

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Área do conhecimento: Fruticultura de Clima Temperado



Tese

**Rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação
nitrogenada e potássica**

Jorge Atílio Benati

Pelotas, 2023

JORGE ATÍLIO BENATI

Engenheiro Agrônomo

**Rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação
nitrogenada e potássica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do título de Doutor
em ciências (área do conhecimento: Fruticultura de
Clima Temperado).

Orientador: Prof. Dr. Paulo Celso de Mello-Farias

Coorientadores: Dr. Gilberto Nava

Dr. Flávio Gilberto Herter

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B456r Benati, Jorge Atílio

Rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação nitrogenada e potássica / Jorge Atílio Benati ; Paulo Celso de Mello Farias, orientador ; Gilberto Nava, Flavio Gilberto Herter, coorientadores. — Pelotas, 2023.

165 f.

Tese (Doutorado) — Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. *Olea europaea* L.. 2. Fruticultura. 3. Nutrição de planta. 4. Azeite. I. Farias, Paulo Celso de Mello, orient. II. Nava, Gilberto, coorient. III. Herter, Flavio Gilberto, coorient. IV. Título.

CDD : 634.63

Elaborada por Maria Beatriz Vaghetti Vieira CRB: 10/1032

**Rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação
nitrogenada e potássica**

Requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Fruticultura de clima temperado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28/08/2023

Banca Examinadora:

.....
Dr. Paulo Celso de Mello-Farias (Presidente)

Doutor em Ciências, professor do PPGA, área de concentração em Fruticultura de Clima Temperado na Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

.....
Dr. Carlos Augusto Posser Silveira

Doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil.

.....
Dr. Frederico Costa Beber Vieira

Doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, RS, Brasil.

.....
Dr. Filipe Selau Carlos

Doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal do Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

Aos meus pais.

Agradecimentos

À Deus.

Aos meus pais Jorge Roque Benati e Maria Levanir Ebrin Benati e da mesma forma aos meus irmãos Tanisa Fernanda Benati, Lucas José Benati e Felipe Constante Benati pelo amor e pelo apoio incondicional. Não tenho dúvidas que sem vocês este caminho seria bem mais complicado. Meus sinceros agradecimentos.

À minha amiga e companheira Nátali Bagatini pelo amor e companheirismo, por compreender momentos de tensão, angústia e ansiedade. Muito obrigado por todo suporte, paciência e amor concebido.

Ao Dr. Gilberto Nava, meu coorientador durante a pós-graduação, pela amizade, ensinamentos, apoio e incentivo ao longo desses anos de convivência. Agradeço por todas as conversas e orientações.

Ao Prof. Dr. Paulo Celso de Mello-Farias e Flávio Gilberto Herter pela orientação, oportunidade profissional e também pelos ensinamentos e confiança concedidas em mim.

A todos professores do PPGA-UFPel pelos ensinamentos transmitidos.

A todos meus colegas de pós-graduação pela amizade e o convívio diariamente, experiências compartilhadas, conhecimentos transmitidos e pelo companheirismo nestes quatro anos de convivência, em especial, Renan Navroski, Caroline Farias Barreto e Lucas de Oliveira Fischer, com os quais pude dividir, muitos mais que a amizade, mas também momentos de descontração e aflição.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Fruticultura de Clima Temperado.

Ao Dr. Alberto Ramos Luz pela oportunidade de realizar o período de Doutorado Sanduíche no Exterior na TEAGASC – Irlanda.

Ao CNPq e ao PPGA pelo fornecimento da bolsa de doutorado.

Ao Grupo de Fruticultura da Embrapa Clima Temperado pela ajuda e contribuição para a realização desta pesquisa.

Por fim, à todos aqueles que contribuíram e que fizeram-se presentes desde a elaboração até a conclusão deste trabalho, ofereço meus sinceros agradecimentos. Muito obrigado!

Resumo

BENATI, Jorge Atílio. **Rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação nitrogenada e potássica**. 2023. 165f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, RS.

A Oliveira (*Olea europaea* L.) é cultivada normalmente em regiões semiáridas do mediterrâneo caracterizadas por apresentarem elevadas temperaturas e baixo índice pluviométrico. Entretanto, nas últimas décadas a área de cultivo de oliveira tem expandido principalmente em regiões não tradicionais, as quais apresentam distintas condições de solo e clima. Embora a oliveira seja adaptada a uma ampla gama de condições edafoclimáticas e de solo, há uma carência de informações sobre a resposta desta cultura à adubação de crescimento e de produção nas condições do Sul do Brasil, local este que representa a maior área cultivada do país. O objetivo central deste trabalho foi investigar os efeitos da adubação nitrogenada e potássica no crescimento, nutrição, produtividade e na qualidade do azeite de oliva. Os trabalhos foram desenvolvidos em olivais comerciais localizados nos municípios de Pelotas e Canguçu, Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2018 e 2023. Para a fase de crescimento, foram conduzidos dois estudos, um com diferentes doses de N mineral (ureia) e outro com diferentes doses de N na forma de adubo orgânico, onde em ambos os trabalhos foram analisados parâmetros de crescimento, nutrição e o primeiro ciclo produtivo das plantas. Durante a fase produtiva foram conduzidos três estudos: o primeiro foi a aplicação de diferentes doses de N (ureia) em oliveiras cv. 'Arbequina' e o segundo estudo foi a aplicação de diferentes doses de K (KCl) em oliveiras cv. 'Koroneiki', onde foram avaliados parâmetros produtivos, nutrição das plantas, nutrientes no solo além de rendimento e qualidade do azeite. Por fim, para o último estudo, realizou-se a correlação do índice SPAD com o teor foliar de N em oliveiras cv. 'Arbequina', para avaliar a viabilidade técnica da utilização do índice SPAD na estimativa do teor foliar N. A adubação orgânica elevou o crescimento das plantas, melhorou o status nutricional e a qualidade química do solo. A aplicação de N mineral promoveu maior crescimento das plantas e maior teor de N foliar. A adubação nitrogenada na fase produtiva elevou os teores de N foliares, produtividade e alterou aspectos qualitativos do azeite de oliveiras 'Arbequina'. A adubação potássica elevou os teores de K no solo e nas folhas de oliveiras 'Koroneiki', o rendimento de azeite, índice de peróxidos e capacidade antioxidante do mesmo. Os resultados destes trabalhos contribuem para a recomendação de programas de adubação em oliveiras, especialmente na fase de crescimento e produtiva da cultura, além de direcionamentos para pesquisas futuras.

Palavras-chave: *Olea europaea* L.; fruticultura; nutrição de planta; azeite

Abstract

BENATI, Jorge Atílio. **Olive tree yield and olive oil quality in response to nitrogen and potassium fertilization**. 2023. 165f. Thesis (Doctor.) – Graduate Program in Agronomy, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, RS.

The olive tree (*Olea europaea* L.) is normally grown in semi-arid regions of the Mediterranean characterized by high temperatures and low rainfall. However, in recent decades, the area of olive cultivation has expanded mainly in non-traditional regions, which have different soil and climate conditions. Although the olive tree is adapted to a wide range of edaphoclimatic and soil conditions, there is a lack of information about the response of this crop to growth and production fertilization under conditions in southern Brazil, which represents the largest cultivated area in the country. The main objective of this work was to investigate the effects of nitrogen and potassium fertilization on the growth, productivity, and quality of olive oil. The work was carried out in commercial olive groves in Pelotas and Canguçu, Rio Grande do Sul, Brazil, between 2018 and 2023. For the growth phase, two studies were conducted, one with different doses of mineral N (urea) and the other with different doses of N in the form of organic fertilizer, where in both works parameters of growth, nutrition, and the first productive cycle of the plants were analyzed. During the productive phase, three studies were carried out: the first was the application of different doses of N (urea) in olive trees cv. 'Arbequina' and the second study was the application of different doses of K (KCl) in olive trees cv. 'Koroneiki', where production parameters, plant nutrition, nutrients in the soil, as well as oil yield and quality were evaluated. Finally, for the last study, the SPAD index was correlated with leaf N content in olive trees cv. 'Arbequina', to evaluate the technical viability of using the SPAD index to estimate leaf N content. Organic fertilization increased plant growth, improved nutritional status, and soil chemical quality. The application of mineral N promoted greater plant growth and higher leaf N content. Nitrogen fertilization in the productive phase increased the levels of foliar N, productivity, and changed qualitative aspects of olive oil from 'Arbequina' olive trees. Potassium fertilization increased K levels in the soil and leaves of 'Koroneiki' olive trees, increased oil yield, peroxide content, and antioxidant capacity. The results of these works contribute to the recommendation of fertilization programs in olive trees, especially in the growth and productive phase of the crop, in addition to directions for further research.

Key-words: *Olea europaea* L.; fruticulture; plant nutrition; olive oil.

Lista de Figuras

Artigo 1

- Figura 1.** Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C). Pelotas – RS.....45
- Figura 2.** Altura de planta (a), volume de copa (b) e diâmetro de tronco (c) em plantas de oliveiras ‘Koroneiki’, submetidas à diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....50
- Figura 3.** Frutificação efetiva (a), produtividade (b) e massa média de fruto (c) no primeiro ciclo produtivo após quatro anos de adubação nitrogenada em plantas jovens de oliveiras ‘Koroneiki’.....53

Artigo 2

- Figura 1.** Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C). Pelotas – RS.....75
- Figura 2.** Altura de planta (a) e volume de copa (b) em plantas de oliveiras ‘Koroneiki’, submetidas à diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....75
- Figura 3.** Teor de N em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ em 2019 (a), 2020 (b), 2021 (c) e 2022 (d), de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....76
- Figura 4.** Teor de P em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ em 2020 (a), 2021 (b) e 2022 (c) de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....76
- Figura 5.** Teor de K em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ em 2019 (a), 2020 (b), 2021 (c) e 2022 (d) de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....77
- Figura 6.** Teor de Ca (a) e Mg (b) em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ em 2022, de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....77
- Figura 7.** Teor de B em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ em 2020 (a), 2021 (b) e 2022 (c) de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.....78

Figura 8. Produtividade e massa média de fruto em 2022, durante o primeiro ciclo produtivo de plantas jovens de oliveiras ‘Koroneiki’ após quatro anos de adubação nitrogenada.....	78
--	----

Artigo 3

Figura 1. Precipitação total mensal (mm) (a) e temperatura média do ar mensal (°C) (b), janeiro de 2018 até abril de 2023. Canguçu – RS (Agritempo, 2023).....	86
---	----

Artigo 4

Figura 1. Precipitação total mensal (mm) (a) e temperatura média do ar mensal (°C) (b), janeiro de 2018 até abril de 2023. Canguçu – RS (Agritempo, 2023).....	121
---	-----

Artigo 5

Figura 1: Precipitação mensal (a) e temperatura média do ar mensal (b) nos anos de avaliação de janeiro de 2018 até abril de 2023. Canguçu-RS (Agritempo, 2023).....	160
---	-----

Figura 2: Relação entre o teor de N foliar (g kg^{-1}) e leituras SPAD em oliveiras Arbequina nos anos de avaliação de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 ($R^2 = 0,0057$; $R^2 = 0,163$; $R^2 = 0,7093$; $R^2 = 0,618$ e $R^2 = 0,775$, respectivamente)....	161
---	-----

Figura 3: Estimativa do conteúdo foliar de N (g kg^{-1}) e índice SPAD em oliveiras Arbequina, em função das doses de N aplicadas na superfície do solo durante os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 ($p < 0,05$).....	162
--	-----

Lista de Tabelas

Cronograma

Tabela 1. Calendário de execução do projeto de pesquisa.....	32
---	----

Custos

Tabela 2. Detalhamento dos custos estimados para a execução do projeto.....	33
--	----

Artigo 1

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.....	46
Tabela 2. Principais características físicas e químicas do adubo orgânico utilizado na área experimental, Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.....	47
Tabela 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ (<i>Olea europaea</i> L.) submetidas à doses crescentes de N (kg ha ⁻¹) na forma de adubo orgânico aplicadas sob a superfície do solo.....	50
Tabela 4. Teores de pH, matéria orgânica do solo (MOS), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponíveis no solo em resposta à aplicação de doses de nitrogênio (N) na forma de adubo orgânico, 2022.....	52

Artigo 2

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.....	79
Tabela 2. Diâmetro de tronco e frutificação efetiva em plantas de oliveiras Koroneiki (<i>Olea europaea</i> L.) submetidas à aplicação de doses de N (kg ha ⁻¹) na superfície do solo.....	80
Tabela 3. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas de oliveiras Koroneiki (<i>Olea europaea</i> L.) submetidas à aplicação de doses de nitrogênio (kg N ha ⁻¹) na superfície do solo em 2019, 2020 e 2021	80

Tabela 4. Valores de pH, matéria orgânica do solo (MOS), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponíveis no solo em resposta à aplicação de doses de nitrogênio (N).....	81
--	----

Artigo 3

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Canguçu, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.....	87
Tabela 2. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas de oliveiras ‘Arbequina’ (<i>Olea europaea</i> L.) em resposta à aplicação de doses crescentes de N aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.....	93
Tabela 3. Teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) em azeitonas ‘Arbequina’ (<i>Olea europaea</i> L.) submetidas a doses crescentes de nitrogênio (kg de N ha ⁻¹) aplicadas na superfície do solo.....	95
Tabela 4. Produtividade (MG ha ⁻¹), massa média dos frutos (g fruto ⁻¹), perímetro de tronco (cm) e eficiência produtiva (kg cm ⁻²) de plantas de oliveiras ‘Arbequina’ em resposta à aplicação de doses crescentes de nitrogênio (N) aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.....	97
Tabela 5: Produtividade acumulada (Mg ha ⁻¹), média de produtividade (Mg ha ⁻¹), média do teor foliar (g kg ⁻¹) e rendimento relativo (%) de plantas de oliveiras ‘Arbequina’ em resposta à aplicação de doses crescentes de nitrogênio (N) aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.....	99
Tabela 6. Rendimento de azeite (%), acidez livre (%), índice de peróxidos (meqO ₂ kg ⁻¹), extinção específica 232 nm (K ₂₃₂), extinção específica 270 nm (K ₂₇₀), compostos fenólicos totais (CFT, mg EAG kg ⁻¹) e capacidade antioxidante (mmol mmol TE kg ⁻¹) em azeite de oliveiras ‘Arbequina’ (<i>Olea europaea</i> L.) sob doses crescentes de nitrogênio (kg de N ha ⁻¹) aplicadas na superfície do solo entre 2018 e 2022.....	100

Artigo 4

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Canguçu, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.....	122
Tabela 2. Níveis de potássio (K), disponíveis nas camadas 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e na média ponderada (0 a 20 cm de solo) em resposta à aplicação de doses crescentes	

de K_2O ($kg\ ha^{-1}$) no solo em 2019, 2021, 2022 e 2023.....128

Tabela 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas de oliveira ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) em resposta à aplicação de doses crescentes de K_2O ($kg\ ha^{-1}$) aplicados sobre a superfície do solo, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.....130

Tabela 4. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) em azeitonas ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) submetidas a diferentes doses de K_2O ($kg\ ha^{-1}$) aplicadas na superfície do solo.....132

Tabela 5. Produtividade ($Mg\ ha^{-1}$), massa média dos frutos ($g\ fruto^{-1}$), perímetro de tronco (cm) e eficiência produtiva ($kg\ cm^{-2}$ de tronco) de plantas de oliveira ‘Koroneiki’ em resposta à aplicação de doses crescentes de K_2O ($kg\ ha^{-1}$) aplicados sobre a superfície do solo, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.....133

Tabela 6: Produtividade acumulada ($Mg\ ha^{-1}$), média de produtividade ($Mg\ ha^{-1}$), média do teor de K foliar ($g\ kg^{-1}$) e rendimento relativo (%) de plantas de oliveiras ‘Koroneiki’ em resposta à aplicação de doses crescentes de potássio (K) aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.....135

Tabela 7. Rendimento de azeite (%), acidez livre (%), índice de peróxidos ($meqO_2\ kg^{-1}$), extinção específica 232 nm (K_{232}), extinção específica 270 nm (K_{270}), compostos fenólicos totais (CFT, $mg\ EAG\ kg^{-1}$) e capacidade antioxidante ($mmol\ TE\ kg^{-1}$) em azeite de oliveiras ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) sob diferentes doses de K_2O ($kg\ ha^{-1}$) aplicadas na superfície do solo entre 2018 e 2022.....137

Sumário

1. Introdução geral	14
2. Projeto de pesquisa.....	16
2.1 Título	16
2.2 Introdução	16
2.3 Hipóteses	17
3. Objetivos	18
3.1 Objetivo geral.....	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. Justificativa.....	19
5. Revisão bibliográfica.....	21
5.1 A cultura da oliveira (<i>Olea europaea</i> L.).....	21
5.2 Nitrogênio.....	23
5.2.1 Nitrogênio no ambiente e no solo	23
5.2.2 Nitrogênio na planta, funções e características	23
5.3. Potássio	24
5.3.1 Potássio no solo.....	24
5.3.2 Potássio na planta	25
6. Material e métodos	28
6.1 Adubação de crescimento.....	28
6.2 Adubação de Produção.....	29
7. Resultados esperados	31
8. Cronograma de atividades.....	32
9. Custos.....	33
10. Referências bibliográficas	35
11. Relatório	39
11.1 Relatório de trabalho de campo	39
11.2 Relatório de trabalho no exterior (13 de fevereiro à 13 de julho de 2023).....	39
12. Artigos desenvolvidos.....	41
12.1 Artigo 1.....	41
1. Introdução	43
2. Material e métodos.....	45

3. Resultados	49
4. Discussão	53
5. Conclusões	56
Agradecimentos	56
Referências	56
12.2 Artigo 2	60
1. Introdução	61
2. Material e métodos	62
3. Resultados	65
4. Discussão	66
5. Conclusões	69
Agradecimentos	70
Referências	70
12.3 Artigo 3	82
1. Introdução	84
2. Material e métodos	86
3. Resultados	92
4. Discussão	101
5. Conclusões	107
Agradecimentos	107
Declaração de conflito de interesse	107
Referências bibliográficas	107
12.4 Artigo 4	116
1. Introdução	117
2. Material e métodos	121
3. Resultados	128
4. Discussão	138
5. Conclusões	142
Agradecimentos	143
Declaração de conflito de interesse	143
Referências	143
12.5 Artigo 5	153
1. Introdução	154

2.	Material e métodos.....	155
3.	Resultados e discussão	156
4.	Conclusões	157
	Agradecimentos.....	158
	Declaração de conflito de interesse	158
	Referências bibliográficas.....	158
13.	Considerações finais	163
14.	Referências bibliográficas (Introdução geral)	164

1. Introdução geral

A fruticultura brasileira possui grande importância econômica, social e cultural. Fachinello et al. (2011), relatam que a fruticultura está presente em todos os estados brasileiros e, como atividade econômica, envolve mais de cinco milhões de pessoas que trabalham de forma direta e indireta no setor. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com colheita em torno de 45 milhões de toneladas ao ano, contudo, com apenas 2,7% do comércio global do setor, o que demonstra o forte consumo interno e grande possibilidade de exportação, seja in natura ou processada (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2022). Devido a vasta extensão territorial, o Brasil é um país com grande variabilidade de condições climatológicas e diversidade de solo, o que contribui para cultivo de diversas culturas, dentre elas a Oliveira.

A oliveira é uma espécie notável pelas suas características biológicas e ecológicas, amplamente cultivada em várias regiões do mundo. Esta cultura, perene, tem grande importância socioeconômica para muitos países do Sul da Europa (VOSSEN, 2007), que juntos produzem cerca de 90% da oferta mundial de azeite (FRAGA et al., 2021). A produção mundial de azeite é de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas, e os principais produtores são Espanha (38%), Itália (11%) e Grécia (11%) (FRAGA et al., 2021).

Nas últimas décadas a cultivo da oliveira têm expandido para regiões não tradicionais, impulsionado principalmente pelo aumento da demanda mundial. No Brasil, o consumo anual per capita em 2016 foi de 0,29 kg, contudo em 2021 essa quantidade passou para 0,48 kg, consolidando o país como segundo maior importador mundial de azeite (COI, 2022). Países mediterrâneos possuem um consumo anual per capita superior à 10,0 kg, portanto, ainda que o consumo brasileiro seja baixo em termos quantitativos, existe um potencial significativo para seu crescimento (FRAGA et al., 2021; COI, 2022).

O Rio Grande do Sul responde pela grande maioria da área plantada com oliveiras no Brasil e também pela maior produção de azeite. Na safra de 2019 foram produzidos 180 mil litros de azeite, 75% a mais do que no ano anterior. No entanto, para o ano de 2023 a estimativa é atingir uma produção de 550 mil litros de azeite (IBRAOLIVA, 2020; IBRAOLIVA, 2023). No Rio Grande do Sul, os parâmetros climáticos mais favoráveis ao amadurecimento dos frutos são observados na metade sul do estado, com temperaturas entre 25° C e 35° C, dentro da faixa de temperatura considerada ideal para o amadurecimento da azeitona, embora o índice pluviométrico seja acima dos níveis comumente aceitos como ótimos para o desenvolvimento da oliveira (650 mm) (ALBA et al., 2013).

No contexto do azeite, o Brasil é o segundo maior importador mundial de azeite, atrás apenas dos Estados Unidos, e tem uma produção correspondente a menos de 3% do seu consumo interno. Assim, o investimento no setor é promissor e o desafio hoje é aumentar a produção (FILODA et al., 2021; AGROLINK, 2022).

É importante observar que as oliveiras brasileiras são jovens e ainda não atingiram seu pico de produção, com apenas 57% da área plantada atualmente em produção (FILODA et al., 2021; AMBROSINI et al., 2022). Neste contexto, de uma atividade emergente, que a produção de azeitonas e azeites surge no cenário nacional. Apesar do sucesso que já alcançou, há desafios a serem superados, que demandam pesquisa, geração de conhecimento e promoção do produto nacional (FILODA et al., 2021), pois são escassas as informações para o cultivo desta espécie em condições brasileiras.

Diante do exposto, este trabalho apresenta como objetivo principal, investigar a influência da adubação nitrogenada no crescimento de oliveiras, buscando elucidar as quantidades ideais deste nutriente na fase de crescimento de oliveiras 'Koroneiki'. Também, o mesmo visa mensurar os efeitos da adubação nitrogenada e potássica na fase produtiva de oliveiras, contribuindo assim para o ajuste do programa de adubação de oliveiras no Sul do Rio Grande do Sul.

2. Projeto de pesquisa

2.1 Título

Adubação de crescimento, rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação nitrogenada e potássica

2.2 Introdução

A fruticultura brasileira está presente em todos os estados brasileiros, nas condições do sul do Brasil, destacam-se o cultivo de frutíferas de clima temperado. Ressalta-se que, a colheita brasileira de frutas de clima temperado ocorre no período de entressafra no Hemisfério Norte, sendo que tais aspectos tem impulsionado a expansão nas áreas de produção. Com isso, a capacidade produtiva dessas frutíferas vem sendo largamente estudada em diferentes regiões, tendo em vista que, em determinadas culturas, a produção ainda não é suficiente para suprir a demanda do mercado interno, havendo a necessidade de importação (FACHINELLO et al., 2011).

Dentre as espécies de clima temperado, a oliveira (*Olea europaea* L.), pertencente à família Oleaceae é uma árvore frutífera característica das espécies oriundas do Mediterrâneo, contudo, é encontrada em muitas regiões do globo terrestre. Os dois principais produtos oriundos desta planta são o azeite e as azeitonas de mesa, com uma produção mundial em 2017 de aproximadamente 2,95 milhões de toneladas de azeitonas e 2,89 milhões de toneladas de azeite (COI, 2018).

O cultivo de oliveiras adquiriu especial relevância em todo o mundo, pelo fato do azeite de oliva ser comprovadamente benéfico à saúde humana, pela sua comprovada eficácia na proteção de enfermidades cardiovasculares e por ser muito utilizado como veículo na confecção de produtos farmacêuticos (OLIVEIRA, 2001). Através disso, nos últimos anos, com o aumento do consumo de azeite e azeitona em conserva, houve expansão da área de cultivo, todavia, embora a oliveira seja adaptada a uma ampla gama de condições edafoclimáticas e de solo, há uma carência de informações sobre a

resposta desta cultura à adubação de crescimento e de produção nas condições do sul do Brasil. Diante disso, muitas instituições de pesquisa como a EMBRAPA, Universidades e entidades de extensão e desenvolvimento rural têm incentivado a realização de pesquisas nesta cultura, uma vez que, para uma melhor recomendação do cultivo é necessário o aporte de conhecimento do manejo da cultura, principalmente em relação à demanda de fertilizantes.

Conforme o exposto, o presente projeto, visa estudar a influência da aplicação de N e composto orgânico na fase de crescimento de oliveiras jovens, bem como a adubação de N e K nos aspectos produtivos e qualitativos da oliveira.

2.3 Hipóteses

A oliveira é responsiva à adubação e o fornecimento de altas quantidades de N e K podem ser prejudiciais a cultura.

A aplicação de N, seja na forma mineral ou adubo orgânico, favorece o crescimento e a nutrição de plantas de oliveiras na fase de crescimento e antecipa o início do período produtivo.

A adubação nitrogenada e potássica, alteram os parâmetros produtivos e influenciam nos aspectos qualitativos do azeite.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Estudar a influência da aplicação de diferentes doses de N, na forma de ureia e composto orgânico na fase de crescimento e, N e K na fase produtiva da oliveira, avaliando inclusive os aspectos qualitativos do azeite, na região Sul do estado do Rio Grande do Sul.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar a dose ideal de N, na forma de ureia, para a fase de crescimento de oliveiras Koroneiki.
- Analisar o efeito da aplicação de adubo orgânico nos parâmetros de crescimento de oliveiras Koroneiki.
- Estudar os efeitos de diferentes doses de N e K para a adubação de manutenção em oliveiras.
- Avaliar os efeitos da adubação com N e K sobre os parâmetros qualitativos do azeite.
- Ajustar o índice SPAD para o diagnóstico do status de N em oliveiras Arbequina.

4. Justificativa

As áreas tradicionalmente destinadas ao cultivo da oliveira (*Olea europaea* L.) não são suficientes para suprir a crescente demanda mundial por seus produtos. Por exemplo, a Espanha, que é o maior produtor de oliveira, não apresenta capacidade de ampliar os plantios já existentes (WREGGE et al., 2015). Por esse motivo, nas últimas décadas, o cultivo da oliveira tem sido ampliado em várias regiões do mundo, principalmente em locais onde o cultivo não é tradicional (MARTINS et al., 2012; TANASIJEVIC et al., 2014; WREGGE et al., 2015). No Brasil, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais (MARTINS et al., 2014; WREGGE et al., 2015), tem-se investido nesse cultivo, no intuito de suprir as necessidades do consumo interno (MARTINS et al., 2012), justamente pelo fato do país ser um dos maiores importadores do mundo.

Devido ao fato de ser uma cultura com expansão comercial recente, atualmente os olivicultores utilizam recomendações de adubações que, embora sejam publicações nacionais, foram elaboradas sob forte influência das pesquisas realizadas em outros países, principalmente do hemisfério norte (BENDER; WEBER; VIEIRA, 2018). Contudo, no Brasil, as características edafoclimáticas diferem das principais regiões produtoras do mundo, onde os solos geralmente possuem elevado pH e reduzida precipitação pluviométrica ao longo do ano. Portanto, devido à ausência de práticas culturais adequadas ao manejo da cultura, principalmente na recomendação de adubação de crescimento e de manutenção para as condições do sul do Brasil, torna-se imprescindível a realização de estudos para solucionar limitações e expandir seu cultivo.

Deste modo, se faz necessário o ajuste da adubação, principalmente para N e K, os quais são requeridos em maiores quantidades pelas plantas, desde a fase de crescimento até adubação de manutenção, visando a otimização no fornecimento destes

nutrientes, contribuindo para um acréscimo na rentabilidade e utilização racional dos recursos.

5. Revisão bibliográfica

5.1 A cultura da oliveira (*Olea europaea* L.)

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma planta angiosperma dicotiledônea da família oleaceae, de porte arbóreo e de clima mediterrâneo. É cultivada no sul da Europa, nos países mediterrâneos, como Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia. A cultura expandiu-se para outros países, cujas características de clima são semelhantes às de países do sul da Europa, como Norte da África, América do Norte e América do Sul, além de alguns países da Ásia (ALBIN; VILAMIL, 2003).

A oliveira é cultivada normalmente em regiões semiáridas do mediterrâneo, caracterizadas por apresentarem elevadas temperaturas e baixo índice pluviométrico (250-550 mm anuais) nos meses secos (verão) (WREGGE et al., 2009; FILLIPINI ALBA et al., 2014; COUTINHO et al., 2007). A oliveira é uma espécie com muitas características de plantas xerófitas (adaptada à climas áridos e semiáridos), com folhas coriáceas, de cutícula espessa. Os estômatos situam-se na face inferior das folhas, diminuindo as perdas de água da planta por transpiração e permitindo que a atividade vegetativa se restabeleça imediatamente quando a planta sai de uma situação de estresse, causado por falta de água prolongada. A necessidade de água, em média, é de 650-800 mm por ano, com chuvas, preferencialmente, regulares (WREGGE et al., 2009; FILLIPINI ALBA et al., 2014; COUTINHO et al., 2007).

Devido à sua estrutura xerofítica, desenvolve-se bem, em ambientes com verões longos, quentes e secos, e com baixos índices pluviométricos. É cultivada no sul da Europa, nos países mediterrâneos, como Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia. A cultura expandiu-se para outros países, cujas características de clima são semelhantes às de países do sul da Europa, como Norte da África, América do Norte e América do Sul, além de alguns países da Ásia (ALBIN; VILAMIL, 2003).

Em todo o mundo existem mais de 200 variedades de oliveiras, sendo que, muitas vezes, variedades idênticas possuem nomes distintos dependendo da região em que são cultivadas (CABALLERO, 2012). As diferentes variedades de oliveira produzem frutos com características peculiares, com distintos tamanhos, sabores e composição (RYACHI, et al., 2011).

A partir do século XVI, a colonização espanhola levou as oliveiras para as Américas. Inicialmente, no século XVIII, foi introduzida no México, no Peru, no Chile, na Argentina, nos Estados Unidos (Califórnia), na Jamaica e na Austrália. Mais recentemente, foi introduzida também no Japão, na África do Sul, no Uruguai e no Brasil (WREGE et al., 2009; COUTINHO et al., 2009; SANTOS, 2002).

A oliveira possui um mecanismo adaptativo no qual a árvore equilibra sua carga de frutos através da floração e frutificação de acordo com os recursos disponíveis (CUEVAS et al., 1994, LAVEE et al., 1999). Para alcançar alta produtividade, é necessária a combinação de uma alta taxa de diferenciação da inflorescência, um alto número de botões de flores e uma adequada nutrição (CUEVAS et al., 1994; LAVEE, 1996; RAPOPORT & MARTINS, 2006). Logo após a plena floração, ocorre uma abscisão maciça dos frutos (RAPOPORT & RALLO, 1991) e o conjunto final de frutas geralmente é alcançado seis semanas depois. A abscisão de flores e frutos jovens pode ser influenciada por características genéticas, escassez de água ou por outros fatores causadores de estresse (MARTIN et al., 2005; RAPOPORT et al., 2012; SELAK et al., 2012). A competição por fotoassimilados entre flores (CUEVAS et al., 1994), especificamente por nutrientes também desempenha importante papel no nível de abscisão de frutos e consequente conjunto de frutos (LAVEE et al., 1999).

Devido a oliveira ser nativa de regiões áridas, onde é cultivada com mais frequência em solos rochosos, pobres em nutrientes, rasos, e com períodos prolongados de seca durante o verão (LAVEE, 1996; WIESMAN, 2009), comumente rotula-se a oliveira como uma cultura de baixa demanda de nutrientes (THERIOS, 2009 ; WIESMAN, 2009). Todavia, esse entendimento não é apoiado por evidências experimentais sólidas, mas sim baseado em observações de árvores frutíferas em condições de sequeiro (EREL et al., 2013). Em solos pobres, especialmente durante verões longos e secos, podemos especular cenários em que a disponibilidade de macronutrientes para azeitonas é deficiente. As relações entre nutrição mineral da oliveira, floração e produtividade são complexas e dependem de fatores ambientais, como disponibilidade de água e acúmulo de horas frio durante o inverno.

Em 2009, foi elaborado um zoneamento agroclimático para oliveiras no Rio Grande do Sul e um zoneamento edafoclimático, indicando as zonas com menores riscos climáticos para produção de oliveiras no Estado (WREGGE et al., 2009; FILLIPINI ALBA et al., 2014). Neste estudo, a metade sul do Rio Grande do Sul, onde existe frio e sazonalidade na distribuição de chuvas, é considerada como região favorável a atividade da olivicultura.

5.2 Nitrogênio

5.2.1 Nitrogênio no ambiente e no solo

De maneira geral, o N é o nutriente mineral exigido em maiores quantidades pelas plantas. A atmosfera, que possui aproximadamente 78 % de N na forma de N_2 , principalmente, é a fonte natural do elemento para a biosfera. Mas, o N_2 é uma fonte natural gasosa e não diretamente aproveitado pelas plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Para tal, há necessidade de uma transformação prévia para formas combinadas, NH_4^+ (amônio) e NO_3^- (nitrato). Os principais processos responsáveis pela fixação do N_2 atmosférico para formas combinadas são a fixação biológica, fixação industrial e fixação atmosférica (HAVLIN et al., 2005).

O teor de N presente na camada superficial dos solos cultivados é usualmente alto, podendo variar entre 0,6 a 5,0 g dm^{-3} (BREMNER, 1996). Contudo, cerca de 95% do N total da camada superficial do solo encontra-se na forma orgânica. Para ser absorvido pelas plantas, o N orgânico precisa ser transformado em formas inorgânicas, através da mineralização (ERNANI, 2016).

O processo de mineralização, ou seja, a transformação do N orgânico em N mineral, é mediado pelos microrganismos do solo e afetado por diversos fatores, como: aeração, acidez, temperatura, umidade, nutrientes e relação C/N dos materiais vegetais (HAVLIN et al., 2005; ERNANI, 2016).

5.2.2 Nitrogênio na planta, funções e características

As plantas absorvem N na forma de NH_4^+ e NO_3^- , em solos oxigenados e com boa presença de água, sendo a concentração de NO_3^- na solução do solo geralmente maior que NH_4^+ (HAVLIN et al., 2005). Devido à presença do N na solução, o fluxo de massa é o mecanismo predominante do movimento deste nutriente no solo, contudo, a difusão também possui contribuição.

O N atua como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucléicos, além de participar com quatro átomos na molécula de clorofila. Com isso, a deficiência de N rapidamente inibe o crescimento vegetativo (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN & BLOOM, 2006; TAIZ et al., 2017).

O N é facilmente distribuído na planta, e em decorrência disso, a deficiência deste nutriente causa na maioria das espécies, clorose, principalmente nas folhas mais velhas, entretanto, em caso de severidade, ocorre clorose generalizada e posteriormente queda das folhas (TAIZ et al., 2017).

Cerca de 90% do N da planta encontra-se em forma orgânica e é assim que desempenha as suas funções, como componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas. Os “aminoácidos livres” dão origem: a outros aminoácidos e às proteínas e, por consequência, às coenzimas; são precursores de hormônios vegetais – triptofano do AIA e metionina do etileno; reserva de N nas sementes – asparagina, arginina; às “bases nitrogenadas” (púricas e pirimídicas); nucleosídeos e por polimerização destes ácidos nucléicos – DNA e RNA; ATP; coenzimas como o NAD (dinucleotídeo de nicotinamida e adenina) e o NADP (dinucleotídeo de nicotinamida adenina e fosfato) (FAQUIN, 2005).

5.3. Potássio

5.3.1 Potássio no solo

O potássio é um elemento muito abundante no solo, sendo que os teores totais podem superar 1% em solos bem nutridos, mas grande parte desse potássio encontra-se em minerais que contém o elemento nas estruturas cristalinas. Os minerais primários portadores de potássio mais importantes são encontrados em rochas ígneas como os feldspatos e dois tipos de micas (muscovita e biotita) (MALAVOLTA, 2006).

No processo de intemperização dos feldspatos e das micas, o K^+ é liberado da estrutura destes minerais para a solução do solo, sendo, portanto, quantidades insuficientes para que as plantas tenham sua demanda suprida durante seu ciclo. As diferentes formas de K resultam da maneira com que este elemento está ligado aos componentes sólidos do solo e da energia dessas ligações, e há um equilíbrio específico de cada uma dessas formas com a solução do solo, fato que explica porque elas afetam a disponibilidade de K para as plantas com diferentes magnitudes (ERNANI et al., 2016).

O somatório de todas as formas de K em um determinado solo determina o K total, o qual varia de acordo com o tipo de solo, composição mineralógica e grau de intemperismo (ERNANI et al., 2016). O K está dividido em compartimentos no solo:

- Estrutural: presente nas estruturas dos minerais do solo, este, apenas é liberado para a solução do solo pela intemperização destes minerais, sendo, portanto, quantidades pequenas e insuficientes para que as plantas tenham sua demanda suprida (ERNANI et al., 2016).

- Não-trocável: é o K fixado nas entre camadas dos argilominerais 2:1, neutralizando cargas negativas e somente está disponível quando substituído por outros cátions, fato que ocorre principalmente quando há grande redução na concentração de K na solução do solo. A fixação do K é muito mais expressiva em regiões temperadas, onde os minerais do tipo 2:1 predominam.

- Trocável: K regulado pela CTC (capacidade de troca de cátions do solo) está ligado às cargas elétricas negativas nas superfícies das frações orgânicas e inorgânicas (FAQUIN, 2005). O K trocável restitui rapidamente àquele que foi absorvido da solução do solo pelas plantas ou lixiviado, sendo, portanto, a fonte de maior interesse para a nutrição vegetal (ERNANI et al., 2016).

- K em solução: é o K prontamente disponível para as plantas, pois esta fração está dissolvida na solução do solo e em rápido equilíbrio com o K trocável.

As plantas absorvem somente o íon K^+ que se encontra na solução do solo, na rizosfera, a concentração de K^+ na solução do solo é praticamente igual a zero, quando as raízes das plantas estão absorvendo ativamente o nutriente. Considerando que a difusão é responsável por mais de 70% do K^+ que chega à superfície radicular, a manutenção de um alto gradiente de difusão, adequado teor de umidade e bom crescimento radicular são essenciais para um bom suprimento de K para as plantas (MARSCHNER, 2012; ERNANI, 2016).

5.3.2 Potássio na planta

Embora seja o mais abundante mineral catiônico constituinte das plantas e possa constituir até 10% do peso seco de uma planta, não é um constituinte integral de qualquer metabólito que pode ser isolado de material vegetal (ESPTEIM & BLOOM, 2006). Os autores afirmam ainda, que o K é o segundo nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais, depois do N.

