280%) foi de 2.278 kg ha<sup>-1</sup>, e que são realizadas 4 colheitas por ano, a produtividade anual estaria próxima a 9.000 kg ha<sup>-1</sup>, o que está acima da produção média brasileira de 8.976 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que os ervais, são comumente colhidos com 1,5 anos.

Na Tabela 3, temos a estimativa que é esperada da produção de MF, considerando o produzido por população de plantas em um ano, mostrando que o sistema pode se mostrar vantajoso a longo prazo.

TABELA 3 – Produtividade média esperada da erva-mate em um ano por população de plantas.

| <b>População</b>                | <b>MF (kg ha<sup>-1</sup>)</b> |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 8.929 plantas ha <sup>-1</sup>  | 4589,28                        |
| 13.333 plantas ha <sup>-1</sup> | 5941,32                        |
| 27.027 plantas ha <sup>-1</sup> | 10924,32                       |

FONTE: A autora (2024).

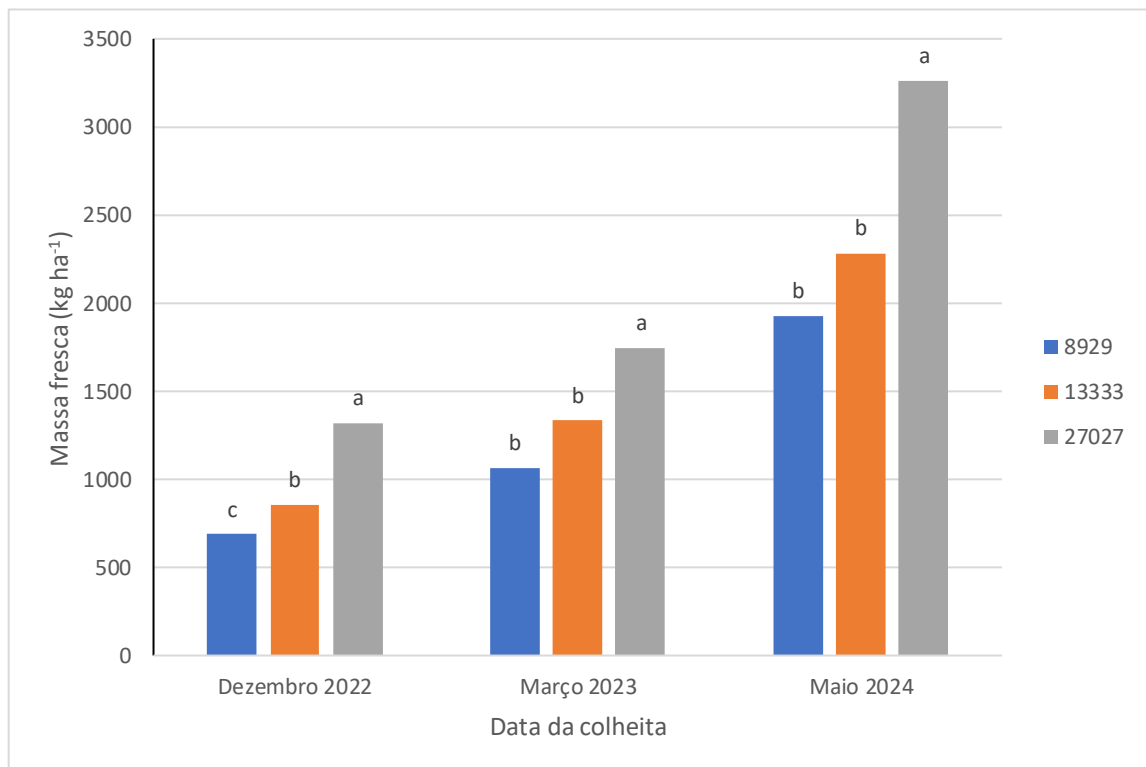
Quando consideramos que o teor médio de N no material colhido foi de 28,63 g kg<sup>-1</sup>, então em um ano seriam exigidos apenas para compor a erva-mate colhida, 257 kg ha<sup>-1</sup> de N, restando ainda a quantidade para atender a demanda da parte da planta não colhida. Como parte do N vem do solo, o restante depende do fornecimento via adubação.

Por ser material vegetal mais jovem devido as colheitas frequentes a cada três meses, o teor de N é maior que o citado por PAULETTI; MOTTA (2019), que indicam que cada tonelada de erva-mate comercial colhida com intervalo de 18 meses contém 10,3 kg de N.

