

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**DOUTORADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**MARIA CAROLINA DOS SANTOS FIGUEIREDO**

**CORRELAÇÃO DE NUTRIENTES E CALIBRAÇÃO DA ADUBAÇÃO BORATADA  
EM POMARES DE OLIVEIRA (*Olea europaea* L.) DA CULTIVAR ARBEQUINA NO  
SUL DO BRASIL**

**SÃO GABRIEL**

**2022**

**MARIA CAROLINA DOS SANTOS FIGUEIREDO**

**CORRELAÇÃO DE NUTRIENTES E CALIBRAÇÃO DA ADUBAÇÃO BORATADA  
EM POMARES DE OLIVEIRA (*Olea europaea* L.) DA CULTIVAR ARBEQUINA NO  
SUL DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutora em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Costa Beber Vieira

**SÃO GABRIEL**

**2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F475c Figueiredo, Maria Carolina dos Santos  
Correlação de nutrientes e calibração da adubação boratada  
em pomares de oliveira (*Olea europaea* L.) da cultivar  
Arbequina no sul do Brasil / Maria Carolina dos Santos  
Figueiredo.

79 p.

Tese(Doutorado)-- Universidade Federal do Pampa, DOUTORADO  
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, 2022.

"Orientação: Frederico Costa Beber Vieira".

1. Oliveira. 2. Nutrição. 3. Fertilização. 4. Boro. I.  
Título.

**MARIA CAROLINA DOS SANTOS FIGUEIREDO**

**CORRELAÇÃO DE NUTRIENTES E CALIBRAÇÃO DA ADUBAÇÃO BORATADA EM  
POMARES DE OLIVEIRA (*Olea europaea* L.) DA CULTIVAR ARBEQUINA NO SUL DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas.

Dissertação defendida e aprovada em: 21/09/2022.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Frederico Costa Beber Vieira

Orientador

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Tadeu Luis Tiecher

IFRS

---

Prof. Dr. Gilberto Nava

EMBRAPA

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Mirla Andrade Weber  
UNIPAMPA

---



Assinado eletronicamente por **FREDERICO COSTA BEBER VIEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/09/2022, às 09:29, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **Gilberto Nava, Usuário Externo**, em 22/09/2022, às 10:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **Tadeu Luis Tiecher, Usuário Externo**, em 22/09/2022, às 11:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **MIRLA ANDRADE WEBER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/09/2022, às 13:38, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0932556** e o código CRC **977DAC39**.

---

Dedico este trabalho aos meus pais, Édna e João.

## AGRADECIMENTO

À Universidade Federal do Pampa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas pela oportunidade de continuar meus estudos, com ensino de qualidade e de forma gratuita, para que eu possa retribuir para a sociedade os conhecimentos adquiridos.

Ao Prof. Dr. Frederico Costa Beber Vieira, um grande orientador, por primeiramente aceitar me orientar e pela assistência em muitos momentos com palavras amigas e tranquilizadoras.

Aos professores do curso, que de alguma maneira contribuíram para minha formação.

Aos produtores Gustavo Lima, Marcelo Costi, Tales Altoé, Rosane Abdala, Marco Aurélio Cunha, Antônio Ramalho e Guilherme Oliveira, pela autorização de uso de suas propriedades para a realização desse trabalho.

À empresa Yara pelo fornecimento do produto usado no experimento (YaraVita® Bortrac™).

Aos meus pais, Édna e João, por todo o sacrifício para que eu pudesse ter o melhor ensino e sem os quais não teria chegado até aqui. Às minhas irmãs, Simone e Milene, meus cunhados, Marcos e Márcio, meus sobrinhos, João, Ana e Manuela, pelo apoio incondicional em muitos momentos e por compreender minha ausência.

Ao meu esposo, Jonatan, que não auxiliou somente com apoio moral, como também participou de coleta e escutando com paciência todas as prévias de apresentações.

Aos amigos por todo auxílio prestado, seja com a ajuda nos cálculos para preparo de soluções, ou com palavras amigas, conselhos e momentos de descontração (Rosângela, Daiane, Adriana, Marícia, Giovani, Alessandra, Tiago).

Aos amigos do laboratório LABSEF (Iolanda, Vanessa, Carine, Alisson, Matheus, Mirla) que em muito ajudaram e contribuíram para que eu conseguisse finalizar essa pesquisa.

Aos revisores do artigo publicado pelas contribuições para melhoria do material.

À banca, pelas sugestões e contribuições de melhoria no trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito obrigada!

“[...]”

A cápsula perfeita da oliva

Preenchendo com suas constelações as folhagens,

Mais tarde as vasilhas, o milagre,

O Azeite.”

Pablo Neruda



## RESUMO

O cultivo de oliveiras (*Olea europaea* L.) vem crescendo no Brasil, onde o estado do Rio Grande do Sul tem se destacado na qualidade dos azeites e também em produção. Contudo, as práticas de manejo para a cultura não estão adequadas às condições edafoclimáticas locais, especialmente o nutriente boro (B) prejudicando a produção de frutos. Objetivando a melhoria do sistema de recomendação de fertilizantes, com enfoque no B, foram realizados estudos em pomares na região central do Rio Grande do Sul, nos municípios de Cachoeira do Sul, Caçapava do Sul e São Gabriel, entre os anos de 2018 e 2021. Primeiramente foram avaliados oito pomares com o intuito de verificar o estado nutricional, através de análises químicas de solo, folhas e frutos (quando houve produção) de 10 plantas de cada pomar. Descobriu-se que o excesso de N pode estar causando limitação de produção; e que em vários pomares há presença de elevados teores de  $Al^{3+}$  associado à condição de acidez na camada mais profunda (20-40 cm). Observou-se também diminuição do teor de B em frutos em condição de alto pH no solo, sugerindo que o nível crítico do elemento no solo pode ser pH dependente. No segundo estudo, foram avaliados quatro pomares, entre 5 e 17 anos de idade, através da aplicação de quatro doses de boro na forma de ulexita (0, 25, 50 e 100 g árvore<sup>-1</sup>) associado à presença ou ausência de fertilização foliar. Amostras de solo e folhas foram coletadas previamente à aplicação dos fertilizantes e analisadas quimicamente para verificação do estado nutricional inicial (inverno 2019). No verão de 2020, frutos e folhas foram amostrados para análise de nutrientes (N, P, K e B) e quantificação da produção para posterior análises estatísticas, e no verão de 2021, foi realizada a quantificação da produção para avaliação de efeito residual. No ano de 2020, onde houve baixa produção de frutos devido à alternância, não foram observadas diferenças significativas tanto para os tratamentos via solo quanto foliar. No entanto, em 2021, a dose de 100 g de ulexita árvore<sup>-1</sup> sem adubação foliar promoveu o melhor efeito residual, dada pelos maiores valores de produção de frutos. Os resultados em geral reforçam a necessidade de atenção quanto à alta demanda de B pelas oliveiras, principalmente em pomares onde o pH do solo foi elevado a altos valores pela calagem (pH > 7,0).

Palavras-Chave: oliveira; nutrição; fertilização; boro.

## ABSTRACT

The cultivation area with olive trees (*Olea europaea* L.) has been increasing in Brazil, where the state of Rio Grande do Sul has stood out in olive oil quality and yield. However, the management practices for the crop require adjustments for local soil and climate conditions, especially the boron (B) nutrient, which affects fruit production. Aiming to improve the fertilizer recommendation system, focusing on B, studies were conducted in orchards in central region of Rio Grande do Sul, in the municipalities of Cachoeira do Sul, Caçapava do Sul, and São Gabriel, between the years 2018 and 2021. First, eight orchards were evaluated to verify the nutritional status, through chemical analyses of soil, leaf, and fruit (when fruit set was present) tissues from ten plants from each orchard. It was found that excess of nitrogen in leaf may have limited the yield and, in several orchards, there were high levels of  $Al^{3+}$  associated with the acidity condition in the deepest layer (20-40cm). We also observed a decrease of B content in fruits under high pH conditions in the soil, suggesting that the critical level of the element in the soil may be pH-dependent. In the second study, four orchards, ranging from 5 to 17 year-age, were evaluated by applying four B rates as ulexite (0, 25, 50, and 100 g ulexite tree<sup>-1</sup>) associated with the presence or absence of foliar fertilization. Soil and leaf samples were collected previously to the fertilizer applications and were chemically analyzed to verify the initial nutritional status (winter 2019). In the summer of 2020, fruits and leaf tissue were sampled for nutrient analysis (N, P, K, and B) and quantification of yield for further statistical analysis, and in summer of 2021, yield quantification was performed for residual effect evaluation. In 2020, when there was low fruit set due to alternate bearing, no significant differences were observed for both soil and foliar treatments. Nevertheless, in 2021, the application of 100 g ulexite tree<sup>-1</sup> without foliar fertilization promoted the best residual effect, given by the highest yield per tree. The results in general reinforce the need to pay attention to the high B demand for olive trees, especially in orchards where soil pH was raised to high values by liming (pH > 7.0).

Keywords: olive tree; nutrition; fertilization; boron.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico representativo da curva de resposta entre o teor de nutriente do solo (mg dm<sup>3</sup>) e rendimento relativo (%). ..... 29

### Artigo 1

Figure 1 – Multiple regression among soil pH, available boron in soil and average content of B in fruit. a) Layer 0-10 cm; b) Layer 10-20 cm; c) Layer 20-40 cm.....49

### Artigo 2

Figure 1 – Olive fruit yield (mean of three orchards) in the second harvest after B fertilization (residual effect of fertilizers) using ulexite rates in soil and the absence (a) and presence (b) of B foliar fertilization.....62

### Apêndices

Figura 2 – Processo de extração de B em solo. A) Chapa de aquecimento e amostras de solo preparadas com solo e solução extratora. B) Amostras em aquecimento em Erlenmeyer tampadas funis de vidro.....77

Figura 3 - Processo de moagem de frutos (azeitonas) com moedor manual e pasta obtida após o processo.....79

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Classes de valores para a interpretação de níveis de nutrientes em solo para a cultura da oliveira, conforme CQFS – RS/SC (2016) e EPAMIG (2012). ..... | 30 |
| Tabela 2 - Classes de valores para a interpretação de níveis de nutrientes em tecido vegetal para a cultura da oliveira, conforme EPAMIG (2012).....               | 31 |

### Artigo 1

|  |    |
|--|----|
| Table 1 – Location and characteristics of the orchards analyzed.....   | 37 |
| Table 2 - Relative distribution of soil samples (%) as to pH-H <sub>2</sub> O values and exchangeable aluminum content (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) according to soil depth in olive orchards.....          | 39 |
| Table 3 - Percent distribution of soil samples, per layer, and leaf tissue in the interpretation classes of N, P, K, and B contents in the evaluated orchards, according to CQFS-RS/SC (2016) and EPAMIG (2012)..... | 41 |
| Table 4 - Data on total production, nutrient content of fruit, and nutrient exportation by fruit in g tree <sup>-1</sup> e kg ha <sup>-1</sup> for orchard 3, Caçapava do Sul-RS. E.U: Experimental Unit.....        | 42 |
| Table 5 - Data on total production, nutrient content of fruit, and nutrient exportation by fruit in g tree <sup>-1</sup> e kg ha <sup>-1</sup> for orchard 7, Caçapava do Sul-RS. E.U: Experimental Unit.....        | 43 |
| Table 6 - Correlation between soil parameters (0-40 cm), leaf, and fruit nutrients, and relative yield of evaluated orchards.....  | 45 |
| Table 7 - Correlation between soil parameters (0-10 cm), leaf and fruit nutrients, and relative yield of evaluated orchards.....   | 46 |
| Table 8 - Correlation between soil parameters (10-20 cm), leaf and fruit nutrients and relative yield of evaluated orchards.....   | 47 |
| Table 9 - Correlation between soil parameters (20-40 cm), leaf and fruit nutrients and relative yield of evaluated orchards.....   | 48 |