O K é absorvido pela planta exclusivamente na forma de íon K^+ presente nos colóides e na solução do solo, sendo o contato por difusão responsável por 72%, fluxo de massa 25% e interceptação radicular 3% do K^+ absorvido pela planta. O mecanismo de absorção é ativo, pois é contra o gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

Como o K é um íon monovalente, ao competir com elevadas concentrações de cátions divalentes como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} sofre inibição competitiva, ou seja, compete com desvantagem pelo mesmo sítio de absorção. Entretanto baixas concentrações de cálcio contribuem para sua absorção (efeito sinérgico) (BISSANI et al., 2008; MARSCHNER, 2012).

O potássio é transportado como K^+ , ou seja, na mesma forma que é absorvido do solo. Tanto no xilema como no floema, o potássio move-se na forma de K^+ , sendo rapidamente transportado pelo xilema aos órgãos novos, onde se relacionam com as citocininas e com o metabolismo de nitrogênio na planta (MARK et al., 2009). Sua redistribuição ocorre no floema, onde 75 a 80% encontram-se na forma de K^+ livre, enquanto que o restante encontra-se ligado a açúcares solúveis. Isto acontece, porque o potássio não faz parte de nenhum composto orgânico (função estrutural) (TAIZ et al., 2017).

O K é ativador de muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, participa de processos osmóticos, da síntese de proteínas e da manutenção de sua estabilidade, da abertura e fechamento dos estômatos e da permeabilidade das membranas celulares (MALAVOLTA, 2006; YILDIZTUGAY et al., 2014).

Este elemento como outros cátions monovalentes ativam enzimas pela alteração na conformação na estrutura enzimática. Em plantas deficientes de K, ocorrem algumas alterações químicas, incluindo acumulação de carboidratos solúveis, decréscimo no conteúdo de amido e o acúmulo de compostos nitrogenados solúveis (MARSCHNER, 2012; ASHLEY et al., 2016). Estas alterações no metabolismo estão relacionadas ao alto requerimento de certas enzimas regulatórias, principalmente a piruvato cinase e a fosfofrutocinase. Por sua vez a amido sintetase é altamente dependente em cátions monovalentes, entre os quais o K^+ é o mais eficiente. Esta enzima catalisa a transferência da glicose para as moléculas do amido (TAIZ et al., 2017).

Outra função do K é a ativação da H^+ -ATPase ligada a membrana. Esta ativação não somente facilita o transporte de K^+ da solução externa através da membrana plasmática para dentro das células radiculares, como também torna o K^+ o elemento

mineral mais importante na expansão celular e na osmoregulação (YILDIZTUGAY et al., 2014).

Em tecidos de plantas deficientes em K^+ , existem maior atividade de hidrolases ou de oxidases tais como a polifenol oxidase, do que planta com suprimento normal do nutriente. Um exemplo ilustrativo do efeito indireto é a acumulação de diamina putrescina (putrescina) em plantas deficientes de K. As enzimas que catalisam a síntese de putrescina da arginina via agmatina, são inibidas por alta concentração de K e é estimulada pelo baixo pH celular (FAQUIN, 2005; ASHLEY et al., 2006; MARSCHNER, 2012).

Na compensação de cargas o K^+ é um cátion importante para contrabalançar ânions imóveis no citoplasma, nos cloroplastos e, frequentemente também para ânions móveis nos vacúolos do xilema e floema.

A acumulação de ácidos orgânicos em tecidos de plantas é frequentemente uma consequência do transporte de K sem o acompanhamento de ânions dentro do citoplasma. A função do K no balanço cátion-ânion, é também refletido no metabolismo do NO_3^- , no qual o K^+ é o íon acompanhante para o transporte a longa distância no xilema bem como para o estoque nos vacúolos. Na parte aérea, após a redução de NO_3^- , o K^+ liga-se a ácidos orgânicos (principalmente malato) que é transportado para as raízes onde servirá novamente de íon acompanhante do nitrato (FAGERIA, 2001; BRITO & KRONZUCKER, 2008; WANG & WU, 2013).

6. Material e métodos

6.1 Adubação de crescimento

Os estudos 1 e 2, serão conduzidos em pomar comercial, no município de Pelotas-RS, o qual foi implantado em 2017, com espaçamento de quatro metros entre plantas e sete metros entre linhas. O solo é classificado como Argissolo (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Antes da implantação do experimento, foi realizado as análises químico-físicas, as quais apresentaram os seguintes resultados: pH em água de 5,5; 10,6 mg dm⁻³ de P; 116 mg kg⁻¹ de K; 2,9 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,5 cmol_c dm⁻³ de Mg; 8 g dm⁻³ de matéria orgânica e 190 g dm⁻³ de argila.

O experimento 1 será conduzido em plantas da cultivar 'Koroneiki', o delineamento experimental será o de blocos ao acaso, com cinco repetições e cinco doses diferentes de N, na forma de ureia (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹) e parcelada em três aplicações. A parcela experimental será composta de uma planta.

O experimento 2 será conduzido em plantas da cultivar 'Koroneiki', o delineamento experimental será o de blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco doses diferentes de N, na forma de adubo orgânico (0, 15, 30, 45 e 60 kg ha⁻¹) parceladas em duas aplicações. A parcela experimental será composta de uma planta.

Nos anos de 2019 à 2022, serão avaliados, com o auxílio de paquímetro digital e trena métrica, os parâmetros de crescimento das plantas: diâmetro do tronco (mm); altura das plantas (cm) e volume de copa (m³) (estimado através da medida da altura da copa x largura I da copa x largura II da copa).

Nos meses de janeiro, serão realizadas anualmente a coleta de folhas completas (limbo + pecíolo) da parte média dos ramos do ano, nos diferentes lados das plantas, secas, moídas e preparadas para análise dos teores totais de macro e micronutrientes (CQFS – RS/SC, 2016). Ao final do experimento, conforme CQFS – RS/SC (2016) será realizada a coleta de solo na camada de 0-20 cm para determinação do teor de argila

determinada pelo método da pipeta, pH em água determinado por meio de potenciometria e teores de macronutrientes.

6.2 Adubação de Produção

Os estudos 3, 4 e 5, serão conduzidos em pomar comercial, no município de Canguçu- RS, o qual foi implantado em 2012, com espaçamento de quatro metros entre plantas e sete metros entre linhas. O solo é classificado como Argissolo (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Antes da implantação do experimento, foi realizado as análises químico-físicas, as quais apresentaram os seguintes resultados: pH em água de 6,4; 97,3 mg dm⁻³ de P; 115 mg kg⁻¹ de K; 3,5 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,2 cmol_c dm⁻³ de Mg; 16,0 g dm⁻³ de matéria orgânica e 160 g dm⁻³ de argila.

Para o estudo 3, será utilizada a cv. 'Arbequina', o delineamento à ser utilizado será o de blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco doses de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg de N ha⁻¹), aplicado na forma de ureia e parcelada em duas aplicações, 50% na plena floração e 50% no endurecimento do caroço. O adubo será aplicado sobre a superfície do solo e a parcela experimental será composta por uma planta.

No estudo 4, a cultivar empregada será a 'Koroneiki', o delineamento experimental será o de blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco doses de K (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio), aplicados sobre a superfície do solo e parcelada em duas aplicações, 50% na plena floração e 50% no endurecimento do caroço. A parcela experimental será composta por uma planta.

As variáveis a serem analisadas nos estudos 3 e 4 serão: perímetro do tronco, produtividade e massa média de 50 azeitonas. Nos aspectos qualitativos do azeite, analisar-se-á: rendimento de azeite, acidez, índice de peróxidos, e coeficientes de extinção de 232 nm (K₂₃₂) e 270 nm (K₂₇₀). Durante cinco ciclos produtivos, conforme recomendação da CQFS – RS/SC (2016), serão coletadas folhas completas (limbo + pecíolo) da parte média dos ramos do ano, nos diferentes lados das plantas, secas, moídas e preparadas para análise dos teores totais de macro e micronutrientes (CQFS – RS/SC, 2016). Após a colheita, no experimento 4, será realizada a coleta de solo nas camadas de 0-10 e 0-20 cm para determinação do teor de argila determinada pelo método da pipeta, pH em água determinado por meio de potenciometria e teores de macronutrientes.

O estudo 5 será a avaliação da viabilidade técnica do uso do Índice SPAD no diagnóstico do estado de N em oliveiras 'Arbequina'. Será realizado uma correlação dos teores foliares de N, oriundos do estudo 3, com índice SPAD obtido por clorofilômetro SPAD-502 na ocasião em que serão coletadas as folhas para análise química.

7. Resultados esperados

O presente estudo visa mensurar a influência da adubação nitrogenada e potássica, aplicados em superfície, sobre os aspectos de crescimento, produção e qualidade do azeite.

Com base nos resultados alcançados poderão ser sugeridos ajustes das recomendações de adubação nitrogenada para a fase de crescimento e produção da oliveira, além da adubação potássica na fase produtiva.

Espera-se identificar o nível crítico de N nas folhas de oliveiras 'Arbequina' e o nível crítico de K no solo e nas folhas de oliveiras 'Koroneiki'.

Através da correlação entre o índice SPAD e a concentração de N nas folhas de oliveiras 'Arbequina', no estudo com adubação nitrogenada na fase produtiva, espera-se identificar a faixa do índice SPAD em que as plantas estejam com teores de N considerados adequados.

8. Cronograma de atividades

O cronograma terá como base a coleta de dados de cinco ciclos produtivos de azeitona de 2018 até 2023 (Tabela 1)

Tabela 3. Calendário de execução do projeto de pesquisa

MÊS/ETAPAS	2018 ^a – 2019 ^b – 2020 ^c – 2021 ^d – 2022 ^e – 2023 ^f											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Escolha do tema								X ^a	X ^a			
Levantamento bibliográfico								X ^a	X ^a	X ^a	X ^a	X ^a
Elaboração do projeto			X ^b	X ^b	X ^b	X ^b						
Instalação do experimento									X ^a	X ^a		
Coleta dos dados	X ^{abcdef}	X ^{abcdef}	X ^{abcdef}	X ^{abcdef}		X ^{abcd}			X ^{abcd}			X ^{abcd}
Avaliações quantitativas	X ^{abcdef}	X ^{abcdef}	X ^{abcdef}	X ^{abcdef}		X ^{abcd}	X ^{abcde}	X ^{abcde}	X ^{abcde}	X ^{abcde}	X ^{abcde}	X ^{abcd}
Redação do trabalho	X ^{ef}	X ^{ef}			X ^{ef}	X ^{ef}	X ^{ef}					
Revisão e redação final						X ^f	X ^f					
Entrega da tese								X ^f				
Defesa da tese								X ^f				

9. Custos

Tabela 2. Detalhamento dos custos estimados para a execução do projeto

Materiais de consumo				
Materiais	Und.	Qtd.	Custo unit. (R\$)	Custo total (R\$)
Ureia	sc	6	82,00	492,00
Cloreto de potássio	sc	4	89,00	356,00
Adubo orgânico	sc	50	20,00	1.000,00
Análises de solo	-	185	45,00	8.325,00
Análises de tecido	-	580	65,00	37.700,00
Análise de Azeite		200	250,00	50.000,00
Materiais de laboratório	-	-	-	250,00
Reagentes químicos	-	-	-	3.700,00
Material de escritório e expediente	-	-	-	650,00
Combustível	L	1440	4,76	6.854,40
Diárias	-	48	187,00	8.976,00

Subtotal				118.303,00
Serviços de terceiros				
Publicação de artigo em periódicos	un.	4	1.200,00	4.320,00
Participação de eventos	un.	8	520,00	4.160,00
Subtotal				8.480,00
TOTAL				126.783,00

10. Referências bibliográficas

- ALBA, J. M. et al. Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 23, 2014, Cuiabá. **Anais...** Fruticultura: oportunidades e desafios para o Brasil. EMBRAPA, 2014. p. 34.
- ALBIN A.; VILLAMIL J. **Aceite de oliva:** tradicional sabor mediterrâneo, rejuvenecido en tierras Uruguayas. Montevideo: Editora de Vecho, 2003. p. 25-28.
- ASHLEY, M.K.; GRANT, M.; GRABOV, A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. **Journal of Experimental Botany**, v.57, p.425-436, 2006.
- BENDER, D. D. B. B; WEBER, M. A.; VIEIRA, F. C. B. Necessidade de ajustes no sistema de recomendação de calagem e adubação de oliveiras (*Olea europaea* L.) no sul do Brasil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, 6.1: 17-32, 2018.
- BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Metrópole, 2008. 342p
- BRITO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. Cellular mechanisms of potassium transport in plants: Review. **Physiologia Plantarum**, v.133, p.637-650, 2008.
- CABALLERO, J. M. Variedades de oliveiras mais plantadas nos principais países produtores do mundo. In: OLIVEIRA, A. F. (Org.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2012. Cap. 6. p. 159- 192.

- COMISSÃO, DE QUÍMICA E. FERTILIDADE DO. SOLO-RS/SC (CQFS-RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**, v. 10, 2016.
- COUTINHO, E.F.; WREGE, M.S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I.R. de; STEINMETZ, S. Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.): clima. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009 (Sistema de produção).
- CUEVAS, J.; RALLO, L.; RAPOPORT, H. F. Crop load effects on floral quality in olive. **Scientia Horticulturae**, v. 59, n. 2, p. 123-130, 1994.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição e crescimento. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Tradução de Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Planta**, p. 251-286, 2006.
- EREL, R. et al. The importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its productivity. **Scientia Horticulturae**, 2013, 159: 8-18.
- ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. O autor, Lages/SC, 2016.
- FACHINELLO, J. C. et al. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 109-120, 2011.
- FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of plant nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.
- FAQUIN, Valdemar. **Nutrição mineral de plantas**. 2005.
- FILLIPINI ALBA, J.M.; FLORES, C.A.; WREGE, M.S.; COUTINHO, E.F.; JORGE, R.O. (Ed.). **Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul**. Brasília: Embrapa, 2014. 80 p.
- HAVLIN, J. L. et al. Nitrogen. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**, v. 7, 2005.
- INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL (IOC). 2017. World Olive Oil Figures. Acesso em: 17 de janeiro de 2020. <http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/132-world-table-olive-figures>.
- LAVEE, Shimon et al. The floral biology of the olive: II. The effect of inflorescence load and distribution per shoot on fruit set and load. **Scientia horticulturae**, v. 82, n. 3-4, p. 181-192, 1999.

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 2006. MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.
- MARK, W. SZCZERBABA, M.W.; BRITTOA, D.T.; KRONZUCKER H.J. REVIEW: K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. **Jornal of plant physiology**, v.166, p.447-466, 2009.
- MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011.
- MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; PINEHEIRO, V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 505-514, 2014.
- MARTINS, F. B.; REIS, D. da; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono para duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1975 - 1981, 2012
- OLIVEIRA, A. F. de. **Enraizamento de estacas semilenhosas e cultura de embriões *in vitro* de oliveira (*Olea europaea* L.)**. 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- RAPOPORT, H. F.; MARTINS, P. C. Flower quality in the olive: broadening the concept. In: **Proc 2nd Intl Seminar Recent Advances Olive Industry**. 2006.
- RAPOPORT, H. F.; RALLO, L. Postanthesis Flower and Fruit Abscission in Manzanillo Olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 116, n. 4, p. 720-723, 1991.
- RAPOPORT, Hava F. et al. Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 227-233, 2012.
- RYACHI, M. E.; et al. Hydrophilic antioxidants of virgin olive oil. Part 1: hydrophilic phenols a key factor for virgin olive oil quality. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.113. p. 678- 691, 2011.
- SANTOS, J.F. El contexto de la olivicultura, la producción y el consumo de aceite de oliva en el mundo. **Tesis Doutoral**, 2002. p. 295-319.

- SELAJ, G. Vuletin et al. Flower sterility and the germination ability of pollen as genetic traits of seven olive (*Olea europaea* L.) cultivars grown in Croatia. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 87, n. 3, p. 237-242, 2012.
- SOIL, Survey Staff. Keys to soil taxonomy. **Washington: Natural Resources Conservation Service and Agriculture Department**, 2014.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L. S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, v. 144, p. 54-68, 2014
- WANG, Y.; WU, W.H. Potassium transport and signaling in higher plants. **Plant Biology**, v.64, p.451–476, 2013.
- WIESMAN, Z. **Desert olive oil cultivation: advanced bio technologies**. Academic Press, 2009.
- WREGE, M. S., COUTINHO, E. F., PANTANO, A. P., & JORGE, R. O. Distribuição potencial de oliveiras no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, n.3, 656-666, 2015.
- WREGE, M. S.; COUTINHO, E. F.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de; MATZENAUER, R.; RADIN, B. **Zoneamento agroclimático para oliveira no Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. (Documentos).
- YILDIZTUGAY, E.; KONAKCI, C.O.; KUCUKODUK, M. Modulation of osmotic adjustment and antioxidant status in salt-stressed leaves of *Thermopsis túrcica*. **Acta Physiol Plant**, v.36, p.125-138, 2014.

11. Relatório

11.1 Relatório de trabalho de campo

O presente trabalho foi definido a partir do projeto intitulado “Adubação de crescimento, rendimento de oliveiras e qualidade do azeite em resposta à adubação nitrogenada e potássica”, código COCEPE/UFPel 5385, sob coordenação do professor Paulo Mello-Farias. Para a realização dos experimentos, foi constituída uma parceria interinstitucional entre a Universidade Federal de Pelotas e Embrapa Clima Temperado – Pelotas.

O início das atividades ocorreu em agosto de 2018, com a visita aos olivais em Canguçu – RS e Pelotas – RS, e posterior, coleta de solo para análise química. A partir dos resultados das análises de solo, fez-se o planejamento dos estudos e a implantação dos mesmos.

Observação: As análises de solo do estudo 4, de adubação potássica, no ciclo produtivo de 2020, apresentaram valores considerados incompatíveis com os teores de K esperados. Logo, devido estas análises terem sido realizadas em laboratório externo, não foi possível repeti-las.

11.2 Relatório de trabalho no exterior (13 de fevereiro à 13 de julho de 2023)

Durante o período compreendido 13 de fevereiro de 2023 até 13 de julho de 2023, realizei Doutorado Sanduíche no Exterior na “The Agriculture and Food Development Authority – TEAGASC, Irlanda.

O trabalho desenvolvido neste período foi a avaliação fenológica e produtiva de 52 variedades de macieira. O trabalho é parte de um projeto institucional de desenvolvimento da cadeia da maçã na Irlanda, uma vez que o país importa mais de 90% da fruta consumida internamente. Com este estudo,

espera-se fornecer aos agricultores informações sobre o desempenho, ciclo fenológico e produtividade das cultivares de macieira nas condições edafoclimáticas da Irlanda.

Devido ao curto período de avaliações, aliado ao desenvolvimento deste projeto ser de médio a longo prazo, não foi possível discorrer um trabalho científico até o presente momento. Contudo, as avaliações realizadas irão compor a confecção de futuros trabalhos.

12. Artigos desenvolvidos

12.1 Artigo 1

**Adubação orgânica para promover o crescimento de plantas jovens de oliveiras
'Koroneiki'**

**Organic fertilization to promote the growth of Young plants of 'Koroneiki' olive
trees**

**Artigo formatado nas normas da Agronomy for Sustainable Development (ISSN 1774-0746)*

Resumo: Dentre as práticas agronômicas, a adubação é considerada um dos métodos mais importantes para melhorar o crescimento e a produtividade das culturas. Para a fase de crescimento de oliveiras, o nitrogênio (N) é o nutriente mais importante, em razão do N ser componente de enzimas, vitaminas, molécula de clorofila, estar envolvido na síntese de ácidos nucleicos, aminoácidos e na produção de proteínas, além da divisão celular e crescimento de tecidos. Dependendo do adubo utilizado, esta prática pode afetar positivamente as características químicas e físicas do solo, uma vez que, devido ao baixo teor de N, é necessário o fornecimento em grandes quantidades para satisfazer a necessidade das plantas. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito da adubação orgânica sobre o crescimento e os parâmetros produtivos do primeiro ciclo de produção das plantas. O estudo foi conduzido em um olival com plantas jovens de oliveiras 'Koroneiki' entre 2018 e 2022. Os tratamentos utilizados foram doses de N, 0,

15, 30, 45 e 60 kg ha⁻¹, na forma de adubo orgânico. A adubação orgânica promoveu maior crescimento das plantas e elevou os teores foliares de N e P. Também, a utilização do adubo orgânico melhorou a qualidade química do solo, elevando o pH e os teores de P e Ca. Contudo, observou-se efeito significativo nos parâmetros produtivos, houve baixa produtividade no primeiro ciclo produtivo de oliveiras 'Koroneiki'.

Palavras chave: *Olea europaea* L., adubação nitrogenada, análise foliar, fruticultura.

Abstract: Among agronomic practices, fertilization is considered one of the most essential methods to improve growth and productivity in plants. For the growth phase of olive trees, nitrogen (N) is the most important nutrient, because N is a component of enzymes, vitamins, and chlorophyll molecules, is involved in the synthesis of nucleic acids, amino acids and in the production of proteins, in addition of being important for cell division and tissue growth. Depending on the fertilizer used, this practice can positively affect the chemical and physical characteristics of the soil, because of the low N content, it is necessary to supply it in large quantities to satisfy the requirements of the plants. Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of organic fertilization on the growth and on the productive parameters of the first production cycle of the plants. The study was conducted in an olive grove with young plants of 'Koroneiki' olive trees between 2018 and 2022. The treatments used were doses of N, 0, 15, 30, 45, and 60 kg ha⁻¹, in the form of organic fertilizer. Organic fertilization promoted greater plant growth and increased foliar levels of N and P. Also, the use of organic fertilizer improved the chemical quality of the soil, increasing pH and P and Ca levels. However, even though there was a significant effect on the production parameters, there was low productivity in the first production cycle of 'Koroneiki' olive trees.

Keywords: *Olea europaea* L., N fertilization, leaf analysis, fruit growing

1. Introdução

A adubação é uma prática cultural importante com o objetivo de manter ou elevar a fertilidade do solo em condições ideais, a fim de favorecer o crescimento vegetativo e rendimentos constantes e altos (Mazeh et al. 2021). Também, a adubação é considerada uma das práticas mais eficazes para aumentar o crescimento e rendimento em plantas frutíferas, especialmente a nitrogenada, em razão do N ser componente de enzimas, vitaminas, molécula de clorofila, estar envolvido na síntese de ácidos nucleicos, aminoácidos e na produção de proteínas. É importante para a divisão celular e crescimento de tecidos (Taiz et al. 2017; Carranca et al. 2018).

Estudos relatam que as taxas de suprimento de N são, muitas vezes, maiores do que as necessidades das plantas, em virtude de os produtores acreditarem que, devido à relativamente baixa eficiência de uso da adubação nitrogenada, eles precisam aplicar quantidades de N muito maiores do que as absorvidas (Carranca et al. 2018). Contudo, um importante aspecto do excesso da adubação nitrogenada é a poluição ambiental. O N aplicado sob a superfície do solo em olivais, pode levar a níveis elevados de N no solo, principalmente na forma de nitrato (NO_3^-). O NO_3^- é adsorvido fracamente à fase sólida do solo, sendo facilmente lixiviado para baixo da zona radicular e torna-se um poluente das águas subterrâneas quando não é absorvido pelas plantas (Zipori et al. 2020). O N não consumido também pode ser convertido em óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa (Vilarrasa-Nogué et al. 2019). Portanto, devido à instabilidade do N solo, muitas vezes ao aplicar adubos inorgânicos, as plantas não conseguem absorver tais quantidades de N em um curto período de tempo. Em contrapartida, adubos orgânicos mineralizam lentamente o N e, em razão da aplicação de grandes quantidades (pois geralmente possuem baixa concentração de nutrientes), tem efeitos positivos nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Zipori et al. 2020; Mazeh et al. 2021). Logo,

adubos orgânicos têm impacto positivo na capacidade de troca catiônica (CTC), atividade microbiana, além de aumentar a porosidade, a capacidade de armazenamento de água e o C orgânico no solo (Li et al. 2017; Chatzistathis et al. 2021)

O solo pode fornecer uma fração da necessidade de N das plantas através da mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), assim, o aporte de N deve suprir o restante do requerimento, especialmente durante a fase de crescimento. Plantas jovens devem ser adubadas com mais frequência do que plantas que estejam em fase produtiva e, o fornecimento também deve ser direcionado para o volume limitado do solo, onde as raízes estão presentes. Para o crescimento e formação do olival, as plantas são altamente dependentes de novas entradas de N, em virtude de ainda possuírem limitadas estruturas de reservas que permitem remobilizar o N e manter o crescimento durante os primeiros três anos após o transplante (Carranca et al. 2018).

A otimização da adubação nitrogenada deve ser alcançada para equilibrar o suprimento adequado de N para as plantas com riscos mínimos de poluição ambiental, adequado crescimento vegetal e eficiência econômica. Em relação aos químicos, os adubos orgânicos garantem liberação lenta de nutrientes, especialmente N, proporcionando um fornecimento mais eficiente às plantas durante todo o período vegetativo (Carranca et al. 2018; Mazeh et al. 2021). A partir disso, aumentar a taxa de crescimento das oliveiras jovens é muito importante para os produtores, uma vez que reduziria o tempo necessário para que as plantas atingissem a maturidade e iniciassem o período reprodutivo. Portanto, objetivou-se com o presente estudo investigar a influência da adubação orgânica no crescimento, nutrição e no primeiro ciclo produtivo de plantas jovens de oliveiras ‘Koroneiki’, durante os primeiros quatro anos após o plantio, na região Sul do Brasil.

2. Material e métodos

2.1 Descrição do experimento e caracterização do solo

A pesquisa foi conduzida entre setembro de 2018 a junho de 2022 em um pomar comercial localizado no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil (latitude 31° 38' 12,8" S, 52° 32' 53,9" W e 70 m de altitude). A classificação do clima da região, conforme W. Köppen é do tipo “Cfa” - clima subtropical úmido, ou seja, temperado úmido com verões quentes (Alvares et al. 2013). A precipitação mensal e temperaturas médias mensais (Figura 1) foram obtidas de estação automática (Latitude 31° 40' 59" S; Longitude 52° 26' 10" W), localizada na Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

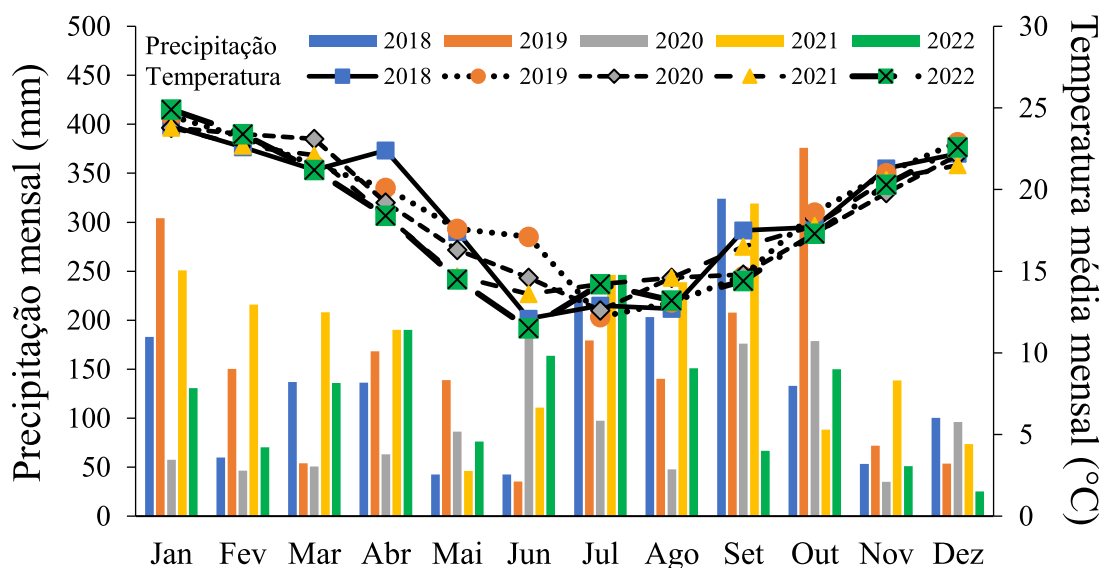


Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C). Pelotas – RS.

O pomar foi implantado em dezembro de 2017, com mudas de oliveira da cultivar Koroneiki em espaçamento de 6x4 m, resultando em uma densidade de 417 plantas ha⁻¹. O solo é classificado como Argissolo vermelho-amarelo distrófico (de acordo com a classificação brasileira) e Acrissolo (de acordo com a classificação WRB) (Soil Survey

Staff, 2022). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo e realizadas análises químicas do solo, apresentando os resultados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.

Características	Camada 0 – 20 cm
Argila (g kg^{-1}) ¹	190,0
MOS (g kg^{-1}) ¹	19,0
pH em água ²	5,5
P (mg dm^{-3}) ²	10,6
K (mg dm^{-3}) ²	116,0
Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	2,9
Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	1,5
Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	0,0
CTC pH7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	8,8

⁽¹⁾ Distribuição de tamanho de partícula determinada pelo método da pipeta e matéria orgânica (MOS), oxidado por uma solução sulfocrômica de acordo com os métodos descritos por Tedesco et al (1995).

⁽²⁾ Caracterização química de acordo com os métodos descritos em Tedesco et al (1995); pH na proporção 1:1; fósforo (P) e K extraído por Mehlich-1; Ca, Mg e alumínio (Al) trocáveis, extraído por $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ KCl.

Os tratamentos foram arranjados em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por uma planta útil. Os tratamentos alocados nas parcelas experimentais foram cinco níveis de N: 0; 15; 30; 45 e 60 kg de N ha^{-1} na forma de adubo orgânico Nossa Terra® (19,0 g de N kg^{-1}) (Tabela 2), totalizando 20 unidades experimentais. Anualmente, os diferentes níveis de N foram aplicados sobre a superfície do solo, na projeção da copa das plantas em um raio de 80 cm do tronco, respeitando uma planta de bordadura entre os tratamentos. As aplicações

iniciaram a partir do início da primavera e fracionadas em duas aplicações espaçadas 45 dias, 50% da dose por aplicação.

A matéria-prima para a formação do adubo orgânico consiste de fração úmida: 23 % de resíduo da indústria arroseira (casca de arroz, farelo de arroz e lodo de estação de tratamento), 9,5 % de lodo de estação de tratamento de frigorífico, 7 % de lodo da estação de tratamento da indústria petroquímica (tratamento biológico), 3 % de resíduo da indústria de soja, 3 % de resíduo de indústria de alimentos e fração seca: 52,5 % de resíduo de madeira (serragem) e 2 % de resíduo de poda urbana. Após o recebimento o resíduo (fração úmida) é descarregado e passa por processo de estabilização, com adição de parte da fração seca, posteriormente são formadas as leiras onde o restante da fração seca é incorporado. As leiras são revolvidas periodicamente para que o processo de decomposição aeróbia ocorra e, quando o resíduo é transformado em composto orgânico, ocorre o peneiramento. O processo desde o descarregamento até o peneiramento tem duração aproximada de 90 dias.

Tabela 2. Principais características físicas e químicas do adubo orgânico utilizado na área experimental, Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.

Características	Camada 0 – 20 cm
pH em água ¹	8,7
N (g kg ⁻¹) ²	19,0
P (g kg ⁻¹) ³	3,0
K (g kg ⁻¹) ³	7,6
Ca (g kg ⁻¹) ³	6,9
Mg (g kg ⁻¹) ³	2,4
B (mg kg ⁻¹) ⁴	12,0
Umidade (%)	38,0

⁽¹⁾pH na proporção 1:1; ⁽²⁾Digestão sulfúrica e quantificação pelo método Kjeldahl; ⁽³⁾P, K, Ca e Mg por digestão úmida nitro-perclórica; ⁽⁴⁾Digestão seca/ICP-OES. Tedesco et al (1995).

2.2 Variáveis analisadas

2.2.1 Crescimento das plantas

Em setembro de 2018 e junho de 2021 foram avaliados, com o auxílio de paquímetro digital e trena métrica, os parâmetros de crescimento das plantas: diâmetro do tronco (mm): altura das plantas (cm) e volume de copa (m^3), estimado através da equação (01):

$$01) \text{ Altura da copa} \times \text{largura I da copa} \times \text{largura II da copa}$$

A partir de setembro de 2021 as plantas foram podadas para o primeiro ciclo produtivo, portanto, interrompeu-se as avaliações de crescimento.

2.2.2 Teores de nutrientes nas folhas e no solo

Para a determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes, em janeiro de 2019, 2020, 2021 e 2022 foram coletadas amostras de 80 folhas, retiradas da porção mediana de ramos de crescimento do ano e situados na altura média da planta. As folhas foram secas em estufa a 65 °C, até atingirem massa constante, e em seguida moídas. Subamostras de 0,5 g foram submetidas à digestão ácida nitroperclórica com $HClO_4$ (1,0 mL) + HNO_3 (6,0 mL) a 210 °C, em bloco digestor. No extrato foram determinadas as concentrações de fósforo (P) por espectrofotometria UV (método vanadato-molibdato), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por espectrometria de absorção atômica em chama (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 200, EUA). O N foi determinado através do extrato oriundo da digestão sulfúrica, 0,2 g de amostra submetida à H_2O_2 (1,0 mL) + H_2SO_4 (2,0 mL) a 360 °C, em bloco digestor, e quantificado pelo método de Kjeldahl. O boro (B) foi analisado após digestão das amostras por via seca em forno “mufla” a 550 °C e determinado por colorimetria, utilizou-se o reagente azometina-H (Tedesco et al. 1995).

Em abril de 2022 realizou-se a coleta de solo na camada de 0-20 cm, próximo à planta na área onde foi aplicado o adubo orgânico e analisou-se: pH, MOS, K, P, Ca e Mg (Tedesco et al. 1995).

2.2.3 Parâmetros produtivos na primeira safra

Para mensurar a frutificação efetiva, durante a plena floração, demarcou-se 5 ramos nos diferentes lados da planta e aferiu-se o número de flores, após 90 dias avaliou-se a frutificação, a qual foi expressa em porcentagem (%).

No mês de abril de 2022 efetuou-se a primeira colheita. As variáveis de rendimento analisadas foram: produtividade (kg ha^{-1}), estimada pela massa de frutos colhidos na planta e multiplicado pela densidade de plantas. A massa média de frutos, foi estimada através da pesagem de 50 frutos e expressa em gramas fruto⁻¹.

2.3 Análise estatística

Os dados foram testados para distribuição de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativo pelo teste $F \leq 0,05$, as doses médias foram ajustadas por regressões polinomiais para determinar os efeitos das doses de N sobre as variáveis mensuradas. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira 2019).

3. Resultados

3.1 Crescimento de plantas

Os parâmetros de crescimento altura de planta, volume de copa e diâmetro de tronco evidenciaram aumento linear de acordo com a aplicação de doses crescentes de N (Figura 2).

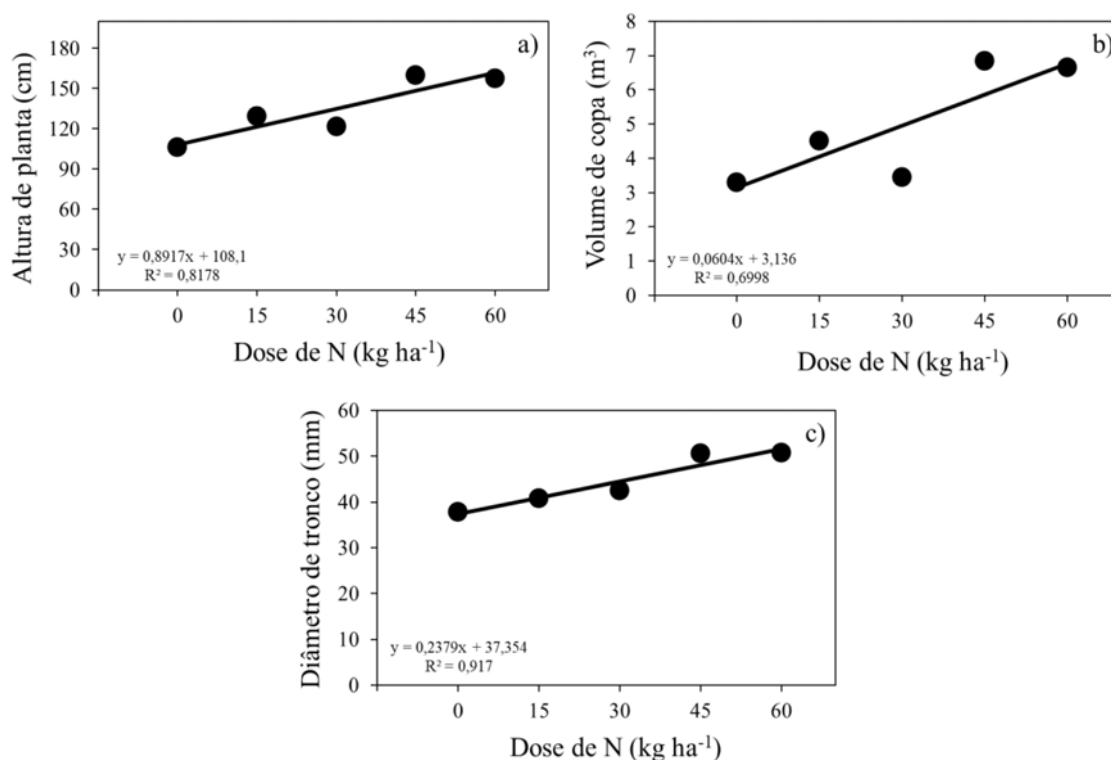


Figura 2. Altura de planta (a), volume de copa (b) e diâmetro de tronco (c) em plantas de oliveiras 'Koroneiki', submetidas à diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.

3.2 Teores de nutrientes foliares

Nos quatro ciclos avaliados, os teores foliares de N e P aumentaram linearmente (Tabela 3). Os teores de Mg tiveram acréscimo linear em 2019 e 2021 e os teores de Ca em 2021 e 2022. K e B não diferiram significativamente.

Tabela 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) em folhas de oliveiras 'Koroneiki' (*Olea europaea* L.) submetidas a doses crescentes de N (kg ha⁻¹) na forma de adubo orgânico aplicadas anualmente sobre a superfície do solo.