Podemos citar ainda que o erval pode apresentar uma moderada resposta a adubação nitrogenada quando é jovem, sendo que esta resposta se intensifica na fase produtiva, devido a necessidade de a planta recuperar a copa em ciclos curtos, devido à colheita da folha, a qual possui, naturalmente, maior concentração de N (SANTIN *et al.*, 2019).

Quando analisamos um breve histórico produtivo da área, nos anos de 2022, 2023 e 2024; podemos observar que há um aumento na produção de MF e consequentemente MS, conforme os anos (Figura 6), sendo que as maiores produtividades foram alcançadas no ano de 2024, e com a maior população, de 27.027 plantas  $ha^{-1}$ .

FIGURA 6 – Comparativo da produção de MF por população nos anos de 2022, 2023 e 2024.



FONTE: A autora (2024).

NOTA: Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível 5% de significância.

De modo geral, a erva-mate é uma planta longeva que tem produção de biomassa por toda sua vida (PENTEADO JUNIOR; GOULART, 2019). Porém há uma estimativa que suas maiores produtividades de galhos finos e folhas, se encontrem entre 5 a 10 anos do erval implantado, o que pode ser uma explicação para sua produtividade aumentar conforme os anos, onde em 2022 o erval tinha 4 anos de plantado, e em 2024 atingiu os 6 anos de implantado no campo.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo tem como objetivo analisar o efeito do adensamento das plantas de erva-mate e definir as doses de nitrogênio que promovam maior produtividade de folhas jovens de erva-mate em sistema adensado de produção.

Maiores densidades de plantas proporcionam maior produtividade de erva-mate comercial.

Em sistemas com maiores densidades de plantas, as doses de N aplicadas devem ser aproximadamente o triplo do que é recomendado para sistemas com população de plantas tradicionalmente recomendadas.

### 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É importante que o experimento tenha continuidade a fim de se compreender melhor o efeito das doses de N no erval, encontrando a dose que proporcione maior produtividade em ervais com populações adensadas a medida que o sistema vá se estabelecendo.

E em experimentos futuros podem ser realizadas as análises de teor de N apenas na folha, onde há maior literatura a ser comparada.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS. À sombra de araucárias, erva-mate do Paraná vira destaque do Prêmio Orgulho da Terra. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/sombra-de-araucarias-erva-mate-do-Parana-vira-destaque-do-Premio-Orgulho-da-Terra>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES G., JOSÉ L.; SPAROVEK, G.. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013 Tradução. Disponível em <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 10 mar. 20
- BELLOTE, A. F.J.; STURION, J.A. **Deficiências minerais em erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hill.) - Resultados preliminares**. IN: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1985, Curitiba. Anais... 1985. p. 124-127. (Documentos, 15).
- BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; WENDLING, I.; KRATZ, D.. . **Enraizamento de miniestacas de erva-mate sob diferentes ambientes**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n. 57, p. 29-38, 2008.
- CARDOZO, A. G. L.; ROSA, R. L. da; NOVAK, R. S. .; FOLQUITTO, D. G. .; SCHEBELSKI, D. J. .; BRUSAMARELLO, L. C. C. .; RIBEIRO, D. T. B. . **Yerba mate (Ilex paraguariensis A. St. – hil.): a comprehensive review on chemical composition, health benefits and recent advances**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 11, p. e590101120036, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.20036.
- CARMO, F. C. de A. do; FIEDLER, N. C.; SILVA, M. L. da; GONÇALVES, S. B.; GUIMARÃES, P. P.; LIRA, D. F. de S. e. **Efeito da área e produtividade na produção de erva-mate no brasil**. Nativa, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 85–90, 2018. DOI: 10.31413/nativa.v6i1.4718. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/4718>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, V. 1, 2003. 1039p.
- FONTANA, H. P.; PRAT KRICUN, S. D.; BELINGHERI, L. D. **Estúdios sobre la germinacion y conservacion de semillas de yerba mate (Ilex paraguariensis St. Hil.)**. Cerro Azul: Inta. Estação experimental de Cerro Azul, 1990. (Informe Técnico, 52).
- FREITAS, G. B. L.; ANDRIOLA, A.; GAUER, A. G.; IENK, L. S. da S. **Erva-mate, muito mais que uma tradição, um verdadeiro potencial terapêutico**. Revista Eletrônica de Farmácia, Goiânia, v. 8, n. 3, p. 13, 2011. DOI: 10.5216/ref.v8i3.15966.
- GABIRA, M. M.; AGUIAR, N. S. de; DUARTE, M. M.; VIEIRA, L. M.; TOMASI, J. de C.; MAGGIONI, R. de A.; WENDLING, I. **CEVAD campo: cultivo de erva-mate em alta densidade no campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2023. 11 p.