### Artigo 2

|   |    |
|---|----|
| Table 1 – Location and identification of analyzed orchards.....   | 57 |
| Table 2 – Physicochemical characterization of soil and leaf tissue previously to the treatment application at the analyzed orchards. N = nitrogen, P = phosphorus, K = potassium, B = boron, Al = aluminum..... | 58 |

Table 3 – Chemical attributes from leaf and fruit tissues, sampled at the moment of the first fruit harvest after soil and foliar fertilization (February/March 2020). N = nitrogen; P = phosphorus; K = potassium; B = boron..... 60

Table 4 – Summary of analysis of variance (ANOVA) of olive fruit yield to orchards 1 and 2 in the first harvest (application year) and orchards 1, 3, and 4 in the second harvest (residual effect). ..... 61

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

COI – Comitê Oleícola Internacional

CQFS – RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

EVOOWR – World Ranking of Extra Virgin Olive Oils

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NYIOOC – New York International Olive Oil Competition

SEAPDR - Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>A oliveira: origem, localização e expansão.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Descrição botânica, exigências climáticas e edáficas.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Cultivar Arbequina.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Nutrição.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>2.4.1</b> | <b>Nitrogênio.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>2.4.2</b> | <b>Fósforo.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.4.3</b> | <b>Potássio.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>2.4.4</b> | <b>Boro.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Sistema de recomendação e ajustes.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>Sistema de recomendação de fertilizantes para a olivicultura no Brasil....</b>   | <b>29</b> |
| <b>3</b>     | <b>OBJETIVOS.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Objetivo Geral.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Objetivos específicos.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>4</b>     | <b>HIPÓTESE.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Hipótese geral.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Hipóteses específicas.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Artigo 1 - Correlations among nutrient contents in soil, leaf, and fruit tissues and yield of <i>Olea europaea</i> CV. Arbequina in the south of Brazil.....</b> | <b>35</b> |
| <b>1</b>     | <b>Introduction.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>2</b>     | <b>Methodology.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3</b>     | <b>Results.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Chemical Analysis.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Pearson correlations between nutrients in the soil, leaf tissue, fruits, and relative yield.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Timing for sampling leaf tissue and effect on correlations.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Diagnostic soil sampling layer and effect on correlations.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>4</b>     | <b>Discussion.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>5</b>     | <b>Conclusion.....</b>  | <b>52</b> |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>6</b>     | <b>Acknowledgments.....</b>   | <b>52</b> |
|              | <b>References.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>Artigo II - Calibration of boron fertilization through the soil and foliar applications in olive (<i>Olea europaea</i> L.) in the Rio Grande do Sul state, Brazil.....</b> | <b>55</b> |
| <b>5.2.1</b> | <b>Introduction.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>5.2.2</b> | <b>Material and Methods.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>5.2.3</b> | <b>Results and Discussion.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>5.2.4</b> | <b>Conclusion.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>5.2.5</b> | <b>Acknowledgments.....</b>   | <b>63</b> |
|              | <b>References.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>6</b>     | <b>DISCUSSÃO.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>7</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>   | <b>68</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>69</b> |
|              | <b>APÊNDICES.....</b>   | <b>76</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

Originária da região do Mediterrâneo, a oliveira (*Olea europaea* L.) é uma das plantas mais antigas a serem cultivadas pelo homem, datando de 6.000 a.C. (ALMEIDA, 2018). A expansão de seu cultivo ocorreu na era das grandes navegações no século XV, levada principalmente por Portugal e Espanha para os países de clima subtropical e temperado. A chegada nos países da América do Sul pode ser considerada recente, iniciando por México, Estados Unidos, Peru e posteriormente Chile e Argentina.

No Brasil, a espécie foi introduzida pelos portugueses em 1800 nas regiões sudeste e sul, mas o cultivo inicial, que se resumia a pequenos pomares nos arredores de igrejas, não prosperou, pois a Coroa Portuguesa não queria concorrência para seu azeite e com isso ordenou o corte dos pequenos pomares. Desde então, até o fim do século passado, as tentativas de inserção da cadeia de produção olivícola foram incipientes no país. No entanto, o fomento ao consumo de azeite e produtos olivícolas, principalmente devido às questões de alimentação saudável e mudanças de hábito nos padrões dietéticos da população, fez com que o país se tornasse um grande consumidor. O consumo desses produtos teve um aumento significativo após pesquisas revelarem os benefícios que podem trazer à saúde, por exemplo, prevenção de diabetes e doenças cardiovasculares, redução de pressão arterial, efeitos antioxidantes, redução dos efeitos em casos de demência e doença de Alzheimer (NOGUEIRA-DE-ALMEIDA *et al.*, 2015). Também demonstrou ser importante no tratamento de mulheres com câncer de mama (PINHEIRO *et al.*, 2017). Por esse motivo, o Brasil acabou se tornando um grande importador tanto de azeite quanto de azeitona, ocupando atualmente a 3ª posição entre os países que mais importam azeite de oliva (COMITÊ OLEÍCOLA INTERNACIONAL - COI, 2020), importando produtos principalmente de Portugal e Espanha.

Neste cenário de alta demanda de importação, principalmente a partir do atual milênio, ajudou a motivar a recente e expressiva expansão do cultivo desta espécie no Brasil. Os estados que mais se destacam no cultivo da oliveira são Rio Grande do Sul e Minas Gerais, seguidos por Santa Catarina e São Paulo. No Rio Grande do Sul, os primeiros relatos de cultivo da oliveira são de 72.000 mudas vindas da Argentina e plantadas em Uruguaiana. O azeite proveniente desses pomares foi enviado para análises em laboratórios nacionais e italianos e os resultados já mostravam o grande potencial da cultura no estado. Com isso, foi criado, em 1948 o setor de Serviço Oleícola na Secretaria de Agricultura, que tinha como objetivo a orientação e fomentação de pesquisas. Porém, o conhecimento da época não foi suficiente para alavancar a produção e os pomares plantados acabaram extinguindo-se. Somente nos anos 2000 a

olivicultura realmente começou a ter um certo êxito no estado. Em 2002 um grupo de olivicultores de Caçapava do Sul solicitou auxílio ao Governo do estado para a implantação de novos pomares e com isso, a partir de 2011 as primeiras colheitas já foram realizadas (ALMEIDA, 2018).

No ano de 2013, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Clima Temperado fez um levantamento com base em características edáficas e dividiu a área do Rio Grande do Sul em quatro classes quanto à aptidão para a olivicultura: preferencial, recomendável, pouco recomendável e não recomendável (ALBA *et al.*, 2013). Segundo este levantamento, em função das condições climáticas e do solo, o estado do RS tem potencial interessante para a olivicultura.

A Câmara Setorial das Oliveiras, juntamente com produtores, formou no ano de 2015 o Programa Estadual de Desenvolvimento da Olivicultura (Pró-Oliva) para, além de fomentar pesquisas, auxiliar a cadeia produtiva da olivicultura, fortalecendo a cultura no estado. Em 2019, foi instituída no estado a Rota das Oliveiras, através da Lei 15.309, cujo objetivo é impulsionar o olivoturismo, estando incluídos nessa rota os municípios de Cachoeira do Sul, Caçapava do Sul, São Gabriel entre outros (SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL - SEADPR, 2021).

A área plantada de olivicultura no estado está estimada em 5986 hectares e produção de 448 mil litros de azeite em 2022 (SEAPDR, 2022), um novo recorde de produção para o estado, que vem se destacando e recebendo prêmios internacionais nos Concursos EVO International Olive Oil Contest e NYIOOC World Olive Oil Competition, (EVO IOOC, 2021; BEST OLIVE OILS, 2021), que escolhem os melhores azeites do mundo em diversas categorias. Apesar disso, a produção supre em torno de 0,6% do consumo nacional do produto, cerca de 70 milhões de litros (JORNAL DA FRUTA, 2021), apresentando grande potencial de expansão no Rio Grande do Sul.

Porém, mesmo com as melhorias ocorridas nos últimos anos, muitas lacunas ainda necessitam ser preenchidas para aperfeiçoar o cultivo da oliveira. As recomendações de adubação e calagem para a olivicultura para o estado do Rio Grande do Sul são muito recentes, incluídas no Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina apenas no ano de 2016 (CQFS-RS/SC, 2016) e no livro de Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas, do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (BRUNETTO *et al.*, 2020). Mesmo assim, ainda é um grande desafio para os produtores o manejo do olival, visto que as recomendações são baseadas em pesquisas que foram

majoritariamente realizadas em países do Mediterrâneo e no oeste dos Estados Unidos, cujas características climáticas, relevo e solos são totalmente diferentes das encontradas no estado.

Bender, Weber e Vieira (2018) realizaram um estudo em 13 pomares adultos, representativos da região central do RS, demonstrando que há vários aspectos que necessitam ser ajustados no atual sistema de recomendação de adubação e calagem para esta cultura. Entre os vários aspectos, o excesso de macronutriente nitrogênio (N) parece ter limitado a produção, aliado ao micronutriente boro (B), que foi o que mais limitou a produção e que parece ser o que mais requer ajuste das suas recomendações, incluindo o nível crítico do nutriente no solo, que estaria cinco vezes abaixo do ideal.

Não há, até o momento, resultados de estudos de pesquisa em relação à correlação e ajuste de doses de fertilizantes com B para a espécie no Rio Grande do Sul. Os níveis críticos de B no solo adotados para a maioria das culturas não se adaptam à oliveira, pois esta espécie é mais exigente quanto a este micronutriente e a dinâmica do B no sistema solo-planta não ocorre da mesma forma que em condições mediterrâneas.

Devido ao grande potencial que a cultura da oliveira apresenta no estado e a necessidade de melhorias no sistema de recomendação de adubação e calagem em vigor, esse trabalho teve por objetivo contribuir para o aprimoramento do sistema de recomendação de fertilizantes para a cultura da oliveira no Rio Grande do Sul, com ênfase no nutriente boro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A oliveira: origem, localização e expansão

A oliveira (*Olea europaea* L.), pertencente à família Oleaceae, é a única espécie da família com frutos comestíveis, denominados azeitonas. Acredita-se que é uma das plantas mais antigas a ser cultivada pelo homem, remontando aos tempos do período neolítico, com origem atribuída à Síria ou Líbano (VILLA; OLIVEIRA, 2012). Segundo Mushtaq *et al.* (2020), a Bacia Mediterrânea contém 95% da área mundial cultivada, em região semiárida, cujo clima é caracterizado por verões quentes e secos e invernos frios e úmidos, com variada sazonalidade da precipitação anual, maiores que 300 mm por ano (DEITCH; SAPUNDJIEDFF; FEIRER, 2017).

A expansão do cultivo para outras regiões começou na época das grandes navegações, quando portugueses e espanhóis introduziram a planta em outros países. No século XVI chegou ao México, Peru, Chile e Argentina e mais adiante, século XVIII, aos Estados Unidos (VILLA; OLIVEIRA, 2012). No Brasil, foi introduzida pelos portugueses, em torno de 1800, em diferentes regiões, geralmente nas proximidades de igrejas, devido ao “Domingo de Ramos”, ou por curiosidade. Como Portugal não queria concorrência para seu azeite, ordenou o corte dos pequenos olivais.

No Rio Grande do Sul, o cultivo da oliveira teve início na década de 1930 e por volta de 1948 foi criado um órgão oficial na Secretaria da Agricultura (Serviço Oleícola), cujo objetivo era promover e orientar pesquisas (COUTINHO *et al.*, 2009). A partir da década de sessenta surgiram mais áreas de plantio, não somente no Rio Grande do Sul como também em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, contudo, devido à falta de conhecimento para o cultivo, a produção não foi bem-sucedida. Por esse motivo, o Brasil acabou se tornando um dos maiores importadores de azeite e azeitona de mesa, sendo, atualmente, o terceiro país que mais importa azeite de oliva (COI, 2020).

Tendo em vista o aumento do consumo dos produtos provenientes da oliveira, a partir dos anos 2000 um novo ciclo de produção teve início, marcada pelo zoneamento edafoclimático, pela expansão expressiva da área cultivada, pela tecnificação da produção e pela expansão da indústria do azeite. Os azeites produzidos no país têm recebido prêmios internacionais (EVOOWR, 2020). Atualmente o Rio Grande do Sul possui a maior área plantada no país, com cerca de 5.986 hectares e 448,5 mil litros de azeite produzidos em 2022, oriundos de 17 indústrias e 70 marcas de azeite (PRÓ-OLIVA, 2022), e há um enorme potencial de expansão destes números.