Dose de N (kg ha⁻¹)	Teor de nutriente foliar					
	N	P	K	Ca	Mg	B
	(g kg⁻¹)	(g kg⁻¹)	(g kg⁻¹)	(g kg⁻¹)	(g kg⁻¹)	(mg kg⁻¹)

	-----2019-----					
0	8,2	1,3	13,3	7,9	1,0	39,8
15	10,7	1,5	12,3	6,6	0,9	32,5
30	11,5	1,6	14,2	7,1	1,1	38,1
45	12,1	1,7	14,6	8,9	1,4	41,8
60	13,2	1,6	14,9	8,2	1,2	42,9
CV %	11,7	11,9	12,1	23,2	14,6	14,7
Linear	*(1)	*(2)	ns	ns	*(3)	ns
Cuadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	-----2020-----					
0	6,2	0,9	11,0	7,2	0,7	43,4
15	11,5	1,4	11,1	7,5	0,8	36,4
30	13,3	1,7	12,2	8,1	0,8	38,5
45	15,4	1,8	13,1	8,3	1,0	39,7
60	15,7	1,9	11,9	7,8	0,8	41,2
CV %	12,0	15,5	11,4	11,1	18,6	15,0
Linear	*(4)	*(5)	ns	ns	ns	ns
Cuadrática	*	*	ns	ns	ns	ns
	-----2021-----					
0	9,4	2,2	15,1	9,9	0,9	42,5
15	15,4	3,2	14,4	11,0	1,0	35,5
30	15,6	3,3	15,3	11,5	1,0	37,8
45	16,3	3,4	15,3	13,8	1,2	39,4
60	17,4	4,0	15,0	11,6	1,2	40,0
CV %	5,2	14,5	6,1	8,0	12,2	10,6
Linear	*(6)	*(7)	ns	*(8)	*(9)	ns

Quadrática	*	ns	ns	ns	ns	ns
-----2022-----						
0	9,4	2,1	16,9	11,9	0,8	45,2
15	16,7	2,8	16,5	15,4	0,9	38,4
30	17,8	2,9	16,3	15,9	0,9	37,6
45	18,5	3,8	16,1	17,7	1,0	36,9
60	19,6	4,0	15,0	15,6	1,1	37,1
CV %	6,4	17,6	5,1	4,5	18,0	10,6
Linear	*(10)	*(11)	ns	*(12)	ns	ns
Quadrática	*	ns	ns	*	ns	ns

⁽¹⁾y = 0,0757x + 8,878 (R² = 0,9161); ⁽²⁾y = 0,0067x + 1,354 (R² = 0,7709); ⁽³⁾y = 0,0051x + 0,996 (R² = 0,6139); ⁽⁴⁾y = 0,1523x + 7,85 (R² = 0,8726); ⁽⁵⁾y = 0,0157x + 1,066 (R² = 0,8789); ⁽⁶⁾y = 0,1126x + 11,448 (R² = 0,7301); ⁽⁷⁾y = 0,0249x + 2,47 (R² = 0,8637); ⁽⁸⁾y = 0,042x + 10,318 (R² = 0,4847); ⁽⁹⁾y = 0,005x + 0,912 (R² = 0,8487); ⁽¹⁰⁾y = 0,1481x + 11,962 (R² = 0,7457); ⁽¹¹⁾y = 0,0316x + 2,216 (R² = 0,9497); ⁽¹²⁾y = 0,0638x + 13,4 (R² = 0,5194). *Significativo à F ≤ 0,05; ns = não significativo à F ≤ 0,05.

3.3 Análise de solo

Os teores de pH, P e Ca aumentaram linearmente no solo após quatro anos de adubação orgânica (Tabela 4). Para MOS, K e Mg não houve diferença significativa.

Tabela 4. Teores de pH, matéria orgânica do solo (MOS), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponíveis no solo em resposta à aplicação de doses de nitrogênio (N) na forma de adubo orgânico, após quatro anos de adubação orgânica, 2022.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	pH	OM (%)	K (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	Mg (cmol _c kg ⁻¹)
0	5,17	2,30	148,5	6,72	3,20	2,42
15	5,35	2,59	158,0	18,75	3,90	2,47
30	5,60	2,40	153,0	30,77	4,77	2,62
45	5,87	2,20	144,0	34,77	5,15	2,70
60	6,00	2,31	187,7	45,80	6,77	3,15
CV %	3,65	10,80	12,09	23,06	17,44	17,14
Linear	*(1)	ns	ns	*(2)	*(3)	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾y = 0,0145x + 5,162 (R² = 0,9895); ⁽²⁾y = 0,6279x + 8,526 (R² = 0,9782); ⁽³⁾y = 0,0559x + 3,08 (R² = 0,9557); *Significativo à F ≤ 0,05; ns = não significativo à F ≤ 0,05.

3.4 Parâmetros produtivos

No primeiro ciclo produtivo, para a frutificação efetiva e produtividade, houve efeito quadrático, atingindo 1,8% e 287,8 kg ha⁻¹ com 32,7 e 36,8 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Figura 3). Para a massa média de fruto ocorreu acréscimo linear com o aumento das doses de N.

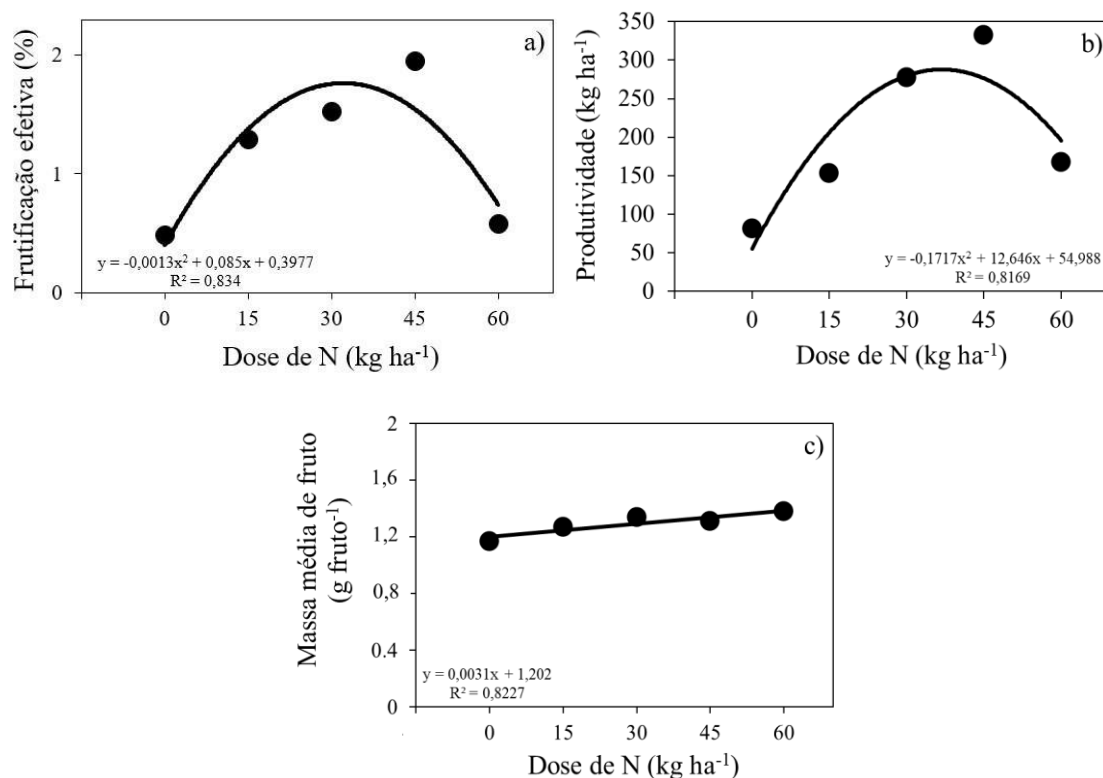


Figura 3. Frutificação efetiva (a), produtividade (b) e massa média de fruto (c) no primeiro ciclo produtivo após quatro anos de adubação nitrogenada em plantas jovens de oliveiras 'Koroneiki'.

4. Discussão

A adubação orgânica evidenciou ser uma alternativa eficiente para o crescimento das plantas jovens de oliveiras 'Koroneiki'. Ainda que não tenha sido possível estabelecer uma dose de adubo orgânico para a fase de crescimento, a lenta liberação do N para as plantas pode ter promovido uma maior eficiência na absorção deste nutriente, resultando em acréscimo linear das variáveis de crescimento. Além de fornecer N, estudos relatam

a ação bioestimulante do adubo orgânico no crescimento de oliveiras, devido ao alto teor de aminoácidos, proteínas, ácidos húmicos e fúlvicos (Almadi et al. 2020; Mazeh et al. 2021). Tais compostos provocam efeitos de: modulação da absorção e assimilação de N, atividades semelhantes a hormônios, funções quelantes e complexantes capazes de melhorar a disponibilidade e absorção de nutrientes pelas raízes, capacidade antioxidante e mitigação do estresse ambiental (Basile et al. 2020; Du Jardin et al. 2015; Mazeh et al. 2021).

O teor de N nas folhas de oliveira foi significativamente dependente da adubação orgânica, sendo maiores em todas as parcelas onde foi realizada a aplicação em comparação com as parcelas controle (não adubadas). Chatzistathis et al. (2021) relatam que a adubação orgânica não fornece efeitos imediatos na satisfação das necessidades nutricionais (especialmente N) das culturas. Contudo, no presente estudo, houve diferença nos teores foliares de N desde o primeiro ciclo de crescimento avaliado, o que pode estar relacionado ao fato de que para frutíferas perenes a absorção de nutrientes ocorre durante o ano todo, especialmente em condições de clima subtropical úmido (Maity et al. 2019; Cruz et al. 2019). No ciclo de 2019 não foi possível atingir teores de N foliar considerados adequados para a oliveira ($15,0 - 20 \text{ g kg}^{-1}$), todavia, em 2020, teores foliares acima de $15,0 \text{ g de N kg}^{-1}$ foram atingidos a partir da dose de $47 \text{ kg de N ha}^{-1}$, em 2021 com $31,5 \text{ kg de N ha}^{-1}$ e em 2022 com $20,5 \text{ kg de N ha}^{-1}$. O N em adubos orgânicos, geralmente está associado a proteínas e aminoácidos, os quais no solo precisam ser decompostos por microrganismos para formar amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) e então serem absorvidos pelas plantas (Mazeh et al. 2021). Logo, a lenta mineralização do N elucida os baixos teores foliares de N no primeiro ciclo.

Os baixos teores de P disponíveis no solo no local do estudo aliado ao teor presente no adubo orgânico, contribuíram para o acréscimo deste nutriente no solo e nas folhas de

oliveiras. Estudos nesta espécie que demonstrem resposta positiva das plantas à adubação fosfatada são escassos. Frutíferas perenes dispõem de maior tempo de absorção de nutrientes além de desenvolverem estratégias específicas que aumentem a disponibilidade de P, através da exsudação de ácidos orgânicos para a rizosfera e a associação com fungos micorrízicos arbusculares (Ferreira et al. 2018; Christopoulou et al. 2021). Ainda que o P apresente baixa mobilidade no solo e o adubo orgânico tenha sido aplicado na superfície do solo, é possível que a fração de P-orgânico tenha lixiviado para camadas de solo mais profundas. Após isso, a atividade da fosfatase ácida pode ter influenciado positivamente a mineralização de P, conforme relatado por Ferreira et al (2018) em estudo com adubação fosfatada em oliveiras.

O incremento dos teores de Ca e Mg foliares também estão relacionados com a composição do adubo orgânico, mesmo que tais nutrientes no solo encontravam-se na faixa de disponibilidade média e alta, respectivamente. A melhora na nutrição das plantas e o incremento de Ca no solo, demonstrou outra vantagem da adubação orgânica, pois o teor de Ca no solo é um indicativo do potencial de crescimento do sistema radicular das frutíferas, principalmente na fase de crescimento das plantas e formação do pomar (Benati et al. 2022), onde é requerido para o desenvolvimento de regiões meristemáticas das plantas (Taiz et al. 2017).

Mesmo que a produtividade tenha sido significativamente diferente, não se obteve quantidades satisfatórias no primeiro ciclo produtivo com a utilização do adubo orgânico, onde, possivelmente devido a fase de crescimento e formação das plantas a partir do quinto ano após o plantio das mudas. As maiores doses de N reduziram a frutificação efetiva e a produtividade no primeiro ciclo produtivo, o que pode estar relacionado com a baixa relação C:N (carbono/nitrogênio) dos ramos e um possível crescimento vegetativo excessivo, reduzindo a indução floral (Zhang et al. 2016). Também, os teores de N foliar

na maior frutificação efetiva e produtividade foi 17,0 g kg⁻¹, corroborando com os resultados de Erel et al. (2013). Efeitos negativos nas variáveis produtivas com teores de N foliares superiores a 17,0 g kg⁻¹ evidencia a necessidade de revisão na faixa considerada adequada de N foliar para a oliveira.

5. Conclusões

A adubação orgânica promoveu crescimento linear e melhorou o status nutricional das plantas, elevando os teores foliares de P, K e Mg nas primeiras aplicações e de N, P, K, Ca e Mg a partir do terceiro ano de aplicação.

A utilização do adubo orgânico melhorou a qualidade química do solo, elevando o pH e os teores de P e Ca.

A aplicação de doses de adubo orgânico maiores que 30 kg ha⁻¹ de N em plantas na fase de crescimento, é prejudicial para a frutificação efetiva e produção de frutos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – FAEM/UFPel, à Universidade Federal de Pelotas – UFPel e à Embrapa Clima Temperado pelo fornecimento de apoio financeiro nas atividades realizadas.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

Almadi L, Paoletti A, Cinosi N, Daher E, Rosati A, Di Vaio C, Famiani F (2020). A biostimulant based on protein hydrolysates promotes the growth of young olive trees. Agriculture, 10(12), 618. Doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120618>

- 306 Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, de Moraes G, Leonardo J, Sparovek G (2013).
 307 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:
 308 711-728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 309 Benati JA, Navroski R, Barreto CF, Fischer LDO, Nava G, Franzon RC, Costa MD
 310 (2021). Liming and Phosphating on growth, nutritional status and mycorrhizal
 311 colonization of yellow strawberry guava. *Scientia Agricola*, 79. Doi:
 312 <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0068>
- 313 Basile B, Roupheal Y, Colla G, Soppelsa S, Andreotti C (2020). Appraisal of emerging
 314 crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated
 315 by the application of biostimulants. *Scientia Horticulturae*, 267, 109330. Doi:
 316 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109330>
- 317 Benati JA, Navroski R, Barreto CF, Fischer LDO, Nava G, Franzon RC, Herter FG, Costa
 318 MD (2021). Liming and Phosphating on growth, nutritional status and mycorrhizal
 319 colonization of yellow strawberry guava. *Scientia Agricola*, 79. Doi:
 320 <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0068>
- 321 Carranca C, Brunetto G, Tagliavini M (2018). Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile
 322 productivity and environmental concerns. *Plants*, 7(1), 4. Doi:
 323 <https://doi.org/10.3390/plants7010004>
- 324 Chatzistathis T, Kavvadias V, Sotiropoulos T, Papadakis IE (2021). Organic fertilization
 325 and tree orchards. *Agriculture*, 11(8), 692. Doi:
 326 <https://doi.org/10.3390/agriculture11080692>
- 327 Christopoulou N, Chatzistathis T, Papatheodorou EM, Aschonitis V, Monokrousos N
 328 (2021). The crucial role of soil organic matter in satisfying the phosphorus
 329 requirements of olive trees (*Olea europaea* L.). *Agriculture*, 11(2), 111. Doi:
 330 <https://doi.org/10.3390/agriculture11020111>

- 331 Cruz AF, Almeida GMD, Wadt PGS, Pires MDC, Ramos MLG (2019). Seasonal
 332 variation of plant mineral nutrition in fruit trees. Brazilian Archives of Biology and
 333 Technology, 62. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019180340>
- 334 Du Jardin P (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and
 335 regulation. Scientia horticulturae, 196, 3-14. Doi:
 336 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- 337 Ferreira DF (2019). SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type
 338 designs: Sisvar. Brazilian Journal of Biometrics, 37: 529–535. DOI:
 339 <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- 340 Ferreira IQ, Rodrigues MÂ, Moutinho-Pereira JM, Correia CM, Arrobas M
 341 (2018). Resposta da oliveira ao fósforo aplicado em experimentos de campo e
 342 vaso. Scientia Horticulturae, 234, 236-244. Doi:
 343 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.050>
- 344 Li Z, Wang M, Yang Y, Zhao S, Zhang Y, Wang X (2017). Effect of composted manure
 345 plus chemical fertilizer application on aridity response and productivity of apple
 346 trees on the loess plateau, China. Arid Land Research and Management, 31(4), 388-
 347 403. Doi: <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1344332>
- 348 Maity A, Babu KD, Sarkar A. (2019). Guidelines for fertilizer use in pomegranate
 349 orchards based on seasonal uptake and partitioning of nutrients. Scientia
 350 Horticulturae, 252, 138-148. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.047>
- 351 Mazeh M, Almadi L, Paoletti A, Cinosi N, Daher E, Tucci M, Lodolini EM, Rosati A,
 352 Famiani F (2021). Use of an organic fertilizer also having a biostimulant action to
 353 promote the growth of young olive trees. Agriculture, 11(7), 593. Doi:
 354 <https://doi.org/10.3390/agriculture11070593>

- 355 Soil Survey Staff (2022). Keys to Soil Taxonomy. USDA-Natural Resources
 356 Conservation Service, Washington, DC, USA.
 357 [https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/keys-to-soil-](https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/keys-to-soil-taxonomy)
 358 [taxonomy](https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/keys-to-soil-taxonomy). Accessed 04 August 2023
- 359 Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2017). Plant physiology and development. Ed.
 360 6. Sinauer Associates Incorporated.
- 361 Tedesco MJ, Gianello C, Bissani C, Bohnen H, Volkweiss SJ (1995). Analysis of Soil,
 362 Plants and other Materials. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre,
 363 RS, Brazil.
- 364 Vilarrasa-Nogu  M, Teira-Esmatges MR, Villar JM, Rufat J (2019). Effect of N dose on
 365 soil GHG emissions from a drip-fertigated olive (*Olea europaea* L.)
 366 orchard. Science of the Total Environment, 677, 350-361. Doi:
 367 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.210>
- 368 Zhang S, Zhang D, Fan S, Du L, Shen Y, Xing L, Li Y, Ma J, Han M (2016). Effect of
 369 exogenous GA3 and its inhibitor paclobutrazol on floral formation, endogenous
 370 hormones, and flowering-associated genes in ‘Fuji’ apple (*Malus domestica*
 371 Borkh.). Plant Physiology and Biochemistry, 107, 178-186. Doi:
 372 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.005>
- 373 Zipori I, Erel R, Yermiyahu U, Ben-Gal A, Dag A (2020). Sustainable management of
 374 olive orchard nutrition: A review. Agriculture, 10(1), 11. Doi:
 375 <https://doi.org/10.3390/agriculture10010011>

12.2 Artigo 2

Crescimento e nutrição de oliveiras 'Koroneiki' em resposta a adubação

nitrogenada

Growth and nutrition of 'Koroneiki' olive trees in response to nitrogen fertilization

**Artigo formatado nas normas da Scientia Agricola (ISSN 1678-992X)*

Resumo: O aumento mundial da produção de azeitona no início do século vinte e um, é devido a crescente demanda por azeite de oliva e o alto valor nutricional do mesmo. Novas regiões na América do Sul, Austrália e África, passaram a explorar o cultivo, entretanto, possuem características muito diferentes da tradicional região produtora (Mediterrânea). Objetivou-se com este trabalho de pesquisa, avaliar o efeito da adubação nitrogenada no crescimento, na nutrição e nos aspectos produtivos no início da fase de produção, na cultivar 'Koroneiki'. A presente pesquisa propôs a aplicação 0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N). A adubação nitrogenada aumentou o crescimento das plantas jovens de oliveiras e elevou os teores foliares de N e parâmetros produtivos. O maior crescimento das plantas, inferiu na redução dos teores foliares de potássio (K), magnésio (Mg) e boro (B). O aumento da disponibilidade de N no solo promoveu maior absorção de N pelas plantas, crescimento e vigor das árvores. Todavia, a aplicação das maiores doses de N, evidenciou efeitos negativos na produtividade durante o primeiro ciclo produtivo das plantas.

Keywords: *Olea europaea* L., nutrição mineral, fruticultura, teor foliar.

Abstract: The worldwide increase in olive production at the beginning of the twenty-first century is due to the growing demand for olive oil and its high nutritional value. New regions in South America, Australia, and Africa began to explore cultivation, however, these places have very different characteristics from the traditional producing region

(Mediterranean). This research aimed to evaluate the effect of nitrogen fertilization on growth, nutrition, and productive aspects at the beginning of the production phase, in the 'Koroneiki' cultivar. The present research proposed the application of 0; 20; 40; 60 and 80 kg ha⁻¹ of nitrogen (N). N fertilization increased the growth of young olive plants and increased foliar N levels and yield parameters. The greater plant growth inferred in the reduction of potassium (K), magnesium (Mg), and boron (B) leaves contents. Increased availability of N in the soil promoted greater N uptake by plants, growth, and vigor of trees. However, the application of higher doses of N showed negative effects on productivity during the first productive cycle of the plants.

Keywords: *Olea europaea* L., mineral nutrition, fruit growing, leaf content.

1. Introdução

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma das mais antigas espécies cultivadas e de grande importância econômica, social e ambiental (Ouledali et al., 2018). Atualmente há um aumento mundial da produção de oliveiras devido à resiliência da cultura às mudanças climáticas e à crescente demanda por azeitonas de mesa e azeite (Amira et al., 2017), gerada principalmente por seu alto valor nutricional (Seifi et al., 2014; Kara et al., 2015).

No final do século vinte e início do século vinte e um, seu cultivo tem expandido para regiões subtropicais da América do Sul, Austrália e África (Amira et al., 2017), as quais possuem características edafoclimáticas muito diversas da tradicional região produtora (Mediterrânea). Dentre estes novos locais de cultivo, como a região Sul do Brasil, tem despertado interesse de agricultores, contudo, para o sucesso do cultivo em novas regiões, é fundamental o estudo dos fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento, dentre os quais a adubação (Carvalho et al., 2014).

Devido ao desconhecimento da correta adubação no crescimento e rendimento das oliveiras, tem-se verificado uma aplicação excessiva de fertilizantes minerais,

independentemente dos elevados custos de produção associados à sua aplicação em muitas espécies agrícolas. Um dos impactos ligado ao uso excessivo pode ser observado na poluição do meio ambiente, seja pela contaminação do solo ou subsolo, lençol freático e locais adjacentes ao local de aplicação (Carvalho et al., 2014; Maris et al., 2015)

O nitrogênio é o elemento geralmente presente nos tecidos vegetais em maior quantidade depois do carbono, oxigênio e hidrogênio (Taiz et al., 2017). Dadas as quantidades limitadas de N nos solos, em formas prontamente disponíveis para as plantas, normalmente faz-se necessário adubações suplementares. Durante a fase de formação das plantas, tanto o excesso quanto a falta de N podem refletir em decréscimos na produtividade e na qualidade dos frutos nos anos subsequentes. O teor excessivo de N em plantas jovens pode retardar o início da produção e reduzir a formação de estruturas de órgãos reprodutivos (Verzeaux et al., 2017; Carranca et al., 2018), além de influenciar negativamente a qualidade do azeite (Erel et al., 2013). O presente estudo teve como objetivo investigar a influência da adubação nitrogenada no crescimento, nutrição e no primeiro ciclo produtivo de plantas jovens de oliveira Koroneiki, durante os primeiros quatro anos após o plantio, na região Sul do Brasil.

2. Material e métodos

2.1 Descrição do experimento e caracterização do solo

A pesquisa foi conduzida entre setembro de 2018 a junho de 2022 em um pomar comercial localizado no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil (latitude 31° 38' 12,8" S, 52° 32' 53,9" W e 70 m de altitude). A classificação do clima da região, conforme W. Köppen é do tipo “Cfa” - clima subtropical úmido, ou seja, temperado úmido com verões quentes (Alvares et al., 2013). A precipitação mensal e temperaturas médias mensais (Figura 1) foram obtidas de estação automática (Latitude

31° 40' 59" S; Longitude 52° 26' 10" W), localizada na Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

O pomar foi implantado em dezembro de 2017, com mudas de oliveira da cultivar Koroneiki em espaçamento de 6x4 m, resultando em uma densidade de 417 plantas ha⁻¹. O solo é classificado como Argissolo (de acordo com a classificação brasileira) e Acrissolo (de acordo com a classificação WRB) (Soil Survey Staff, 2022). Antes da instalação do experimento, foram realizadas análises químicas do solo, apresentando os resultados na Tabela 1.

Os tratamentos foram arranjos em delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. As parcelas experimentais foram compostas por uma planta útil. Os tratamentos alocados nas parcelas experimentais foram cinco níveis de N: 0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (45 % de N), totalizando 25 unidades experimentais. Os diferentes níveis de N foram aplicados sobre a superfície do solo, na projeção da copa das plantas a partir do início da primavera e fracionados em três aplicações a cada 45 dias.

2.2. Variáveis analisadas

2.2.1 Crescimento das plantas

A partir de setembro de 2018 até junho de 2021 foram avaliados com o auxílio de paquímetro digital e trena métrica, os parâmetros de crescimento das plantas: diâmetro do tronco (mm); altura das plantas (cm) e volume de copa (m³), estimado através da equação (01):

01) Altura da copa x largura I da copa x largura II da copa

A partir de setembro de 2021 as plantas foram podadas para o primeiro ciclo produtivo, portanto, interrompeu-se as avaliações de crescimento.

2.2.2 Teores de nutrientes nas folhas e no solo

Para a determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes, em janeiro de 2019, 2020, 2021 e 2022 foram coletadas amostras de 80 folhas, retiradas da porção mediana de ramos de crescimento do ano e situados na altura média da planta. As folhas foram secas em estufa a 65 °C, até atingirem massa constante, e em seguida moídas. Subamostras de 0,5 g foram submetidas à digestão ácida nitroperclórica com HClO₄ (1,0 mL) + HNO₃ (6,0 mL) a 210 °C, em bloco digestor (Tedesco et al., 1995). No extrato foram determinadas as concentrações de P por espectrofotometria UV (método vanadato-molibdato), K, Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica em chama (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 200, EUA). O N foi determinado através do extrato oriundo da digestão sulfúrica, 0,2 g de amostra submetida à H₂O₂ (1,0 mL) + H₂SO₄ (2,0 mL) a 360 °C, em bloco digestor, e quantificado pelo método de Kjeldahl. O boro (B) foi analisado após digestão das amostras por via seca em forno “mufla” a 550 °C e determinado por colorimetria, utilizou-se o reagente azometina-H (Tedesco et al., 1995). Em abril de 2022 realizou-se a coleta de solo na camada de 0-20 cm e analisou-se: pH, MOS, K, P, Ca e Mg (Tedesco et al. 1995).

2.2.3 Parâmetros produtivos na primeira safra

Para mensurar a frutificação efetiva, durante a plena floração, demarcou-se 5 ramos nos diferentes lados da planta e aferiu-se o número de flores, após 90 dias avaliou-se a frutificação a qual foi expressa em porcentagem (%).

No mês de abril de 2022 efetuou-se a primeira colheita. As variáveis de rendimento analisadas foram: produtividade (kg ha⁻¹), estimada pela massa de frutos colhidos na planta e multiplicado pela densidade de plantas. A massa média de frutos, foi estimada através da pesagem de 50 frutos e expressa em gramas fruto⁻¹.

2.3 Análise estatística

Os dados foram testados para distribuição de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativo pelo teste $F \leq 0,05$, as doses médias foram ajustadas por regressões polinomiais para determinar os efeitos das doses de N sobre as variáveis mensuradas. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019).

3. Resultados

3.1 Crescimento de plantas

As doses de N influenciaram nos parâmetros de crescimento das plantas de oliveira. As variáveis de altura de planta e volume de copa, evidenciaram diferença significativa, atingindo 189,2 cm na altura de planta e 9,5 m³ no volume de copa com a aplicação de 60,9 e 54,3 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 2), enquanto que para o diâmetro de tronco não apresentou diferença significativa (Tabela 2).

3.2 Teores nutricionais

Os teores máximos de N foliar diferiram nos anos avaliados, atingindo 13,7 g de N kg⁻¹ em 2019, 14,6 g de N kg⁻¹ em 2020, 14,2 g de N kg⁻¹ em 2021 e 19,8 g de N kg⁻¹ em 2022 sob as doses: 53,6, 50,1, 52,2 e 52,4 kg ha⁻¹ de N, nos respectivos anos (Figura 3).

Para o P foliar, em 2019 não houve diferença entre as doses de N aplicadas, diferentemente dos demais anos avaliados. Em 2020 e 2021 ocorreu decréscimo linear, e em 2022 a dose de 41,2 kg ha⁻¹ de N apresentou teor foliar de 3,9 g de P kg⁻¹ (Figura 4).

Os teores de K foliar evidenciou redução linear nos anos avaliados (Figura 5). Os teores foliares de Ca e Mg não diferiram em 2019, 2020 e 2021 (Tabela 3), entretanto no ano de 2022, ocorreu aumento linear para o Ca (Figura 6a), enquanto que para o Mg

houve resposta quadrática nos teores foliares, atingindo $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ com 31 kg ha^{-1} de N (Figura 6b).

Os teores de B foliares no ano de 2019 não diferiram significativamente, todavia, em 2020, 2021 e 2022 evidenciaram redução linear de acordo com a aplicação das doses de N (Figura 7).

3.4 Análise de solo

Não houve diferença significativa para os parâmetros químicos de solo como MOS, K, P, Ca e Mg (Tabela 4). Entretanto, os valores de pH diferiram estatisticamente, reduzindo linearmente, com o aumento das doses de N aplicadas no solo.

3.5 Produção

Os resultados do pegamento de frutos não diferiram significativamente no primeiro ciclo produtivo das oliveiras. Por outro lado, houve diferença significativa na produtividade e na massa média de fruto, atingindo $258,4 \text{ kg ha}^{-1}$ com $46,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e $1,37 \text{ g fruto}^{-1}$ com 55 kg ha^{-1} de N (Figura 8).

4. Discussão

O N é frequentemente considerado o nutriente mineral mais importante, limitando o crescimento e a produção vegetal. O efeito da adubação nitrogenada no crescimento das plantas no presente estudo, corrobora com tal afirmação, contudo as doses mais altas de N utilizadas, não refletiram necessariamente em maior crescimento das plantas, indicando uma possível limitação da capacidade da planta em absorver este nutriente. O aumento da disponibilidade de N no solo e absorção pelas plantas, refletiu no crescimento e no vigor das árvores, duas características que, se bem manejadas, são da maior importância para o sucesso econômico das frutíferas recém-plantadas, portanto, capazes de maximizar seu potencial de rendimento (Neto et al., 2008). Ressalta-se ainda que, o excesso de vigor

pode ser resultado da disponibilidade excessiva de N no solo e, o que pode comprometer o início da produção, bem como a produtividade nos primeiros anos (Carranca et al., 2018). Devido à importância ambiental e econômica, a adubação nitrogenada na oliveira tem sido objeto de diversos estudos em muitos países, demonstrando efeito em solos de baixa fertilidade, mas pouca resposta em solos de alta fertilidade (Ferreira et al., 2020). Bouhafa et al. (2014), em estudo realizado no Marrocos, registraram baixo efeito da aplicação de N em árvores jovens, provavelmente, devido aos requisitos mais baixos de N nesta fase, entretanto, no solo em questão havia alta disponibilidade de nitrato. Entretanto, no estudo realizado por Haberman et al. (2019) em Israel, relataram o aumento do vigor vegetativo de acordo com a aplicação de diferentes doses de N. No presente estudo, o teor de MOS (baixo), foi insuficiente no suprimento de N desde o primeiro ano de avaliação, indicando a necessidade de suplementação com N na fase de crescimento das plantas, mesmo em condições de clima subtropical úmido.

O aumento dos teores de N em folhas de oliveira, em resposta à aplicação da adubação nitrogenada, corrobora com observações relatadas por Roca et al. (2018), entretanto, as maiores doses de N evidenciam incapacidade das plantas em absorver esta quantidade do nutriente, mesmo que tal prática seja realizada parceladamente. Ressalta-se ainda que a estiagem ocorrida em 2020 pode ter contribuído com tal resultado, uma vez que não havia irrigação no local do experimento. Erel et al. (2008), em um estudo com fertilização de oliveiras, encontraram resposta positiva entre a aplicação de N e os teores de N na folha, indicando que os tratamentos de fertilização de fato afetaram a disponibilidade de N e o estado nutricional das árvores. Contudo, Hunt et al. (2020), alertam para os danos ambientais causados pelo uso excessivo de N. No que se refere ao metabolismo vegetal, o excesso de N eleva a relação C/N (carbono/nitrogênio) nos ramos,

causa vigor excessivo e reduz o rendimento da cultura (He et al., 2023), podendo ter prejudicado o início da produção em oliveiras jovens como no presente estudo.

Para os teores foliares de N no primeiro ano de realização do estudo evidenciou valores considerados adequados, dentro da faixa de 12,2 a 13,5 g de N kg⁻¹ proposta por Molina-Soria e Fernández-Escobar (2008). Estes autores relatam ainda que existe um limiar de excesso de 17,0 g de N kg⁻¹, a partir do qual há efeitos negativos na floração, diferindo dos resultados encontrados nas variáveis produtividade e massa média dos frutos no presente estudo, onde os teores de N foliares que apresentaram os valores máximos foram: 19,7 e 19,8 g de N kg⁻¹, respectivamente. Para a CQFS (2016), os teores foliares de N adequados para a oliveira é de 15,0 a 20,0 g de N kg⁻¹, logo, é possível que tais teores possam estar superestimados para as condições do Sul do Rio Grande do Sul.

Um fator que pode ter contribuído com elevados teores foliares de N é a baixa produtividade, em virtude de o fruto em desenvolvimento ser o dreno mais forte da oliveira (Fernández-Escobar et al., 2011; Bustan et al., 2013). Othman e Leskovar (2019), afirmam que a aplicação anual de N não é essencial para se obter uma boa safra em pomares de oliveiras quando o teor de N foliar no ciclo anterior não caiu abaixo do limite ideal proposto pelos mesmos (13,0 – 20,0 g de N kg⁻¹). Destaca-se ainda, que em 2022 observou-se maiores teores foliares de P, provavelmente devido ao maior crescimento radicular induzido pela adubação nitrogenada (Othman e Leskovar, 2019), assim, o sistema radicular pode ter explorado maior volume de solo e contribuído na absorção de P. Também, Erel et al. (2013) verificaram a ocorrência de sinergismo P-N, onde o P eleva a absorção de N, assim sendo, elucida também os altos teores foliares de N em 2022.

Durante a fase de crescimento do olival, o principal objetivo é a formação mais rápida possível das plantas para iniciarem a produzir. Portanto, o teor ótimo de N é conhecido como o teor mínimo de N na parte aérea exigido por uma cultura para atingir

o crescimento máximo (Boussadia et al., 2015). Contudo, um desbalanço nutricional causado pelo excesso de N pode afetar a absorção de outros nutrientes. As maiores doses de N causaram redução dos teores foliares de K, Mg e B possivelmente atrelado ao efeito de “diluição” nos tecidos vegetais através do maior crescimento das plantas. Enquanto que o aumento dos teores de Ca foliares deve-se ao efeito sinérgico do N-Ca, onde estes, são os principais nutrientes responsáveis pelo crescimento vegetal. Além disso, é necessário um monitoramento dos teores foliares de B, principalmente devido à sua importância na floração e frutificação da oliveira quando as plantas entrarem em fase de produção (Deliboran et al., 2022).

A acidificação do solo observada pelas sucessivas aplicações de fertilizante nitrogenado na forma de ureia, ocorre, devido a cada N-NH_4^+ absorvido, é liberado um H^+ pelas raízes a fim de manter a homeostase celular, acidificando o solo (Raven & Andrews, 2022; Zhang et al., 2022). Face ao exposto, torna-se necessário o monitoramento do pH do solo ao longo dos anos, uma vez que valores inferiores à 5,5 podem apresentar Al^{3+} , causando toxidez ao sistema radicular e interferindo negativamente na absorção de nutrientes.

5. Conclusões

A adubação nitrogenada aumentou o crescimento das plantas jovens de oliveiras cv. ‘Koroneiki’ e elevou os teores foliares de N.

A aplicação anual de N, na forma de ureia, em doses acima de 46 e 60 kg de N ha⁻¹ prejudicaram o crescimento e a produtividade das plantas de ‘Koroneiki’ com idade de cinco anos.

Os teores de K, Mg e B reduziram com a aplicação das doses mais altas de N.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – FAEM/UFPel, à Universidade Federal de Pelotas – UFPel e à Embrapa Clima Temperado pelo fornecimento de apoio financeiro nas atividades realizadas.