GERHARDT, Marcos. **A história ambiental da Erva-mate**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em História) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 290. 2013.

GOULART, I. C. G. R.; SANTIN, D.; BRASILEIRO, B. P. **Fatores que afetam a produtividade na cultura da erva-mate**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 1345-1367, 2022. DOI 10.5902/1980509863661. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509863661>.

GOVERNO DO PARANÁ. **Erva-mate no Paraná e a Família Leão**. Secretaria da Cultura do Paraná, 11 abr. 2022. Disponível em <https://www.cultura.pr.gov.br/Noticia/Erva-mate-no-Parana-e-Familia-Leao>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

IBGE. PAM – Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 05 de mar. 2024.

IBGE. PEVS – Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>. Acesso em: 05 de mar. 2024.

IBGE. Produção Agrícola – Lavoura Permanente: General Carneiro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/general-carneiro/pesquisa/15/11863?ano=2023>. Acesso em: 16 nov. 2024.

IBGE. SIDRA – Erva-mate. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em 20 de nov. 2024.

IDR. Cultivos Florestais – Projeto Erva-mate. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Cultivos-Florestais>. Acesso em: 05 de mar. 2024.

INMET. SISDAGRO - Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. Disponível em: <https://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>. Acesso em 10 mar. 2024.

LOMBARDO, A. **Flora arbórea y arborescente del Uruguay**. Montevideo: Concejo Departamental de Montevideo, 1964. LOPEZ, J. A.; LITTLE JUNIOR, E. L.; RITZ, G. F.; ROMBOLD, J. S.; HAHN, W. J. *Arboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera*. Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425 p.

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

MACCARI JUNIOR, Agenor. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP: [s.n.], 2005.

MARTINEZ-CROVETTO, R. **Esquema fitogeográfico de la provincia de Misiones (República Argentina)**. Bonplandia, Corrientes, v. 1, n. 3, p. 171-223, 1963.

MEDRADO, M. J. S.; STURION, J. A. **Cultivo da erva-mate: Clima**. In: GAIAD, S. Sistemas de produção da Embrapa: cultivo da erva-mate. 2. Ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1155569/1/EmbrapaCultivoDaErva-Mate2014.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

OLIVA, E. V.; REISSMANN, C. B.; GAIAD, S.; OLIVEIRA, E. B.; STURION, J. A. V. **Composição nutricional de procedências e progênies de erva-mate (Ilex paraguariensis st. hil.) cultivadas em latossolo vermelho distrófico**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 793-805, out.dez. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509816577>

OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROTTA, E. **Área de distribuição geográfica nativa de erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.)**. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10.; Silvicultura da erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.), 1983, Curitiba. Anais. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.17-36. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).

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

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.

PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. **Erva 20: sistema de produção para erva-mate**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 152 p.

PRAT KRICUN, S. D.; BELINGHERI, L. D. Aplicación de nitrógeno em plantaciones de yerba mate con diferentes densidades. In: WINGE, H. et al. (ed). **Erva-mate biologia e cultura no cone sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 1995. p. 73-79.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B.. **Chemical composition of Ilex paraguariensis St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State**. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v. 42, p. 187-194, 1999.

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; ROCHA, H.O.; HILDEBRAND, E.E. **Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate**. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.), 10, Curitiba. Anais...Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.128-1n39. (EMBRAPACNPQ, Documentos, 15).

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F. de; ALMEIDA, I. C. de; SIMIQUÉLI, G. F.; NEVES, J. C. L.; WENDLING, I.; REISSMANN, C. B. **Adubação nitrogenada**

**e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo.** *Ciência Florestal*, v. 29, n. 3, p. 1199-1214, 2019.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BASTOS, M. C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C. B.; BRONDANI, G. E.; BARROS, N. F.. **Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica.** *Ciência Florestal*, v. 23, n. 2, p. 365-377, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050989282>.

SANTOS, B. B. **Efeitos de longo prazo da aplicação de fontes de nitrogênio em procedências de erva-mate.** Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Curitiba – PR, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/85075>. Acesso em: 25 nov. 2024.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, p.627. 2009.  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Sistemas de cultivo da erva-mate.** Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2018/02/26/sistemas-de-cultivo-da-erva-mate>. Acesso em: 26 nov. 2024.

WENDLING, I. Melhoramento de erva-mate: perspectivas. In: **Seminário Erva-Mate XXI**, 05 a 07 de outubro de 2016, Curitiba, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2016.

WENDLING, I.; SANTIN, D. **Propagação e nutrição de erva-mate.** Brasília: Embrapa, 2015. 195p.