## 2.2 Descrição botânica, exigências climáticas e edáficas

A oliveira apresenta fases juvenil e adultas distintas, sendo, portanto, uma planta polimórfica. A primeira caracteriza-se pelo maior enraizamento e a segunda pela capacidade reprodutiva (CRUZ *et al.*, 2012). A transição entre as fases ocorre a partir do 3º ano (formada por propagação vegetativa).

O sistema radicular depende da origem da planta: quando a mesma é proveniente de estacas, apresenta inúmeras raízes adventícias e quando é formada por sementes possui uma raiz pivotante (BARROS, 2011; CRUZ *et al.*, 2012).

A árvore apresenta tamanho médio (4-8m), tronco grosso e a coloração do córtex variando de cinza a verde-acinzentado. A copa é densa e arredondada (CRUZ *et al.*, 2012). As folhas, simples lanceoladas, são grossas e com cutícula na face adaxial, que protege contra altas temperaturas (COUTINHO *et al.*, 2009; KAILIS, 2017) e face abaxial com presença de tricomas que conferem coloração branco-prateada (CRUZ *et al.*, 2012).

As flores podem ser perfeitas (hermafroditas) ou estaminadas com pistilos não desenvolvidos (EREL *et al.*, 2016). Para que o florescimento ocorra, é necessária acumulação de frio que acarretará quebra de dormência dos brotos. Contudo, deve-se ter cuidado com temperaturas muito baixas, já que o crescimento da planta pode cessar com temperaturas abaixo de 5 °C (GARCÍA; MESQUITA; ALVARENGA, 2012).

O fruto, comestível, é uma drupa denominada azeitona. Quando maduro, tem coloração violácea ou vermelha. Possui três tecidos: endocarpo, duro; mesocarpo, polpa (acúmulo de azeite no vacúolo das células parenquimáticas) e exocarpo, tecido externo (CRUZ *et al.*, 2012).

Durante o período de floração, a temperatura ideal é em torno de 20°C, enquanto a temperatura ótima para a frutificação deve permanecer entre 25 e 35°C. A necessidade hídrica da espécie, em média, é de 900 mm por ano, com chuvas preferencialmente regulares e umidade relativa entre 60-80%. (COUTINHO *et al.*, 2009; CRUZ *et al.*, 2012; GARCÍA; MESQUITA; ALVARENGA, 2012).

Os solos onde a oliveira melhor se adapta são os de textura média, com aeração e permeabilidade adequadas, com profundidade efetiva maior que 0,80 m, pois as raízes podem alcançar até 1,5 m quando não há impedimento, com pH próximo a neutralidade e com boa drenagem, pois a umidade nos solos um dos fatores mais limitantes para o crescimento (NICOLODI *et al.*, 2009; GARCÍA; MESQUITA; ALVARENGA, 2012).

## 2.3 Cultivar Arbequina

Uma das cultivares mais cultivadas no mundo é a Arbequina, de origem espanhola. É uma das melhores cultivares para fabricação de azeite e tem fácil adaptação a novos ambientes (BORGES *et al.*, 2017). Porém não se adapta bem a locais cujo solo é suscetível ao encharcamento ou muito argiloso.

Caracteriza-se por apresentar copa aberta, baixo vigor, ciclo precoce e fruto com teor de azeite considerado alto (16%-18%), motivo pelo qual é apreciada para produção de azeite. Apesar da qualidade de seu azeite ser considerada boa, sua estabilidade é baixa devido ao alto teor de ácido linoleico (DOMINGUETE, 2016; DOS SANTOS *et al.*, 2021).

## 2.4 Nutrição

### 2.4.1 Nitrogênio

O Nitrogênio (N) é um macronutriente essencial para as plantas, atuando principalmente no crescimento e desenvolvimento, fazendo parte da composição de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos (INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI, 2018; HAIFA GROUP, 2019), sendo absorvido principalmente através das formas inorgânicas nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (TSABARDUCAS *et al.*, 2017).

No solo, grandes quantidades podem ser perdidas por processos como volatilização da amônia, lixiviação ou desnitrificação, podendo contaminar corpos d'água, além da formação de gases de efeito estufa, com destaque para o óxido nitroso, que contribuem para o aumento do efeito estufa.

Oliveiras tem um alto requerimento de N, sendo por esse motivo, o nutriente mais comumente aplicado nos olivais. Entre as funções que exerce estão a estimulação de desenvolvimento de gemas floríferas, aceleração do crescimento vegetativo e, conseqüentemente, maior produção (MESQUITA; GARCÍA, COSTA, 2012).

Quando deficientes em N, as plantas podem apresentar sintomas como folhas pequenas e amareladas, baixo crescimento de brotos e baixo pegamento de frutos (HAIFA GROUP, 2019), caules débeis e quedas das folhas basais (MESQUITA; GARCÍA, COSTA, 2012).

Em oliveiras, um estudo de Rodrigues *et al.* (2019) mostrou que a aplicação de N pode diminuir a presença de moscas *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790), atrasando o amadurecimento dos frutos que não atrairão o inseto.

Apesar do alto requerimento de N supracitado, deve-se ter em vista que seu excesso é prejudicial, pois pode deixar as plantas mais suscetíveis a doenças, mais sensíveis quanto ao

estresse climático (por exemplo, geadas), além de causar danos fisiológicos, com destaque à inibição de florescimento (MESQUITA; GARCÍA, COSTA, 2012). Ainda, tais consequências podem afetar o desenvolvimento dos frutos, atrasando a maturação, levando a um crescimento exacerbado da parte vegetativa e dificuldade de absorção de outros nutrientes, como boro, ferro, magnésio e potássio (FERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.*, 2002; ZAMORA *et al.*, 2010). O excesso de N também pode promover diminuição de polifenóis no azeite, implicando em menor estabilidade do mesmo e, ainda, diminuir a longevidade dos óvulos das flores (FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2011).

Para evitar o excesso da aplicação do nutriente, é recomendado monitorar o estado nutricional das plantas através das análises foliares (NIETO *et al.*, 2017). Para o N, o recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS – RS/SC) através do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016) é que o teor esteja entre 1,5% e 2,0% para ser considerado como adequado.

#### **2.4.2 Fósforo**

Fósforo (P) é um macronutriente essencial para as plantas, fazendo parte da bicamada fosfolipídica de membranas celulares, ácidos nucléicos (DNA e RNA), nucleotídeos, coenzimas além de sua importância em reações que envolvam gasto de energia com a presença de fosfatos de adenosina (ATP, AMP, ADP) (TAIZ; ZEIGER, 2009). Ainda atua nos processos de fotossíntese, divisão celular, desenvolvimento dos tecidos meristemáticos e aumento da resistência da planta ao período de inverno e a doenças (MESQUITA; GARCÍA, COSTA, 2012).

Os teores de P no solo dependem do material de origem, do intemperismo exercido nesse material e dos processos geoquímicos que controlam o ciclo do elemento (SANTOS, 2000). O basalto é um material que possui alta concentração de P, dando origem a solos com alto teor do elemento (ANDRADA, 2005). O processo de intemperização libera os minerais fosfatados primários do material de origem para a solução do solo, originando minerais secundários (argilas 2:1, argilas 1:1 e óxidos), que são mais estáveis termodinamicamente. Em geral, quanto mais intemperizado for o solo, menor será o teor de P disponível às plantas. Solos oxidícos tendem a ter baixo teor de P devido à quimiossorção específica dos fosfatos aos óxidos. O P liberado no intemperismo pode ser, também, incorporado a compostos orgânicos (SANTOS, 2000; SANTOS; GATIBONI, KAMINSKI, 2008). Assim, o P no solo pode estar na forma orgânica ( $P_o$ ) ou inorgânica ( $P_i$ ), dependendo do composto com o qual está ligado (SANTOS;

GATIBONI, KAMINSKI, 2008). O  $P_o$  tem origem da atividade de decomposição microbiana, dos tecidos microbianos e de resíduos vegetais adicionados ao solo (ROSSI, 2013), podendo estar prontamente disponível ou fazendo parte de compostos orgânicos estáveis (SANTOS, 2013). Para que as plantas possam absorver o  $P_o$ , enzimas fitases e fosfatases devem fazer a sua transformação para  $P_i$ , através de um processo conhecido como mineralização. O  $P_i$  consiste no P adsorvido nas argilas silicatadas, óxidos de ferro e alumínio e minerais primários (SANTOS; GATIBONI, KAMINSKI, 2008).

Nos solos do sul do Brasil, em geral, a concentração de P natural é baixa (LIMA, 2021). A sua baixa disponibilidade e baixa mobilidade no solo (HOLFORD, 1997) fazem com que a incorporação em camadas profundas seja necessária para a oliveira (MESQUITA; GARCÍA, COSTA, 2012). A imobilidade do nutriente nos solos se deve ao fato de permanecer adsorvido aos óxidos ou por estar precipitado (SANTOS, 2013). Entre os fatores que afetam a solubilidade de P no solo estão o pH, concentração de ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca), além do tipo de partículas presentes no solo (HOLFORD, 1997).

Tanto no solo quanto nas plantas, o P se movimenta através do processo de difusão. A diferença está no fato de que no solo o movimento ocorre de maneira muito lenta, enquanto na planta o elemento é transportado rapidamente via floema, sendo ligeiramente incorporado aos tecidos ou redistribuído para outras partes, principalmente para os drenos, que são os órgãos em desenvolvimento (SFREDO, 2008). Plantas absorvem o P apenas como íons fosfato inorgânicos ( $HPO_4^{2-}$  e  $H_2PO_4^-$ ) presentes na solução do solo (HOLFORD, 1997; INPI, 2018).

Em oliveiras, embora sejam raros os trabalhos que evidenciem resposta da cultura à adubação fosfatada a campo, Erel *et al.* (2013a) e Erel *et al.* (2016) demonstraram, em cultivo de oliveiras em containers, que a fertilização fosfatada melhorou a floração, aumentando a taxa de flores perfeitas e diminuindo o aborto do pistilo e conseqüentemente, o pegamento do fruto.

Segundo Grant *et al.* (2001), a deficiência de P acarreta na redução da produção de ácidos nucléicos e proteínas, inibição e paralisação do crescimento celular o que faz com que as plantas tenham redução de crescimento e atraso na brotação de folhas novas. Ainda, pode resultar em caules delgados, morte de folhas mais velhas e coloração escurecida de folhas podendo apresentar também tons arroxeados, devido à produção excessiva de antocianinas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

### 2.4.3 Potássio



O potássio (K) é um dos macronutrientes essenciais para as plantas que não faz parte da constituição de estrutura molecular, mas está envolvido em diferentes funções nas plantas. Está relacionado com a melhoria na eficiência de uso da água, aumento do tamanho celular e início do crescimento de tecidos meristemáticos. Também é responsável por ativação de inúmeras enzimas, manutenção do turgor celular, regulação de abertura/fechamento de estômatos, regulação de transporte de nutrientes, síntese, transporte e estocagem de carboidratos, além de melhorar a absorção do N (HUSSEIN, 2008). A boa nutrição do K em plantas está relacionada com um melhor desempenho frente a condições de estresse, como estresse hídrico e quanto a ataques de insetos e doenças fúngicas (BRADY; WEIL, 2013).

No solo, é possível encontrar três formas de K: 1. Estrutural, indisponível, fortemente retido aos minerais primários, como feldspatos de K; 2. prontamente disponível, presente na solução do solo ou adsorvido à fração coloidal orgânica e mineral, podendo ser absorvido pelas plantas; e 3. lentamente disponível, retido nas entrecamadas das lâminas de argila (BRADY; WEIL, 2013).