Referências

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; de Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22: 711-728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amira, M. B.; Lopez, D.; Mohamed, A. T.; Khouaja, A.; Chaar, H.; Fumanal, B.; Venisse, J. S. 2017. Beneficial effect of *Trichoderma harzianum* strain Ths97 in biocontrolling *Fusarium solani* causal agent of root rot disease in olive trees. Biological Control, 110: 70-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.008>
- Bouhafa, K.; Moughli, L.; Bouchoufi, K.; Douaik, A.; Daoui, K. 2014. Nitrogen fertilization of olive orchards under rainfed Mediterranean conditions. American Journal of Experimental Agriculture 4: 890-901.
- Boussadia, O.; Steppe, K.; Van Labeke, M.C.; Lemeur, R.; Braham, M. 2015. Effects of nitrogen deficiency on leaf chlorophyll fluorescence parameters in two olive tree cultivars Meski and Koroneiki. Journal of Plant Nutrition, 38: 2230-2246. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1069339>
- Bustan, A.; Avni, A.; Yermiyahu, U.; Ben-Gal, A.; Riov, J.; Erel, R.; Zipori, I.; Dag, A. 2013. Interactions between fruit load and macroelement concentrations in fertigated

- 267 olive (*Olea europaea* L.) trees under arid saline conditions. *Scientia*
 268 *Horticulturae*, 152: 44-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.013>
- 269 Carranca, C.; Brunetto, G.; Tagliavini, M. 2018. Nitrogen nutrition of fruit trees to
 270 reconcile productivity and environmental concerns. *Plants*, 7: 4. DOI:
 271 <https://doi.org/10.3390/plants7010004>
- 272 Carvalho, R.P.; Moreira, R.A.; Cruz, M.C.M.; Fernandes, D.R.; Oliveira, A.F. 2014.
 273 Organomineral fertilization on the chemical characteristics of Quartzarenic Neosol
 274 cultivated with olive tree. *Scientia Horticulturae*, 176: 120-126. DOI:
 275 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.006>
- 276 Deliboran, A., et al. 2022. Response of Olive Trees to Different Boron Application in
 277 Izmir and Mugla Province of Turkey. *Communications in Soil Science and Plant*
 278 *Analysis*, 53: 10, 1294-1307. DOI:
 279 <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2046028>
- 280 Erel, R.; Dag, A.; Ben-Gal, A.; Schwartz, A.; Yermiyahu, U. 2008. Flowering and fruit
 281 set of olive trees in response to nitrogen, phosphorus, and potassium. *Journal of the*
 282 *American Society for Horticultural Science*, 133:5, 639-647.
 283 DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.5.639>
- 284 Erel, R.; Kerem, Z.; Ben-Gal, A.; Dag, A.; Schwartz, A.; Zipori, I.; Basheer, L.;
 285 Yermiyahu, U. 2013. Olive (*Olea europaea* L.) tree nitrogen status is a key factor
 286 for olive oil quality. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61: 11261-11272.
 287 DOI: <https://doi.org/10.1021/jf4031585>
- 288 Fernández-Escobar, R.; García-Novelo, J.M.; Restrepo-Díaz, H. 2011. Mobilization of
 289 nitrogen in the olive bearing shoots after foliar application of urea. *Scientia*
 290 *Horticulturae*, 127:3, 452-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.006>

- 291 Ferreira, D.F. 2019. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type
 292 designs: Sisvar. Brazilian Journal of Biometrics, 37: 529–535. DOI:
 293 <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- 294 Ferreira, I.; Arrobas, M.; Moutinho-Pereira, J.; Correia, C.M.; Rodrigues, M.A. 2020. The
 295 effect of nitrogen applications on the growth of young olive trees and nitrogen
 296 use efficiency. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44: 278-289. DOI:
 297 <https://doi.org/10.3906/tar-1905-26>
- 298 Haberman, A.; Dag, A.; Shtern, N.; Zipori, I.; Erel, R.; Ben-Gal, A.; Yermiyahu, U. 2019.
 299 Significance of proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive
 300 cultivation. Scientia horticulturae, 246: 710-717. Doi:
 301 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.055>
- 302 He, X.; Wang, X.; Chen, B.; Ma, Z.; Huang, Z.; Shen, X.; Chai, Z. 2023. The Influence
 303 of Nitrogen (N) Input on the Sink–Source Relationship of ‘Korla Fragrant’ Pear
 304 (Pyrus brestschneideri Rehd. Cv.). Erwerbs-Obstbau, 65:1, 35-45. DOI:
 305 <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00699-2>
- 306 Hunt, J.R.; Celestina, C.; Kirkegaard, J.A. 2020. The realities of climate change,
 307 conservation agriculture and soil carbon sequestration. Global Change
 308 Biology, 26:6, 3188-3189. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15082>
- 309 Kara, Z.; Arslan, D.; Güler, M.; Güler, Ş. 2015. Inoculation of arbuscular mycorrhizal
 310 fungi and application of micronized calcite to olive plant: Effects on some
 311 biochemical constituents of olive fruit and oil. Scientia Horticulturae, 185: 219–
 312 227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.042>
- 313 López-Escudero, F.J.; Mercado-Blanco, J. 2011. Verticillium wilt of olive: a case study
 314 to implement an integrated strategy to control a soil-borne pathogen. Plant and
 315 Soil, 344: 1–50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0629-2>

- 316 Maris, S.C.; Teira-Esmatges, M.R.; Arbonés, A.; Rufat, J. 2015. Effect of irrigation,
 317 nitrogen application, and a nitrification inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide
 318 and methane emissions from an olive (*Olea europaea* L.) orchard. Science of the
 319 Total Environment, 538: 966-978. DOI:
 320 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.040>
- 321 Molina-Soria, C.; Fernández-Escobar, R. 2008. A proposal of new critical leaf nitrogen
 322 concentrations in olive. In VI International Symposium on Olive Growing 949 (pp.
 323 283-286).
- 324 Neto, C.; Carranca, C.; Clemente, J.; Varennes, A. 2008. Nitrogen distribution,
 325 remobilization and re-cycling in young orchard of non-bearing 'Rocha' pear
 326 trees. Scientia Horticulturae, 118: 299-307. DOI:
 327 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.06.023>
- 328 Othman, Y.A.; Leskovar, D. 2019. Nitrogen management influenced root length intensity
 329 of young olive trees. Scientia Horticulturae, 246: 726-733. Doi:
 330 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.052>
- 331 Ouledali, S.; Ennajeh, M.; Zrig, A.; Gianinazzi, S.; Khemira, H. 2018. Estimating the
 332 contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to drought tolerance of potted olive
 333 trees (*Olea europaea* L.). Acta Physiologiae Plantarum, 40: 1-13. DOI:
 334 <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2656-1>
- 335 Raven, J.A.; Andrews, M. 2022. Photon costs of shoot and root NO_3^- , and root NH_4^+ ,
 336 assimilation in terrestrial vascular plants considering associated pH regulation,
 337 osmotic and ontogenetic effects. Photosynthesis Research, 155:2, 127-137. DOI:
 338 <https://doi.org/10.1007/s11120-022-00975-y>
- 339 Roca, L.F.; Romero, J.; Bohórquez, J.M.; Alcántara, E.; Fernández-Escobar, R.; Trapero,
 340 A. 2018. Nitrogen status affects growth, chlorophyll content and infection by

341 Fusicladium oleagineum in olive. Crop Protection, 109: 80-85. DOI:
342 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.016>

343 Seifi, E.; Teymoor, Y.S.; Alizadeh, M.; Fereydooni, H. 2014. Olive mycorrhization:
344 Influences of genotype, mycorrhiza, and growing periods. Scientia
345 Horticulturae, 180: 214–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.042>

346 Soil Survey Staff. 2022. Keys to Soil Taxonomy. USDA-Natural Resources Conservation
347 Service, Washington, DC, USA.

348 Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I.M.; Murphy, A. 2017. Plant physiology and development.
349 Ed. 6. Sinauer Associates Incorporated.

350 Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. 1995. Analysis of
351 Soil, Plants and other Materials = Análise de Solo, Plantas e outros Materiais.
352 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (in
353 portuguese)

354 Verzeaux, J.; Hirel, B.; Dubois, F.; Lea, P.J.; Tétu, T. 2017. Agricultural practices to
355 improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: Basic
356 and agronomic aspects. Plant Science, 264: 48-56. DOI:
357 <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.08.004>

358 Zhang, Y. et al. 2022. Soil Acidification caused by excessive application of nitrogen
359 fertilizer aggravates soil-borne diseases: Evidence from literature review and field
360 trials. Agriculture, Ecosystems & Environment, 340: 108176. DOI:
361 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108176>

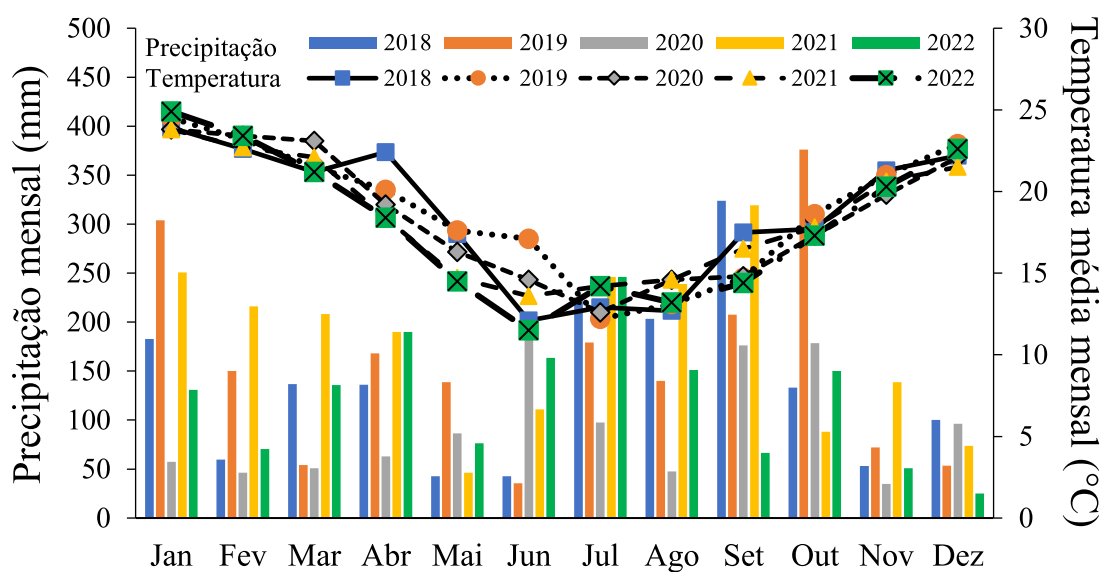


Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C). Pelotas – RS.

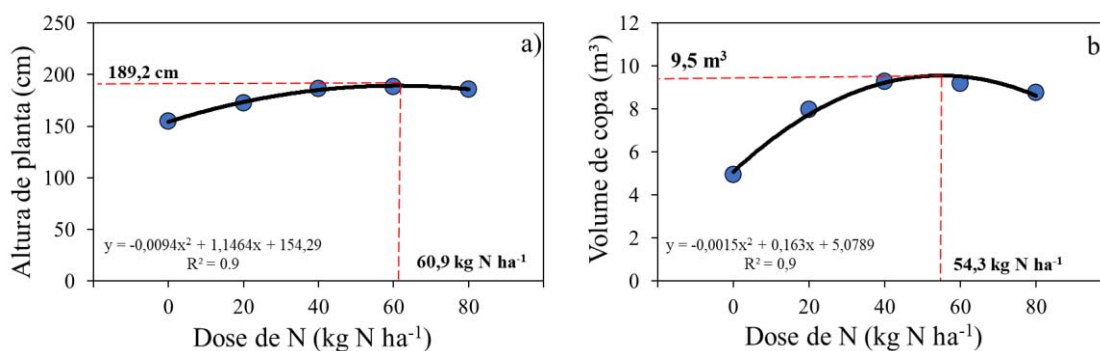


Figura 2. Altura de planta (a) e volume de copa (b) em plantas de oliveiras 'Koroneiki', submetidas à diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo, após quatro anos.

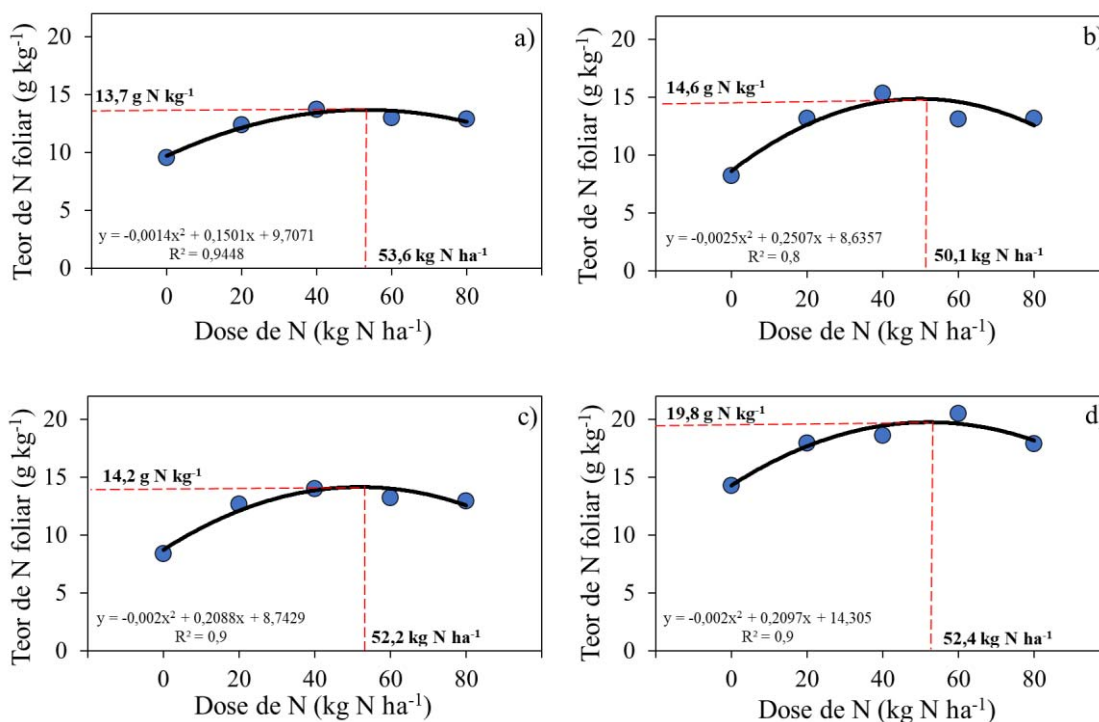


Figura 3. Teor de N em folhas de oliveiras 'Koroneiki' em 2019 (a), 2020 (b), 2021 (c) e 2022 (d), de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.

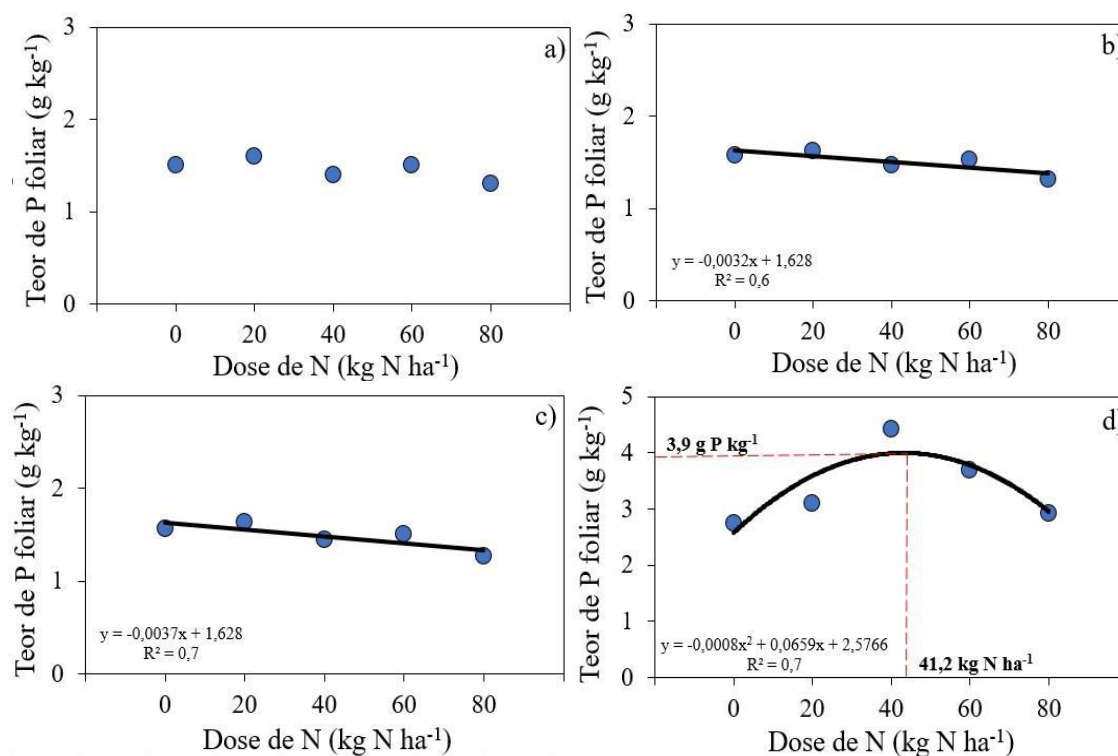


Figura 4. Teor de P em folhas de oliveiras 'Koroneiki' em 2019 (a), 2020 (b), 2021 (c) e 2022 (d) de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.

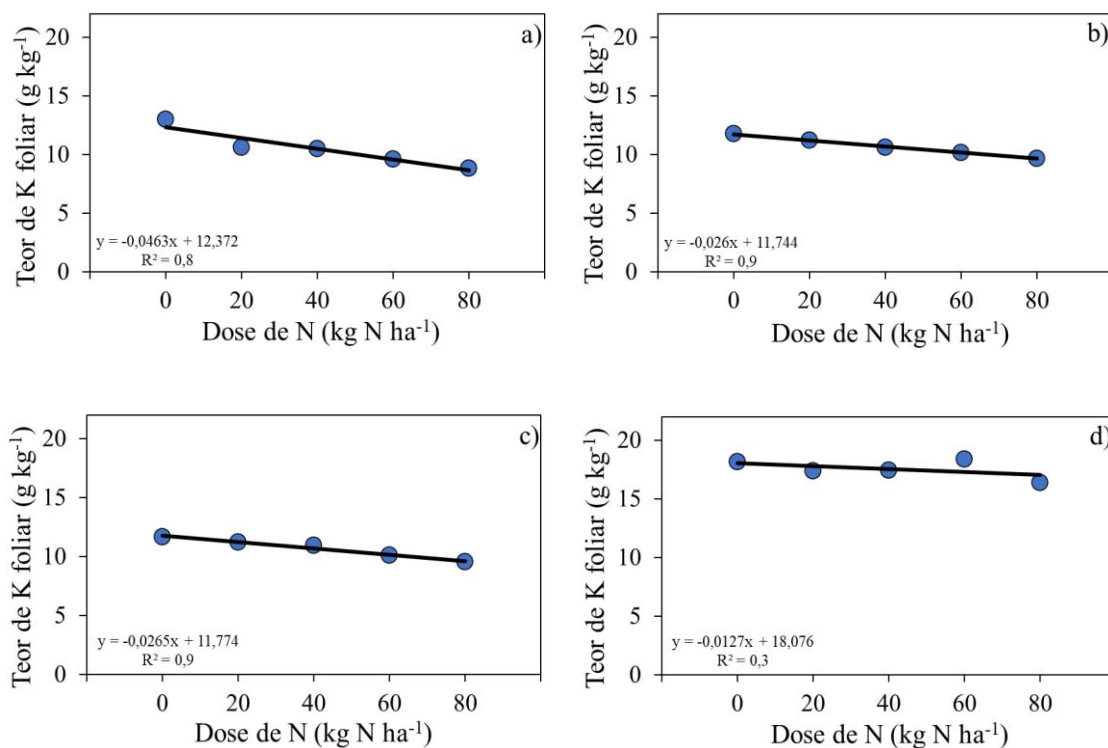


Figura 5. Teor de K em folhas de oliveiras 'Koroneiki' em 2019 (a), 2020 (b), 2021 (c) e 2022 (d) de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.

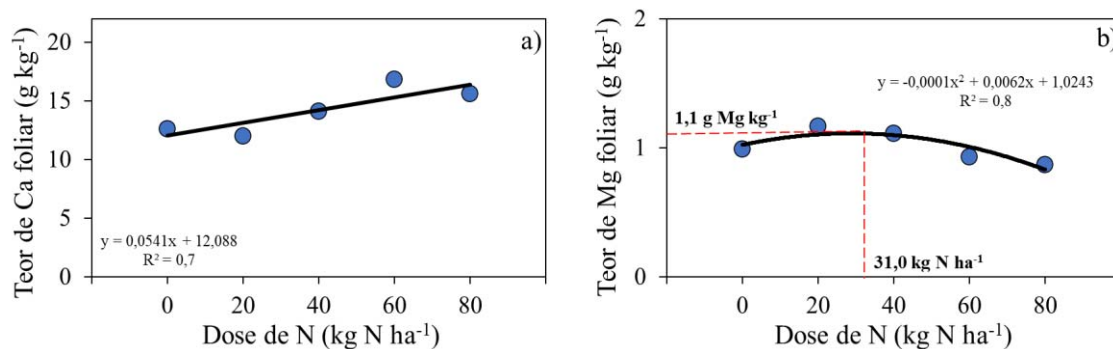


Figura 6. Teor de Ca (a) e Mg (b) em folhas de oliveiras 'Koroneiki' em 2022, de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.

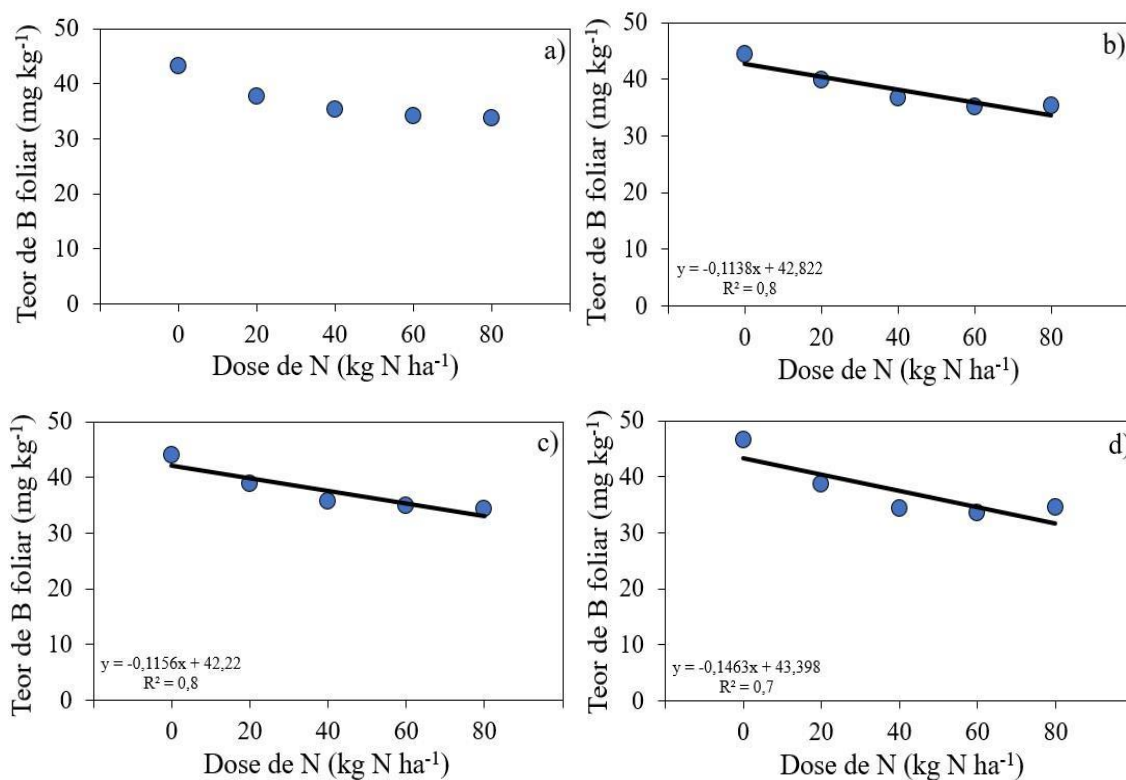


Figura 7. Teor de B em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ em 2019 (a), 2020 (b), 2021 (c) e 2022 (d) de acordo com diferentes doses de N aplicadas sobre a superfície do solo.

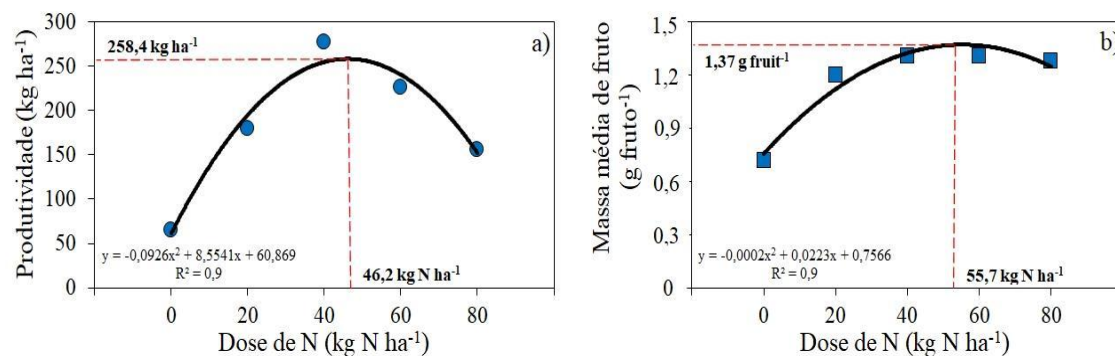


Figura 8. Produtividade e massa média de fruto em 2022, durante o primeiro ciclo produtivo de plantas jovens de oliveiras ‘Koroneiki’ após quatro anos de adubação nitrogenada.

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.

Características	Camada 0 – 20 cm
Argila (g kg^{-1}) ¹	190,0
Matéria orgânica (g kg^{-1}) ¹	19,0
pH em água ²	5,5
Fósforo (mg dm^{-3}) ²	10,6
Potássio (mg dm^{-3}) ²	116,0
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	2,9
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	1,5
Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	0,0
CEC pH7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	8,8

⁽¹⁾ Distribuição de tamanho de partícula determinada pelo método da pipeta e matéria orgânica (MOS), oxidado por uma solução sulfocrômica de acordo com os métodos descritos por Tedesco et al. (1995).

⁽²⁾ Caracterização química de acordo com os métodos descritos em Tedesco et al. (1995); pH na proporção 1:1; fósforo (P) e K extraído por Mehlich-1; Ca, Mg e alumínio (Al) trocáveis, extraído por $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ KCl.

Tabela 2. Diâmetro de tronco e frutificação efetiva em plantas de oliveiras ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) submetidas à aplicação de doses de N (kg ha⁻¹) na superfície do solo, 2022.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Diâmetro de tronco (mm)	Frutificação efetiva (%)
0	45,0	2,1
20	55,2	1,3
30	63,5	0,7
60	55,7	1,5
80	57,9	1,1
CV	16,5	107,7
Linear	ns	ns
Quadrática	ns	ns

ns = não significativo à $F \leq 0,05$.

Tabela 3. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas de oliveiras ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) submetidas à aplicação de doses de nitrogênio (kg N ha⁻¹) na superfície do solo em 2019, 2020 e 2021.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
	-----2019-----		-----2020-----		-----2021-----	
0	9,5	1,2	9,9	1,3	9,7	1,3
20	8,7	1,3	8,7	1,3	8,9	1,3
40	8,8	1,2	8,6	1,2	8,7	1,2
60	9,1	1,2	8,7	1,3	8,9	1,2
80	8,1	1,1	8,5	1,2	7,9	1,2
CV %	13,3	10,7	11,2	7,9	10,7	8,6
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = não significativo à $F \leq 0,05$.

411 **Tabela 4.** Valores de pH, matéria orgânica do solo (MOS), potássio (K), fósforo (P),
 412 cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponíveis no solo em resposta à aplicação de doses de
 413 nitrogênio (N).

Dose de N (kg ha ⁻¹)	pH	OM (%)	K (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	Mg (cmol _c kg ⁻¹)
0	5,84	2,23	131,6	37,6	4,0	2,4
20	5,86	2,40	133,8	21,3	4,1	2,6
40	5,48	2,07	124,0	27,4	3,9	2,3
60	5,50	2,18	133,4	17,6	3,9	2,4
80	5,40	1,96	125,8	28,0	3,6	2,2
CV %	3,58	12,38	12,92	87,18	18,65	15,51
Linear	*(1)	ns	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns

414 ⁽¹⁾ $y = -0,0062x + 5,864$ ($R^2 = 0,8165$); * Significativo à $F \leq 0,05$; ns = não significativo à $F \leq 0,05$

12.3 Artigo 3

Impacto da adubação nitrogenada em oliveiras 'Arbequina': estado nutricional, produtividade e qualidade do azeite

Impact of nitrogen fertilization in 'Arbequina' olive trees: nutritional status, productivity and olive oil quality

**Artigo formatado nas normas da Scientia Horticulturae (ISSN 0304-4238)*

Resumo: Manter adequados teores foliares de nitrogênio (N) é essencial para atingir produtividades satisfatórias na olivicultura. Estudos demonstram a importância da adubação nitrogenada no aumento na intensidade da floração, frutificação e produção de azeitonas, mas a recomendação ajustada às situações de clima e solo do Sul do Brasil é uma lacuna. Portanto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar a influência da adubação nitrogenada no estado nutricional, produtividade, rendimento e qualidade de azeite em oliveiras 'Arbequina'. A pesquisa foi conduzida no período de 2018 a 2023 em um pomar comercial. Os tratamentos consistiram de cinco doses de N: 0; 30; 60; 90 e 120 kg de N ha⁻¹, em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As variáveis analisadas foram: teor foliar de nutrientes, produtividade, rendimento, qualidade de azeite, compostos fenólicos e capacidade antioxidante. Teores foliares de N não foram afetados no primeiro ciclo produtivo. No segundo ciclo, houve alternância de produção, e os teores foliares de N aumentaram de forma curvilínea, atingindo o valor máximo 14,9 g kg⁻¹ com 73,5 kg de N ha⁻¹. Em 2021, 2022 e 2023, ocorreu acréscimo linear nos teores foliares de N e, a produtividade foi afetada pelas doses de N, contudo, houve redução no rendimento e na acidez do azeite, enquanto o índice de peróxidos e o K₂₃₂ aumentaram linearmente em 2022. Os compostos fenólicos totais

25 e a capacidade antioxidante reduziram linearmente seus teores em 2022. O excesso de N foi
26 prejudicial para a oliveira, reduzindo a sua capacidade produtiva ao longo dos anos.

27 Palavras-chave: *Olea europaea* L., nitrogênio, nutrição de plantas, fruticultura.

28

29 Abstract: Maintaining adequate levels of leaf nitrogen (N) is essential to achieve satisfactory
30 productivity in olive growing. Researches demonstrate the importance of nitrogen fertilization
31 in increasing the intensity of flowering, fruiting, and production of olives. Therefore, the
32 objective of this study was to evaluate the influence of nitrogen fertilization on the nutritional
33 status, productivity, and quality of olive oil in 'Arbequina' olive trees. The research was
34 conducted from 2018 to 2023 in a commercial orchard. Treatments consisted of five doses of
35 N: 0; 30; 60; 90 and 120 kg of N ha⁻¹, in a randomized block design with four repetitions. The
36 variables analyzed were: leaf nutrient content, productivity, oil quality, phenolic compounds,
37 and antioxidant activity. Leaf N levels were not affected in the first production cycle. In the
38 second cycle, there was an alternation of production, and leaf N contents increased in a
39 curvilinear way, reaching the maximum value of 14.9 g kg⁻¹ with 73.5 kg of N ha⁻¹. In 2021,
40 2022, and 2023, there was a linear increase in the leaf contents of N and productivity was
41 affected by N doses, however, there was a reduction in yield and acidity of olive oil, while
42 peroxide index and k₂₃₂ increased linearly in 2022. Total phenolic compounds and antioxidant
43 capacity linearly reduced their N levels in 2022. It was harmful to the olive tree, reducing its
44 productive capacity over the years.

45 Keywords: *Olea europaea* L., nitrogen, plant nutrition, fruit growing.

1. Introdução

O adequado manejo nutricional mineral das plantas frutíferas determina a resistência, rendimento e qualidade dos frutos. Um dos nutrientes minerais que as plantas requerem em maiores quantidades é o N, e sua disponibilidade é um fator importante que limita o crescimento das plantas tanto em ecossistemas naturais quanto agrícolas. O N afeta processos metabólicos que influenciam o ambiente físico-químico na interface solo-raiz. Modifica as condições da rizosfera, interfere na absorção de cátions e ânions e aumenta ou reprime a atividade de vários sistemas enzimáticos (Marschner & Rengel, 2023).

A necessidade de se realizar adubação nitrogenada depende da quantidade natural de N disponibilizado pela mineralização da matéria orgânica (MOS) e do requerimento da cultura para se atingir produtividades satisfatórias. O adequado manejo do N desempenha um papel muito importante na determinação da produtividade da oliveira (Erel et al., 2013; Elbadawy et al., 2016; Rohi Vishekaii et al., 2021).

Vários estudos têm demonstrado a importância da adubação nitrogenada em oliveiras. Erel et al. (2011) observaram um aumento na intensidade da floração, frutificação e produção de azeitonas com o aporte de N. Rodrigues et al. (2011) relatam redução de rendimento de frutos em plantas mantidas por 4 anos sem N em comparação com aquelas regularmente adubadas. Boussadia et al. (2010), observaram que plantas não fertilizadas responderam com menor concentração de N na folha, menor conteúdo de clorofila e, conseqüentemente, menor capacidade fotossintética, levando ao acúmulo de carboidratos (amido, manitol, sacarose e glicose). Em olival onde foi realizada a aplicação de N, Haberman et al. (2019), observaram um aumento no crescimento vegetativo e no rendimento de azeite. Em contrapartida, sob

68 baixa disponibilidade de N, as plantas apresentaram maior susceptibilidade a alternância de
69 produção.

70 Tanto a escassez quanto o excesso de N são prejudiciais à cultura. Para evitar efeitos
71 negativos provocados pelo excesso de N, é necessário o uso equilibrado da adubação
72 nitrogenada, conforme o requerimento da oliveira. O excesso de N aumenta o crescimento
73 vegetativo das plantas, florescimento, pegamento de frutos e afeta negativamente a
74 produtividade e qualidade do azeite (Fernández-Escobar et al., 2006).

75 Parte do N aplicado como fertilizante é perdido para o ambiente, sendo que o
76 percentual do N aplicado via adubação e utilizado pelas plantas pode ser baixo,
77 principalmente à medida que aumentam as doses aplicadas. Uma parte significativa do N
78 aplicado como fertilizante é perdida do solo pelas reações de volatilização de amônia,
79 lixiviação de nitrato ou desnitrificação (Havlin et al., 2016; Marschner & Rengel, 2023). O N
80 perdido de solos agrícolas pode contaminar ambientes aquáticos causando eutrofização (Yang
81 et al., 2018; Poikane et al., 2019). Também, nitratos na água potável e altos níveis de nitratos
82 em vegetais comestíveis podem causar metemoglobinemia e várias outras doenças humanas
83 (Espejo-Herrera et al., 2015; Schullehner et al., 2018).

84 Atualmente a recomendação da adubação em oliveiras no Brasil é realizada sob forte
85 influência de informações internacionais, havendo necessidade de ajustes a partir da
86 elaboração de estudos. Assim, o N deve ser usado criteriosamente nas culturas agrícolas,
87 sendo as doses ajustadas às necessidades da cultura para maximizar a eficiência de seu uso e
88 reduzir as perdas ao ambiente. Os objetivos deste estudo foram: (I) mensurar o efeito da
89 adubação nitrogenada sobre os teores de N nas folhas de oliveira Arbequina; (II) determinar

a quantidade de N a ser aplicado para atingir o máximo de produtividade; e (III) avaliar o efeito da aplicação de N no rendimento e na qualidade do azeite de oliva.

2. Material e métodos

2.1 Descrição do experimento e caracterização do solo

O estudo foi realizado no município de Canguçu, Estado do Rio Grande do Sul (30°94'55" S, 52°71'16" W - 294 m de altitude). O clima é subtropical úmido (Cfa), ou seja, temperado úmido com verões quentes (Alvares et al., 2013). A região apresenta temperatura e precipitação médias anuais de 18 °C e 1.509 mm, respectivamente, com umidade relativa média de 78,8%. Os dados mensais de precipitação e temperatura média durante o experimento são apresentados na Figura 1a e 1b.

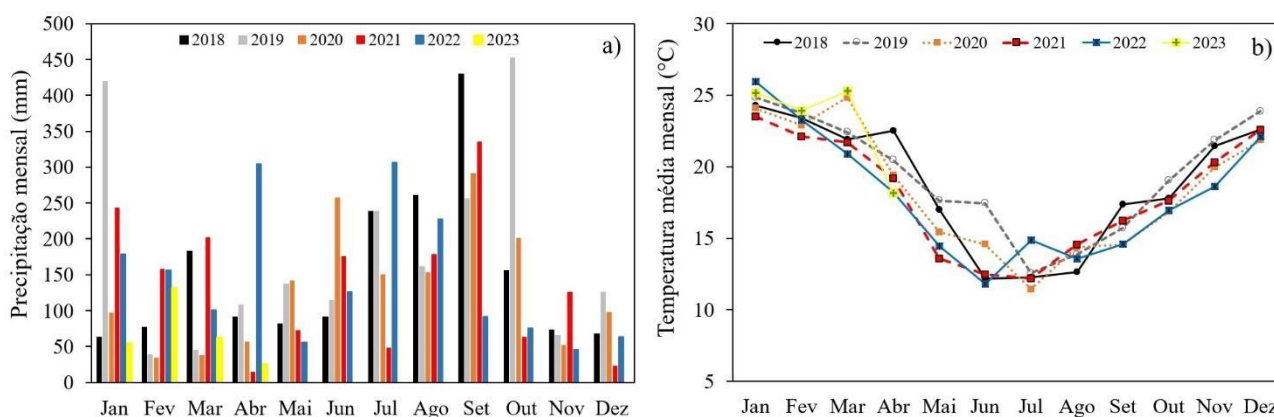


Figura 1. Precipitação total mensal (mm) (a) e temperatura média do ar mensal (°C) (b), janeiro de 2018 até abril de 2023. Canguçu – RS (Agritempo, 2023).

O solo é classificado como argissolo (Ultisols de acordo com Soil Survey Staff, 2022). Em julho de 2018, antes da implantação do experimento, amostras de solos foram coletadas na camada de 0 – 20 cm. O solo foi seco ao ar, moído e preparado para a análise química (Tedesco et al., 1995). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Canguçu, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.

Características	Camada 0 – 20 cm
Argila (g kg ⁻¹) ¹	160,0
Matéria orgânica (g kg ⁻¹) ¹	16,0
pH em água ²	6,1
Fósforo (mg dm ⁻³) ²	97,3
Potássio (mg dm ⁻³) ²	115,0
Cálcio (cmol _c dm ⁻³) ²	3,6
Magnésio (cmol _c dm ⁻³) ²	1,0
Alumínio (cmol _c dm ⁻³) ²	0,0
CEC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	6,7

⁽¹⁾Distribuição de tamanho de partícula determinada pelo método da pipeta e MOS: matéria orgânica, oxidado por uma solução sulfocrômica de acordo com os métodos descritos por Tedesco et al. (1995). ⁽²⁾Caracterização química de acordo com os métodos descritos em Tedesco et al. (1995); pH na proporção 1:1; P e K extraído por Mehlich-1; Ca, Mg e Al trocáveis, extraído por 1,0 mol L⁻¹ KCl.

O experimento foi conduzido em uma área que, anteriormente a implantação do olival, caracterizava-se como campo nativo. Previamente ao plantio das mudas foi realizado a calagem do solo e correções dos níveis de fósforo (P) e potássio (K). O olival foi implantado em dezembro de 2012 com mudas da cultivar ‘Arbequina’ e uma densidade de 357 plantas ha⁻¹ (7x4 m).

O experimento foi instalado em outubro de 2018. Os tratamentos consistiram de doses de 0, 30, 60, 90 e 120 kg de N ha⁻¹. A fonte de N foi a ureia (45 % de N). As doses foram aplicadas anualmente na superfície do solo, sem incorporação, em um alcance de 2 m de largura e 4 m de comprimento, centralizado próximo à linha de plantio. As doses de N foram fracionadas em duas aplicações, metade na plena floração (segunda quinzena de setembro) e metade no endurecimento do caroço (primeira quinzena de janeiro). Todas as parcelas

receberam doses iguais de K (60 kg de K₂O ha⁻¹) em uma única aplicação realizada durante a plena floração (segunda quinzena de setembro) e, não houve necessidade de realizar a adubação fosfatada (CQFS-RS/SC, 2016). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por três plantas, sendo utilizada somente a central para fins de avaliação.

2.2 Amostragem de folhas e frutos e análises químicas

Durante a primeira quinzena de janeiro de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, amostras de folhas (80 folhas por unidade experimental) foram coletadas na porção mediana de ramos de crescimento do ano e situados na altura média da planta. As folhas foram secas em estufa a 65 °C, até atingirem massa constante e, em seguida, foram moídas. Subamostras de 0,5 g foram submetidas à digestão ácida nitroperclórica com HClO₄ (1,0 mL) + HNO₃ (6,0 mL) a 210 °C, em bloco digestor. No extrato foram determinadas as concentrações de P por espectrofotometria UV (método vanadato-molibdato) K, Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica em chama (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 200, EUA). O N foi determinado pelo método de combustão em Analisador Elementar TruSpec CHN-S da marca LECO®, no qual o N é quantificado com auxílio de uma célula de condutividade térmica e os resultados são expressos em percentagem de N.

Em 2019, 2021 e 2022, uma amostra da pasta de azeitona foi retirada após o esmagamento das azeitonas e antes da extração do azeite. A amostra foi seca à 65 °C até a estabilização do peso e analisada quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg e boro (B) (Tedesco et al., 1995).

145 2.3 Produtividade e eficiência produtiva

146 Nos ciclos produtivos (2019, 2020, 2021, 2022 e 2023), a colheita de azeitonas foi
147 realizada em uma única etapa considerando o índice de maturação dos frutos, seguindo a
148 maturação utilizada nos pomares comerciais. Os frutos foram pesados em balança digital. A
149 produtividade foi calculada. Cinquenta azeitonas por parcela foram pesadas para
150 determinação da massa média dos frutos (gramas). Para estimativa da eficiência produtiva,
151 mensurou-se a circunferência do tronco das plantas à 0,5 m de altura em relação ao solo e
152 calculou-se a produtividade por cm² de tronco (kg cm⁻²).

153 2.4 Extração do azeite e parâmetros de qualidade

154 Amostras de 2,0 kg de azeitonas foram coletadas, removidas impurezas e frutos
155 danificados e moídas em moinho de bancada. Após a moagem, amostras de 1,4 kg da pasta
156 de azeitona foram colocadas em recipientes e realizada a malaxagem por 30 minutos sob a
157 temperatura de 26 °C e, em seguida, a pasta de azeitona foi centrifugada em 3000 rpm durante
158 2 minutos. O extrato líquido foi posto em proveta graduada onde aferiu-se a quantidade de
159 azeite após 30 min de decantação, a seguir o azeite foi filtrado e armazenado em recipiente
160 âmbar com batoque e tampa. O rendimento de azeite foi calculado através da equação:

$$161 \text{ Rend. de azeite (\%)} = [(\text{ml de azeite extraído} \times 0,915) / \text{massa da pasta de azeitona}] \times 100$$

162 As determinações dos parâmetros de qualidade seguiram os métodos oficiais sugeridos
163 pela União Européia (2022). Cada procedimento é descrito brevemente abaixo.

164 Quantificação do teor de ácidos graxos livres (acidez livre): Pesaram-se
165 aproximadamente 2 g da amostra lipídica em um frasco Erlenmeyer. Uma quantidade de 50
166 mL de uma solução de éter etílico/etanol (1:1) foi adicionada e agitada. Adicionou-se duas
167 gotas de solução de fenolftaleína (1%, p/v) e titulou-se com hidróxido de potássio 0,0095

168 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (previamente padronizado) até que o aparecimento de coloração rosa persistisse por
169 pelo menos 10 s. O mesmo procedimento foi realizado para o branco. O teor de ácidos graxos
170 livres foi calculado tendo como referência a massa de ácido oleico. Os resultados obtidos
171 foram expressos em porcentagem de ácido oleico (%).

172 Índice de peróxido: Aproximadamente 2 g da amostra lipídica foram pesados em um
173 Erlenmeyer com tampa. Uma quantidade de 10 mL de clorofórmio foi adicionada e a amostra
174 foi solubilizada. Foram adicionados 15 mL de ácido acético e 1 mL de solução saturada de
175 iodeto de potássio (12,8 g de iodeto de potássio em 10 mL de água destilada). O Erlenmeyer
176 foi rapidamente agitado e mantido no escuro por 1 min. Em seguida, foram adicionados 50
177 mL de água destilada e 1 mL de solução aquosa de amido (1%, p/v). A titulação foi realizada
178 com tiossulfato de sódio $0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (previamente padronizado) até o desaparecimento da
179 coloração azul escura. Um teste em branco foi realizado da mesma forma que para as
180 amostras. O índice de peróxido foi expresso em miliequivalentes de oxigênio ativo por
181 quilograma de óleo ($\text{meq O}_2\cdot\text{kg}^{-1}$).

182 Coeficientes de extinção específicos do ultravioleta: Após diferentes diluições das
183 amostras lipídicas com ciclohexano e sua completa homogeneização, suas absorbâncias foram
184 lidas nos comprimentos de onda de 232 nm (K_{232}) e 270 nm (K_{270}). As diluições foram
185 testadas e realizadas de forma que a leitura da absorbância não ultrapassasse o limite de
186 detecção do espectrofotômetro utilizado.

187 Nos ciclos de 2021 e 2022, foram quantificados os compostos fenólicos totais (CFT) e
188 a capacidade antioxidante pelo método ORAC (Capacidade de Absorção do Radical de
189 Oxigênio), que avalia a capacidade de desativação do radical peroxil.

Preparação dos extratos polares para determinação de CFT e capacidade antioxidante:

Os extratos polares das amostras lipídicas foram preparados seguindo o estudo de Nakbi et al. (2010). Um total de 2,5 g de amostra foi pesado em um tubo de centrífuga e, posteriormente, 5,0 mL de hexano p.a. e 5,0 mL de metanol:água (60:40, v/v) foram adicionados. A mistura foi agitada por 2 min e depois centrifugada por 5 min a $3000 \times g$. A fase inferior foi separada e armazenada em frascos para posteriormente ser submetida às determinações de CFT e capacidade antioxidante pelo método ORAC.

Compostos fenólicos totais: O teor de CFT foi determinado pelo método do reagente Folin-Ciocalteu de acordo com o procedimento descrito por Singleton et al. (1999). Neste procedimento, 0,5 mL de extrato polar de azeite foi misturado com 2,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu (diluído 1:10 em água ultrapura) e foi então reservado por 5 min. Em seguida, foram adicionados 2 mL de carbonato de sódio 7,5% e os tubos foram incubados no escuro por 2 horas. Posteriormente, a absorbância a 765 nm foi medida. Os resultados quantitativos foram calculados usando uma curva analítica de ácido gálico e foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por kg de amostra de óleo (mg EAG kg^{-1}). A curva de calibração foi construída com 10 pontos equidistantes com concentração de ácido gálico variando de 10 a 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($r^2 = 0,9751$).

A capacidade antioxidante foi determinada seguindo o método apresentado por Ou et al. (2001) e modificado por Dávalos et al. (2004). O reagente dicloridrato de 2,20-azobis(2-amidinopropano (AAPH) (0,412 g) foi completamente dissolvido em 10 mL de tampão fosfato 75 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (pH 7,4), resultando em uma concentração final de 152 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Uma solução de trabalho de fluoresceína (81 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$) foi preparada minutos antes da análise, diluindo a solução estoque com tampão fosfato 75 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (pH 7,4). A reação foi baseada

em uma mistura de 25 µL de extratos polares e 150 µL de solução de trabalho de fluoresceína em uma microplaca de polipropileno de 96 poços. Em seguida, a microplaca foi colocada em uma leitora de microplacas e incubada por 10 min a 37 °C. Em seguida, foram adicionados 25 µL do radical AAPH. A fluorescência foi registrada a cada minuto durante 90 min. Os resultados obtidos foram utilizados para calcular a área sob a curva das amostras e do branco, fazendo a diferença entre os dois. A curva foi construída com oito pontos equidistantes em diferentes concentrações de Trolox (de 7,99 a 63,93 µmol·L⁻¹, $r^2 = 0,9830$). A área sob a curva foi utilizada para quantificar a capacidade antioxidante das amostras, e os resultados obtidos foram expressos em mmol equivalente de Trolox por kg de amostra (mmol TE.kg⁻¹).

2.5 Análise estatística

Os dados foram testados para distribuição de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e submetidos à análise de variância (ANOVA), quando significativo pelo teste $F \leq 0,05$, as doses médias foram ajustadas por regressões polinomiais para determinar os efeitos das doses de N. O rendimento relativo (rr) foi calculado usando a equação $rr = (rt / rm) * 100$, onde rt é o rendimento do tratamento e rm é o rendimento máximo. Os resultados de rr foram relacionados com teor de N foliar, para se obter um nível suficiente de rr de 99% (nível crítico). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019).

3. Resultados

3.1 Nutrientes nas folhas e azeitonas

No ciclo produtivo de 2020, a aplicação de N influenciou nos teores de N e K nas folhas de oliveira, obtendo valores máximos de 14,9 g de N kg⁻¹ e 18,0 g de K kg⁻¹, com 73,5 kg de N ha⁻¹ e 49,5 kg de K ha⁻¹, respectivamente (Tabela 2). No ciclo de 2021, os teores

foliares de N aumentaram linearmente, enquanto para o K houve decréscimo linear conforme o aumento das doses de N aplicadas sobre o solo. Em 2022 os teores foliares de N aumentaram e os teores de P reduziram linearmente. No ciclo de 2023 apenas os teores de N nas folhas diferiram, aumentando linearmente. Os teores foliares de Ca e Mg não apresentaram diferença significativa nos ciclos produtivos avaliados.

Tabela 2. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas de oliveiras ‘Arbequina’ (*Olea europaea* L.) em resposta à aplicação de doses crescentes de N aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Teor mineral foliar (g kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
-----2019-----					
0	13,2	2,4	11,8	12,5	1,4
30	14,6	2,2	11,7	10,9	1,3
60	14,8	2,1	12,4	9,4	1,3
90	14,7	1,9	12,0	10,2	1,4
120	14,5	1,7	11,7	11,3	1,4
CV	15,3	15,4	7,9	19,1	8,7
Linear	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratica	ns	ns	ns	ns	ns
-----2020-----					
0	11,7	2,6	15,5	6,9	1,0
30	13,3	2,9	18,4	5,9	0,9
60	15,3	2,6	17,6	5,7	1,0
90	14,0	2,9	16,5	6,2	1,2

120	13,2	2,7	14,0	7,1	1,2
CV	9,6	7,6	8,1	19,4	16,1
Linear	ns	ns	*	ns	ns
Quadratica	*(1)	ns	*(2)	ns	ns
-----2021-----					
0	12,3	2,1	12,5	8,1	0,8
30	14,4	2,2	12,1	10,3	0,8
60	15,8	2,4	10,6	9,3	0,8
90	16,7	1,4	10,6	9,8	0,8
120	16,0	1,4	9,2	10,8	0,9
CV	7,5	28,1	9,3	12,8	10,9
Linear	*(3)	ns	*(4)	ns	ns
Quadratica	*	ns	ns	ns	ns
-----2022-----					
0	10,4	2,3	15,2	4,7	1,5
30	12,8	2,3	16,3	5,9	1,5
60	12,0	1,5	14,9	6,5	1,7
90	12,6	1,6	14,9	6,0	1,4
120	14,1	1,7	14,5	5,8	1,6
CV	6,0	16,6	8,8	16,8	15,5
Linear	*(5)	*(6)	ns	ns	ns
Quadratica	ns	ns	ns	ns	ns
-----2023-----					
0	9,0	3,1	15,2	4,7	0,9

30	11,2	2,9	15,0	5,0	1,3
60	10,5	2,7	15,5	3,5	1,0
90	12,7	2,7	14,5	4,0	1,0
120	12,7	2,6	14,2	5,0	1,2
CV	13,6	9,9	13,6	24,6	14,1
Linear	*(7)	ns	ns	ns	ns
Quadratica	ns	ns	ns	ns	ns

244 $^{(1)}y = -0,0006x^2 + 0,0882x + 11,682$ ($R^2 = 0,8817$); $^{(2)}y = -0,0009x^2 + 0,0892x + 15,846$ ($R^2 = 0,9331$); $^{(3)}y = 0,0324x +$
 245 $13,14$ ($R^2 = 0,7827$); $^{(4)}y = -0,0271x + 12,672$ ($R^2 = 0,9352$); $^{(5)}y = 0,0239x + 10,968$ ($R^2 = 0,7123$); $^{(6)}y = -0,0064x +$
 246 $2,278$ ($R^2 = 0,6059$); $^{(7)}y = 0,03x + 9,45$ ($R^2 = 0,8$); CV = coeficiente de variação; ns = não significativo ($F \leq 0,05$); * =
 247 significativo ($F \leq 0,05$).

248 Os teores de Ca, Mg e B presentes nos frutos, não diferiram significativamente nos
 249 anos avaliados (Tabela 3). Entretanto, o N aumentou linearmente em ambos os ciclos
 250 avaliados e os teores de K nos frutos reduziram linearmente em 2019 e 2021. Para o P, houve
 251 acréscimo linear no ciclo de 2022.

252 **Tabela 3.** Teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e
 253 boro (B) em azeitonas ‘Arbequina’ (*Olea europaea* L.) submetidas a doses crescentes de
 254 nitrogênio (kg de N ha^{-1}) aplicadas na superfície do solo.

Dose de N (kg ha^{-1})	Teor mineral nos frutos					
	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	B (mg kg^{-1})
	-----2019-----					
0	6,3	1,9	17,4	1,6	0,5	8,0
30	7,4	2,1	15,0	1,5	0,5	9,2
60	9,2	2,1	14,7	1,7	0,5	9,6
90	9,0	2,1	13,5	1,5	0,7	8,5
120	9,2	2,0	12,4	1,4	0,7	8,5

CV (%)	11,4	8,6	11,7	15,8	20,4	10,1
Linear	*(1)	ns	*(2)	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns
-----2021-----						
0	5,8	2,4	16,7	1,5	0,5	8,8
30	7,4	2,1	14,9	1,4	0,5	9,3
60	9,4	2,2	14,4	1,7	0,6	9,3
90	8,8	2,5	17,1	1,4	0,5	8,1
120	8,7	2,6	11,9	1,4	0,5	8,6
CV (%)	7,8	10,6	12,5	19,2	19,2	9,5
Linear	*(3)	ns	*(4)	ns	ns	ns
Quadrática	*	ns	ns	ns	ns	ns
-----2022-----						
0	7,7	1,8	16,2	1,7	0,5	9,5
30	9,5	1,7	15,9	1,6	0,5	8,6
60	8,9	1,7	15,0	1,8	0,5	10,5
90	13,4	2,6	13,8	1,5	0,7	10,1
120	13,6	2,1	13,4	1,5	0,7	9,8
CV (%)	12,3	15,3	9,5	16,3	24,1	18,2
Linear	*(5)	*(6)	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns

255 ⁽¹⁾y = 0,0242x + 6,794 (R² = 0,7956); ⁽²⁾y = -0,0385x + 16,954 (R² = 0,9384); ⁽³⁾y = 0,0235x + 6,632 (R² = 0,611); ⁽⁴⁾y =

256 -0,0249x + 16,506 (R² = 0,3257); ⁽⁵⁾y = 0,0522x + 7,668 (R² = 0,9241); ⁽⁶⁾y = 0,0047x + 1,738 (R² = 0,3817).

257 CV = coeficiente de variação; ns = não significativo (F ≤ 0,05); * = significativo (F ≤ 0,05). Teor médio de massa seca

258 do fruto: 2019 = 34,4 %, 2021 = 38,6 % e 2022 = 42,7 %.

259 3.2 Produtividade e eficiência produtiva

260 A produtividade, massa média dos frutos, perímetro do tronco e eficiência produtiva

261 não foram afetadas pelas doses de N aplicadas no solo nos ciclos de 2019 e 2020 (Tabela 4).

262 Durante o período de avaliação do experimento houve alternância de produção, sendo as

safras de 2020 e 2023, anos de baixas produtividades. Em 2021, terceiro ciclo produtivo de avaliação, a produtividade aumentou de acordo com a adubação nitrogenada, alcançando 4,1 Mg ha⁻¹ com 62,3 kg de N ha⁻¹. Em 2022 a produtividade foi 5,3 Mg ha⁻¹ e em 2023 foi 1,3 Mg ha⁻¹, com as doses de 42,8 e 45,7 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

O perímetro do tronco não diferiu significativamente nos ciclos de 2019, 2020 e 2021, enquanto que em 2022 e 2023, aumentou linearmente em função das doses de N. A eficiência produtiva foi afetada negativamente apenas no ciclo de 2022, quando reduziu linearmente em função das doses de N.

Tabela 4. Produtividade (Mg ha⁻¹), massa média dos frutos (g fruto⁻¹), perímetro de tronco (cm) e eficiência produtiva (kg cm⁻²) de plantas de oliveiras ‘Arbequina’ em resposta à aplicação de doses crescentes de nitrogênio (N) aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)	Massa média dos frutos (g fruto ⁻¹)	Perímetro do tronco (cm)	Eficiência produtiva (kg cm ⁻²)
-----2019-----				
0	5,6	1,4	25,6	0,289
30	6,7	1,3	28,4	0,279
60	5,8	1,3	26,9	0,280
90	6,4	1,3	26,9	0,313
120	6,1	1,2	27,1	0,303
CV %	12,3	4,7	7,5	15,6
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns
-----2020-----				

0	0,02	1,4	26,2	0,001
30	0,02	1,4	29,8	0,001
60	0,09	1,6	28,5	0,003
90	0,09	1,7	29,2	0,004
120	0,19	1,5	28,8	0,006
CV %	126,6	7,8	8,1	100,1
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns
-----2021-----				
0	1,3	1,3	29,1	0,051
30	3,5	1,3	34,8	0,096
60	4,0	1,3	34,0	0,120
90	3,9	1,3	34,7	0,124
120	2,1	1,2	34,4	0,065
CV %	40,46	8,57	8,4	50,1
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	*(1)	ns	ns	ns
-----2022-----				
0	3,5	1,6	30,8	0,134
30	5,3	1,6	38,6	0,125
60	5,2	1,5	37,7	0,131
90	2,9	1,5	40,4	0,066
120	0,2	1,8	40,4	0,004
CV %	35,5	10,9	7,1	35,7

Linear	*	ns	*(3)	*(4)
Quadrática	*(2)	ns	*	*
-----2023-----				
0	0,9	1,6	33,1	0,025
30	1,1	1,7	40,7	0,023
60	1,7	1,6	39,8	0,040
90	1,0	1,5	42,5	0,020
120	0,8	1,7	42,9	0,022
CV %	24,6	10,0	6,7	53,7
Linear	ns	ns	*(6)	ns
Quadrática	*(5)	ns	ns	ns

⁽¹⁾y = -0,0007x² + 0,0873x + 1,3873 (R² = 0,9879); ⁽²⁾y = -0,0009x² + 0,077x + 3,6821 (R² = 0,9837); ⁽³⁾y = 0,0699x + 33,414 (R² = 0,7019); ⁽⁴⁾y = -0,0014x + 0,1457 (R² = 0,865); ⁽⁵⁾y = -0,0002x² + 0,0183x + 0,8997 (R² = 0,5708); ⁽⁶⁾y = 0,0717x + 35,544 (R² = 0,7301); CV = coeficiente de variação; ns = não significativo (F ≤ 0,05); * = significativo (F ≤ 0,05).

Para atingir o rendimento relativo de 99 % é necessário a aplicação de 30 kg de N ha⁻¹, com um teor foliar de 13,3 g de N kg⁻¹ (Tabela 5).

Tabela 5: Produtividade acumulada (Mg ha⁻¹), média de produtividade (Mg ha⁻¹), média do teor foliar (g kg⁻¹) e rendimento relativo (%) de plantas de oliveiras ‘Arbequina’ em resposta à aplicação de doses crescentes de nitrogênio (N) aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Produtividade acumulada (Mg ha ⁻¹)	Média de produtividade (Mg ha ⁻¹)	Média do teor de N foliar (g kg ⁻¹)	Rendimento relativo (%)
0	11,3	2,3	11,3	67,3

30	16,6	3,3	13,3	98,8
60	16,8	3,4	13,7	100
90	14,3	2,9	14,1	85,1
120	9,4	1,9	14,1	56,0

285

286 **3.3 Qualidade do azeite**

287 Em 2019, 2021 e 2022 o rendimento de azeite diferiu significativamente, reduzindo
 288 linearmente de acordo com o aumento das doses de N aplicadas no solo (Tabela 6). Para a
 289 acidez livre não houve diferença no ciclo de 2019, contudo, em 2021 e 2022 observou-se
 290 redução linear. O índice de peróxidos e o K_{232} não diferiram em 2019 e 2021, contudo,
 291 aumentaram linearmente em 2022. Para o K_{270} , não houve diferença nos ciclos avaliados.
 292 CFT e a capacidade antioxidante não diferiram nos ciclos produtivos de 2019 e 2021,
 293 entretanto, seus teores reduziram linearmente em 2022.

294 **Tabela 6.** Rendimento de azeite (%), acidez livre (%), índice de peróxidos ($\text{meqO}_2 \text{ kg}^{-1}$),
 295 extinção específica 232 nm (K_{232}), extinção específica 270 nm (K_{270}), compostos fenólicos
 296 totais (CFT, mg EAG kg^{-1}) e capacidade antioxidante ($\text{mmol mmol TE kg}^{-1}$) em azeite de
 297 oliveiras ‘Arbequina’ (*Olea europaea* L.) sob doses crescentes de nitrogênio (kg de N ha^{-1})
 298 aplicadas na superfície do solo entre 2018 e 2022.

Doses de N (kg ha^{-1})	Rendimento de azeite	Acidez livre	Índice de peróxidos	K_{232}	K_{270}	Compostos fenólicos totais	Capacidade antioxidante
-----2019-----							
0	9,89	0,09	4,01	1,43	0,10	-	-
30	8,64	0,07	3,37	1,41	0,10	-	-
60	8,63	0,08	2,67	1,40	0,09	-	-

90	8,49	0,07	3,21	1,38	0,09	-	-
120	7,58	0,07	2,99	1,37	0,08	-	-
CV %	7,1	17,7	20,1	3,2	13,6	-	-
Linear	*(1)	ns	ns	ns	ns	-	-
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
-----2021-----							
0	11,19	0,29	4,20	1,74	0,21	137,72	3,85
30	9,19	0,24	5,65	1,66	0,19	142,47	3,89
60	8,47	0,24	6,64	1,88	0,25	121,66	4,06
90	7,47	0,21	6,29	1,87	0,28	110,61	4,14
120	6,59	0,23	6,15	1,87	0,22	103,72	3,19
CV %	5,8	11,1	19,7	9,8	25,9	17,6	15,7
Linear	*(2)	*(3)	ns	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
-----2022-----							
0	7,49	0,23	4,59	1,65	0,19	136,29	5,63
30	7,84	0,21	4,86	1,66	0,22	94,63	3,66
60	8,15	0,18	4,37	1,71	0,28	114,12	4,21
90	6,56	0,17	6,31	1,79	0,18	115,21	4,39
120	5,69	0,16	6,23	1,75	0,22	96,62	3,54
CV %	10,2	14,5	10,3	3,2	20,6	11,1	8,78
Linear	*(4)	*(5)	*(6)	*(7)	ns	*(8)	*(9)
Quadrática	*	ns	ns	ns	ns	ns	*

299 ⁽¹⁾y = -0,0159x + 9,6 (R² = 0,84); ⁽²⁾y = -0,0363x + 10,76 (R² = 0,9631); ⁽³⁾y = -0,0005x + 0,2728 (R² = 0,5564); ⁽⁴⁾y = -
300 0,0163x + 8,122 (R² = 0,5849); ⁽⁵⁾y = -0,0006x + 0,2266 (R² = 0,9142); ⁽⁶⁾y = 0,0157x + 4,3302 (R² = 0,6476); ⁽⁷⁾y =
301 0,0011x + 1,649 (R² = 0,781); ⁽⁸⁾y = -0,1959x + 123,13 (R² = 0,3026); ⁽⁹⁾y = -0,0115x + 4,9796 (R² = 0,4279).

302 ns= não significativo (F ≤ 0,05); *= significativo (F ≤ 0,05).

303 4. Discussão

304 A aplicação de N elevou os teores foliares de N a partir do segundo ciclo produtivo,
305 entretanto, não atingiu teores considerados adequados de 15,0 a 20,0 g kg⁻¹ (CQFS-RS/SC,

2016; Tiecher et al., 2022). Em 2020, com a ocorrência de forte alternância produtiva e a ausência de exportação de nutrientes através da colheita, mesmo assim os teores de N não alcançaram níveis elevados nas folhas. Apenas durante o ciclo de 2021 os teores foliares de N atingiram teores superiores à 15,0 g kg⁻¹. Fernández-Escobar et al. (2008) em estudo de longo prazo com adubação nitrogenada em oliveiras, não encontraram redução acentuada nos teores foliares de N em plantas não fertilizadas, sugerindo que o limiar crítico foliar para este nutriente fosse revisto e sugerindo prováveis teores entre 12,0 e 13,0 g kg⁻¹ e corroborando com o presente trabalho.

O manejo da adubação depende do valor de referência estabelecido e, portanto, análises espaciais e temporais são necessárias para realizar um planejamento adequado da adubação para melhorar a produção dos olivais. Segundo Fernández-Escobar et al. (2008), a adubação com N deve ser aplicada apenas em oliveiras com teores foliares de N abaixo o limite crítico. Em relação aos resultados apresentados neste estudo, teores foliares de N acima de 15,1 (2021), 12,0 (2022) e 10,8 g de N kg⁻¹ (2023), evidenciaram redução na produtividade, resultando em efeitos negativos, possivelmente devido ao excesso de vigor e baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) das estruturas reprodutivas, além de reduzir a longevidade do óvulo no período de floração (Fernández-Escobar et al., 2008; Haberman et al., 2019). Elevadas doses de N utilizadas neste estudo, podem ter atingido teores prejudiciais de N nas plantas. Ainda que não esteja claro o mecanismo de reação das plantas ao excesso de N, é possível que os efeitos negativos seja, em parte, resultado do consumo excessivo de carboidratos nas raízes para a assimilação e translocação do N, causando limitações energéticas (Haberman et al., 2019).

Plantas não fertilizadas apresentaram produtividades superiores às plantas submetidas às doses mais elevadas, evidenciando que a o excesso de N pode ser mais prejudicial que o déficit, indicando a necessidade um uso mais equilibrado de fertilizantes nitrogenados no cultivo da oliveira. No ciclo produtivo de 2023 os teores foliares de N reduziram em plantas não adubadas com N, ainda que a produtividade neste ciclo tenha sido baixa, o que pode ser decorrente do esgotamento das reservas internas de N nas plantas ao longo dos cinco anos avaliados. Contudo, em um estudo de longo prazo, Fernández-Escobar et al. (2008), não evidenciaram redução dos teores foliares de N em plantas não adubadas mesmo após 13 anos, possivelmente devido a contribuições da mineralização da matéria orgânica. Futuras investigações poderão elucidar com maior precisão o comportamento das plantas não adubadas a longo prazo nas condições edafoclimáticas do Sul do Brasil.

A influência da adubação nitrogenada sobre os teores foliares de K pode ser devido à competição catiônica do amônio (NH_4^+) sobre a absorção e transporte de K^+ nas raízes das plantas, uma vez que o NH_4^+ e K^+ têm cargas e diâmetros hidratados semelhantes (Ye et al., 2021). A ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) quando aplicada ao solo é hidrolisada pela enzima urease que, em contato com a superfície dos coloides do solo, é convertida em NH_4^+ e íons hidroxila (OH^-) (Kirschke et al., 2019). Para manter o equilíbrio elétrico da parede celular, com a absorção de NH_4^+ a raiz libera H^+ , acidificando assim a rizosfera. Uma vez que o P é absorvido como ânion H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} (Zipori et al., 2020; Brownrigg et al., 2022), esta redução do pH do solo pode ter influenciado na obtenção de menores teores foliares de P em decorrência da aplicação da N em 2022. Soma-se a isso o fato das plantas submetidas às maiores doses apresentarem maiores crescimento a partir de 2022, logo, é possível que tenha ocorrido efeito de diluição nos tecidos vegetais, reduzindo a concentração de P e K nos mesmos.

351 Um aspecto importante do uso excessivo de adubos nitrogenados é a poluição
352 ambiental. O N é aplicado em agroecossistema de várias formas: aplicação direta no solo
353 como fertilizantes solúveis, aplicação compostos orgânicos ou aplicação de forma líquida ou
354 solúvel usando fertirrigação ou pulverizações foliares. Todas essas práticas de adubação
355 podem levar a níveis elevados de N no solo, como na forma de nitrato (NO_3^-) (Zipori et al.,
356 2020). O NO_3^- é adsorvido fracamente à fase sólida do solo, uma vez que nos solos brasileiros
357 predominam cargas negativas, portanto, é facilmente transportado para baixo da zona
358 radicular (lixiviado) e torna-se um poluente das águas subterrâneas quando não é absorvido
359 pelas plantas (Zipori et al., 2020). O N não consumido, originado de aplicações excessivas,
360 também pode ser transformado em óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa (Lam et al.,
361 2017; Prosser et al., 2020). Portanto, é necessário otimizar o suprimento de N a fim de elevar
362 a produtividade da oliveira e a qualidade do azeite, mas também para reduzir o risco de
363 contaminação ambiental.

364 O presente estudo demonstra a dificuldade em identificar doses excessivas de N
365 aplicadas no olival a partir dos teores foliares. Os resultados aqui obtidos são contrastantes
366 em relação aos encontrados por Erel et al. (2013) e Haberman et al. (2019) que evidenciaram
367 teores foliares de N entre 13,0 – 22,4 g kg⁻¹, observando ainda redução na produtividade em
368 teores inferiores à 13,0 g kg⁻¹. Soma-se a isto, o fato de os teores encontrados neste estudo
369 estarem inferiores ao nível crítico adequado. Desta forma, sugere-se a necessidade de
370 desenvolver ferramentas alternativas de diagnóstico para detectar o excesso de N. Uma
371 possibilidade seria usar a análise da polpa da fruta, uma vez que o N na fruta parece
372 representar melhor o status de N das plantas em níveis excessivos (Erel et al., 2017). O
373 acréscimo linear nos teores de N nos frutos no presente estudo, corrobora com tal afirmação,

374 contudo, é necessário desenvolver os teores críticos para este critério em condições locais. O
375 aumento dos teores de P nos frutos decorre, possivelmente, das baixas produtividades das
376 plantas submetidas as altas doses de N, logo, devido à alta mobilidade do P nas plantas (Taiz
377 et al., 2017), os teores deste nutriente podem ter elevado suas concentrações nos frutos.

378 A redução no rendimento de azeite e acidez livre, oriunda do aumento das doses de N
379 aplicadas, pode estar relacionado ao índice de maturação dos frutos (parâmetro não avaliado
380 neste estudo) e a influência do N na síntese de proteínas. Diversos estudos observaram retardo
381 na maturação dos frutos em oliveiras submetidas a crescentes doses de N (Fernández-Escobar
382 et al., 2012; Rodrigues et al., 2019; Silva et al., 2023). Logo, a redução no rendimento de
383 azeite pode ser devido a um retardo na lipogênese decorrente do atraso na maturação
384 (Benlloch-González et al., 2019). A razão fisiológica entre o aumento de proteína e a redução
385 do teor de óleo está relacionada à competição por carbono durante o metabolismo dos
386 carboidratos. A síntese de ácidos graxos e aminoácidos requerem compostos carbônicos
387 oriundos da decomposição de carboidratos, contudo, o teor de carboidratos das proteínas é
388 menor que os dos ácidos graxos, logo o aumento de aporte de N intensifica a síntese de
389 proteínas em detrimento da síntese de ácidos graxos (Singer et al., 2016). Já, a acidez, aumenta
390 com o estágio de maturação, devido ao aumento da atividade das enzimas lipolíticas (Salvador
391 et al., 2001), corroborando com os resultados observados neste estudo.

392 A elevação do índice de peróxidos observado nas doses mais elevadas, também pode
393 estar relacionado a maturação dos frutos, isso porque o índice de peróxidos tende a diminuir
394 durante o processo de amadurecimento devido à diminuição da atividade da lipoxigenase
395 (Youssef et al., 2010), fenômeno também observado por Fernández-Escobar et al., (2012),
396 Rodrigues et al., (2019) e Silva et al., (2023). A qualidade do azeite é geralmente estimada

397 pelo grau de oxidação primária (índice de peróxido e K_{232}) (Silva et al., 2023). Ainda que os
398 resultados encontrados estejam classificados na categoria de azeites extravirgem (índice de
399 peróxidos $<20 \text{ meqO}_2 \text{ kg}^{-1}$ e $K_{232} <2,5$), o aumento dessas variáveis demonstram que altos
400 teores de N parecem ter afetado negativamente a qualidade do azeite, além disso, tal resposta
401 nestas variáveis estão relacionadas com a deterioração nos compostos fenólicos e
402 antioxidantes (Gouvinhas et al., 2014; Khaleghi et al., 2015; Silva et al., 2023).

403 A redução nos teores de CFT e da capacidade antioxidante, no ciclo produtivo de 2022,
404 de acordo com o aumento das doses de N aplicadas, possivelmente decorre de condições
405 estressantes nas plantas não adubadas com N. Estudos indicaram que um acúmulo de
406 compostos fenólicos em azeitonas está associado a condições estresse, bem como um aumento
407 na capacidade antioxidante (Gouvinhas et al., 2014; Tekaya et al., 2016; Gonçalves et al.,
408 2020; Silva et al., 2023), indicando que, neste estudo, as plantas não fertilizadas estavam sob
409 estresse nutricional. Os compostos fenólicos em alimentos, destaca-se, principalmente,
410 devido a possíveis efeitos benéficos à saúde humana, como prevenção de câncer e doenças
411 cardiovasculares (Condelli et al., 2015). Tais compostos, atuam como antioxidantes contra
412 espécies reativas por meio de vários mecanismos, inibição da formação de radicais livres que
413 possibilitam a etapa de iniciação, a eliminação de radicais importantes na etapa de
414 propagação, quelação de metais, diminuição da concentração de oxigênio localizada e
415 decomposição de peróxidos (Owen et al., 2000; Condelli et al., 2015). Também, ressalta-se a
416 importância dos compostos fenólicos em prevenir a oxidação lipídica, ou seja, essas
417 substâncias são importantes não apenas para a qualidade nutricional e sensorial, mas também
418 para o prazo de validade do azeite.

5. Conclusões

A adubação nitrogenada elevou os teores foliares de N e a produtividade de oliveiras ‘Arbequina’.

Teores foliares entre 11,2 e 14,4 g de N kg⁻¹, promoveram 99 % do rendimento relativo com a aplicação de 30 kg de N ha⁻¹.

O nível crítico de N em folhas de oliveiras ‘Arbequina’, calculado através da produtividade acumulada foi de 13,3 g de N kg⁻¹.

A aplicação de N elevou teores de N nos frutos, reduziu o rendimento de azeite e alterou os parâmetros qualitativos do mesmo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), pela bolsa concedida; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA-UFPel); a Embrapa Clima Temperado, pela estrutura disponibilizada e a Fazenda Tarumã pelo apoio na realização dos tratos culturais no olival.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências bibliográficas

Agritempo. Sistema de monitoramento Agrometeorológico. 2023.
<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=RS>.
Acesso em: 03 de maio de 2023.