O transporte do K até as raízes ocorre principalmente por difusão e após absorvido, como  $K^+$ , é rapidamente transportado através do xilema. A sua redistribuição na planta também ocorre de maneira rápida e eficaz (SFREDO, 2008). A absorção pode ser afetada pela idade da planta, uma vez que as mais jovens tem mais poder de absorção, pela concentração do elemento no solo e pela umidade do solo (ANDRADE, 2018).

Em oliveiras, o K se mostra importante para o crescimento vegetativo e tamanho e peso de frutos, pegamento de frutos, conteúdo de óleo e produção (RESTREPO-DIAZ *et al.*, 2008; MAHMOUD; MOHAMED; EL-SHARONY, 2017).

#### **2.4.5 Boro**

O Boro (B) é classificado como um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento de plantas, sendo o único presente na forma de molécula não-ionizada ( $H_3BO_3^0$ ) na solução do solo (ARORA; CHAHAL, 2005). Sua importância se dá, principalmente, na armazenagem de energia, integridade estrutural de células e fecundação (TAIZ; ZEIGER, 2009). Por ser um micronutriente bastante exigido pelas oliveiras e cujo manejo carece de avanços no conhecimento científico, o B tem papel de destaque na nutrição da cultura.

A disponibilidade de B no solo é afetada pela textura, tipo de argila, pH, calagem, matéria orgânica, interação com outros elementos, clima e, segundo Ahmad *et al.* (2012), material de

origem, que é um dos principais fatores a afetar a disponibilidade do elemento. Solos que tem como origem rochas ígneas são, em geral, naturalmente pobres em B, bem como aqueles derivados de arenito, ardósia e calcário cristalino. Os solos bem supridos do elemento são, em geral, os derivados de rochas sedimentares e localizados em regiões áridas e semiáridas (AHMAD *et al.*, 2012).

O pH do solo tem papel de destaque para a disponibilização de B para oliveiras. Isto acontece porque a oliveira requer pH do solo elevado para seu cultivo e, em condição alcalina, a disponibilidade de B no solo tende a diminuir (AHMAD *et al.*, 2012). Plantas absorvem o elemento, preferencialmente, quando o pH está na faixa entre 5,5 e 5,6 (WŁAŚNIEWSKI *et al.*, 2019). No Sul do Brasil, embora os solos sejam predominantemente ácidos em sua condição natural, recomenda-se a correção do pH para 6,5, com calagem anteriormente ao plantio das oliveiras (CQFS-RS/SC, 2016). Portanto, na faixa de pH recomendado para oliveiras, a disponibilidade de B no solo tende a ser menor.

Em solos com textura mais grosseira, com argilas de baixa atividade e baixo teor de MO, a retenção do nutriente é menor e a lixiviação ocorre mais facilmente.

A concentração de ânions também pode afetar a absorção de B. Segundo Właśniewski *et al.* (2019), a absorção do elemento é reduzida na presença de elevadas concentrações dos ânions cloreto, sulfato e fosfato. Ainda, segundo os autores, o aumento de cálcio pode reduzir a absorção de B, aumentar a deficiência desse elemento e reduzir seus sintomas de toxidez por excesso.

A movimentação do B até as raízes ocorre majoritariamente através de fluxo de massa, sendo necessário, portanto, água para que ocorra o transporte. Em solos com baixa disponibilidade de água e/ou épocas de baixa evapotranspiração pela planta, esse processo é reduzido, acarretando em um menor suprimento do elemento.

O B é absorvido pelas plantas na forma de ácido bórico, por transporte ativo ou passivo. O transporte ativo ocorre quando a concentração do elemento no solo é baixa, ocorrendo através de canais de ácido bórico da principal família de proteínas intrínsecas (MIP) ou por transportadores (como por exemplo, *BORI* em *Arabidopsis thaliana* L.) para auxiliarem na absorção. Já o transporte passivo acontece em casos de suprimento suficiente ou alto de B no solo (ULUISIK, KARAKAYA, KOC, 2018).

O transporte das raízes até a parte aérea ocorre via xilema através de um gradiente de concentração de água gerado pela transpiração (BROWN; SHELP, 1997). A mobilidade de B no floema está atrelada à presença de sorbitol, manitol e outros poliois (BROWN; HU, 1996; LIAKOPOULOS *et al.*, 2005) com quem o B forma complexos estáveis. É através dessa via

que ocorre a translocação de B para os órgãos em desenvolvimento (BROW; SHELP, 1997), principalmente quando a concentração do nutriente no meio é baixa (LIAKOPOULOS *et al.*, 2005).

Sua função principal está relacionada com a estrutura e estabilidade da parede celular. Isso ocorre pois em células vegetais, em pH próximo à neutralidade, ambas formas existentes, ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e ânion borato [ $B(OH_4)^-$ ], formam ligação com pectinas, principalmente a ramnogalacturonano II (RG-II) (BROWN *et al.*, 2002; BOLAÑOS *et al.*, 2004). Nas membranas celulares, está envolvido com a função proteica, melhorando a sua integridade (BROWN *et al.*, 2002).

Outro papel importante do B em espécies vegetais se refere aos órgãos reprodutivos, atuando no desenvolvimento e crescimento do tubo polínico, o que melhora as chances de pegamento do fruto e, conseqüentemente, a produção (SHIREEN *et al.*, 2018). Em oliveiras, Perica *et al.* (2001) demonstraram o papel fundamental do B no florescimento e pegamento do fruto.

A deficiência em plantas pode causar formação anormal da parede celular, alterações na permeabilidade da membrana plasmática, inibição da elongação radicular, inibição do desenvolvimento de flores e frutos e, devido a esses últimos, podem causar grandes perdas na produtividade (ULUISIK, KARAKAYA, KOC, 2018). Em oliveiras, desenvolvimento anormal dos frutos, amarelamento da ponta de folhas, queda de frutos, anormalidades na casca, além de morte dos brotos terminais, são os sintomas mais comuns de deficiência de B (Perica *et al.*, 2001).

O B pode ser aplicado no solo na forma de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), que são as fontes mais comuns de aplicação, solúveis em água. Ainda, existem a ulexita ( $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$ ) e colemanita ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ ), formas menos solúveis (BYERS, MIKKELSEN, COX, 2001), utilizadas para minimizar a lixiviação do elemento no solo. Via foliar, é realizada a aplicação líquida, por irrigação ou pulverização, preferencialmente no período de floração ou iniciação dos botões florais (FLORES, MATTENELLA, KWOK, 2006; PERICA *et al.*, 2002). Segundo Soyergin (2010) os benefícios da aplicação foliar são maiores quando a frutificação é baixa.

## 2.5 Sistema de recomendação e ajustes

Os estudos para ajuste e calibração de um sistema de recomendação objetivam a definição de teores críticos de nutrientes, classes de fertilidade, doses, épocas de aplicação e fontes, com

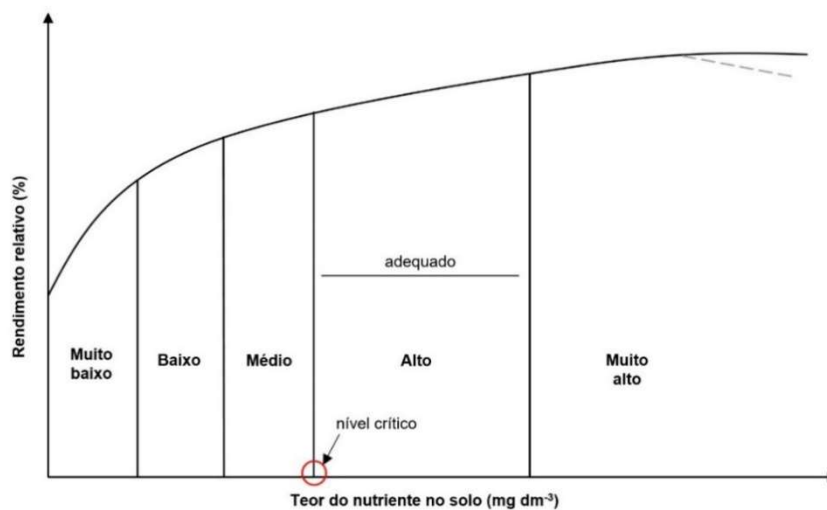
base em análises de solo e/ou tecido vegetal, evitando excessos, maximizando o retorno econômico e minimizando impactos ambientais negativos (VIEIRA, 2014; GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016a).

O ajuste no sistema de recomendação de fertilização é composto por diferentes etapas, sendo a primeira a elaboração de um gráfico de curva de resposta da cultura, do teor do nutriente avaliado em função do rendimento relativo. Nessa etapa são realizados estudos a campo, com acompanhamento por anos e em diferentes locais, com aplicação de doses crescentes do nutriente estudado (VIEIRA, 2014). O modelo matemático usado é o que melhor se encaixa na relação entre rendimento relativo da cultura e os teores do nutriente no solo/tecido vegetal.

A partir da curva de correlação (Figura 1) é definido o teor crítico do nutriente, considerado o teor do nutriente no solo ou tecido foliar no qual acima desse valor a probabilidade da planta responder à adubação é baixa, e abaixo do valor, a probabilidade de resposta é maior (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016a). O teor ou nível crítico do nutriente, de maneira geral, equivale ao teor que proporcione 90% do rendimento relativo da cultura, que normalmente equivale à máxima eficiência econômica do insumo para a planta.

A Figura 1 exemplifica uma curva de resposta genérica de calibração, onde é apontado o teor crítico do nutriente, o qual aponta a máxima eficiência econômica para a cultura. Abaixo do teor crítico encontram-se as faixas “muito baixo”, “baixo” e “médio”, cujas probabilidades de resposta da planta à adição do nutriente são altas. Acima desse teor estão as faixas “alto” e “muito alto”, onde a probabilidade de resposta da planta à aplicação do nutriente reduz gradualmente, até o ponto em que o rendimento relativo pode decrescer, especialmente para os micronutrientes, devido à toxidez por excesso.

Figura 1 - Gráfico representativo da curva de resposta entre o teor de nutriente do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e rendimento relativo (%).



Fonte: Adaptado de Gatiboni; Silva; Anghinoni, (2016a).

A segunda etapa consiste no estudo de calibração de doses, que objetiva o estabelecimento de valores de referência para a disponibilidade do(s) nutriente(s) e a definição de doses, aplicadas de maneira crescente na cultura, adaptadas às condições de solo e clima, a partir da resposta econômica das culturas, utilizando-se o rendimento relativo (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016b).

## 2.6 Sistema de recomendação de fertilizantes para a olivicultura no Brasil

Assim como a expansão da oliveira no sul do Brasil se concentra nas duas últimas décadas, as recomendações de adubação e calagem para a olivicultura da região são recentes, tendo sido incluídas no Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina apenas em 2016, última edição lançada (CQFS- RS/SC, 2016). Contudo, essas recomendações tem como base estudos realizados nos Estados Unidos (FREEMAN, URIU, HARTMANN, 2005) e em países do Mediterrâneo. Além desses estudos, outra literatura usada para recomendações é o livro *Oliveira no Brasil: tecnologias de produção* da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG, 2012), que também possui como base, para teores adequados de nutrientes em tecido foliar de oliveiras, valores obtidos em pesquisas em outros países, como os Estados Unidos (CHAPMAN, 1966; CHILDERS, 1966; BEUTEL; URIU; LILLELAND, 1983). Na Espanha destacam-se as pesquisas realizadas por Fernández-Escobar e colaboradores, que servem como base para inúmeros estudos (FERNÁNDEZ-

ESCOBAR; MORENO; GARCIA-CREUS, 1999; FERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.*, 2009; FERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.*, 2016).