- 439 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G. 2013.
 440 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-
 441 728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 442 Benlloch-González, M., Sánchez-Lucas, R., Bejaoui, M. A., Benlloch, M., Fernández-
 443 Escobar, R. 2019. Global warming effects on yield and fruit maturation of olive trees
 444 growing under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 249, 162-167. Doi:
 445 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.046>
- 446 Boussadia, O., Steppe, K., Zgallai, H., El Hadj, S. B., Braham, M., Lemeur, R., Van Labeke,
 447 M. C. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status
 448 and biomass production in two olive cultivars ‘Meski’ and ‘Koroneiki’. *Scientia*
 449 *Horticulturae*, 123(3), 336-342. Doi <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.023>
- 450 Brownrigg, S., McLaughlin, M. J., McBeath, T., Vadakattu, G. 2022. Effect of acidifying
 451 amendments on P availability in calcareous soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*,
 452 1-16. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-022-10241-1>
- 453 Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC [CQFS-RS/SC]. 2016. Manual de
 454 Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade
 455 Brasileira de Ciência do Solo, 376p.
- 456 Condelli, N., Caruso, M. C., Galgano, F., Russo, D., Milella, L., Favati, F. 2015. Prediction
 457 of the antioxidant activity of extra virgin olive oils produced in the Mediterranean
 458 area. *Food Chemistry*, 177, 233-239. Doi:
 459 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.001>

- 460 Dávalos, A., Gómez-Cordovés, C., Bartolomé, B. 2004. Extending applicability of the oxygen
461 radical absorbance capacity (ORAC– fluorescein) assay. *Journal of agricultural and*
462 *food chemistry*, 52(1), 48-54. Doi: <https://doi.org/10.1021/jf0305231>
- 463 Elbadawy, N., Hegazi, E., Yehia, T., Abourayya, M., Mahmoud, T. 2016. Effect of nitrogen
464 fertilizer on yield, fruit quality and oil content in manzanillo olive trees. *Journal of Arid*
465 *Land Studies*, 26(3), 175-177. Doi: https://doi.org/10.14976/jals.26.3_175
- 466 Erel, R., Dag, A., Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Schwartz, A. 2011. The roles of nitrogen,
467 phosphorus and potassium on olive tree productivity. *Acta horticulturae*, 888, 259-268.
468 Doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.888.29>
- 469 Erel, R., Yermiyahu, U., Van Opstal, J., Ben-Gal, A., Schwartz, A., Dag, A. 2013. The
470 importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its
471 productivity. *Scientia Horticulturae*, 159, 8-18. Doi:
472 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.036>
- 473 Erel, R., Yermiyahu, Y., Ben-Gal, A., Dag, A. 2017. Olive fertilization under intensive
474 cultivation management. In VIII International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit
475 Crops 1217 (207-224p). Doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.27>
- 476 Espejo-Herrera, N., Cantor, K. P., Malats, N., Silverman, D. T., Tardón, A., García-Closas,
477 R., Villanueva, C. M. 2015. Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in
478 Spain. *Environmental research*, 137, 299-307. Doi:
479 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.034>
- 480 Fernández-Escobar, R., Beltrán, G., Sánchez-Zamora, M. A., García-Novelo, J., Aguilera, M.
481 P., Uceda, M. 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over-

- 482 fertilization. HortScience, 41(1), 215-219. Doi:
 483 <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.1.215>
- 484 Fernández-Escobar, R., Braz Frade, R., Lopez Campayo, M., Beltrán Maza, G. 2012. Effect
 485 of nitrogen fertilization on fruit maturation of olive trees. In: VII International
 486 Symposium on Olive Growing 1057 (101-105p). Doi:
 487 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1057.10>
- 488 Fernández-Escobar, R., Ortiz-Urquiza, A., Prado, M., Rapoport, H. F. 2008. Nitrogen status
 489 influence on olive tree flower quality and ovule longevity. Environmental and
 490 experimental Botany, 64 (2), 113-119. Doi:
 491 <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.04.007>
- 492 Ferreira, D. F. 2019. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type
 493 designs: Sisvar. Brazilian Journal of Biometrics, 37(4), 529-535. Doi:
 494 <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- 495 Gonçalves, A., Silva, E., Brito, C., Martins, S., Pinto, L., Dinis, L. T., Luzio, A., Gomes, C.
 496 M., Silva, A. F., Ribeiro, C., Rodrigues, M. A., Pereira, J. M., Nunes, F. M., Correia, C.
 497 M. 2020. Olive tree physiology and chemical composition of fruits are modulated by
 498 different deficit irrigation strategies. Journal of the Science of Food and
 499 Agriculture, 100(2), 682-694. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10064>
- 500 Gouvinhas, I., Machado, J., Gomes, S., Lopes, J., Martins-Lopes, P., Barros, A. I. 2014.
 501 Phenolic composition and antioxidant activity of monovarietal and commercial
 502 Portuguese olive oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 91, 1197-1203.
 503 Doi: <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2462-x>

- 504 Haberman, A., Dag, A., Shtern, N., Zipori, I., Erel, R., Ben-Gal, A., Yermiyahu, U. 2019.
 505 Significance of proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive
 506 cultivation. *Scientia horticulturae*, 246, 710-717. Doi:
 507 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.055>
- 508 Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D. 2016. Soil fertility and fertilizers.
 509 Pearson Education India.
- 510 Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzegar, M. 2015. The efficacy of kaolin particle
 511 film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Zard' grown under warm
 512 and semi-arid region of Iran. *Food chemistry*, 166, 35-41. Doi:
 513 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.006>
- 514 Kirschke, T., Spott, O., Vetterlein, D. 2019. Impact of urease and nitrification inhibitor on
 515 NH_4^+ and NO_3^- dynamic in soil after urea spring application under field conditions
 516 evaluated by soil extraction and soil solution sampling. *Journal of Plant Nutrition and*
 517 *Soil Science*, 182(3), 441-450. Doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201800513>
- 518 Lam, S. K., Suter, H., Mosier, A. R., Chen, D. 2017. Using nitrification inhibitors to mitigate
 519 agricultural N_2O emission: a double-edged sword?. *Global change biology*, 23(2), 485-
 520 489. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.13338>
- 521 Marschner, P., Rengel, Z. 2023. Nutrient availability in soils. In: Marschner's Mineral
 522 Nutrition of Plants, 499-522, Academic press.
- 523 Nakbi, A., Issaoui, M., Dabbou, S., Koubaa, N., Echbili, A., Hammami, M., Attia, N. 2010.
 524 Evaluation of antioxidant activities of phenolic compounds from two extra virgin olive
 525 oils. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(7), 711-715. Doi:
 526 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.05.003>

- 527 Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Prior, R. L. 2001. Development and validation of an improved
 528 oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent
 529 probe. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(10), 4619-4626. Doi:
 530 <https://doi.org/10.1021/jf010586o>
- 531 Owen, R. W., Giacosa, A., Hull, W. E., Haubner, R., Spiegelhalder, B., Bartsch, H. 2000. The
 532 antioxidant/anticancer potential of phenolic compounds isolated from olive
 533 oil. *European Journal of Cancer*, 36(10), 1235-1247. Doi:
 534 [https://doi.org/10.1016/S0959-8049\(00\)00103-9](https://doi.org/10.1016/S0959-8049(00)00103-9)
- 535 Poikane, S., Phillips, G., Birk, S., Free, G., Kelly, M. G., Willby, N. J. 2019. Deriving nutrient
 536 criteria to support 'good' ecological status in European lakes: an empirically based
 537 approach to linking ecology and management. *Science of the Total Environment*, 650,
 538 2074-2084. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.350>
- 539 Prosser, J. I., Hink, L., Gubry-Rangin, C., Nicol, G. W. 2020. Nitrous oxide production by
 540 ammonia oxidizers: physiological diversity, niche differentiation and potential
 541 mitigation strategies. *Global Change Biology*, 26(1), 103-118. Doi:
 542 <https://doi.org/10.1111/gcb.14877>
- 543 Rodrigues, M. Â., Coelho, V., Arrobas, M., Gouveia, E., Raimundo, S., Correia, C. M., Bento,
 544 A. 2019. The effect of nitrogen fertilization on the incidence of olive fruit fly, olive leaf
 545 spot and olive anthracnose in two olive cultivars grown in rainfed conditions. *Scientia*
 546 *Horticulturae*, 256, 108658. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108658>
- 547 Rodrigues, M. Â., Pavão, F., Lopes, J. I., Gomes, V., Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J.,
 548 Correia, C. M. 2011. Olive yields and tree nutritional status during a four-year period

- 549 without nitrogen and boron fertilization. *Communications in Soil Science and Plant*
 550 *Analysis*, 42(7), 803-814. Doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.552656>
- 551 Rohi Vishekaii, Z., Soleimani, A., Hasani, A., Ghasemnezhad, M., Rezaei, K., Kalanaky, S.
 552 2021. Nano-chelated nitrogen fertilizer as a new replacement for urea to improve olive
 553 oil quality. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(2), 191-
 554 201. Doi: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.295041.332>
- 555 Salvador, M. D., Aranda, F., Fregapane, G. 2001. Influence of fruit ripening on
 556 ‘Cornicabra’ virgin olive oil quality a study of four successive crop seasons. *Food*
 557 *Chemistry*, 73(1), 45-53. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00276-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00276-4)
- 558 Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C. B., Sigsgaard, T. 2018. Nitrate in
 559 drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort
 560 study. *International journal of cancer*, 143(1), 73-79. Doi:
 561 <https://doi.org/10.1002/ijc.31306>
- 562 Silva, E., Gonçalves, A., Martins, S., Pinto, L., Rocha, L., Ferreira, H., Moutinho-Pereira, J.,
 563 Rodrigues, M.A., Correia, C. M. 2023. Moderate Nitrogen Rates Applied to a Rainfed
 564 Olive Grove Seem to Provide an Interesting Balance between Variables Associated with
 565 Olive and Oil Quality. *Horticulturae*, 9(1), 110. Doi:
 566 <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010110>
- 567 Singer, S. D., Zou, J., Weselake, R. J. 2016. Abiotic factors influence plant storage lipid
 568 accumulation and composition. *Plant Science*, 243, 1-9. Doi:
 569 <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.11.003>
- 570 Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. 1999. [14] Analysis of total phenols
 571 and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent.

- 572 *In Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press. Doi:
 573 [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- 574 Soil Survey Staff. 2022. Keys to Soil Taxonomy, 13th ed. USDA-Natural Resources
 575 Conservation Service.
- 576 Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal,
 577 888p.
- 578 Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., Volkweiss, S. J. 1995. Análises de
 579 solo, plantas e outros materiais, 174p.
- 580 Tekaya, M., El-Gharbi, S., Mechri, B., Chehab, H., Bchir, A., Chraief, I., Ayachi, M.,
 581 Boujnah, D., Attia, F., Hammami, M. 2016. Improving performance of olive trees by
 582 the enhancement of key physiological parameters of olive leaves in response to foliar
 583 fertilization. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-12. Doi:
 584 <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2122-x>
- 585 Tiecher, T. L., Vieira, F. C. B., Nava, G., Benati, J. A., Navroski, R., Barreto, C. F., Costa,
 586 V. B., Costa, E., Schneider, A., Carlotto, F., Dornelles, E. L. B., Tiecher, T. 2022.
 587 Calagem, adubação e valores de referência de nutrientes em folhas de oliveira. In: Hahn,
 588 L., Brunetto, G. Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas, 289-306p.
- 589 Yang, X., Zhang, P., Li, W., Hu, C., Zhang, X., He, P. 2018. Evaluation of four seagrass
 590 species as early warning indicators for nitrogen overloading: Implications for eutrophic
 591 evaluation and ecosystem management. *Science of the Total Environment*, 635, 1132-
 592 1143. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.227>

- 593 Ye, T., Zhang, J., Li, J., Lu, J., Ren, T., Cong, R., Lu, Z., Li, X. 2021. Nitrogen/potassium
594 interactions increase rice yield by improving canopy performance. Food and Energy
595 Security, 10(3), 295. Doi: <https://doi.org/10.1002/fes3.295>
- 596 Youssef, N. B., Zarrouk, W., Carrasco-Pancorbo, A., Ouni, Y., Segura-Carretero, A.,
597 Fernández-Gutiérrez, A., Daoud, D., Zarrouk, M. 2010. Effect of olive ripeness on
598 chemical properties and phenolic composition of chétoui virgin olive oil. Journal of the
599 Science of Food and Agriculture, 90(2), 199-204. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3784>
- 600 Zipori, I., Erel, R., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Dag, A. 2020. Sustainable management of
601 olive orchard nutrition: A review. Agriculture, 10(1), 11. Doi:
602 <https://doi.org/10.3390/agriculture10010011>

12.4 Artigo 4

Adubação potássica na produção, estado nutricional e qualidade do azeite de oliveiras

‘Koroneiki’

**Potassium fertilization in the production, nutritional status and quality of 'Koroneiki'
olive oil**

**Artigo formatado nas normas da Scientia Horticulturae (ISSN 0304-4238)*

Resumo: O potássio (K) é um dos minerais mais importantes na nutrição de oliveiras, devido à alta extração deste nutriente por meio da colheita. Portanto, uma fertilização potássica adequada é essencial para olivais de alta produtividade. Para as condições de cultivo do sul do Brasil, são escassas as informações sobre o manejo da adubação potássica em oliveiras. O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da adubação potássica sobre a nutrição, desempenho produtivo e na qualidade do azeite de oliveiras ‘Koroneiki’. O experimento foi realizado durante cinco ciclos produtivos e os tratamentos foram as doses de: 0; 30; 60; 90 e 120 kg K₂O ha⁻¹. Foram avaliados os nutrientes no solo e folhas, a produtividade, massa média dos frutos, eficiência produtiva e parâmetros de qualidade do azeite. A aplicação de K elevou significativamente a disponibilidade deste nutriente nas camadas de solo analisadas desde a primeira aplicação. À medida que a disponibilidade de K aumentou, houve maior absorção deste nutriente e de cálcio (Ca), em contrapartida os teores foliares de magnésio (Mg) reduziram. A adubação potássica aumentou a produtividade e elevou o rendimento, índice de peróxidos e capacidade antioxidante do azeite. Compostos fenólicos totais (CFT) reduziram de acordo com o aumento das doses de K. Altas doses de K apresentaram efeito negativo sobre a capacidade antioxidante e CFT.

25 Palavras-chave: *Olea europaea* L., fertilização, nutrição de plantas, produtividade.

26

27 Abstract: Potassium (K) is one of the most important minerals in olive trees' nutrition, due to
28 the high extraction of this nutrient through the harvest. Therefore, adequate potassium
29 fertilization is essential for high-productivity olive groves. For the growing conditions in
30 southern Brazil, there is scarce information on the management of potassium fertilization in
31 olive trees. The objective of this work was to analyze the effect of potassium fertilization on
32 the nutrition, productive performance, and quality of 'Koroneiki' olive oil. The experiment
33 was carried out during five productive cycles and the treatments were the doses of 0; 30; 60;
34 90 and 120 kg K₂O ha⁻¹. Nutrients in the soil and leaves, productivity, average fruit mass,
35 productive efficiency, and olive oil quality parameters were evaluated. The application of K
36 significantly increased the availability of this nutrient in the soil layers analyzed since the first
37 application. As the availability of K increased, there was greater absorption of this nutrient
38 and calcium (Ca), however, the leaf levels of magnesium (Mg) reduced. Potassium
39 fertilization increased productivity and increased yield, peroxide index, and antioxidant
40 capacity of olive oil. Total phenolic compounds (TFC) decreased with increasing K doses.
41 High K doses evidenced a negative effect on antioxidant capacity and TFC.

42 Keywords: *Olea europaea* L., fertilization, plant nutrition, productivity.

43 1. Introdução

44 O consumo mundial de azeite aumentou 63% nos últimos 26 anos, devido ao seu
45 elevado valor nutricional e benefícios associados à saúde (IOC, 2020). Acompanhando o
46 aumento global no consumo de azeite, elevar a produção deste produto tornou-se uma questão
47 de foco para pesquisadores e produtores, principalmente em locais onde o cultivo não é

48 tradicional (Tanasijevic et al., 2014; Wrege et al., 2015). No Brasil, principalmente nos
49 Estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais (Martins et al., 2014; Wrege et al., 2015), tem-
50 se investido nesse cultivo, no intuito de suprir as necessidades do consumo interno, uma vez
51 que o país se destaca como um dos principais importadores mundiais de azeite e azeitona
52 (IOC, 2020).

53 A fertilização com K é uma prática comum no cultivo da oliveira (Zörb et al.,
54 2014). Geralmente, as plantas requerem quantidades significativas de K, em virtude deste
55 nutriente participar em vários processos fisiológicos vitais, como: ativador de dezenas de
56 enzimas importantes, síntese de proteínas, transporte de açúcar, metabolismo de N e C e
57 fotossíntese, sendo conhecido por influenciar vários aspectos da qualidade do fruto e do azeite
58 (Rosati et al., 2015; Chatzistathis et al., 2020). O K desempenha funções fundamentais no
59 processo de osmorregulação e é considerado importante para a tolerância da planta à estresses
60 abióticos, como: seca, salinidade e radiação (Taiz et al., 2017). Também encontra-se
61 relacionado com os processos de floração, de crescimento da azeitona e de formação e
62 rendimento de azeite (Fernández-Escobar, 2017).

63 A deficiência de K nas plantas pode afetar processos metabólicos e comprometer a
64 produtividade e o rendimento de azeite, em virtude de plantas com deficiência de K perderem
65 água mais facilmente do que as plantas bem nutridas (Marschner, 2012; Taiz et al., 2017). Na
66 oliveira, a condutância estomática sob condições de baixa disponibilidade hídrica é maior em
67 plantas com deficiência de K, evidenciando a menor eficiência no uso de água (Arquero et
68 al., 2006; Benlloch-González et al., 2008; Fernández-Escobar, 2019).

69 A deficiência de K representa o principal distúrbio nutricional em oliveiras cultivadas,
70 devido à sua interação com a escassez de água. O K no solo está diretamente ligado à

capacidade de troca de cátions. Sua disponibilidade depende da presença de água, visto que mais de 70% do suprimento de K para as plantas é suprido via difusão (Marschner, 2012; Fernández-Escobar, 2019). Apesar disso, em condições de solos ácidos como os encontrados no Brasil, em geral a elevada aplicação de fertilizantes corretivos de acidez, aumenta a disponibilidade de Ca e Mg no solo, podendo ocasionar desequilíbrio nas relações de cátions K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e, conseqüentemente, reduzir a absorção de K pelas plantas.

A maior parte do K no solo (90-98%) está incorporada na estrutura cristalina dos minerais e, portanto, não está diretamente disponível para absorção pelas plantas. A disponibilidade de K difere muito com o tipo de solo e é afetada pelas propriedades físico-químicas do solo (Zörb et al., 2014). Em muitos casos, o solo não possui a capacidade de suprir as quantidades de K requerido pelas plantas e, em aplicações de K aquém do necessário no contexto de fertilização, pode resultar em um esgotamento significativo das reservas disponíveis de K no solo e, portanto, na diminuição da fertilidade do solo (Zörb et al., 2014).

O K no solo é classificado em quatro grupos, dependendo de sua disponibilidade para as plantas: solúvel em água, trocável, não trocável e formas estruturais. K solúvel em água está diretamente disponível para plantas. O K trocável é ligado eletrostaticamente como um complexo de esfera externa às superfícies de minerais argilosos e substâncias húmicas (Barré et al., 2008; Zörb et al., 2014; Ernani, 2016). Ambas as frações são frequentemente consideradas facilmente disponíveis para as culturas. No entanto, o tamanho de ambos os compartimentos é muito pequeno, compondo apenas aproximadamente de 0,1–0,2% e 1–2% do K total no solo, respectivamente (Zörb et al., 2014).

As formas não trocáveis e estruturais são consideradas fontes de K lentamente ou não disponíveis para as plantas. No entanto, esses reservatórios também podem contribuir a longo

prazo. A maior parte do K no solo está na forma estrutural, composta principalmente por minerais primários portadores de K, como moscovita, biotita e feldspatos. Com o intemperismo o K estrutural pode liberar K para a solução do solo, entretanto, ressalta-se que esse processo é lento e incapaz de suprir as necessidades das culturas (Zörb et al., 2014; Ernani, 2016; Biliás & Barbayiannis, 2018).

Uma ferramenta de auxílio no manejo nutricional da cultura é a análise química foliar, e quando usada corretamente, pode ser eficaz para o planejamento e monitoramento operacional a projetos de fertilização para culturas perenes. A análise foliar se justifica por ser de baixo custo e eficiente em fornecer o estado nutricional da planta (Parent, 2011; Gott et al., 2014). Para a interpretação da análise foliar, um dos métodos mais utilizados têm sido o nível crítico (NC), onde este método consiste em modelos matemáticos para estabelecer os teores foliares de nutrientes que permitem a produção de uma determinada fração (90, 95 ou 99 %) de rendimento máximo (Gott et al., 2014; Dezordi et al., 2016).

As informações sobre a resposta da oliveira à fertilização com K são bastante diversas. Por um lado, as concentrações de K no fruto e no material podado são altas e, conseqüentemente, a absorção anual de K é maior do que para qualquer outro nutriente. Por outro lado, muitos estudos não encontraram nenhuma resposta de crescimento vegetativo ou rendimento à fertilização com K, embora as concentrações foliares de K aumentassem com o aumento dos níveis de K (Restrepo-Dias et al., 2008; Erel et al., 2013; Zipori et al., 2020). Em estudo realizado ao longo de 6 anos descrito por Haberman et al. (2019), não houve diferença no desenvolvimento vegetativo entre árvores não adubadas com K e árvores adubadas com 300 kg K₂O ha⁻¹ anualmente, no entanto, o rendimento foi significativamente

maior nas árvores fertilizadas, resultado de uma floração mais intensa e maior número de frutos por árvore.

Devido às contrastantes informações sobre a adubação potássica na cultura da oliveira obtidos através de estudos realizados em diferentes locais do mundo, evidencia-se a importância de se investigar os efeitos do aporte deste nutriente em oliveiras, especialmente nos novos locais de cultivo. Deste modo, o presente estudo objetivou estabelecer o nível crítico de K, avaliar as respostas na nutrição das plantas, produtividade e aspectos qualitativos do azeite em oliveiras ‘Koroneiki’ submetidas a adubação potássica.

2. Material e métodos

2.1 Descrição do experimento e caracterização do solo

O estudo foi realizado no município de Canguçu, Estado do Rio Grande do Sul (30°94’55” S, 52°71’16” W - 294 m de altitude). O clima é subtropical úmido (Cfa), ou seja, temperado úmido com verões quentes (Alvares et al., 2013). A região apresenta temperatura e precipitação médias anuais de 18 °C e 1.509 mm, respectivamente, com umidade relativa média de 78,8%. Os dados mensais de precipitação e temperatura média durante o experimento são apresentados na Figura 1.

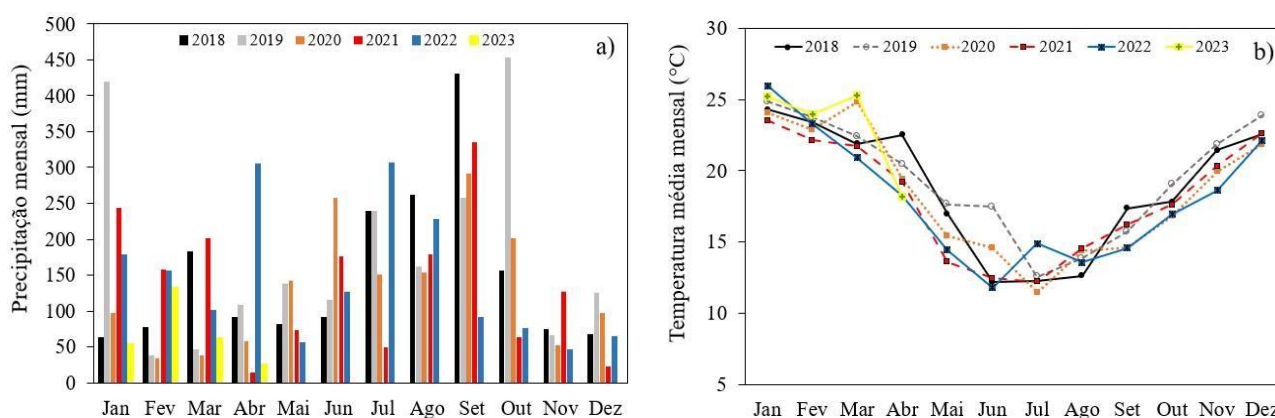


Figura 1. Precipitação total mensal (mm) (a) e temperatura média do ar mensal (°C) (b) de janeiro de 2018 até abril de 2023. Canguçu – RS (Agritempo, 2023).

O solo é classificado como argissolo (Ultisols de acordo com Soil Survey Staff, 2022).

Em julho de 2018, antes da implantação do experimento, amostras de solos foram coletadas na camada de 0 – 20 cm. O solo foi seco ao ar, peneirado e preparado para a análise química (Tedesco et al., 1995). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo do experimento, na camada de 0–20 cm, na área experimental, Canguçu, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil.

Características	Camada 0 – 20 cm
Argila (g kg^{-1}) ¹	160,0
Matéria orgânica (g kg^{-1}) ¹	16,0
pH em água ²	6,4
Fósforo (mg dm^{-3}) ²	97,3
Potássio (mg dm^{-3}) ²	115,0
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	3,5
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	1,2
Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ²	0,0
CEC pH7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	6,7

⁽¹⁾ Distribuição de tamanho de partícula determinada pelo método da pipeta e matéria orgânica (MOS), oxidado por uma solução sulfocrômica de acordo com os métodos descritos por Tedesco et al. (1995). ⁽²⁾ Caracterização química de acordo com os métodos descritos em Tedesco et al. (1995); pH na proporção 1:1; fósforo (P) e K extraído por Mehlich-1; Ca, Mg e alumínio (Al) trocáveis, extraído por $1,0 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl}$.

O experimento foi conduzido em uma área que, anteriormente a implantação do olival, caracterizava-se como campo nativo. Previamente ao plantio das mudas foi realizado a calagem do solo e correções dos níveis de P e K. O olival foi implantado em dezembro de 2012 com mudas da cultivar ‘Koroneiki’ e uma densidade de $357 \text{ plantas ha}^{-1}$ ($7 \times 4 \text{ m}$).

O experimento foi instalado em outubro de 2018 e os tratamentos consistiram em doses de 0, 30, 60, 90 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$. A fonte de K foi o cloreto de potássio (KCl) (60 % de

151 K₂O). As doses foram aplicadas anualmente na superfície do solo, sem incorporação, em um
152 alcance de 2 m de largura e 4 m de comprimento, centralizado próximo à linha de plantio. As
153 doses de K foram fracionadas em duas aplicações, metade na plena floração (segunda
154 quinzena de setembro) e metade no endurecimento do caroço (primeira quinzena de janeiro).
155 Todas as parcelas receberam doses iguais de 60 kg N ha⁻¹ parceladas em duas aplicações
156 realizada juntamente com a adubação potássica e, não houve necessidade de realizar a
157 adubação fosfatada (CQFS-RS/SC, 2016). O delineamento experimental foi em blocos
158 casualizados com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por três plantas,
159 sendo utilizada somente a central para fins de avaliação.

160 **2.2 Amostragem de solo, folhas e frutos e análises químicas**

161 Em abril de 2019, 2021, 2022 e 2023, após a colheita, dez subamostras de solo foram
162 coletadas em cada parcela, separadas para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, e misturadas para
163 obter uma amostra composta. A coleta das subamostras foram realizadas próximo à projeção
164 da copa, na área onde realizou-se a aplicação de K. O solo foi seco ao ar, peneirado em
165 peneira com malha de 2 mm e submetido a análise química. O teor de K foi determinado por
166 fotometria de chama (Tedesco et al. 1995). Os resultados das análises de solo foram
167 seccionados para as camadas 0 -10, 10 – 20 cm e calculada a média ponderada de 0 – 20 cm.

168 Em janeiro de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 folhas foram coletadas na porção
169 mediana de ramos de crescimento do ano e situados na altura média da planta. As folhas foram
170 secadas em estufa a 65° C, até atingirem massa constante e, em seguida, foram moídas.
171 Subamostras de 0,5 g foram submetidas à digestão ácida nitroperclórica com HClO₄ (1,0 mL)
172 + HNO₃ (6,0 mL) a 210 °C, em bloco digestor. No extrato foram determinadas as
173 concentrações de P por espectrofotometria UV (método vanadato-molibdato) e K, Ca e Mg

174 por espectrometria de absorção atômica em chama (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 200, EUA).
175 O N foi determinado pelo método de combustão em Analisador Elementar TruSpec CHN-S
176 da marca LECO®, no qual o N é quantificado com auxílio de uma célula de condutividade
177 térmica e os resultados são expressos em percentagem de N.

178 Em 2019, 2021 e 2022, uma amostra da pasta de azeitona foi retirada após o
179 esmagamento das azeitonas e antes da extração do azeite. A amostra foi seca à 65 °C até a
180 estabilização do peso e analisada quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg e B (Tedesco et al.,
181 1995).

182 **2.3 Produtividade e eficiência produtiva**

183 Nos ciclos produtivos (2019, 2020, 2021, 2022 e 2023), a colheita de azeitonas foi
184 realizada em uma única etapa considerando o índice de maturação dos frutos, seguindo o
185 estágio de maturação utilizado nos pomares comerciais. Os frutos foram pesados em balança
186 digital para fins de determinação da produtividade. Cinquenta azeitonas por parcela foram
187 pesadas para determinação da massa média dos frutos (gramas). Para estimativa da eficiência
188 produtiva, mensurou-se a circunferência do tronco das plantas à 0,5 m de altura em relação
189 ao solo e calculou-se a produtividade por cm² de tronco (kg cm⁻²).

190 **2.4 Extração do azeite e parâmetros de qualidade**

191 Amostras de 2,0 kg de azeitonas foram coletadas, removidas impurezas e frutos
192 danificados e moídas em moinho de bancada. Após a moagem, amostras de 1,4 kg da pasta
193 de azeitona foram colocadas em recipientes e realizada a malaxagem por 30 minutos sob a
194 temperatura de 26 °C e, em seguida, a pasta de azeitona foi centrifugada em 3000 rpm durante
195 2 minutos. O extrato líquido foi posto em proveta graduada onde aferiu-se a quantidade de

196 azeite após 30 min de decantação, a seguir o azeite foi filtrado e armazenado em recipiente
197 âmbar com batoque e tampa. O rendimento de azeite foi calculado através da equação:

198
$$\text{Rend. de azeite (\%)} = [(\text{ml de azeite extraído} \times 0,915) / \text{massa da pasta de azeitona}] \times 100$$

199 As determinações dos parâmetros de qualidade seguiram os métodos oficiais sugeridos
200 pela União Européia (2022). Cada procedimento é descrito brevemente abaixo.

201 Quantificação do teor de ácidos graxos livres (acidez livre): Pesaram-se
202 aproximadamente 2 g da amostra lipídica em um frasco Erlenmeyer. Uma quantidade de 50
203 mL de uma solução de éter etílico/etanol (1:1) foi adicionada e agitada. Adicionou-se duas
204 gotas de solução de fenolftaleína (1%, p/v) e titulou-se com hidróxido de potássio 0,0095
205 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (previamente padronizado) até que o aparecimento de coloração rosa persistisse por
206 pelo menos 10 s. O mesmo procedimento foi realizado para o branco. O teor de ácidos graxos
207 livres foi calculado tendo como referência a massa de ácido oleico. Os resultados obtidos
208 foram expressos em porcentagem de ácido oleico (%).

209 Índice de peróxido: Aproximadamente 2 g da amostra lipídica foram pesados em um
210 Erlenmeyer com tampa. Uma quantidade de 10 mL de clorofórmio foi adicionada e a amostra
211 foi solubilizada. Foram adicionados 15 mL de ácido acético e 1 mL de solução saturada de
212 iodeto de potássio (12,8 g de iodeto de potássio em 10 mL de água destilada). O Erlenmeyer
213 foi rapidamente agitado e mantido no escuro por 1 min. Em seguida, foram adicionados 50
214 mL de água destilada e 1 mL de solução aquosa de amido (1%, p/v). A titulação foi realizada
215 com tiosulfato de sódio 0,01 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (previamente padronizado) até o desaparecimento da
216 coloração azul escura. Um teste em branco foi realizado da mesma forma que para as
217 amostras. O índice de peróxido foi expresso em miliequivalentes de oxigênio ativo por
218 quilograma de óleo ($\text{meq O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$).

219 Coeficientes de extinção específicos do ultravioleta: Após diferentes diluições das
220 amostras lipídicas com ciclohexano e sua completa homogeneização, suas absorbâncias foram
221 lidas nos comprimentos de onda de 232 nm (K_{232}) e 270 nm (K_{270}). As diluições foram
222 testadas e realizadas de forma que a leitura da absorbância não ultrapassasse o limite de
223 detecção do espectrofotômetro utilizado.

224 Nos ciclos de 2021 e 2022, foram quantificados os compostos fenólicos totais (CFT) e
225 a capacidade antioxidante pelo método ORAC (Capacidade de Absorção do Radical de
226 Oxigênio), que avalia a capacidade de desativação do radical peroxil.

227 Preparação dos extratos polares para determinação de CFT e capacidade antioxidante:
228 Os extratos polares das amostras lipídicas foram preparados seguindo o estudo de Nakbi et
229 al. (2010). Um total de 2,5 g de amostra foi pesado em um tubo de centrífuga e,
230 posteriormente, 5,0 mL de hexano p.a. e 5,0 mL de metanol:água (60:40, v/v) foram
231 adicionados. A mistura foi agitada por 2 min e depois centrifugada por 5 min a $3000 \times g$. A
232 fase inferior foi separada e armazenada em frascos para posteriormente ser submetida às
233 determinações de CFT e capacidade antioxidante pelo método ORAC.

234 Compostos fenólicos totais: O teor de CFT foi determinado pelo método do reagente
235 Folin-Ciocalteu de acordo com o procedimento descrito por Singleton et al. (1999). Neste
236 procedimento, 0,5 mL de extrato polar de azeite foi misturado com 2,5 mL de reagente Folin-
237 Ciocalteu (diluído 1:10 em água ultrapura) e foi então reservado por 5 min. Em seguida, foram
238 adicionados 2 mL de carbonato de sódio 7,5% e os tubos foram incubados no escuro por 2
239 horas. Posteriormente, a absorbância a 765 nm foi medida. Os resultados quantitativos foram
240 calculados usando uma curva analítica de ácido gálico e foram expressos em mg de
241 equivalente de ácido gálico por kg de amostra de óleo (mg EAG kg^{-1}). A curva de calibração

242 foi construída com 10 pontos equidistantes com concentração de ácido gálico variando de 10
243 a 100 mg·L⁻¹ ($r^2 = 0,9831$).

244 A capacidade antioxidante foi determinada seguindo o método apresentado por Ou et
245 al. (2001) e modificado por Dávalos et al. (2004). O reagente dicloridrato de 2,20-azobis(2-
246 amidinopropano (AAPH) (0,412 g) foi completamente dissolvido em 10 mL de tampão
247 fosfato 75 mmol·L⁻¹ (pH 7,4), resultando em uma concentração final de 152 mmol·L⁻¹. Uma
248 solução de trabalho de fluoresceína (81 nmol·L⁻¹) foi preparada minutos antes da análise,
249 diluindo a solução estoque com tampão fosfato 75 mmol·L⁻¹ (pH 7,4). A reação foi baseada
250 em uma mistura de 25 µL de extratos polares e 150 µL de solução de trabalho de fluoresceína
251 em uma microplaca de polipropileno de 96 poços. Em seguida, a microplaca foi colocada em
252 uma leitora de microplacas e incubada por 10 min a 37 °C. Em seguida, foram adicionados
253 25 µL do radical AAPH. A fluorescência foi registrada a cada minuto durante 90 min. Os
254 resultados obtidos foram utilizados para calcular a área sob a curva das amostras e do branco,
255 fazendo a diferença entre os dois. A curva foi construída com oito pontos equidistantes em
256 diferentes concentrações de Trolox (de 7,99 a 63,93 µmol·L⁻¹, $r^2 = 0,9735$). A área sob a
257 curva foi utilizada para quantificar a capacidade antioxidante das amostras, e os resultados
258 obtidos foram expressos em mmol equivalente de Trolox por kg de amostra (mmol TE.kg⁻¹).

259 2.5 Análise estatística

260 Os dados foram testados para distribuição de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk
261 e submetidos à análise de variância (ANOVA), quando significativo pelo teste $F \leq 0,05$, as
262 doses médias foram ajustadas por regressões polinomiais para determinar os efeitos das doses
263 de K. O rendimento relativo (rr) foi calculado usando a equação $rr = (rt / rm) * 100$, onde rt é
264 o rendimento do tratamento e rm é o rendimento máximo. Os resultados de rr foram

relacionados com o teor de K foliar e com o teor de K disponível no solo, para se obter um nível suficiente de rr de 95% (nível crítico). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019).

3. Resultados

3.1 Nutrientes no solo, folhas e azeitonas

Os níveis de K no solo aumentaram linearmente com o aumento das doses de K aplicadas nos respectivos ciclos de avaliação (Tabela 2).

Tabela 2. Níveis de potássio (K), disponíveis nas camadas 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e na média ponderada (0 a 20 cm de solo) em resposta à aplicação de doses crescentes de K₂O (kg ha⁻¹) no solo em 2019, 2021, 2022 e 2023.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Teor de K trocável no solo (mg kg ⁻¹)					
	(0-10)	(10-20)	(0-20)	(0-10)	(10-20)	(0-20)
	-----2019-----			-----2021-----		
0	109,7	105,2	107,5	111,1	103,7	107,4
30	122,5	116,2	119,3	126,2	125,8	126,0
60	146,0	109,5	127,7	135,1	132,0	133,5
90	144,5	121,2	132,8	153,9	147,2	150,8
120	158,7	143,2	151,0	175,3	171,0	173,1
CV (%)	8,2	9,8	6,6	14,3	14,4	11,9
Linear	*(1)	*(2)	*(3)	*(4)	*(5)	*(6)
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	-----2022-----			-----2023-----		
0	102,5	105,5	104,0	117,7	96,7	107,2
30	131,7	130,0	130,8	153,5	123,2	138,3
60	150,0	136,0	143,2	216,0	146,2	181,1
90	159,2	157,5	158,2	222,2	185,7	204,0
120	189,7	184,7	187,2	258,7	233,5	246,1

CV (%)	12,4	11,9	11,6	13,7	14,1	12,5
Linear	*(7)	*(8)	*(9)	*(10)	*(11)	*(12)
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns

275 $^{(1)}y = 0,4x + 112,28$ ($R^2 = 0,9224$); $^{(2)}y = 0,27x + 102,86$ ($R^2 = 0,7464$); $^{(3)}y = 0,335x + 107,56$ ($R^2 = 0,9642$); $^{(4)}y = 0,5203x$
 276 $+ 109,1$ ($R^2 = 0,9792$); $^{(5)}y = 0,52x + 104,74$ ($R^2 = 0,9681$); $^{(6)}y = 0,5207x + 106,92$ ($R^2 = 0,9774$); $^{(7)}y = 0,673x + 106,24$
 277 ($R^2 = 0,9718$); $^{(8)}y = 0,6197x + 105,56$ ($R^2 = 0,9672$); $^{(9)}y = 0,646x + 105,92$ ($R^2 = 0,978$); $^{(10)}y = 1,169x + 123,48$ ($R^2 =$
 278 $0,9515$); $^{(11)}y = 1,1203x + 89,84$ ($R^2 = 0,9763$); $^{(12)}y = 1,1447x + 106,67$ ($R^2 = 0,9935$); ns = não significativo ($F \leq 0,05$);
 279 * = significativo ($F \leq 0,05$).

280 Os teores de N e P, em folhas, em todos os anos não foram afetados pela aplicação de
 281 doses de K_2O (Tabela 3). Em 2019 também não houve efeito dos tratamentos sobre os teores
 282 foliares de K. Entretanto, em 2020 verificou-se aumento linear nos teores foliares de K e na
 283 safra de 2021 ocorreu efeito quadrático, sendo o teor máximo de $14,7 \text{ g K kg}^{-1}$ atingido com
 284 a dose de $73,9 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$.

285 Os teores foliares de Ca (Tabela 3) no ano de 2019 foram incrementados pelas doses
 286 de K_2O aplicadas sobre o solo, apresentando teores máximos de $24,7 \text{ g Ca kg}^{-1}$ com $32,6 \text{ kg}$
 287 de $K_2O \text{ ha}^{-1}$. Em 2020 foi $12,0 \text{ g Ca kg}^{-1}$ com $63,3 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$ e, em 2021 obteve-se
 288 composição foliar máxima de $15,3 \text{ g Ca kg}^{-1}$ com $80,0 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$. Nos ciclos produtivos
 289 de 2022 e 2023 houve redução linear nos teores foliares de Ca.

290 Os teores foliares de Mg, em 2019 não foram alterados pelas aplicações das doses de
 291 K (Tabela 3). Entretanto, em 2020, a adição de K_2O no solo interferiu na absorção de Mg,
 292 obtendo o máximo de $1,5 \text{ g Mg kg}^{-1}$ com $43,3 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$. No ciclo de 2021, 2022 e 2023,
 293 houve decréscimo linear da composição de Mg foliar conforme o aumento das doses de K
 294 aplicadas sobre o solo.