Logo é possível notar que já foram realizados muitos estudos sobre o sistema de recomendação de adubação para a cultura da oliveira, mas esses resultados e por consequência recomendações talvez não se apliquem ao nosso contexto de solos ácidos e clima subtropical úmido, visto que a planta pode se comportar de maneira totalmente diferente. Os processos fisiológicos podem se alterar com temperaturas mais altas ou mais baixas; os solos do sul do Brasil, que são naturalmente ácidos, propiciam outra realidade, já que apenas as camadas superficiais acabam sendo corrigidas quanto ao pH (no máximo a incorporação é feita a 40 cm de profundidade); a maior disponibilidade hídrica, por um lado, favorece os mecanismos de suprimento de nutrientes pelo solo às raízes por fluxo de massa e por difusão, mas por outro lado podem propiciar mais facilmente condições de anoxia, restringindo o sistema radicular a camadas mais superficiais. Tudo isso afeta a absorção de nutrientes e a resposta das oliveiras à fertilização pode ser muito diferente no contexto do Sul do Brasil em relação aos dados norteadores do sistema de recomendação onde foram gerados. Estas diferenças podem ser relacionadas tanto a doses, fontes de adubos e épocas de aplicação. Por todos esses motivos, a avaliação de nível crítico se faz tão importante para o aprimoramento de um sistema de recomendação de fertilização e calagem.

As classes de valores para interpretação de nutrientes em solo e tecido foliar para a olivicultura em vigor no Rio Grande do Sul são da Comissão de Química e Fertilidade do Solo, presente no Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016) e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (2012), conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Classes de valores para a interpretação de níveis de nutrientes em solo para a cultura da oliveira, conforme CQFS – RS/SC (2016) e EPAMIG (2012).

| Nutrientes                | Classificação                  |           |                   |            |            |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|-------------------|------------|------------|
|                           | Muito baixo                    | Baixo     | Médio             | Alto       | Muito alto |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |                   |            |            |
| Fósforo (P) <sup>1</sup>  | ≤6,0                           | 6,1-12,0  | 12,1- <b>18,0</b> | 18,1-36,0  | >36,0      |
| Fósforo (P) <sup>2</sup>  | ≤10,0                          | 10,1-20,0 | 20,1- <b>30,0</b> | 30,1-60,0  | >60,0      |
| Potássio (K) <sup>2</sup> | ≤30,0                          | 31,0-60,0 | 61,0- <b>90,0</b> | 91,0-180,0 | >180,0     |
| Boro (B)                  |                                | ≤0,1      | 0,1-0,3           | >0,3       |            |

<sup>1</sup>: Teor de argila classe 3 = 40 a 21%; <sup>2</sup>: Teor de argila classe 4 = ≤20%; <sup>1</sup>: CTC<sub>pH7,0</sub> = 7,6 – 15,0

Tabela 2 - Classes de valores para a interpretação de níveis de nutrientes em tecido vegetal para a cultura da oliveira, conforme EPAMIG (2012).

| Nutrientes                  | Classificação |          |         |        |
|-----------------------------|---------------|----------|---------|--------|
|                             | Insuficiente  | Adequado | Alto    | Tóxico |
| Nitrogênio (%m/m)           | <1,5          | 1,5-2,0  | >2,0    |        |
| Fósforo (%m/m)              | <0,1          | 0,1-0,3  | <0,3    |        |
| Potássio (%m/m)             | <0,8          | 0,8-1,2  | >1,2    |        |
| Boro (mg/kg <sup>-1</sup> ) | <14,0         | 19-150   | 150-185 | >185   |

Avaliando o estado nutricional de olivais na região central do Rio Grande do Sul, Bender, Weber e Vieira (2018) encontraram que o B foi o elemento que mais limitou a produção. De acordo com os autores, o nível crítico de B no solo de 0,3 mg B kg<sup>-1</sup>, preconizado para as plantas em geral por CQFS (2016), seria aquém do valor de 1,6 mg B kg<sup>-1</sup> estimado no seu estudo para oliveiras.

Nos estados de São Paulo e Minas Gerais, o nível crítico de B estimado para as culturas em geral é de 0,6 mg B kg<sup>-1</sup> (INSTITUTO AGRONÔMICO, 1997; COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS, 1999) e mesmo sendo maior que o recomendado para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ainda é menor que o estimado por Bender, Weber e Vieira (2018).

Com base no estado de conhecimento atual e nas várias lacunas apontadas acima, o presente trabalho de pesquisa busca avançar no refinamento do sistema de recomendação da adubação para oliveiras no sul do Brasil. Afinal, a cadeia olivícola atual já provou o seu potencial para consolidação e expansão, mas a nutrição balanceada das oliveiras, adequada do ponto de vista financeiro e ambiental, ainda é um gargalo. Para transpô-lo, produtores e técnicos necessitam do refinamento do sistema de recomendação, que deve ser baseado em dados de pesquisa regionais.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Contribuir para a melhoria do sistema de recomendação de adubação para os pomares de *Olea europaea* do sul do Brasil.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Diagnosticar o estado geral de nutrição de árvores de oliveira em pomares representativos da região Sul do Brasil.
2. Avaliar as relações entre teor de boro no solo, folhas e frutos e a produtividade de frutos de oliveira.
3. Quantificar a resposta em produtividade de frutos de oliveiras a doses de fertilizantes boratados, via aplicação no solo e foliar.



## **4 HIPÓTESE**

### **4.1 Hipótese geral**

Por não apresentar um sistema de fertilização e calagem que tenha sido desenvolvido e aprimorado para a região, as recomendações atualmente utilizadas não permitem expressar o potencial de produção nos pomares de *O. europaea* no sul do Brasil, visto que as condições edafoclimáticas são diferentes das quais os sistemas de recomendação de fertilizantes foram baseados.

### **4.2 Hipóteses específicas**

1. Os teores de nutrientes no tecido foliar e frutos de oliveiras dos pomares do Sul do Brasil não se encontram nas faixas consideradas adequadas.
2. O nível crítico de B disponível no solo para oliveiras é maior que o atualmente preconizado no sul do Brasil.
3. O suprimento de B para as oliveiras é mais eficiente via solo do que via foliar.

## 5 RESULTADOS

Os resultados desta Tese serão apresentados sob a forma de artigos científicos.

Artigo 1: **Correlations among nutrient contents in soil, leaf, and fruit tissues and yield of *Olea europaea* cv. Arbequina in the South of Brazil.**

Publicado na Revista Research, Society and Development 08 de agosto de 2022. As seções Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão e Referências encontram-se no artigo, formatado conforme normas da revista.

Artigo 2: **Calibration of boron fertilization through the soil and foliar applications in olive (*Olea europaea* L.) in the Rio Grande do Sul state, Brazil**

Submetido à Revista Ciência Rural em 16 de junho de 2022. As seções Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão e Referências encontram-se no artigo.

## Correlations among nutrient contents in soil, leaf, and fruit tissues and yield of *Olea europaea* L. cv. Arbequina in the South of Brazil

Correlações entre os teores de nutrientes em solo, folhas, frutos e rendimento de *Olea europaea* L. cv. Arbequina no Sul do Brasil

Correlaciones entre nutrientes en suelo, tejidos de hojas y frutos y rendimiento de *Olea europaea* L. cv. Arbequina en el sur de Brasil

Received: 07/19/2022 | Reviewed: 07/28/2022 | Accept: 08/08/2022 | Published: 01/00/2022

**Maria Carolina dos Santos Figueiredo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3558-2234>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [mariafigueiredo@unipampa.edu.br](mailto:mariafigueiredo@unipampa.edu.br)

**Vanessa Rosseto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6535-0381>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [vanessarosseto@unipampa.edu.br](mailto:vanessarosseto@unipampa.edu.br)

**Carine Freitas Barão**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6875-3637>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [carinebarao.aluno@unipampa.edu.br](mailto:carinebarao.aluno@unipampa.edu.br)

**Rosângela Silva Gonçalves Nunes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5404-5034>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [rosangelagoncalves@unipampa.edu.br](mailto:rosangelagoncalves@unipampa.edu.br)

**Iolanda da Luz Duarte**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7430-1365>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [iolanda.luz.duarte@gmail.com](mailto:iolanda.luz.duarte@gmail.com)

**Mirla Andrade Weber**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9684-8919>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [mirlaweber@unipampa.edu.br](mailto:mirlaweber@unipampa.edu.br)

**Frederico Costa Beber Vieira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5565-7593>  
Universidade Federal do Pampa, Brazil  
E-mail: [fredericovieira@unipampa.edu.br](mailto:fredericovieira@unipampa.edu.br)

### Abstract

The objective of the work was to relate the nutritional status of olive orchards from the central region of the Rio Grande do Sul with fruit yield and identify unadjusted points in the fertilization recommendation system to be improved. Soil, leaf, and fruit samples were taken from eight orchards, between 2018 and 2020, and were evaluated for the contents of N, P, K, B, pH, TOC, Al<sup>3+</sup>, and soil texture. The 20-40 cm layer in soil showed acidity and Al<sup>3+</sup> content at potentially restrictive levels. The available P and B contents in soil were considered low. In leaf tissue, K and N presented high contents. The correlations revealed that fruit yield was limited by high N contents on leaves, especially in winter. B content in fruits diminished in higher soil pH, suggesting that the B threshold value in soil for olives in the south of Brazil should be pH-dependent.

**Keywords:** Olive growing; Nutrition; Fertilization.

### Resumo

O objetivo desse estudo foi relacionar o status nutricional de pomares de oliveiras da região central do Rio Grande do Sul com o rendimento de frutos e identificar pontos não ajustados no sistema de recomendação de fertilizantes que podem ser melhorados. Amostras de solo, folhas e frutos foram coletadas de oito pomares entre 2018 e 2020 e analisadas quanto ao conteúdo de N, P, K, B, pH, TOC, Al<sup>3+</sup> e textura no solo. No solo, a camada 20-40 cm mostrou acidez e níveis de Al<sup>3+</sup> potencialmente restritivos. Os níveis de P e B disponíveis no solo foram considerados baixos. No tecido foliar, K e N apresentaram altos teores. As correlações revelaram que o rendimento de frutos foi limitado

pelo alto teor de N em folhas, especialmente no inverno. O teor de B nos frutos diminuiu com o aumento do pH do solo, sugerindo que o nível crítico de B para oliveiras no sul do Brasil possa ser pH-dependente.

**Palavras-chave:** Olivicultura; Nutrição; Fertilização.

### Resumen

El objetivo del trabajo fue relacionar el estado nutricional de los huertos de olivos de la región central de Rio Grande do Sul con el rendimiento de los frutos e identificar los puntos más débiles del sistema de recomendación de fertilización para que sean mejorados. Se tomaron muestras de suelo, hojas y frutos de ocho huertos, entre 2018 y 2020, y se evaluaron los contenidos de N, P, K, B, pH, COT, Al<sup>3+</sup> y textura del suelo. En el suelo, la capa de 20-40 cm mostró acidez y contenido de Al<sup>3+</sup> en niveles potencialmente restrictivos. Los contenidos de P y B disponibles en el suelo se consideraron bajos. En el tejido foliar, el K y el N presentaron contenidos elevados. Las correlaciones revelaron que el rendimiento de los frutos fue limitado por los altos contenidos de N en las hojas, especialmente en invierno. El contenido de B en los frutos disminuyó a mayor pH del suelo, lo que sugiere que el nivel crítico de B en el suelo para las aceitunas del sur de Brasil debería depender del pH.

**Palabras clave:** Olivicultura; Nutrición; Fertilización.

## 1. Introduction

The olive tree (*Olea europaea* L.) has been cultivated for millennia in the Mediterranean region, from where it originates (Ramos et al. 2018). Its production and consumption have been growing globally, especially motivated by the health benefits from the consumption of both olive and olive oil demonstrated by the research studies. Among several benefits, the main ones are linked to the prevention of cardiovascular diseases and diabetes, alleviation of blood pressure, and reduction in the risk of gastric reflux (Internacional Olive Council - IOC 2020a).

Currently, Brazil is the 3rd biggest importer of olive oil in the world (IOC 2020b). Within a promising market, olive cultivation has grown a lot in the country recently, especially in the southern state of Rio Grande do Sul. The cropland area with olives on the state increased from 80 ha in 2005 to 5986 ha in 2022 (Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul - SEAPDR 2022). At the same time, favorable soil, and climate conditions (Alba et al. 2013) support a great potential to crop expansion in the Rio Grande do Sul state. This potentiality has been confirmed by the growing olive yields, oil production, and the high quality of the extra virgin oils. In 2022, a record was reached in the state, with 448 thousand liters of olive oil produced (SEAPDR, 2022). However, the current national production of olive oil can supply only 2% of the country's demand.