295 **Tabela 3.** Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)
 296 em folhas de oliveira ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) em resposta à aplicação de doses

297 crescentes de K₂O (kg ha⁻¹) aplicados sobre a superfície do solo, 2019, 2020, 2021, 2022 e
 298 2023.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Teor mineral foliar (g kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
-----2019-----					
0	7,7	1,4	10,5	24,5	1,3
30	9,9	1,3	10,9	23,6	1,4
60	10,8	1,4	10,7	22,4	1,5
90	9,6	1,5	10,8	24,7	1,6
120	9,8	1,2	9,5	15,7	1,0
CV	13,6	11,1	6,3	13,6	18,1
Linear	ns	ns	ns	*	ns
Quadrática	ns	ns	ns	*(1)	ns
-----2020-----					
0	7,4	2,7	15,2	8,4	1,3
30	9,3	2,7	15,4	12,4	1,5
60	10,5	2,5	16,7	11,0	1,3
90	10,2	2,7	19,3	11,4	1,4
120	9,7	2,5	22,0	9,4	1,1
CV (%)	15,2	7,1	7,1	10,9	12,3
Linear	ns	ns	*(2)	ns	ns
Quadrática	ns	ns	*	*(3)	*(4)
-----2021-----					
0	16,6	1,8	9,6	11,3	1,0
30	16,1	1,5	12,2	12,3	0,9
60	16,9	1,6	13,9	15,3	0,9
90	15,5	1,6	15,5	15,5	0,8
120	16,4	1,7	11,7	13,2	0,7
CV (%)	8,7	10,3	9,7	11,5	14,5
Linear	ns	ns	*	*	*(7)

Quadrática	ns	ns	*(5)	*(6)	ns
-----2022-----					
0	16,2	2,2	17,1	13,6	2,3
30	17,0	2,2	18,7	10,8	2,1
60	16,2	2,2	19,7	9,3	1,8
90	15,2	2,1	20,1	7,8	1,6
120	15,1	2,3	19,9	8,9	1,5
CV (%)	9,9	15,0	8,5	17,3	12,1
Linear	ns	ns	ns	*(8)	*(9)
Quadrática	ns	ns	ns	*	ns
-----2023-----					
0	12,7	1,8	13,2	10,7	1,4
30	11,2	1,9	12,7	9,5	1,2
60	11,5	2,0	14,2	9,7	1,2
90	12,0	2,0	13,7	9,5	1,2
120	12,2	1,8	14,5	8,2	1,0
CV (%)	7,7	7,7	8,2	9,2	11,6
Linear	ns	ns	ns	*(10)	*(11)
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns

299 $^{(1)}y = -0,001x^2 + 0,0653x + 23,716$ ($R^2 = 0,6951$); $^{(2)}y = 0,0587x + 14,212$ ($R^2 = 0,9149$); $^{(3)}y = -0,0008x^2 + 0,1013x +$
 300 $8,8534$ ($R^2 = 0,7396$); $^{(4)}y = -6E-05x^2 + 0,0052x + 1,3743$ ($R^2 = 0,6694$); $^{(5)}y = -0,001x^2 + 0,1478x + 9,3054$ ($R^2 = 0,8661$);
 301 $^{(6)}y = -0,0007x^2 + 0,1121x + 10,845$ ($R^2 = 0,8153$); $^{(7)}y = -0,0024x + 1,018$ ($R^2 = 0,9537$); $^{(8)}y = -0,0414x + 12,592$ ($R^2 =$
 302 $0,7736$); $^{(9)}y = -0,0072x + 2,318$ ($R^2 = 0,9727$); $^{(10)}y = -0,0167x + 10,55$ ($R^2 = 0,7874$); $^{(11)}y = -0,0031x + 1,406$ ($R^2 =$
 303 $0,8195$); ns = não significativo ($F \leq 0,05$); * = significativo ($F \leq 0,05$).

304 Independentemente do ano, os teores de N, K, Mg e B presentes nos frutos não
 305 diferiram significativamente em função das doses de K. Contudo para o P, houve redução
 306 linear nos ciclos produtivos avaliados. No ciclo de 2022 também ocorreu efeito quadrático
 307 para os teores de Ca, atingindo $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ com a dose de $51 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) em azeitonas ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) submetidas a diferentes doses de K₂O (kg ha⁻¹) aplicadas na superfície do solo.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Teor mineral nos frutos					
	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
-----2019-----						
0	6,6	1,9	14,2	2,7	0,6	11,5
30	6,5	1,8	13,9	3,1	0,5	13,6
60	6,8	1,8	14,3	2,7	0,5	14,3
90	7,0	1,7	14,5	2,3	0,5	16,1
120	6,8	1,7	15,3	2,1	0,6	13,7
CV (%)	12,5	3,8	10,2	18,4	17,6	13,8
Linear	ns	*(1)	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns
-----2021-----						
0	7,6	2,0	13,6	2,6	0,5	11,6
30	7,6	1,8	13,6	2,8	0,4	12,4
60	7,6	1,8	13,4	2,6	0,5	14,0
90	7,4	1,7	14,0	2,3	0,5	13,4
120	8,0	1,7	15,1	2,0	0,5	13,3
CV (%)	4,7	4,0	9,8	19,3	19,9	11,4
Linear	ns	*(2)	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns
-----2022-----						
0	11,8	1,9	14,7	2,3	0,6	13,1
30	11,1	1,8	14,3	3,3	0,6	12,5
60	10,3	1,8	15,1	2,9	0,6	12,3
90	10,3	1,7	14,9	2,3	0,6	11,0
120	10,1	1,7	15,4	2,1	0,6	12,2

CV (%)	10,0	4,8	11,1	14,1	15,8	9,2
Linear	ns	*(3)	ns	*	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	*(4)	ns	ns

311 ⁽¹⁾y = -0,0016x + 1,898 (R² = 0,9235); ⁽²⁾y = -0,0022x + 1,954 (R² = 0,8804); ⁽³⁾y = -0,002x + 1,928 (R² = 0,885); ⁽⁴⁾y = -
312 0,0002x² + 0,0204x + 2,4786 (R² = 0,6438). ns = não significativo (F ≤ 0,05); * = significativo (F ≤ 0,05). Teor médio de
313 massa seca do fruto: 2019 = 38,1 %, 2021 = 41,4 % e 2022 = 44,8 %.

314 3.2 Produtividade e eficiência produtiva

315 A produtividade, massa média dos frutos, perímetro do tronco e eficiência produtiva
316 não foram afetadas pelas doses de K₂O aplicadas no solo nos ciclos de 2019, 2020 e 2023
317 (Tabela 5). Em 2021, terceiro ciclo produtivo de avaliação, a produtividade e a eficiência
318 produtiva sofreram acréscimo de acordo com a adubação potássica. Para a produtividade
319 houve ponto de máxima em 2,7 Mg ha⁻¹ na dose de 108,5 kg de K₂O ha⁻¹. A eficiência
320 produtiva máxima observada foi 0,061 kg cm⁻² de tronco com aplicação de 70 kg de K₂O ha⁻¹.
321 Para o ciclo produtivo de 2022, houve acréscimo linear na produtividade e eficiência
322 produtiva. Em 2023 apenas a eficiência produtiva diferiu significativamente, atingindo 0,111
323 kg cm⁻² de tronco com aplicação de 50 kg de K₂O ha⁻¹.

324 **Tabela 5.** Produtividade (Mg ha⁻¹), massa média dos frutos (g fruto⁻¹), perímetro de tronco
325 (cm) e eficiência produtiva (kg cm⁻² de tronco) de plantas de oliveiras ‘Koroneiki’ em resposta
326 à aplicação de doses crescentes de K₂O (kg ha⁻¹) aplicados sobre a superfície do solo, 2019,
327 2020, 2021, 2022 e 2023.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Mg ha ⁻¹	Massa média (g fruto ⁻¹)	Perímetro de tronco (cm)	Eficiência produtiva (kg cm ⁻² de tronco)
-----2019-----				
0	7,2	1,0	32,0	0,255
30	6,5	1,1	30,1	0,257
60	5,9	1,1	30,9	0,217

90	7,5	1,1	32,5	0,240
120	7,2	1,1	31,3	0,255
CV %	21,4	5,7	9,7	14,87
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns
-----2020-----				
0	0,2	0,9	33,2	0,005
30	0,1	0,9	33,0	0,002
60	0,1	0,9	32,4	0,002
90	0,0	0,9	34,2	0,000
120	0,2	1,0	33,0	0,007
CV %	140,9	12,4	9,8	154,3
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns
-----2021-----				
0	1,9	1,2	39,1	0,045
30	1,4	1,3	38,3	0,037
60	2,3	1,3	37,5	0,060
90	3,0	1,3	38,8	0,072
120	1,7	1,3	38,7	0,037
CV %	29,4	10,7	10,6	28,2
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	*(1)	ns	ns	*(2)
-----2022-----				
0	1,4	1,2	40,6	0,030
30	1,9	1,3	38,8	0,043
60	2,2	1,2	38,0	0,050
90	2,7	1,3	41,6	0,058
120	2,7	1,4	39,7	0,065
CV %	19,1	7,8	10,1	25,8

Linear	*(3)	ns	ns	*(4)
Quadrática	ns	ns	ns	ns
-----2023-----				
0	5,5	1,3	44,9	0,098
30	4,7	1,2	43,8	0,085
60	5,9	1,2	41,2	0,126
90	5,7	1,2	43,7	0,105
120	3,7	1,4	45,1	0,066
CV %	20,9	8,5	10,3	22,5
Linear	ns	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns	*(5)

⁽¹⁾ $y = -0,0001x^2 + 0,0217x + 1,5681$ ($R^2 = 0,2577$); ⁽²⁾ $y = -5E-06x^2 + 0,0007x + 0,0371$ ($R^2 = 0,3569$); ⁽³⁾ $y = 0,0116x + 1,5078$ ($R^2 = 0,9526$); ⁽⁴⁾ $y = 0,0003x + 0,0322$ ($R^2 = 0,9833$); ⁽⁵⁾ $y = -9E-06x^2 + 0,0009x + 0,0885$ ($R^2 = 0,5593$); ns = não significativo ($F \leq 0,05$); * = significativo ($F \leq 0,05$).

Para atingir o rendimento relativo de 99 % é necessário a aplicação de 89,0 kg de K ha⁻¹, com um teor foliar de 15,7 g de K kg⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6: Produtividade acumulada (Mg ha⁻¹), média de produtividade (Mg ha⁻¹), média do teor de K foliar (g kg⁻¹) e rendimento relativo (%) de plantas de oliveiras ‘Koroneiki’ em resposta à aplicação de doses crescentes de potássio (K) aplicados sobre a superfície do solo, 2019 à 2023.

Doses de K (kg ha ⁻¹)	Produtividade acumulada (Mg ha ⁻¹)	Média de produtividade (Mg ha ⁻¹)	Média do teor de K foliar (g kg ⁻¹)	Rendimento relativo (%)
0	16,2	3,2	13,1	85,7
30	14,6	2,9	14,0	77,2
60	16,4	3,3	15,0	86,8

90	18,9	3,8	15,9	100,0
120	15,5	3,1	15,5	82,0

337

338 **3.3 Qualidade do azeite**

339 Durante o ciclo produtivo de 2019, o rendimento de azeite máximo foi de 12,5% com
 340 a aplicação de 54,5 kg de K₂O ha⁻¹ (Tabela 7). O K₂₃₂ foi de 1,50 enquanto o K₂₇₀ foi 0,149
 341 com as doses de 65 e 56,2 kg de K₂O ha⁻¹, respectivamente. A acidez livre não diferiu
 342 significativamente.

343 Em 2021 o rendimento de azeite atingiu 14,4% com a dose de 58,7 kg de K₂O ha⁻¹,
 344 enquanto o índice de peróxidos apresentou crescimento linear. O K₂₃₂ atingiu o valor máximo
 345 de 1,73 com a dose de 65 kg de K₂O ha⁻¹ e o K₂₇₀ foi de 0,252 com a dose de 52,5 kg de K₂O
 346 ha⁻¹. Houve redução linear nos teores para CFT, enquanto a capacidade antioxidante atingiu
 347 7,38 mmol ET.kg⁻¹, com 56,7 e 55,6 kg de K₂O ha⁻¹, respectivamente. A acidez livre não
 348 evidenciou diferença significativa.

349 Durante o ciclo de 2022 o rendimento de azeite, acidez livre e o índice de peróxidos
 350 aumentou linearmente, enquanto o teor de CFT reduziu de acordo com a aplicação das doses
 351 de K. A capacidade antioxidante atingiu 6,3 mmol ET.kg⁻¹ com 51,8 kg de K₂O ha⁻¹. O K₂₃₂
 352 e o K₂₇₀ não diferiram significativamente.

353 **Tabela 7.** Rendimento de azeite (%), acidez livre (%), índice de peróxidos (meqO₂ kg⁻¹),
 354 extinção específica 232 nm (K₂₃₂), extinção específica 270 nm (K₂₇₀), compostos fenólicos
 355 totais (CFT, mg EAG kg⁻¹) e capacidade antioxidante (mmol TE kg⁻¹) em azeite de oliveiras
 356 ‘Koroneiki’ (*Olea europaea* L.) sob diferentes doses de K₂O (kg ha⁻¹) aplicadas na superfície
 357 do solo entre 2018 e 2022.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Rendimento de azeite	Acidez livre	Índice de peróxidos	K ₂₃₂	K ₂₇₀	CFT	Capacidade antioxidante
-----2019-----							
0	11,28	0,15	5,31	1,40	0,12	-	-
30	12,64	0,16	4,44	1,48	0,14	-	-
60	12,16	0,16	6,28	1,54	0,15	-	-
90	12,31	0,19	5,21	1,43	0,13	-	-
120	10,86	0,16	5,26	1,48	0,11	-	-
CV %	3,7	19,0	15,8	2,6	11,3	-	-
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
Quadrática	*(1)	ns	ns	*(2)	*(3)	-	-
-----2021-----							
0	11,95	0,22	6,63	1,56	0,19	253,01	5,44
30	12,75	0,24	7,77	1,69	0,25	248,82	8,66
60	15,61	0,24	7,19	1,74	0,26	235,06	7,21
90	13,37	0,25	8,70	1,67	0,21	214,03	6,04
120	11,85	0,22	8,09	1,60	0,18	207,71	6,80
CV %	10,9	6,5	8,3	3,10	9,9	9,1	10,6
Linear	ns	ns	*(5)	ns	ns	*(8)	ns
Quadrática	*(4)	ns	ns	*(6)	*(7)	ns	*(9)
-----2022-----							
0	9,47	0,24	5,50	1,63	0,22	226,19	5,51
30	11,37	0,23	6,31	1,53	0,23	192,49	4,65
60	10,55	0,26	6,32	1,62	0,22	216,47	7,24
90	11,42	0,24	4,84	1,49	0,19	177,71	5,82
120	11,33	0,30	7,76	1,56	0,21	161,47	3,90
CV %	8,5	8,7	7,5	5,7	14,3	13,2	15,1
Linear	*(10)	*(11)	*(12)	ns	ns	*(13)	ns
Quadrática	ns	ns	*	ns	ns	ns	*(14)

358 ⁽¹⁾y = -0,0004x² + 0,0436x + 11,371 (R² = 0,8563); ⁽²⁾y = -2E-05x² + 0,0026x + 1,4157 (R² = 0,4481); ⁽³⁾y = -8E-06x² +
359 0,0009x + 0,1239 (R² = 0,9309); ⁽⁴⁾y = -0,0008x² + 0,0942x + 11,631 (R² = 0,7243); ⁽⁵⁾y = 0,0128x + 6,906 (R² = 0,5792);

360 $^{(6)}y = -4E-05x^2 + 0,0052x + 1,5657$ ($R^2 = 0,9514$); $^{(7)}y = -2E-05x^2 + 0,0021x + 0,1968$ ($R^2 = 0,8732$); $^{(8)}y = -0,4179x +$
 361 $256,8$ ($R^2 = 0,9552$); $^{(9)}y = -0,0004x^2 + 0,0445x + 6,1471$ ($R^2 = 0,2543$); $^{(10)}y = 0,0126x + 10,074$ ($R^2 = 0,5044$); $^{(11)}y =$
 362 $0,0004x + 0,228$ ($R^2 = 0,5417$); $^{(12)}y = 0,0102x + 5,536$ ($R^2 = 0,1944$); $^{(13)}y = -0,4807x + 223,71$ ($R^2 = 0,7264$); $^{(14)}y = -$
 363 $0,0005x^2 + 0,0518x + 4,9494$ ($R^2 = 0,4879$). ns = não significativo ($F \leq 0,05$); * = significativo ($F \leq 0,05$).

364 4. Discussão

365 O aumento dos teores de K disponíveis na camada superficial do solo pode ser
 366 atribuído à aplicação do K_2O na superfície do solo, sem incorporação e a adsorção de parte
 367 do K nas partículas orgânicas e inorgânicas (Ernani, 2016). A adsorção é o processo pelo qual
 368 os nutrientes em suas formas iônicas, especialmente os íons carregados positivamente como
 369 K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , se ligam às superfícies carregadas negativamente de minerais de argila e
 370 compostos orgânicos. Grupos funcionais como carboxílicos, fenólicos e alcoólicos de
 371 aditivos orgânicos são usados para adsorver os íons mencionados, seguidos de sua liberação
 372 gradual (dessorção) para uso oportuno pela planta. A dessorção ocorre quando os nutrientes
 373 adsorvidos são liberados da superfície da matéria orgânica do solo e dos minerais inorgânicos
 374 (Palanivell et al., 2019). O acréscimo do teor de K na camada superficial (0-10 cm) do solo
 375 corrobora com estudos de adubação potássica realizados em outras culturas, como pereiras
 376 (Brunetto et al., 2015), citros (Quaggio et al., 2019) e oliveira (Haberman et al., 2019).

377 O acréscimo de K na camada de 10-20 cm do solo nos ciclos analisados pode ser em
 378 função da saturação dos grupos funcionais que adsorvem K, proporcionando assim, uma
 379 migração do nutriente para camadas mais profundas. Logo, nas condições estudadas em que
 380 o solo apresenta baixos teores de argila e matéria orgânica, principais geradoras da CTC, a
 381 partir do segundo ciclo, a lixiviação do K para camadas mais profundas pode ter sido
 382 facilitada. Outro importante fator que pode contribuir no acréscimo do K em profundidade é
 383 ciclagem do nutriente através de plantas de cobertura presente no pomar, as quais podem estar
 384 absorvendo o K na superfície e, com a senescência de raízes em profundidade, parte pode ser

385 liberada ao solo, incrementando os teores deste nutriente em profundidade (Castellano-
386 Hinojosa et al., 2020; Correndo et al., 2021).

387 As aplicações de K elevaram os níveis desse nutriente nas camadas mais profundas do
388 solo, e conseqüentemente houve aumento do teor de K próximo às raízes, resultando no
389 acréscimo dos teores de K foliares em 2020. Vale ressaltar que este ano, em que houve baixa
390 produção (ano “off”) (Beyá & Fichet, 2017), as plantas evidenciaram aumento da
391 concentração de K foliar, possivelmente devido à baixa translocação de nutrientes para os
392 frutos. Quanto menor a produtividade, menor será a redistribuição do K presente nas folhas
393 para os frutos, elevando assim a concentração foliar (Botelho & Muller, 2020; Roeva et al.,
394 2022).

395 Os teores foliares de K apresentaram uma concentração de $14,7 \text{ g kg}^{-1}$ no ciclo de 2021
396 e uma variação de $15,2 - 22,0 \text{ g kg}^{-1}$ em 2020, sendo estes teores interpretados como “acima
397 do normal” de acordo com CQFS – RS/SC (2016), uma vez que as concentrações de K foliares
398 enquadradas na faixa “normal” variam de $8,0$ a $12,0 \text{ g kg}^{-1}$. Segundo Fernández-Escobar
399 (2019), em estudo realizado na Espanha e, Erel et al. (2017) em Israel, o teor de K foliar
400 considerado suficiente para estas regiões é $8,0 \text{ g kg}^{-1}$, contudo, foram observadas
401 produtividades superiores em relação ao presente estudo. Elevadas flutuações nutricionais ao
402 longo dos anos, principalmente devido as diferentes produtividades, indicam a necessidade
403 de revisão das faixas de suficiência recomendadas para o Sul do Brasil, onde, de acordo com
404 os resultados observados, sugere-se a faixa de $13,0 - 15,9 \text{ g de K kg}^{-1}$. Também, é provável
405 que em anos “off”, a interpretação nutricional em relação aos teores foliares de K seja
406 diferente em relação aos anos de alta produtividade (“on”).

407 A influência positiva da adubação potássica sobre os teores foliares de Ca, pode ser
408 decorrente da melhoria em funções metabólicas e da condutância estomática da planta
409 (Marschner, 2012; Tang & Luan, 2017; Larbi et al., 2020), maior transpiração e, consequente
410 maior absorção de água, pode ter favorecido a absorção de Ca através do movimento de água
411 via xilema. Com exceção do ano de 2020, os níveis de Ca foliares mantiveram-se adequados
412 (acima de 10,0 g kg⁻¹), enquanto o Mg, no terceiro ciclo analisado, evidenciou valores
413 considerados insuficientes, abaixo de 1,0 g kg⁻¹ (CQFS-RS/SC, 2016). O efeito das doses de
414 K aplicadas no solo sobre a absorção de Ca e Mg, ocorre devido à alteração das relações entre
415 os cátions presentes no solo. O íon K⁺ disponível em grandes quantidades pode saturar os
416 sítios de absorção no sistema radicular, reduzindo assim a absorção de Ca²⁺ e Mg²⁺
417 (Hawkesford et al., 2012; Lima et al., 2018; Kar et al., 2021).

418 O acréscimo na absorção de K⁺ e Ca²⁺ pelas plantas pode ter influenciado
419 negativamente a mobilização de P para os frutos. Ao absorver cátions no sistema radicular,
420 as plantas necessitam manter a homeostase celular e liberam H⁺, acidificando a rizosfera e
421 reduzindo a disponibilidade de P, uma vez que este nutriente é altamente sensível às mudanças
422 de pH do solo, além de que seu principal mecanismo de transporte é a difusão (Marschner,
423 2012; Taiz et al., 2017; Pahalvi et al., 2021).

424 No presente estudo, a baixa resposta da produtividade pode estar relacionada com os
425 altos teores iniciais de K no solo, além das reservas internas deste nutriente na oliveira.
426 Haberman et al. (2019), em estudo com diferentes doses de K ao longo de seis anos, relatam
427 o esgotamento dos teores de K na solução do solo onde não houve a aplicação de potássio,
428 contudo, observa-se que os teores de K disponíveis no solo neste estudo não reduziram ao
429 longo dos ciclos produtivos, possivelmente devido à contribuição de formas não trocáveis de

430 K no solo e às baixas produtividades verificadas. Também, ressalta-se que o decréscimo da
431 produtividade em plantas não adubadas com K, pode ocorrer mesmo que a concentração de
432 K nas folhas de oliveira tenha atingido o limite de suficiência ($8,0 \text{ g kg}^{-1}$) (Zipori et al., 2020),
433 porém, o excesso de adubação potássica, reduziu a absorção de Ca e Mg, podendo ter
434 comprometido funções fisiológicas importantes das plantas (Marschner, 2012; Zipori et al.,
435 2018), elucidando os decréscimos na produtividade sob as doses mais elevadas neste trabalho.

436 A baixa produtividade observada no ciclo produtivo de 2020 pode estar relacionada à
437 fatores climáticos. A cultivar Koroneiki apresenta significativas taxas de frutificação por
438 polinização cruzada (Koubouris et al., 2014), portanto, elevadas precipitações no período de
439 floração, que para as condições do Sul do Brasil ocorre durante a segunda quinzena de
440 setembro até o início de novembro (Brugnara & Sabião, 2022), podem ter dificultado
441 polinização, evidenciando as baixas produtividades observadas neste ciclo produtivo.

442 O impacto positivo da adubação potássica no rendimento de azeite é decorrente da
443 influência deste nutriente no metabolismo vegetal, através de sua ação em diversas atividades
444 enzimáticas, como a piruvato quinase, última etapa da glicólise que gera piruvato a partir do
445 fosfoenolpiruvato. O piruvato é o principal metabólito que liga a glicólise à síntese de ácidos
446 graxos (Taiz et al., 2017; Mirande-Ney et al., 2019). Também, a adequada nutrição com o K
447 proporciona taxas mais altas de fotossíntese, pois dentre as funções do K no metabolismo
448 vegetal, uma delas é regulação osmótica, mantendo os estômatos abertos e consequentemente
449 a fotossíntese ativa durante mais tempo (Taiz et al., 2017).

450 O aumento da acidez do azeite provavelmente decorre da maior atividade das lipases
451 que hidrolisam triacilgliceróis em três moléculas de ácidos graxos e um glicerol. Essa
452 produção de ácidos graxos livres eleva a concentração de H^+ (Taiz et al., 2017; Vincenti et

453 al., 2019). Já o aumento do índice de peróxidos em geral está relacionado com a deterioração
454 dos CFT e compostos antioxidantes (Nimal et al., 2022), fato que corrobora com os baixos
455 valores da capacidade antioxidante observado das maiores doses de K aplicadas no solo.
456 Também, outro fator que pode ter influenciado, é a ativação da via enzimática da
457 lipoxigenase, a qual catalisa a dioxigenação regioespecífica de ácidos graxos polinsaturados,
458 incluindo os ácidos linoléico e linolênico, formando hidroperóxidos (Vincenti et al., 2019),
459 impactando também sobre o K₂₃₂ e K₂₇₀.

460 Estudos sobre o impacto da adubação potássica sobre a produtividade e qualidade do
461 azeite são escassos e, quando realizados, geralmente resultam em incremento na
462 produtividade de oliveiras, mas evidenciam baixo efeito sobre os aspectos qualitativos do
463 azeite (Erel et al., 2008; Dag et al., 2009; Rosati et al., 2015; Haberman et al., 2019; Vishekaii
464 et al., 2022; Zipori et al., 2023). Em contrapartida, o presente estudo demonstra efeito da
465 adubação potássica sobre a qualidade do azeite de oliveiras Koroneiki, entretanto, é necessário
466 investigar com maior precisão a atuação do K no metabolismo lipídico e em enzimas do
467 estresse. Apesar disso, ainda que as doses de K tenham influenciado negativamente em
468 alguns parâmetros do azeite, os mesmos encontram-se nas faixas consideradas adequadas na
469 classificação de azeite extravirgem (IOC, 2022).

470 **5. Conclusões**

471 As doses de K aplicadas sobre o solo elevaram os teores deste nutriente nas camadas
472 de 0-10 e 10-20 cm.

473 O aumento da disponibilidade de K no solo ocasionou o acréscimo dos teores deste
474 nutriente nas folhas.

Os teores foliares de Ca foram influenciados positivamente pelas doses de K, enquanto os níveis de Mg sofreram decréscimo.

Devido à falta de relação entre o rendimento relativo e os teores foliares de K, não foi possível estabelecer-se o nível crítico de K nas folhas de oliveiras.

A adubação potássica elevou o rendimento de azeite, índice de peróxidos e capacidade antioxidante do mesmo. CFT reduziram de acordo com o aumento das doses de K.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), pela bolsa concedida; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA-UFPel); a Embrapa Clima Temperado, pela estrutura disponibilizada e a Fazenda Tarumã pelo apoio na realização dos tratos culturais no olival.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

- Agritempo. Sistema de monitoramento Agrometeorológico. 2023.
<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=RS>.
Acesso em: 3 de mai. 2023.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G. 2013.
Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

- 495 Arquero, O., Barranco, D., Benlloch, M. 2006. Potassium starvation increases stomatal
 496 conductance in olive trees. HortScience, 41(2), 433-436. Doi:
 497 <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.2.433>
- 498 Barré, P., Montagnier, C., Chenu, C., Abbadie, L., Velde, B. 2008. Clay minerals as a soil
 499 potassium reservoir: observation and quantification through X-ray diffraction. Plant and
 500 Soil, 302, 213-220. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9471-6>
- 501 Benlloch-González, M., Arquero, O., Fournier, J. M., Barranco, D., Benlloch, M. 2008. K⁺
 502 starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure. Journal of plant
 503 physiology, 165(6), 623-630. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.05.010>
- 504 Beyá, V., Fichet, T. 2017. Effect of crop load on phenological, vegetative and reproductive
 505 behavior of the 'Frantoio' olive tree (*Olea europaea* L.). International Journal of
 506 Agriculture and Natural Resources, 44(1), 43-53. Doi:
 507 <http://dx.doi.org/10.7764/rcia.v44i1.1653>
- 508 Biliás, F., Barbayiannis, N. 2018. Contribution of non-exchangeable potassium on its
 509 quantity-intensity relationships under K-depleted soils. Archives of Agronomy and Soil
 510 Science, 64(14), 1988-2004. Doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1472376>
- 511 Botelho, R. V., Müller, M. M. L. 2020. Nutrient redistribution in fruit crops: Physiological
 512 implications. In: Fruit Crops (pp. 33-46). Elsevier. Doi: [https://doi.org/10.1016/B978-](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00003-4)
 513 [0-12-818732-6.00003-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00003-4)
- 514 Brugnara, E. C., Sabião, R. R. 2022. Olive reproductive phenology in a warm and humid
 515 region of Santa Catarina, Brazil. Agrociencia Uruguay, 26(2). Doi:
 516 <https://doi.org/10.31285/agro.26.898>

- 517 Brunetto, G., Nava, G., Ambrosini, V. G., Comin, J. J., Kaminski, J. 2015. The pear tree
518 response to phosphorus and potassium fertilization. *Revista Brasileira de*
519 *Fruticultura*, 37, 507-516. Doi: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-027/14>
- 520 Castellano-Hinojosa, A., Strauss, S. L. 2020. Impact of cover crops on the soil microbiome
521 of tree crops. *Microorganisms*, 8(3), 328. Doi:
522 <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030328>
- 523 Chatzistathis, T., Papadakis, I. E., Papaioannou, A., Chatzissavvidis, C., Giannakoula, A.
524 2020. Comparative study effects between manure application and a controlled-release
525 fertilizer on the growth, nutrient uptake, photosystem II activity and photosynthetic rate
526 of *Olea europaea* L. (cv. 'Koroneiki'). *Scientia Horticulturae*, 264, 109176. Doi:
527 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109176>
- 528 Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS-RS/SC. 2016. Comissão de química e
529 fertilidade do solo – RS/SC. Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio
530 Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Porto Alegre,
531 RS, BRA.
- 532 Correndo, A. A., Rubio, G., García, F. O., Ciampitti, I. A. 2021. Subsoil-potassium depletion
533 accounts for the nutrient budget in high-potassium agricultural soils. *Scientific*
534 *Reports*, 11(1), 11597. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90297-1>
- 535 Dag, A., Ben-David, E., Kerem, Z., Ben-Gal, A., Erel, R., Basheer, L., Yermiyahu, U. 2009.
536 Olive oil composition as a function of nitrogen, phosphorus and potassium plant
537 nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(11), 1871-1878. Doi:
538 <https://doi.org/10.1002/jsfa.3664>

- 539 Dávalos, A., Gómez-Cordovés, C., Bartolomé, B. 2004. Extending applicability of the oxygen
540 radical absorbance capacity (ORAC– fluorescein) assay. Journal of agricultural and
541 food chemistry, 52(1), 48-54. Doi: <https://doi.org/10.1021/jf0305231>
- 542 Dezordi, L. R., Aquino, L. A. D., Aquino, R. F. B. D. A., Clemente, J. M., Assunção, N. S.
543 2016. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. Revista
544 Brasileira de Ciência do Solo, 40. Doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20140813>
- 545 Erel, R., Dag, A., Ben-Gal, A., Schwartz, A., Yermiyahu, U. 2008. Flowering and fruit set of
546 olive trees in response to nitrogen, phosphorus, and potassium. Journal of the American
547 Society for Horticultural Science, 133(5), 639-647. Doi:
548 <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.5.639>
- 549 Erel, R., Yermiyahu, U., Van Opstal, J., Ben-Gal, A., Schwartz, A., Dag, A. 2013. The
550 importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its
551 productivity. Scientia Horticulturae, 159, 8-18. Doi:
552 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.036>
- 553 Erel, R., Yermiyahu, Y., Ben-Gal, A., Dag, A. 2017. Olive fertilization under intensive
554 cultivation management. In: VIII International Symposium on Mineral Nutrition of
555 Fruit Crops 1217 (pp. 207-224). Doi:
556 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.27>
- 557 Ernani, P. R. 2016. Química do Solo e disponibilidade de nutrientes. Lages, SC, BRA.
- 558 European Union. 2022. European Commission (EC) Commission Delegated Regulation (EU)
559 2022/2104 of 29 July 2022 Supplementing Regulation (EU) N° 1308/2013 of the
560 European Parliament and of the Council as Regards Marketing Standards for Olive Oil,
561 and Repealing Commission Regulation (EEC) N° 2568/91 and Commission

- 562 Implementing Regulation (EU) N° 29/2012. Journal European Union. Disponível em:
 563 http://data.europa.eu/eli/reg_del/2022/2104/oj.>. Acesso em 30 de jun. 2023
- 564 Fernández-Escobar, R. 2017. Fertilización. p. 420-460. In: Barranco, D., Fernández-Escobar,
 565 R., Rallo, L. El cultivo del Olivo, 7ª ed. Madrid.
- 566 Fernández-Escobar, R. 2019. Olive nutritional status and tolerance to biotic and abiotic
 567 stresses. *Frontiers in plant science*, 10, 1151. Doi:
 568 <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01151>
- 569 Ferreira, D. F. 2019. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type
 570 designs: Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, 37(4), 529-535. Doi:
 571 <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- 572 Gott, R. M., Aquino, L. A. D., de Carvalho, A. M., dos Santos, L. P., Nunes, P. H., Coelho,
 573 B. S. 2014. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. *Revista*
 574 *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1110-1115. Doi:
 575 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1110-1115>
- 576 Haberman, A., Dag, A., Shtern, N., Zipori, I., Erel, R., Ben-Gal, A., Yermiyahu, U. 2019.
 577 Long-term impact of potassium fertilization on soil and productivity in intensive olive
 578 cultivation. *Agronomy*, 9(9), 525. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9090525>
- 579 Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, IS., White, P.
 580 2012. Functions of macronutrients. Em *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*,
 581 3ª ed.; Marschner, P., Ed.; Elsevier: Amsterdam, Holanda, pp. 135–189
- 582 International Olive Oil Council - IOC. Olive. 2020 Madrid, ESP. Disponível em:
 583 [<http://www.internationaloliveoil.org>](http://www.internationaloliveoil.org). Acesso em: 24 out. 2020.

- 584 International Olive Oil Council - IOC. Olive. 2022 Madrid, ESP. Disponível em:
 585 <[https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/chemistry-standardisation-](https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/chemistry-standardisation-unit/standards-and-methods)
 586 [unit/standards-and-methods](https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/chemistry-standardisation-unit/standards-and-methods)>. Acesso em 18 jun. 2023
- 587 Kar, D., Pradhan, A. A., Datta, S. 2021. The role of solute transporters in aluminum toxicity
 588 and tolerance. *Physiologia Plantarum*, 171(4), 638-652. Doi:
 589 <https://doi.org/10.1111/ppl.13214>
- 590 Koubouris, G. C., Breton, C. M., Metzidakis, I. T., Vasilakakis, M. D. 2014. Self-
 591 incompatibility and pollination relationships for four Greek olive cultivars. *Scientia*
 592 *Horticulturae*, 176, 91-96. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.043>
- 593 Larbi, A., Kchaou, H., Gaaliche, B., Gargouri, K., Boulal, H., Morales, F. 2020.
 594 Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. *Scientia*
 595 *Horticulturae*, 260, 108912. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108912>
- 596 Lima, E., Vitti, GC., Santos, LA., Cicarone, F. 2018. Calcium and Magnesium. In: Fernandes,
 597 MS., Souza, SR., Santos, LA. *Mineral Nutrition of Plants*, 2^a ed. Brazilian Soil Science
 598 Society. Viçosa, MG, pp.135–189.
- 599 Marschner, H. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. London, UK, 649p.
- 600 Martins, F. B., Pereira, R. A. D. A., Pinheiro, M. V. M., Abreu, M. C. 2014. Desenvolvimento
 601 foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. *Revista*
 602 *Brasileira de Meteorologia*, 29(4), 505-514. Doi: [https://doi.org/10.1590/0102-](https://doi.org/10.1590/0102-778620140020)
 603 [778620140020](https://doi.org/10.1590/0102-778620140020)
- 604 Mirande-Ney, C., Tcherkez, G., Gilard, F., Ghashghaie, J., Lamade, E. 2019. Effects of
 605 potassium fertilization on oil palm fruit metabolism and mesocarp lipid

- 606 accumulation. Journal of agricultural and food chemistry, 67(33), 9432-9440. Doi:
607 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04336>
- 608 Nakbi, A., Issaoui, M., Dabbou, S., Koubaa, N., Echbili, A., Hammami, M., Attia, N. 2010.
609 Evaluation of antioxidant activities of phenolic compounds from two extra virgin olive
610 oils. Journal of Food Composition and Analysis, 23(7), 711-715. Doi:
611 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.05.003>
- 612 Nimal, R., Selcuk, O., Kurbanoglu, S., Shah, A., Siddiq, M., Uslu, B. 2022. Trends in
613 electrochemical nanosensors for the analysis of antioxidants. TrAC Trends in Analytical
614 Chemistry, 153, 116626. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116626>
- 615 Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Prior, R. L. 2001. Development and validation of an improved
616 oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent
617 probe. Journal of agricultural and food chemistry, 49(10), 4619-4626. Doi:
618 <https://doi.org/10.1021/jf010586o>
- 619 Pahalvi, HN, Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., Kamili, NA. 2021. Chemical fertilizers and
620 their impact on soil health. In: Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools
621 for Reclamation of Degraded Soil Environs, pp. 1-20.
- 622 Palanivell, P., Ahmed, O. H., Latifah, O., Abdul Majid, N. M. 2019. Adsorption and
623 desorption of nitrogen, phosphorus, potassium, and soil buffering capacity following
624 application of chicken litter biochar to an acid soil. Applied sciences, 10(1), 295. Doi:
625 <https://doi.org/10.3390/app10010295>
- 626 Parent, L. É. 2011. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. Revista
627 Brasileira de Fruticultura, 33, 321-334. Doi: [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000100041)
628 [29452011000100041](https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000100041)

- 629 Quaggio, J. A., Souza, T. R., Zambrosi, F. C., Mattos Jr, D., Boaretto, R. M., Silva, G. 2019.
 630 Citrus fruit yield response to nitrogen and potassium fertilization depends on nutrient-
 631 water management system. *Scientia Horticulturae*, 249, 329-333. Doi:
 632 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.001>
- 633 Restrepo-Diaz, H., Benlloch, M., Fernández-Escobar, R. 2008. Plant water stress and K⁺
 634 starvation reduce absorption of foliar applied K⁺ by olive leaves. *Scientia*
 635 *Horticulturae*, 116(4), 409-413. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.03.004>
- 636 Roeva, T., Leonicheva, E., Leonteva, L., Stolyarov, M. 2022. Potassium dynamics in orchard
 637 soil and potassium status of sour cherry trees affected by soil nutritional
 638 conditions. *Journal of Central European Agriculture*, 23(1), 103-113. Doi:
 639 <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.1.3313>
- 640 Rosati, A., Caporali, S., Paoletti, A. 2015. Fertilization with N and K increases oil and water
 641 content in olive (*Olea europaea* L.) fruit via increased proportion of pulp. *Scientia*
 642 *Horticulturae*, 192, 381-386. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.018>
- 643 Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. 1999. [14] Analysis of total phenols
 644 and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent.
 645 *In Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press. Doi:
 646 [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- 647 Soil Survey Staff. 2022. Keys to Soil Taxonomy. USDA-Natural Resources Conservation
 648 Service, Washington, DC, USA.
- 649 Taiz, L., Zeiger, E., Møller I. M., Murphy A. 2017. Plant physiology and development.
 650 Sunderland, MA, 858p.