To maximize the potential of the crop, however, research studies are required to adequate orchard management to regional demands. Liming and fertilization recommendation systems for olive have been suggested (Comissão de Química e Fertilidade do Solo -CQFS-RS/SC 2016; Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG 2012). Nevertheless, such recommendations are mostly based on studies conducted in the United States, especially Chapman (1966), Childers (1966), Beutel et al. (1983), and studies from the Mediterranean region, i.e., semi-arid regions with the dominance of limestone soils, very different from soil and climate in the south of Brazil.

Due to the great expansion of olive cultivation around the world, research on fertilization is being carried out in different countries to fine-tune practices according to the behavior of different cultivars in different soil, climate, and relief conditions, in addition to recent innovative studies in the Mediterranean region (Fernández-Escobar et al. 2014; Fernández-Escobar et al. 2016; El-Fouly et al. 2014; Rodrigues et al. 2012, Zouari et al 2020, Deliboran et al. 2020, among others). The current knowledge state of knowledge in olive fertilization in these regions/countries, however, does not match necessarily with the best fertilization practices for olive orchards in the south of Brazil. Different soil, climate, and relief conditions may influence the recommendation of fertilizing and liming, since plants respond differently, which can result in distinct nutritional demands, requiring adjustment of the liming and fertilization program for each region and context (i.e. rates, the optimal season for application, frequency, the requirement of incorporation, plant response to sources of fertilizer – as solid vs. foliar fertilizer, best soil layer for sampling,

among other aspects). Compared to the semi-arid regions, in the south of Brazil the larger soil humidity availability, well distributed along the year, increases the nutrient supply by diffusion and mass flow mechanisms, but the subsoil acidity can restrain root growth to surface soil layers. Such parameters can affect both plant growth, olive fruit yields, and oil quality.

One of the first steps to the finest adjustment of the fertilizer recommendation program is to carry out correlation studies between plant productivity and leaf and soil chemical analysis parameters. Given the scarcity of studies on olive growing in the south of Brazil, this study aims to evaluate the nutritional status of young and adult orchards located in the central region of Rio Grande do Sul, correlating them to olive fruit yield and searching for the main gaps in the recommendation program.

## 2. Methodology

The study was carried out between 2018 and 2020 in eight olive orchards located in the central region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, in the municipalities of Caçapava do Sul, Cachoeira do Sul, and São Gabriel. Details of each orchard are reported in Table 1. In each orchard, 10 representative individuals were selected, identified, and georeferenced. Each one constituted an experimental unit.

**Table 1** – Location and characteristics of the orchards analyzed.

| Location         | Identification | Age at 2021 | Type of soil* | Coordinates                    | Integrated livestock |
|------------------|----------------|-------------|---------------|--------------------------------|----------------------|
| Caçapava do Sul  | 1              | 14          | Regosol       | 30°39'38.09"S<br>53°27'40.78"O | Bovine cattle        |
| Caçapava do Sul  | 2              | 14          | Regosol       | 30°39'39.38"S<br>53°27'35.64"O | Bovine cattle        |
| Caçapava do Sul  | 3              | 11          | Regosol       | 30°24'53.95"S<br>53°26'48.62"O | Bovine cattle        |
| Cachoeira do Sul | 4              | 12          | Acrisol       | 29°55'27.03"S<br>52°54'25.92"O | Sheep                |
| Cachoeira do Sul | 5              | 12          | Acrisol       | 29°55'29.78"S<br>52°54'34.40"O | Sheep                |
| Cachoeira do Sul | 6              | 12          | Acrisol       | 29°55'32.63"S<br>52°54'35.16"O | Sheep                |
| Caçapava do Sul  | 7              | 18          | Luvisol       | 30°37'29.21"S<br>53°20'42.83"O | Pigs                 |
| São Gabriel      | 8              | 6           | Acrisol       | 30°04'05.2"S<br>54°27'44.8"O   | Sheep                |

\* Classification by World Resource Base-FAO (WRB/FAO).  
 Source: Authors (2022)

Soil samples were taken one meter away from the trunk of each individual, in the row and the interrow, from mini-trenches, at depths 0-10 cm, 10-20 cm, and 20-40 cm. The row and interrow samples of the same tree were joined and homogenized to get only one sample per depth. After collection, the soil was air-dried, ground, and sieved (2 mm).

Samples of leaf tissue were constituted of approximately 100 youngest fully mature leaves per tree, taken from branches of the year, in the middle third of the canopy height, from the four quadrants. In the laboratory, leaf samples were washed with distilled water, oven-dried at 50°C until constant mass, and ground at 1 mm.

Fruit tissue was sampled simultaneously to the harvest of olives to oil extraction and, therefore, each orchard owner determined the maturation stages to harvesting. In each tree, all fruits were harvested manually and the fresh mass constituted the olive fruit yield. The fruit samples were stored in plastic bags and frozen ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) until the moment of analysis, when the fruits were washed with distilled water, ground (whole fruit, without pulp separation), and dried at  $60^{\circ}\text{C}$ .

The soil samples were chemically evaluated by  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , contents of total nitrogen (N), exchangeable aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ), and exchangeable potassium (K) according to Tedesco et al. (1995); exchangeable phosphorus (P) extracted with Mehlich-I method and determination according to Murphy and Riley (1962), and available boron (B) according to Reis et al. (2006) with adaptations; total organic carbon (TOC) was analyzed according to Allison (1960), and the soil texture was determined according to Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA 1997) with modifications. In leaf tissue and fruits, contents of total N, P, K, and B were evaluated according to Tedesco et al. (1995). The results of the chemical analysis of soil and leaf tissue were interpreted according to the Manual of Fertilization and Liming for the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (CQFS – RS/SC 2016) and EPAMIG (2012).

The data were submitted to Pearson correlations analysis, where the correlations among leaf, fruit, and soil chemical parameters with relative production of olive trees were evaluated. Correlations were considered significant when  $P \leq 0.05$ .

### 3. Results

#### 3.1. Chemical Analysis

##### **pH and exchangeable Aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ) from the soil**

In general, the orchards presented adequate parameters of acidity for the crop in superficial soil layers (Table 2). However, in the deepest layer studied (20-40 cm), pH was lower than 5.5 in 35% of the samples.

The soil pH differences between the layers affected the exchangeable  $\text{Al}^{3+}$  contents. In layer 0-10 cm, contents of  $\text{Al}^{3+}$  greater than  $1.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  were not observed and, in layers 10-20 cm and 20-40 cm, most samples were in the range between 0.1- $1.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Table 2). Nevertheless, in layer 20-40 cm, some of the samples presented  $\text{Al}^{3+}$  values greater than  $1.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

**Table 2** – Relative distribution of soil samples (%) as to pH-H<sub>2</sub>O values and exchangeable aluminum content (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) according to soil depth in olive orchards.

| Attribute   | Value range | Depth (cm)  |       |       |
|---|-------------|-------------|-------|-------|
|   |             | 0-10        | 10-20 | 20-40 |
|   |             | -----%----- |       |       |
| <b>pH-H<sub>2</sub>O</b>                                      | <5.5        | 0.00        | 7.50  | 35.00 |
|   | 5.6-6.0     | 2.50        | 26.25 | 23.75 |
|   | 6.1-6.5     | 30.00       | 25.00 | 18.75 |
|   | >6.5        | 67.50       | 41.25 | 22.50 |
| <b>Exchangeable Al<br/>(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b> | >1.0        | 0.00        | 3.75  | 31.25 |
|   | 0.1-1.0     | 66.25       | 73.75 | 57.50 |
|   | 0           | 33.75       | 22.50 | 11.25 |

Source: Authors (2022)

### Phosphorus contents in soil, leaves, and fruits

Soil contents of available P (Mehlich-1 P) were predominantly Low in the topsoil layer (0-10 cm depth) and Very Low in the subsurface (10-20 and 20-40 cm depth layers; Table 3), suggesting a restriction to the orchards by the scarcity of the element (CQFS-RS/SC 2016). In the present study, P contents are low even in the surface layer, as 54% of the soil samples from the 0-10 cm layer are ranked in the Low and Very Low classes. However, this apparent scarcity was not followed by low P levels in the leaf contents (Table 3), in which a small percentage of samples were classified as having insufficient P content.

Tables 4 and 5 show the averages of P in fruits. Orchard 3 has similar averages to the studies of Bender et al. (2018) and Rodrigues et al. (2012), while orchard 7 was half of the values of these studies.

As a consequence of the low P concentration in the olive fruits, the exportation by the fruit harvest is small (Tables 4 and 5). Given the values and the CQFS-RS/SC (2016) recommendation to apply 4kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ton<sup>-1</sup> of exported fruit (equivalent to 1.74kg P ton<sup>-1</sup> fruit), it can be said that the recommendation for this nutrient is sufficient to replace P exportation by harvest observed in this study, even considering that part of the phosphate fertilizer will be fixed in the soil and become unavailable to the plant.

### Potassium in soil, leaves, and fruits

The exchangeable K contents of the soil presented, in general, adequate levels for the olive tree, since in most soil samples of the superficial layers the K content was above the threshold level (Table 3). However, in the deepest layer, the Very Low content was predominant. Along with the profile, as well as for the P content, a lower content is also observed in the 20-40 cm layer, which is coherent with the applications of potassium fertilizer on the surface. However, it is noteworthy that the 10-20 cm layer presented a higher percentage of samples with Very High exchangeable K than the surface layer. Probably the low CTC of tested soils and the mobility of K were decisive for this behavior (data not shown).

Among the orchards that had fruit production (3 and 7), opposite situations were observed about the interpretation class of soil K predominant in experimental units: in orchard 3, the predominance of Very High content, while in orchard 7, Very Low.

This result is associated with both fertilization management and the parent material of the sites. Despite both orchards being located in Caçapava do Sul city, the first one is situated in a region whose soils are shallow and stony, presenting in their composition granite, with an abundance of potassium feldspar as primary mineral, favoring higher levels of the element.

The K content of leaf tissue, both in winter and summer, showed similar results. Most samples were ranked within the high level, followed by the insufficient and adequate content (Table 3), which in general is consistent with the soil exchangeable K results.

The averages of K in the fruits are in Tables 4 and 5. The high K levels in the fruits mean a higher export of the nutrient by production. The average removal of the nutrient for orchards 3 and 7 are in Tables 4 and 5, respectively. It can be seen that the difference in K exported between both orchards is mainly to the contrasting productivity and not to the K content in fruits.

In the condition of greater water availability in southern Brazil, K deficiency is easily corrected with the exclusive application of soil fertilizer. In southern Brazil, the recommendation of CQFS-RS/SC (2016) is to apply 20 kg of K<sub>2</sub>O or 16.6 kg K per ton of harvested fruit.

### **Boron in soil, leaves, and fruits**

Available B content in the soils was predominantly classified as high only in the surface layer (0-10 cm), while in 10-20 cm and 20-40 cm it ranked predominantly in the medium level classification (Table 3).

The analysis of leaf tissue collected in the winter revealed that the vast majority of the 80 experimental units showed B content classified as adequate (Table 3). The remaining percentage was recorded as high. For the samples collected in the summer, most of the samples were also classified as adequate, but the remaining percentage was insufficient for leaf B.

Boron content in fruits is reported in Tables 4 and 5. Comparing B content in the fruits with the content found in the soil, it can be observed that orchard 3 also had higher soil contents, and this is probably the cause for B being in the fruits with a higher average. Another reason is the type of soil since orchard 7 is located on sandy soil, where B is less adsorbed. The fruit yield had a marked effect on B exportation: orchard 3 had average exportation much higher than orchard 7 (Table 4 and 5).

The CQFS-RS/SC (2016) does not present a maintenance fertilization recommendation for B, but Mesquita et al. (2012) recommend applying 25-40 g of B per plant in the soil in case of deficiency, in addition to the application of a 0.1% concentration solution via foliar. Since the removal of B through the harvest is small, the amount of 25-40 g B per tree could promote the correction of B in the soil to adequate levels and the maintenance of these levels for the long term, in case of low losses of this element through leaching and runoff.

### **Nitrogen in leaves and fruits**

In the leaf tissue sampled during the winter, more than half of the samples fell within the adequate content, followed by the high content. During the summer, more than half of the samples obtained high content (Table 3). In the present study, in most of the orchards, foliar N levels were highest in summer, probably because these orchards receive most of the N fertilizer after the winter.

The averages of N in the fruit and yield are in Tables 4 and 5. The recommendation of N fertilization in adult olive orchards in south Brazil is 16 kg N ha<sup>-1</sup> per ton of harvested fruit (CQFS – RS/SC 2016). Considering that the use efficiency of nitrogen fertilizers is generally low due to losses by volatilization and leaching, along with possible exports of N via pruning, the application recommendation for the crop seems to be adequate. However, it is important to monitor carefully and periodically, through leaf analysis, to avoid excessive N, especially in the post-harvest period until the end of winter, to avoid possible losses in flowering, fruit formation, and production.



**Table 3** – Percent distribution of soil samples, per layer, and leaf tissue in the interpretation classes of N, P, K, and B contents in the evaluated orchards, according to CQFS-RS/SC (2016) and EPAMIG (2012).

| Interpretation   | Soil                                 |                            |   |          |          | Leaf Tissue         |  |                                |        |
|------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|----------|----------|---------------------|--|--------------------------------|--------|
|                  | Concentration<br>mg kg <sup>-1</sup> |                            | Distribution of samples in each soil layer<br>(%) |          |          | Interpretation      | Concentration<br>N, P, K<br>(%m/m)<br>B (mg kg <sup>-1</sup> ) | Distribution of samples<br>(%) |        |
|                  |                                      |                            | 0-10 cm   | 10-20 cm | 20-40 cm |                     |  | Winter                         | Summer |
|                  |                                      |                            | -----N-----                                       |          |          |                     |  |                                |        |
|                  |                                      |                            |   |          |          | <b>Insufficient</b> | ≤1.5   | 19.0                           | 2.0    |
|                  |                                      |                            |   |          |          | <b>Adequate</b>     | 1.5-2.0  | 51.0                           | 40.0   |
|                  |                                      |                            |   |          |          | <b>High</b>         | >2.0   | 30.0                           | 58.0   |
|                  |                                      |                            | -----P-----                                       |          |          |                     |  |                                |        |
|                  | <b>Class 3<sup>1</sup></b>           | <b>Class 4<sup>2</sup></b> |   |          |          |                     |  |                                |        |
| <b>Very low</b>  | <6.0                                 | <10.0                      | 21.25   | 62.50    | 70.0     |                     |  |                                |        |
| <b>Low</b>       | 6.1-12.0                             | 10.1-20.0                  | 32.50   | 11.25    | 8.75     | <b>Insufficient</b> | ≤0.10  | 10.0                           | 2.0    |
| <b>Medium</b>    | 12.1-18.0                            | 20.1-30.0                  | 7.50  | 5.00     | 5.00     | <b>Adequate</b>     | 0.1-0.3  | 55.0                           | 58.0   |
| <b>High</b>      | 18.1-36.0                            | 30.1-60.0                  | 10.00   | 7.50     | 8.75     | <b>High</b>         | >0.3   | 35.0                           | 40.0   |
| <b>Very high</b> | >36.0                                | >60.0                      | 28.75   | 13.75    | 7.50     |                     |  |                                |        |
|                  |                                      |                            | -----K-----                                       |          |          |                     |  |                                |        |
| <b>Very low</b>  | 0-30                                 |                            | 6.25  | 23.75    | 40.00    |                     |  |                                |        |
| <b>Low</b>       | 31-60                                |                            | 18.75   | 23.75    | 21.25    | <b>Insufficient</b> | ≤0.8   | 23.0                           | 14.0   |
| <b>Medium</b>    | 61-90                                |                            | 11.25   | 12.50    | 10.00    | <b>Adequate</b>     | 0.8-1.2  | 15.0                           | 10.0   |
| <b>High</b>      | 91-180                               |                            | 33.75   | 22.50    | 17.50    | <b>High</b>         | >1.2   | 62.0                           | 76.0   |
| <b>Very high</b> | >180                                 |                            | 30.00   | 17.50    | 11.25    |                     |  |                                |        |
|                  |                                      |                            | -----B-----                                       |          |          |                     |  |                                |        |
| <b>Low</b>       | <0.1                                 |                            | 3.75  | 16.25    | 16.25    | <b>Insufficient</b> | <14  | 0.0                            | 14.0   |
| <b>Medium</b>    | 0.1-0.3                              |                            | 42.50   | 55.00    | 61.25    | <b>Adequate</b>     | 19-150   | 98.0                           | 86.0   |
| <b>High</b>      | >0.3                                 |                            | 53.75   | 28.75    | 22.50    | <b>High</b>         | 150-185  | 2.0                            | 0.0    |

<sup>1</sup>: Clay content class 3 = 40 to 21%; <sup>2</sup>: Clay content class 4 = ≤20%; <sup>3</sup>: CTC<sub>pH7.0</sub> = 7.6 – 15.0

**Table 4** - Data on total production, nutrient content of fruit, and nutrient exportation by fruit in  $\text{g tree}^{-1}$  e  $\text{kg ha}^{-1}$  for orchard 3, Caçapava do Sul-RS. E.U: Experimental Unit.

| E.U.           | Fruit production<br>( $\text{kg tree}^{-1}$ ) | Nutrient content of fruit                        |             |                                |              | Nutrient exportation by fruit    |              |               |                |                       |             |               |              |                                   |  |
|----------------|---|--|-------------|--------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|---------------|----------------|-----------------------|-------------|---------------|--------------|-----------------------------------|--|
|                |   | N  | P           | K                              | B            | N                                | P            | K             | B              | N                     | P           | K             | B            |                                   |  |
|                |   | --- $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ DM}$ -- |             | $\text{mg kg}^{-1} \text{ DM}$ |              | ----- $\text{g tree}^{-1}$ ----- |              |               |                | $\text{mg tree}^{-1}$ |             |               |              | ----- $\text{kg ha}^{-1}$ * ----- |  |
|                |   |  |             |                                |              |                                  |              |               |                |                       |             |               |              |                                   |  |
| <b>1</b>       | 2,18  | 0.73   | 0.12        | 1.74                           | 32.38        | 6.57                             | 1.09         | 15.74         | 292.65         | 4.39                  | 0.73        | 10.49         | 0.020        |                                   |  |
| <b>2</b>       | 11.28   | 1.37   | 0.24        | 1.09                           | 39.36        | 62.63                            | 11.36        | 50.41         | 1806.24        | 41.76                 | 7.58        | 33.61         | 0.120        |                                   |  |
| <b>3</b>       | 20.47   | 0.86   | 0.10        | 2.79                           | 84.44        | 68.26                            | 8.67         | 221.51        | 6695.40        | 45.51                 | 5.79        | 147.68        | 0.446        |                                   |  |
| <b>4</b>       | 12.28   | 1.24   | 0.15        | 1.79                           | 46.34        | 59.99                            | 7.53         | 86.97         | 2244.12        | 39.99                 | 5.02        | 57.98         | 0.150        |                                   |  |
| <b>5</b>       | 37.07   | 0.88   | 0.10        | 2.06                           | 49.84        | 133.35                           | 16.54        | 311.65        | 7536.00        | 88.91                 | 11.03       | 207.77        | 0.502        |                                   |  |
| <b>6</b>       | 26.325  | 1.30   | 0.17        | 1.96                           | 58.09        | 135.87                           | 18.03        | 205.48        | 6062.57        | 90.58                 | 12.02       | 136.99        | 0.404        |                                   |  |
| <b>8</b>       | 23.56   | 1.09   | 0.15        | 2.21                           | 60.95        | 102.09                           | 14.00        | 206.70        | 5698.84        | 68.07                 | 9.34        | 137.81        | 0.380        |                                   |  |
| <b>9</b>       | 28.09   | 1.01   | 0.13        | 1.97                           | 28.25        | 109.99                           | 15.08        | 215.57        | 3083.11        | 73.33                 | 10.06       | 143.71        | 0.206        |                                   |  |
| <b>10</b>      | 14.95   | 0.78   | 0.11        | 3.99                           | 30.15        | 47.01                            | 6.97         | 241.44        | 1824.98        | 31.35                 | 4.65        | 160.96        | 0.122        |                                   |  |
| <b>Average</b> | <b>19.58</b>                                  | <b>1.03</b>                                      | <b>0.14</b> | <b>2.18</b>                    | <b>47.76</b> | <b>80.64</b>                     | <b>11.03</b> | <b>172.83</b> | <b>3915.99</b> | <b>53.76</b>          | <b>7.36</b> | <b>115.22</b> | <b>0.261</b> |                                   |  |

\* For each hectare, considering a plant density of 666.7 per hectare; the average dry mass content of fruit: 39.95% (W/W).  
 Source: Authors (2022)

**Table 5** - Data on total production, nutrient content of fruit, and nutrient exportation by fruit in g tree<sup>-1</sup> e kg ha<sup>-1</sup> for orchard 7, Caçapava do Sul-RS. E.U: Experimental Unit.

| E.U.           | Fruit<br>production<br>(kg tree <sup>-1</sup> ) | Nutrient content of fruit            |             |                        |              | Nutrient exportation by fruit    |             |              |               |                       |             |             |              |                                   |  |
|----------------|---|--------------------------------------|-------------|------------------------|--------------|----------------------------------|-------------|--------------|---------------|-----------------------|-------------|-------------|--------------|-----------------------------------|--|
|                |   | N                                    | P           | K                      | B            | N                                | P           | K            | B             | N                     | P           | K           | B            |                                   |  |
|                |   | ----- g 100 g <sup>-1</sup> DM ----- |             | mg kg <sup>-1</sup> DM |              | ----- g tree <sup>-1</sup> ----- |             |              |               | mg tree <sup>-1</sup> |             |             |              | ----- kg ha <sup>-1</sup> * ----- |  |
| <b>1</b>       | 2.078   | 2.04                                 | 0.081       | 2.162                  | 11.811       | 17.679                           | 0.70        | 18.69        | 102.132       | 4.209                 | 0.166       | 4.45        | 0.002        |                                   |  |
| <b>2</b>       | 3.572   | 1.81                                 | 0.037       | 1.751                  | 10.630       | 26.614                           | 0.54        | 25.76        | 156.422       | 6.337                 | 0.129       | 6.13        | 0.004        |                                   |  |
| <b>3</b>       | 3.649   | 1.17                                 | 0.047       | 1.375                  | 5.512        | 18.224                           | 0.74        | 21.38        | 85.731        | 4.339                 | 0.175       | 5.09        | 0.002        |                                   |  |
| <b>4</b>       | 2.341   | 1.79                                 | 0.055       | 1.574                  | 14.567       | 17.457                           | 0.54        | 15.40        | 142.458       | 4.156                 | 0.128       | 3.67        | 0.003        |                                   |  |
| <b>5</b>       | 6.058   | 1.24                                 | 0.110       | 2.902                  | 13.386       | 32.598                           | 2.89        | 76.14        | 351.204       | 7.761                 | 0.688       | 18.13       | 0.008        |                                   |  |
| <b>6</b>       | 7.830   | 0.89                                 | 0.025       | 0.987                  | 17.717       | 30.550                           | 0.87        | 33.93        | 609.103       | 7.274                 | 0.207       | 8.08        | 0.015        |                                   |  |
| <b>7</b>       | 3.515   | 1.31                                 | 0.064       | 2.080                  | 13.780       | 18.858                           | 0.93        | 29.86        | 197.880       | 4.490                 | 0.220       | 7.11        | 0.005        |                                   |  |
| <b>8</b>       | 2.733   | 1.71                                 | 0.055       | 1.657                  | 16.142       | 0.006                            | 0.00        | 0.01         | 0.052         | 0.001                 | 0.000       | 0.00        | 0.000        |                                   |  |
| <b>9</b>       | 0.460   | 1.50                                 | 0.046       | 1.610                  | 16.142       | 16.281                           | 0.50        | 17.45        | 174.973       | 3.876                 | 0.119       | 4.15        | 0.004        |                                   |  |
| <b>10</b>      | 2.078   | 1.67                                 | 0.042       | 1.269                  | 18.898       | 2.937                            | 0.07        | 2.24         | 33.294        | 0.699                 | 0.018       | 0.53        | 0.001        |                                   |  |
| <b>Average</b> | <b>3.57</b>                                     | <b>1.51</b>                          | <b>0.06</b> | <b>1.74</b>            | <b>13.86</b> | <b>18.12</b>                     | <b>0.78</b> | <b>24.08</b> | <b>185.32</b> | <b>4.31</b>           | <b>0.18</b> | <b>5.73</b> | <b>0.004</b> |                                   |  |

\* For 1 hectare, considering a plant density of 238.09 per hectare; mean dry mass content of fruit: 41.30% (W/W).  
 Source: Authors (2022)

### 3.2. Pearson correlations between nutrients in the soil, leaf tissue, fruits, and relative yield

Pearson correlation analysis was carried out with both the weighted average of soil attributes (layer 0-40 cm) (Table 6) and separately by layers (0-10 cm; 10-20 cm and 20-40 cm) (Tables 7-9), where a large number of significant correlations among attributes were found ( $P \leq 0.05$ ).