- 651 Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., Lionello, P. 2014. Impacts of
652 climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the
653 Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 144, 54-68. Doi:
654 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.019>
- 655 Tang, R. J., Luan, S. 2017. Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from
656 transporters to signaling network. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 97-105. Doi:
657 <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.009>
- 658 Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995. Análise de solo,
659 plantas e outros materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,
660 BRA.
- 661 Vincenti, S., Mariani, M., Alberti, J. C., Jacopini, S., Brunini-Bronzini de Caraffa, V., Berti,
662 L., Maury, J. 2019. Biocatalytic synthesis of natural green leaf volatiles using the
663 lipoxygenase metabolic pathway. *Catalysts*, 9(10), 873. Doi:
664 <https://doi.org/10.3390/catal9100873>
- 665 Vishekaii, Z., Soleimani, A., Fallahi, E., Hasani, A., Ghasemnezhad, M. 2022. Response of
666 olive (*Olea europaea* L.) trees to foliar spray of nano chelated and chemical potassium
667 fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 1-13. Doi:
668 <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072740>
- 669 Wrege, M. S., Coutinho, E. F., Pantano, A. P., Jorge, R. O. 2015. Potencial distribution of
670 olive in brazil and worldwide. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(3), 656-666. Doi:
671 <https://doi.org/10.1590/0100-2945-174/14>
- 672 Zipori, I., Dag, A., Laor, Y., Levy, G. J., Eizenberg, H., Yermiyahu, U., Medina, S., Saadi, I.,
673 Krasnovski, A., Raviv, M. 2018. Potential nutritional value of olive-mill wastewater

- 674 applied to irrigated olive (*Olea europaea* L.) orchard in a semi-arid environment over 5
 675 years. Scientia Horticulturae, 241, 218-224. Doi:
 676 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.090>
- 677 Zipori, I., Erel, R., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Dag, A. 2020. Sustainable management of
 678 olive orchard nutrition: A review. Agriculture, 10(1), 11. Doi:
 679 <https://doi.org/10.3390/agriculture10010011>
- 680 Zipori, I., Yermiyahu, U., Dag, A., Erel, R., Ben-Gal, A., Quan, L., Kerem, Z. 2023. Effect
 681 of macronutrient fertilization on olive oil composition and quality under irrigated,
 682 intensive cultivation management. Journal of the Science of Food and
 683 Agriculture, 103(1), 48-56. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12110>
- 684 Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture—status and
 685 perspectives. Journal of plant physiology, 171(9), 656-669. Doi:
 686 <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>

12.5 Artigo 5

Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio em oliveiras ‘Arbequina’

SPAD index for diagnosis of nitrogen status in ‘Arbequina’ olive trees

**Artigo formatado nas normas da Semina (ISSN 1679-0359)*

Resumo: Análises foliares para determinar o status nutricional das plantas frutíferas demandam tempo, envolvendo a coleta das amostras, envio para o laboratório e a interpretação dos resultados. O medidor indireto de clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Diagnostic) tem sido bastante estudado, e fornece informações instantâneas para estimar o estado de nitrogênio (N) nas culturas, mas há necessidade de calibração para cada espécie. O objetivo, no presente trabalho, foi avaliar a viabilidade técnica do uso do índice SPAD no diagnóstico do estado de N em oliveiras cv. ‘Arbequina’. O experimento, com cinco níveis de N aplicado no solo (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N) foi conduzido a campo, durante cinco ciclos produtivos. No mês de janeiro de cada ano, realizou-se leituras com clorofilômetro SPAD-502, em 30 folhas por parcela, ocasião em que também foram amostradas folhas para determinação do teor foliar de N. Observou-se efeito das doses de N aplicadas no solo sobre o índice SPAD e os teores foliares de N, apresentando correlação linear positiva com as leituras SPAD. O índice SPAD pode ser utilizado para o diagnóstico nutricional de N em oliveira cv. ‘Arbequina’, onde leituras entre 74 e 138, indicam que o N foliar encontra-se na classe “normal de concentração” de interpretação agrônômica.

Termos de indexação: Clorofilômetro, análise foliar, adubação nitrogenada, *Olea europaea* L., fruticultura, nutrição de plantas

Abstract: Leaf analyzes to determine the nutritional status of fruiting plants are time-consuming, involving sample collection, sending to the laboratory, and interpretation of results. The indirect chlorophyll meter SPAD (Soil Plant Analysis Diagnostic) has been extensively studied and provides instantaneous information to estimate the status of nitrogen (N) in crops. The aim of this study was to evaluate the technical feasibility of using the SPAD index in the diagnosis of N status in olive trees cv. ‘Arbequina’. The experiment, with five levels of N applied to the soil (0, 30, 60, 90, and 120 kg ha⁻¹ of N) was carried out in the field, during five production cycles. In January of each year, readings were carried out with a SPAD-502 chlorophyll meter, on 30 leaves per plot, when leaves were also sampled to determine the leaf N content. There was an effect of N doses applied to the soil on the SPAD index and leaf N contents, showing a positive linear correlation with the SPAD readings. The SPAD index can be used for the nutritional diagnosis of N in olive trees cv. ‘Arbequina’, where readings between 74 and 138 indicate that leaf N is in the “normal concentration” class of agronomic interpretation.

36 Index terms: Chlorophyll meter, leaf analysis, nitrogen fertilization, *Olea europaea* L., fruit growing, plant
37 nutrition

38 1. Introdução

39 Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil, a avaliação dos teores de macro (N, P,
40 K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Fe, Cu, Mn e Zn) na oliveira (*Olea europaea* L.) é tradicionalmente baseada
41 na concentração de nutrientes em folhas completas, coletadas no mês de janeiro, na porção mediana dos ramos
42 do ano, os quais devem estar posicionados horizontalmente e expostos ao sol (CQFS – RS/SC, 2016). Neste
43 período padrão (janeiro), ocorre maior estabilidade dos teores foliares de nutrientes, sendo considerado ideal
44 para fins de diagnóstico nutricional. A partir disso, o programa de fertilização utilizado pelos produtores
45 fundamenta-se na análise química foliar, avaliando eventuais necessidades de fertilização (CQFS – RS/SC,
46 2016; Tiecher et al., 2022)

47 Dentre os nutrientes requeridos em maiores quantidades pelas plantas, o N requer especial atenção
48 dentro do programa de fertilização. Na olivicultura, alguns estudos relacionados à aplicação de N têm
49 demonstrado a importância da adubação nitrogenada para se obter produtividades satisfatórias. Haberman et
50 al. (2019) observaram um aumento no crescimento vegetativo e na produção de azeite com o aporte de N,
51 entretanto, excesso de fertilização nitrogenada pode aumentar a sensibilidade das plantas a geadas e doenças,
52 além de afetar negativamente a qualidade do azeite devido à diminuição dos teores de polifenóis (Erel et al.,
53 2013). Portanto, a quantidade de N a ser fornecida para a oliveira deve seguir recomendações técnicas precisas,
54 afim de não afetar negativamente a produção.

55 A utilização da análise foliar para a avaliação da necessidade de N apresenta limitações, como o tempo
56 exigido entre a coleta das amostras e a obtenção dos resultados (Nava & Ciotta, 2013), de modo que somente
57 poderão ser utilizados para a recomendação de adubações na safra seguinte (Nava & Ciotta, 2013; Benati et
58 al., 2021). Assim, a possibilidade de utilizar métodos não destrutivos que estimem rapidamente o teor de N em
59 oliveira é de grande utilidade prática, pois poderia viabilizar a calibração da fertilização de N ainda na safra
60 vigente.

61 O medidor de clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Diagnostic), também denominado clorofilômetro,
62 fornece leitura imediata e não destrutiva das folhas, sendo alternativa interessante para indicar os teores de
63 alguns nutrientes, principalmente de N. O potencial de utilização do clorofilômetro para fins de diagnóstico
64 nutricional, a partir de um estudo de calibração, tem sido avaliado para diversas espécies frutíferas, como
65 macieira (Nava & Ciotta, 2013; Treder et al., 2016), citros (Souza et al., 2011), videira (Brunetto et al., 2012)
66 e pessegueiro (Benati et al., 2021). Para essas culturas, os resultados indicam correlações satisfatórias entre as
67 leituras SPAD com o teor de clorofila ou com o teor total de N foliar, uma vez que aproximadamente 75% do
68 N nas folhas integram compostos associados a cloroplastos e teor de clorofila (Roberts et al., 2012). A relação
69 positiva entre o índice SPAD e o teor de N foliar deve-se ao medidor portátil SPAD-502, que avalia
70 quantitativamente a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz em 650 nm (Cеровic et al.,
71 2015; Ravier et al., 2017).

Portanto, o objetivo, neste trabalho, foi avaliar a viabilidade técnica do índice SPAD para diagnóstico do teor de N em oliveiras ‘Arbequina’, afim de antecipar eventuais medidas de ajuste na adubação nitrogenada desta cultura.

2. Material e métodos

O estudo foi realizado em pomar comercial de oliveiras ‘Arbequina’ localizado no município de Canguçu – RS, Brasil (30°94’55” S, 52°71’16” W - 294 m de altitude). O clima da região, conforme W. Köppen é do tipo subtropical úmido (Cfa), ou seja, temperado úmido com verões quentes (Alvares et al., 2013). A região apresenta temperatura do ar e precipitação médias anuais de 18 °C e 1.509 mm, respectivamente, com umidade relativa do ar média de 78,8%. Os dados mensais de precipitação e temperatura do ar média durante o experimento são mostrados na Figura 1 (Agritempo, 2023).

Em agosto de 2018, antes da aplicação dos tratamentos, foram realizadas as análises químicas do solo no pomar, as quais apresentaram os seguintes resultados: índice SMP 6,8; pH em água de 6,1 (proporção de 1;1); 97,3 e 115 mg kg⁻¹ de fósforo (P) e potássio (K) respectivamente (extraídos por Mehlich-1); 3,6 cmol_c kg⁻¹ de cálcio (Ca); 1,0 cmol_c kg⁻¹ de magnésio (Mg); 0,0 cmol_c kg⁻¹ de alumínio (Al) (extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹); 16 g kg⁻¹ de matéria orgânica (MOS) - método de Walley-Black; 160 g kg⁻¹ de argila; capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7,0}) 6,7 cmol_c kg⁻¹; saturação de alumínio 0,0% e saturação de bases 74%. O solo é classificado como Argissolo de acordo com a classificação brasileira e como Acrisols de acordo com a classificação WRB/FAO (Soil Survey Staff, 2022).

O pomar foi estabelecido em dezembro de 2012, com mudas autoenraizadas da cultivar ‘Arbequina’ e produzidas em embalagens, no espaçamento de 7,0 m entre linhas e 4,0 m entre plantas (357 plantas ha⁻¹). A aplicação dos tratamentos (doses de N em cobertura, no solo) foi iniciada a partir da segunda quinzena de setembro 2018, segundo delineamento experimental de blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por uma planta, totalizando 20 plantas. Foram testadas as seguintes doses de N: 0; 30; 60; 90 e 120 kg ha⁻¹, na forma de ureia (45 % de N), aplicada anualmente sobre a superfície do solo ao redor da planta, sem incorporação. As doses de N foram fracionadas em duas aplicações, sendo metade da dose na plena floração (segunda quinzena de setembro) e a outra metade no endurecimento do caroço (primeira quinzena de janeiro), observando-se condições climáticas e umidade do solo adequadas, conforme recomendado CQFS-RS/SC (2016).

As medições do conteúdo relativo de clorofila (leituras do índice SPAD) foram realizadas nas mesmas datas de coleta das amostras de folhas para análise química (sempre na primeira quinzena de janeiro), nos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, conforme recomendação da CQFS-RS/SC (2016). Utilizou-se um medidor de clorofila, Minolta SPAD-502 Plus modelo 2900PDL, com precisão de ± 1 unidade SPAD, área de medição de 2mm x 3mm, que indica a quantidade relativa de clorofila presente na folha com base no princípio da diferença de densidade óptica entre dois comprimentos de onda (Minolta, 1989). As leituras SPAD foram feitas na face adaxial da parte mediana de 30 folhas por parcela, localizadas na parte mediana dos ramos não

107 sombreados do ano. Nos resultados, os valores médios das leituras SPAD foram considerados para estimar o
108 teor de N foliar.

109 Para a determinação química dos teores foliares de N, foram coletadas amostras de folhas (80 folhas
110 por parcela) na porção mediana dos ramos de crescimento do ano e situados na porção mediana das plantas.
111 As folhas foram secas em estufa a 65 °C, até atingirem massa constante, e em seguida moídas. O N foi
112 determinado pelo método de combustão em Analisador Elementar TruSpec CHN-S da marca LECO®, onde o
113 N é quantificado com célula de condutividade térmica e os resultados são expressos em g kg⁻¹ de N.

114 Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e submetidos à análise de
115 variância (ANOVA). Os fatores, cujos efeitos foram significativos pelo teste F a 5% de probabilidade, foram
116 submetidos à análise de regressão para ajuste das equações. As análises estatísticas foram realizadas com o
117 software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019). As relações entre as variáveis foram obtidas por meio do coeficiente de
118 correlação de Pearson ($p < 0.05$).

119 3. Resultados e discussão

120 A relação do índice SPAD com o teor de N foliar está apresentada na Figura 2. Para os anos de 2019
121 e 2020, houve baixa correlação do índice SPAD com o teor de N foliar (0,005; 0,161, respectivamente), já em
122 2021, 2022 e 2023, esta correlação foi mais forte (0,709, 0,618 e 0,775). A baixa correlação nos dois primeiros
123 anos de estudo pode ser decorrente das adubações realizadas no pomar previamente ao estabelecimento dos
124 tratamentos, o que pode ter mascarado o efeito das adubações iniciais. Frutíferas lenhosas, especialmente de
125 clima temperado, possuem estruturas de reservas que contribuem para o fornecimento de nutrientes durante o
126 período de brotação nos ciclos subsequentes (Carranca et al., 2018). Benati et al. (2021) estudando diferentes
127 doses de N em pessegueiro, também obtiveram baixa correlação entre o índice SPAD e o teor de N foliar
128 durante o primeiro ano de avaliação, contudo, nos ciclos seguintes, as produções de frutos e as podas esgotaram
129 as reservas do nutriente nas plantas não fertilizadas com N. No presente trabalho ressalta-se que, durante o
130 ciclo produtivo de 2020, houve alternância de produção (dados não publicados), possivelmente oriunda de
131 condições climáticas adversas, como elevada precipitação durante o período de floração (outubro),
132 postergando o efeito dos tratamentos (doses de N), uma vez que houve baixíssima exportação de nutrientes
133 através da colheita.

134 Os resultados obtidos a partir do ciclo produtivo de 2021 indicam relação positiva entre o índice SPAD
135 e o aumento dos teores foliares de N (Figura 2). Conforme recomendações para os Estados do Rio Grande do
136 Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016), os teores de N foliares considerados adequados para a oliveira
137 variam de 15 a 20 g de N kg⁻¹. Portanto, em 2021 (valores y) estes teores foram alcançados com leituras SPAD
138 entre 74 e 102 ($y = 0,1853x + 1,125$); em 2022 entre 94 e 138 ($y = 0,1137x + 4,2613$); e em 2023 entre 96 e
139 122 ($y = 0,1949x - 3,799$). Com o aumento da correlação entre índice SPAD e os teores de N foliar
140 determinados ao longo dos anos, evidencia-se a viabilidade técnica e o aumento da confiabilidade do uso de
141 leituras SPAD para estimar o estado nutricional de N em oliveiras cv. Arbequina. Essa condição também foi

comprovada em experimento com doses de N aplicadas na superfície do solo para a noqueira-pecã (Hardin et al., 2012), macieira (Nava & Ciotta, 2013) e pessegueiro (Benati et al., 2021).

O teor foliar de N e o índice SPAD aumentaram linearmente de acordo com o aumento das doses de N aplicadas sobre a superfície do solo (Figura 3). Estes resultados traduzem o reportado pela literatura, de que 50 a 75% do N presente na folha faz parte da molécula de clorofila (Ravier et al., 2017; Taiz et al., 2017; Dunn et al., 2018). Logo, o índice SPAD está correlacionado com o aumento dos teores de N foliar.

A utilização do SPAD pode auxiliar no aperfeiçoamento da adubação nitrogenada em oliveiras, uma vez que os resultados são instantâneos e não destrutivos, dispensando a coleta de amostras foliares, envio ao laboratório para análise química e interpretação dos resultados. Nos anos avaliados, a menor média do índice SPAD foi de 74, logo, valores inferiores a este indicam que o teor de N foliar está abaixo do nível crítico, de acordo com os níveis de N considerados normais para a oliveira ($15 - 20 \text{ g kg}^{-1}$), necessitando fertilização nitrogenada. A média superior do índice SPAD foi de 138, o que significa que valores acima deste mostram um excesso de teor de N foliar, não havendo necessidade de se aplicar N.

Mesmo que, nos cinco anos investigados, as maiores doses de N aplicadas ao solo tenham refletido em maiores teores foliares de N (Figura 2), as diferenças na inclinação das retas entre os anos mostram que a concentração foliar de N depende também de outras práticas além da adubação do solo, como poda, condições climáticas (distribuição de chuvas e temperaturas do ar) e taxa de frutificação. Ressalta-se que a oliveira é caracterizada pela alternância de produção ou produção “bienal” (Benjeddou et al., 2019). Embora, a utilização do clorofilômetro não possa indicar com precisão a quantidade N à ser aplicado em anos de baixa frutificação, pode auxiliar na identificação do status nutricional de N do olival e evitar eventuais taxas elevadas e desnecessárias de adubação nitrogenada. Estudos relacionados à aplicação de N em oliveira, observaram que o excesso deste nutriente pode acarretar em problemas durante o ciclo produtivo, como: aumento da susceptibilidade a doenças fúngicas (Roca et al., 2018), vulnerabilidade às geadas (Fernández-Escobar, 2019), atraso na maturação dos frutos (Fernández-Escobar et al., 2012), redução da qualidade do azeite e intensificação da alternância de produção (Fernández-Escobar et al., 2008).

Estudos de calibração do índice SPAD com o teor foliar de N em espécies frutíferas de clima temperado necessitam de vários anos de avaliação, semelhante ao adotado no presente estudo, permitindo obter dados mais precisos e possíveis de serem utilizados em diagnósticos do estado nutricional das plantas.

4. Conclusões

Nas condições experimentais adotadas, é possível concluir que:

Em oliveiras ‘Arbequina’, o índice SPAD correlaciona-se positivamente com o aumento dos teores de N foliar e com o aumento das doses de N, aplicadas sobre a superfície do solo.

O índice SPAD apresentou viabilidade técnica no diagnóstico do estado de N em oliveiras cv. Arbequina e permite ajustes da adubação nitrogenada ainda no mesmo ciclo de produção.

Leituras SPAD entre 74 e 138, obtidas na época padrão (janeiro), indicam que os teores foliares de N em oliveiras ‘Arbequina’ encontram-se na classe “normal de suficiência”.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), pela bolsa concedida; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA-UFPel); a Embrapa Clima Temperado, pela estrutura disponibilizada; e a Fazenda Tarumã pelo apoio na realização dos tratamentos culturais.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências bibliográficas

- AgriTempo. Sistema de monitoramento Agrometeorológico. (2023).
<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=RS>. Access in: May 3rd, 2023.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moraes Gonçalves, J.L. & Gerd, S. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Benati, J.A., Nava, G., Mayer, N.A. (2021). Spad index for diagnosis of nitrogen status in 'Esmeralda' peach. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(1), 1-6. Doi: <https://doi.org/10.1590/0100-29452021093>
- Benjeddou, H., Ahmed, C.B., Rouina, B.B. (2019). Influence of antioxidative enzymes, phytohormones and pigments in alternate bearing of three olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 253, 17-23. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.036>
- Brunetto, G., Trentin, G., Ceretta, C. A., Giroto, E., Lorensini, F., Miotto, A., ... & de Melo, G. W. (2012). Use of the SPAD-502 in estimating nitrogen content in leaves and yield in grapevines in soils with different texture. *American Journal of Plant Sciences*, 3(11), 1546-1561. Doi: <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.311187>
- Carranca, C., Brunetto, G., & Tagliavini, M. (2018). Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile productivity and environmental concerns. *Plants*, 7(1), 4. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants7010004>
- Cerovic, Z. G., Ghazlen, N. B., Milhade, C., Obert, M., Debuisson, S., & Moigne, M. L. (2015). Nondestructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dual leaf-clip measurements in the field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(14), 3669-3680. Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00304>
- Comissão de Química e de Fertilidade do Solo RS/SC (2016). Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. SBCS/NRS.
- Dunn, B. L., Singh, H., & Goad, C. (2018). Relationship between chlorophyll meter readings and nitrogen in poinsettia leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 41(12), 1566-1575. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1459697>

- 212 Erel, R., Yermiyahu, U., Van Opstal, J., Ben-Gal, A., Schwartz, A., & Dag, A. (2013). The importance of olive
213 (Olea europaea L.) tree nutritional status on its productivity. *Scientia Horticulturae*, 159, 8-18. Doi:
214 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.036>
- 215 Fernández-Escobar, R. (2019). Olive nutritional status and tolerance to biotic and abiotic stresses. *Frontiers in*
216 *plant science*, 10, 1151. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01151>
- 217 Fernández-Escobar, R., Braz Frade, R., Lopez Campayo, M., & Beltrán Maza, G. (2012). Effect of nitrogen
218 fertilization on fruit maturation of olive trees. In *VII International Symposium on Olive Growing*
219 *1057* (pp. 101-105). Doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1057.10>
- 220 Fernández-Escobar, R., Ortiz-Urquiza, A., Prado, M., & Rapoport, H. F. (2008). Nitrogen status influence on
221 olive tree flower quality and ovule longevity. *Environmental and experimental Botany*, 64(2), 113-119.
222 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.04.007>
- 223 Ferreira, D. F. (2019). SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs:
224 Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, 37(4), 529-535. Doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- 225 Haberman, A., Dag, A., Shtern, N., Zipori, I., Erel, R., Ben-Gal, A., & Yermiyahu, U. (2019). Significance of
226 proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive cultivation. *Scientia horticulturae*, 246,
227 710-717. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.055>
- 228 Hardin, J. A., Smith, M. W., Weckler, P. R., & Cheary, B. S. (2012). In situ measurement of pecan leaf nitrogen
229 concentration using a chlorophyll meter and vis-near infrared multispectral camera. *HortScience*, 47(7),
230 955-960. Doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.7.955>
- 231 Minolta, K. (1989). Chlorophyll meter SPAD-502. Instruction manual. Osaka: Radiometric Instruments
232 Operations.
- 233 Nava, G., Ciotta, M. N., & Nachtigall, G. R. (2013). Viabilidade do uso do Spad no diagnóstico do estado de
234 nitrogênio na macieira "Fuji". *Revista De Ciências Agroveterinárias*, 12(1), 13-20. Disponível em:
235 <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5187>
- 236 Ravier, C., Quemada, M., & Jeuffroy, M. H. (2017). Use of a chlorophyll meter to assess nitrogen nutrition
237 index during the growth cycle in winter wheat. *Field Crops Research*, 214, 73-82. Doi:
238 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.023>
- 239 Roberts, I. N., Caputo, C., Criado, M. V., & Funk, C. (2012). Senescence-associated proteases in
240 plants. *Physiologia Plantarum*, 145(1), 130-139. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01574.x>
- 241
- 242 Roca, L. F., Romero, J., Bohórquez, J. M., Alcántara, E., Fernández-Escobar, R., & Trapero, A. (2018).
243 Nitrogen status affects growth, chlorophyll content and infection by *Fusicladium oleagineum* in
244 olive. *Crop Protection*, 109, 80-85. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.016>
- 245 Soil Survey Staff. (2022). Keys to Soil Taxonomy, 13th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service.
- 246 Souza, T. R. D., Salomão, L. C., Andrade, T. F. D., Bôas, R. L. V., & Quaggio, J. A. (2011). Medida indireta
247 da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas

fertirrigadas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 993-1003. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000300036>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.

Tiecher, T. L., Vieira, F. C. B., Nava, G., Benati, J.A., Navroski, R., Barreto, C.F., ... & Brunetto, G. (2022). Calagem, adubação e estado nutricional em oliveiras. In: Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas.

Treder, W., Klamkowski, K., Kowalczyk, W., Sas, D., & Wójcik, K. (2016). Possibilities of using image analysis to estimate the nitrogen nutrition status of apple trees. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(3), 319-326. Doi: <https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.041>

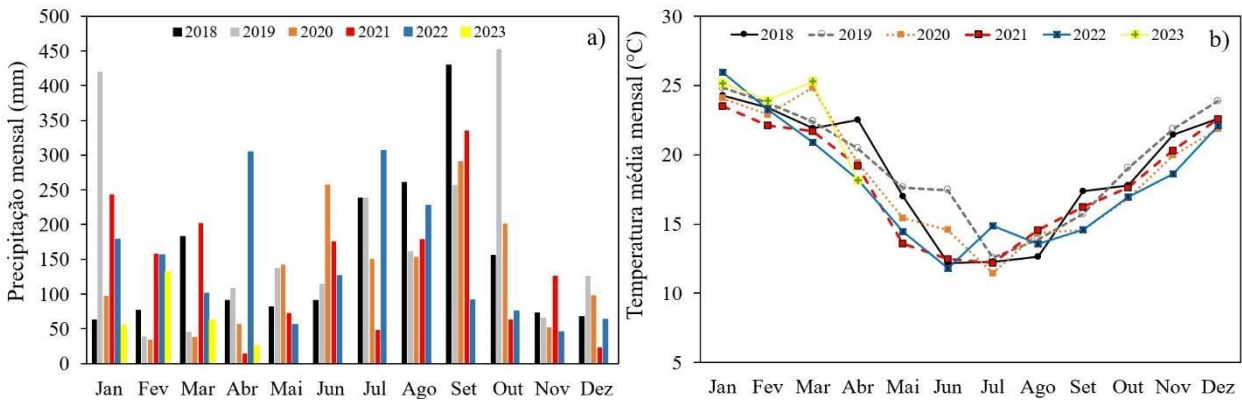


Figura 1: Precipitação mensal (a) e temperatura média do ar mensal (b) nos anos de avaliação de janeiro de 2018 até abril de 2023. Canguçu-RS (Agritempo, 2023).

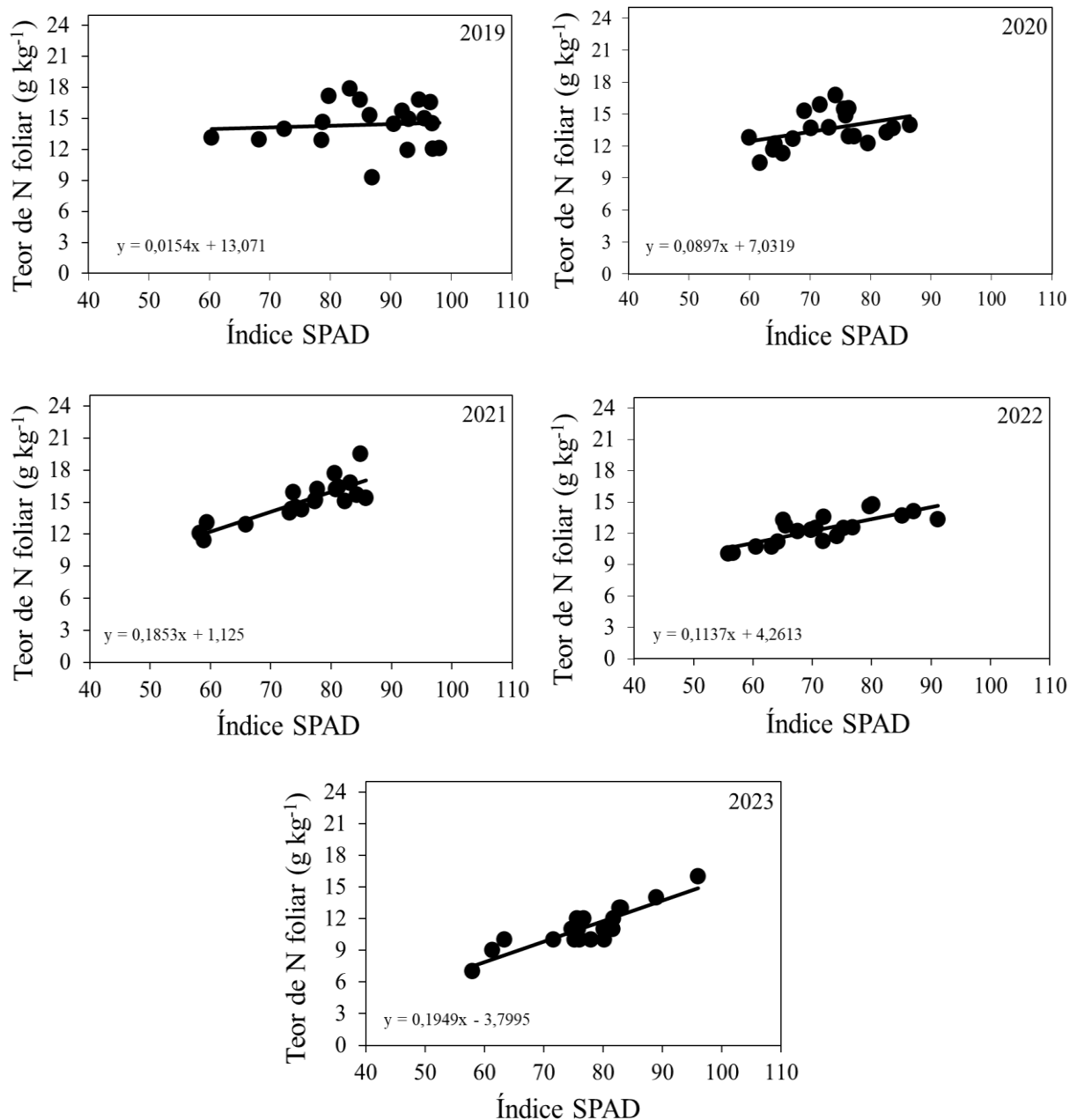


Figura 2: Relação entre o teor de N foliar (g kg^{-1}) e leituras SPAD em oliveiras Arbequina nos anos de avaliação de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 ($R^2 = 0,0057$; $R^2 = 0,163$; $R^2 = 0,7093$; $R^2 = 0,618$ e $R^2 = 0,775$, respectivamente).

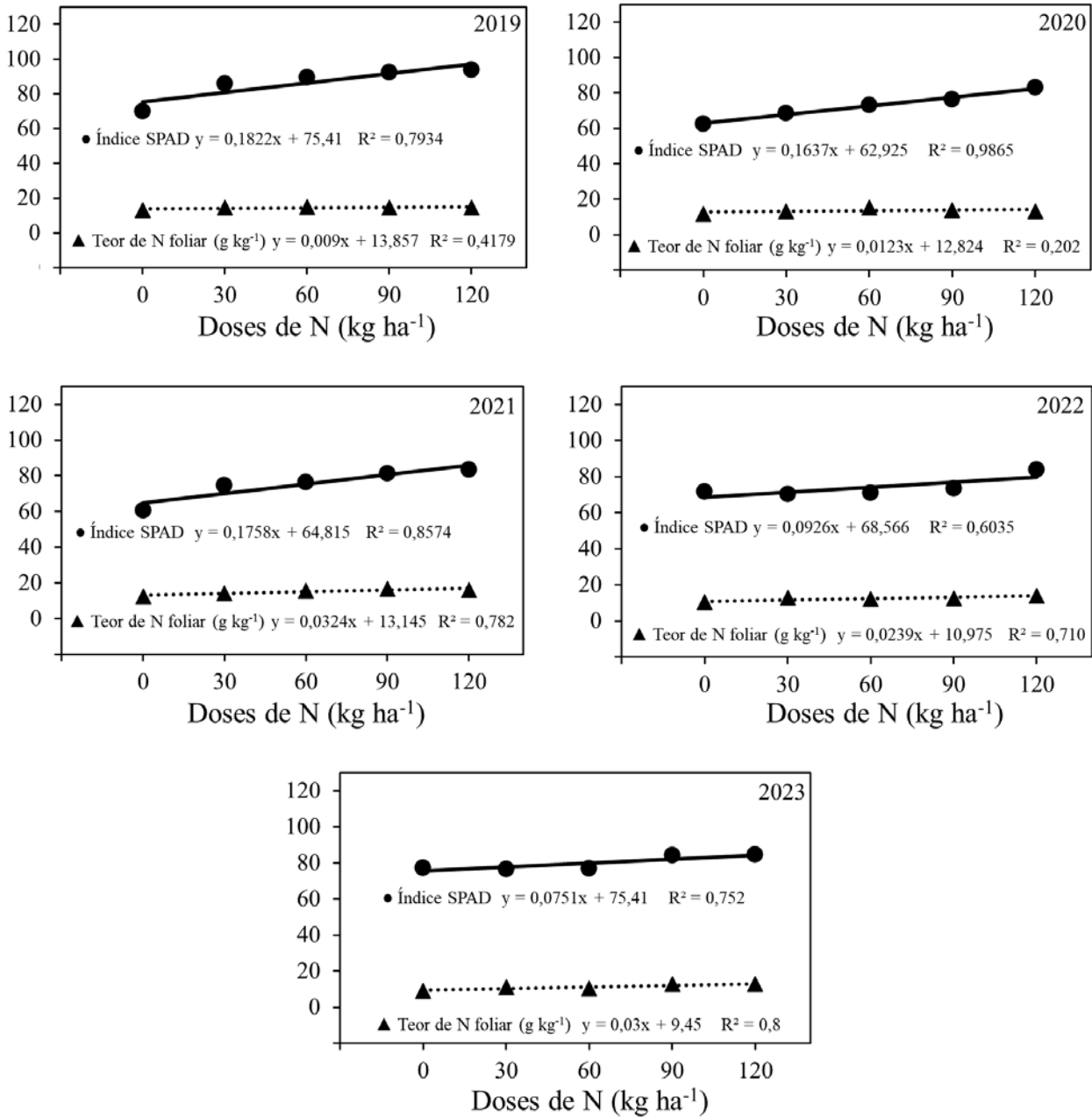


Figura 3: Estimativa do conteúdo foliar de N (g kg⁻¹) e índice SPAD em oliveiras Arbequina, em função das doses de N aplicadas na superfície do solo durante os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 (p < 0,05).

13. Considerações finais

Para a adubação de crescimento, os resultados obtidos ao longo de quatro ciclos de avaliações, evidenciaram que é possível obter adequado crescimento das plantas no período de formação do olival com taxas de adubação nitrogenada menores que a recomendação atual. Entretanto, é necessário a realização de novos ensaios experimentais em diferentes locais para propor atualização nas recomendações. Ainda que a aplicação de diferentes doses de N na fase de crescimento das plantas de oliveiras 'Koroneiki' tenha promovido maior crescimento das plantas, não foi possível antecipar o início do ciclo produtivo.

A adubação de manutenção, evidenciou a necessidade de ajuste nas taxas de aplicação de N e K nos olivais no Sul do Rio Grande do Sul. A adubação nitrogenada eleva a produtividade de oliveiras 'Arbequina', contudo, o excesso deste nutriente reduz o rendimento de azeite, os teores de CFT e a atividade antioxidante, logo, é essencial adequação das taxas de N aplicadas conforme a necessidade das plantas. A adubação potássica eleva a produtividade de oliveiras 'Koroneiki', rendimento de azeite de oliva e altera os parâmetros de qualidade do azeite de oliva, entretanto, altas taxas de K aplicadas, demonstrou acúmulo desse nutriente no perfil do solo e indicam efeitos negativos na qualidade do azeite.

Por fim, é necessário a realização de novas pesquisas em diferentes locais e condições edafoclimáticas, para a obtenção de dados mais robustos, sendo possível assim, a geração de uma recomendação regional para o manejo da adubação de oliveiras.

14. Referências bibliográficas (Introdução geral)

- AGROLINK. **Produção de azeite de oliva cresce exponencialmente no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/producao-de-azeite-de-oliva-cresce-exponencialmente-no-brasil/>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- ALBA, J. M. F.; FLORES, C. A.; WREGE, M. S. **Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul**. Brasília: Embrapa Clima Temperado, 2013. 70 p.
- AMBROSINI, L. B. et al. Cadastro olivícola do Rio Grande do Sul. **Circular Technical Disclosure; SEAPDR-DDPA: Porto Alegre, Brazil**, 2022.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 2022. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2022. 96 p.
- FACHINELLO, J. C. et al. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 109-120, 2011.
- FILODA, P. F.; CHAVES, F. C.; HOFFMANN, J. F.; ROMBALDI, C. V. Olive oil: A review on the identity and quality of olive oils produced in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, 2021.
- FRAGA, H.; MORIONDO, M.; LEOLINI, L.; SANTOS, J. A. Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 56, 2020.
- IBRAOLIVA - Instituto Brasileiro de Olivicultura. **Sucesso da abertura da colheita da Oliva gera otimismo entre os produtores**. 2023. <https://www.ibraoliva.com.br/noticias/detalhe/181/sucesso-da-abertura-da-colheita-da-oliva-gera-otimismo-entre-os-produtores>. Acesso em: 20 abr. 2023.

IBRAOLIVA - Instituto Brasileiro de Olivicultura. **Abertura oficial da colheita da oliva será em Caçapava do Sul.** 2020. Disponível em: <https://www.ibraoliva.com.br/noticias/detalhe/77/abertura-oficial-da-colheita-da-oliva-sera-em-cacapava-do-sul>. Acesso em: 20 abr. 2023.

VOSSEN, P. Olive oil: history, production, and characteristics of the world's classic oils. **HortScience**, v. 42, n. 5, p. 1093-1100, 2007.