Of all the attributes (Table 6), the only ones that correlated with relative fruit yield were the N content in fruit and foliar N in winter, with an inverse relation.

The correlations involving soil pH were mostly inverse, which is in agreement with the fact that low pH values for olive trees (less than 5.5) are harmful to root development, decreasing water and nutrients uptake, especially when high levels of  $Al^{3+}$  are present. In general, the greatest availability, both of macro and micronutrients, is in the pH range between 5.5-7.0, which may vary according to the type of soil and plant species (Brady and Weil 2013). In this study, inverse correlations of pH with  $Al^{3+}$  are recorded in the 0-40 cm, 10-20 cm, and 20-40 cm layers.

Specifically regarding B uptake by olive trees, soil pH seems to affect markedly, as B content in fruits had an inverse relation with soil pH (Figure 1 A-C). Strong and inverse correlations were obtained in all layers and in the average of them (Tables 6-9). According to Figure 1, in all layers, it is possible to notice that soil pH exerted a greater influence on the B content of fruits than the B content in the soil, with the influence being easier to observe on the surface of 0-10 cm layer (Fig. 1A).

### 3.3. Timing for sampling leaf tissue and effect on correlations

Among the correlations of soil and foliar attributes, the number of significant relations ( $P \leq 0.05$ ) was very similar when comparing leaf samples collected in the summer vs. winter period (Tables 7-9). In the winter sampling event, a total of 10, 13, and 10 significant relations were found for the layers 0-10, 10-20, and 20-40 cm, respectively, while in summer a total of 14, 11, and 9 significant relations were observed for the same respective layers.

### 3.4. Diagnostic soil sampling layer and effect on correlations

The total number of significant correlations ( $P \leq 0.05$ ) per layer was similar: 105, 103, and 94 at 0-10, 10-20, and 20-40 cm, respectively. Therefore, it could be concluded that more superficial layers could be sufficient for sampling orchards in general. However, probable chemical restrictions due to the high  $Al^{3+}$  content in part of orchards were evident in the 20-40 cm layer.

**Table 6** - Correlation between soil parameters (0-40 cm), leaf, and fruit nutrients, and relative yield of evaluated orchards.

| Nut.                  | Al      | N <sub>s</sub> | P <sub>s</sub> | K <sub>s</sub> | B <sub>s</sub> | TOC     | N <sub>fw</sub> | P <sub>fw</sub> | K <sub>fw</sub> | B <sub>fw</sub> | N <sub>fs</sub> | P <sub>fs</sub> | K <sub>fs</sub> | B <sub>fs</sub> | N <sub>fr</sub> | P <sub>fr</sub> | K <sub>fr</sub> | B <sub>fr</sub> | RY     |
|-----------------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| <b>pH</b>             | -0,69** | -0.17          | -0.07          | -0.37**        | -0.08          | -0.02   | 0.04            | -0.14           | 0.48**          | -0.35***        | 0.38**          | 0.03            | -0.16           | 0.09            | 0.63***         | 0.87**          | -0.85**         | -0.82**         | -0.26  |
| <b>Al</b>             | 1       | 0.12           | -0.19          | -0.04          | -0.19          | 0.04    | 0.14            | 0.01            | -0.46**         | 0.56**          | -0.26*          | -0.22           | -0.22           | -0.26*          | -0.42           | -0.56*          | 0.65***         | 0.36            | 0.15   |
| <b>N<sub>s</sub></b>  |         | 1              | -0.06          | 0.29***        | 0.46**         | 0.69*   | 0.36**          | 0.54**          | -0.35***        | 0.31***         | 0.15            | 0.24*           | 0.48**          | 0.37***         | -0.58***        | -0.84**         | 0.74**          | 0.71**          | -0.00  |
| <b>P<sub>s</sub></b>  |         |                | 1              | 0.25*          | 0.46*          | 0.02    | 0.02            | 0.11            | -0.20           | -0.01           | -0.25*          | 0.35***         | 0.14            | 0.47**          | -0.54*          | -0.69***        | 0.73**          | 0.81**          | -0.00  |
| <b>K<sub>s</sub></b>  |         |                |                | 1              | 0.56**         | 0.01    | -0.05           | 0.27*           | -0.11           | 0.06            | -0.32***        | 0.32***         | 0.24*           | 0.54**          | -0.60***        | -0.85**         | 0.82**          | 0.70**          | 0.04   |
| <b>B<sub>s</sub></b>  |         |                |                |                | 1              | 0.35*** | 0.18            | 0.28*           | -0.11           | 0.09            | -0.13           | 0.21            | 0.25*           | 0.77**          | -0.57*          | -0.65***        | 0.75**          | 0.70***         | 0.00   |
| <b>TOC</b>            |         |                |                |                |                | 1       | 0.29***         | 0.16            | -0.42**         | 0.05            | -0.14           | -0.06           | 0.14            | 0.20            | -0.56*          | -0.83**         | 0.69***         | 0.70**          | 0.07   |
| <b>N<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         | 1               | 0.18            | -0.29***        | 0.50**          | -0.10           | 0.02            | 0.18            | 0.26*           | 0.34            | 0.17            | -0.18           | -0.10           | -0.46* |
| <b>P<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 | 1               | -0.19           | 0.32***         | -0.30***        | 0.49**          | 0.52**          | 0.40**          | -0.47*          | -0.53*          | 0.59***         | 0.72**          | 0.34   |
| <b>K<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 | 1               | -0.43**         | 0.50**          | -0.09           | -0.01           | -0.11           | 0.77**          | 0.74**          | -0.74**         | -0.66***        | -0.40  |
| <b>B<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 | 1               | -0.37***        | 0.12            | 0.20            | -0.30***        | -0.41           | -0.70**         | 0.56***         | 0.66***         | -0.15  |
| <b>N<sub>fs</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.14           | -0.13           | -0.22           | 0.66***         | 0.77**          | -0.71**         | -0.62***        | -0.28  |
| <b>P<sub>fs</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.47**          | 0.35***         | -0.63***        | -0.64***        | 0.85**          | 0.62**          | 0.25   |
| <b>K<sub>sv</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.39**          | -0.28           | -0.42           | 0.29            | 0.30            | -0.31  |
| <b>B<sub>fs</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.60***         | -0.79**         | 0.82**          | 0.89**          | 0.13   |
| <b>N<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.64***         | -0.68***        | -0.50*          | -0.46* |
| <b>P<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.81**         | -0.75**         | -0.15  |
| <b>K<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.74**          | 0.20   |
| <b>B<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.26   |

Nut: nutrient; N<sub>s</sub>: soil nitrogen; P<sub>s</sub>: soil phosphorus; K<sub>s</sub>: soil potassium; TOC: total organic carbon; Al: aluminum; N<sub>fw</sub>: foliar winter nitrogen; P<sub>fw</sub>: foliar winter phosphorus; K<sub>fw</sub>: foliar winter potassium; B<sub>fw</sub>: foliar winter boron; N<sub>fs</sub>: foliar summer nitrogen; P<sub>fs</sub>: foliar summer phosphorus; K<sub>fs</sub>: foliar summer potassium; B<sub>fs</sub>: foliar summer boron; N<sub>fr</sub>: fruit nitrogen; P<sub>fr</sub>: fruit phosphorus; K<sub>fr</sub>: fruit potassium; B<sub>fr</sub>: fruit boron; RY: relative yield; \*:significant p<0.05; \*\*: significant p<0.001; \*\*\*: significant p<0.01.

Source: Authors (2022)

**Table 7** - Correlation between soil parameters (0-10 cm), leaf and fruit nutrients, and relative yield of evaluated orchards.

| Nut.                  | Al    | N <sub>s</sub> | P <sub>s</sub> | K <sub>s</sub> | B <sub>s</sub> | TOC     | N <sub>fw</sub> | P <sub>fw</sub> | K <sub>fw</sub> | B <sub>fw</sub> | N <sub>fs</sub> | P <sub>fs</sub> | K <sub>fs</sub> | B <sub>fs</sub> | N <sub>fr</sub> | P <sub>fr</sub> | K <sub>fr</sub> | B <sub>fr</sub> | RY     |
|-----------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| <b>pH</b>             | -0.09 | -0.26*         | 0.03           | -0.66**        | -0.25          | 0.08    | 0.10            | -0.26*          | 0.01            | -0.22*          | 0.13            | -0.15           | 0.00            | -0.20           | 0.64***         | 0.82**          | -0.85**         | -0.75**         | -0.38  |
| <b>Al</b>             | 1     | 0.23*          | -0.09          | 0.02           | -0.24*         | -0.01   | 0.20            | 0.38**          | -0.28*          | 0.56**          | -0.26*          | 0.10            | 0.26*           | 0.01            | -0.24           | -0.55*          | 0.26            | 0.30            | 0.06   |
| <b>N<sub>s</sub></b>  |       | 1              | -0.12          | 0.32***        | 0.41**         | 0.45**  | 0.32***         | 0.56**          | -0.18           | 0.19            | -0.04           | 0.33***         | 0.54**          | 0.28*           | -0.53*          | -0.71**         | 0.57***         | 0.63***         | -0.02  |
| <b>P<sub>s</sub></b>  |       |                | 1              | 0.16           | 0.28***        | -0.00   | 0.02            | 0.11            | -0.15           | 0.00            | -0.23*          | 0.37***         | 0.19            | 0.48**          | -0.54*          | -0.67***        | 0.73**          | 0.77**          | -0.02  |
| <b>K<sub>s</sub></b>  |       |                |                | 1              | 0.46**         | -0.07   | -0.13           | 0.39**          | 0.04            | 0.14            | -0.24*          | 0.35***         | 0.33*           | 0.54**          | -0.62***        | -0.85**         | 0.87**          | 0.71**          | 0.09   |
| <b>B<sub>s</sub></b>  |       |                |                |                | 1              | 0.32*** | 0.16            | 0.25*           | -0.04           | -0.02           | -0.08           | 0.18            | 0.24*           | 0.65**          | -0.56*          | -0.63***        | 0.69***         | 0.71**          | 0.06   |
| <b>TOC</b>            |       |                |                |                |                | 1       | 0.17            | 0.06            | -0.31***        | -0.04           | -0.08           | -0.02           | 0.03            | 0.12            | -0.53*          | -0.77**         | 0.68***         | 0.76**          | 0.12   |
| <b>N<sub>fw</sub></b> |       |                |                |                |                |         | 1               | 0.18            | -0.29***        | 0.50**          | -0.11           | 0.02            | 0.18            | 0.26*           | 0.34            | 0.17            | -0.18           | -0.10           | -0.46* |
| <b>P<sub>fw</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 | 1               | -0.19           | 0.32***         | -0.30***        | 0.49**          | 0.52**          | 0.40**          | -0.47*          | -0.53*          | 0.59***         | 0.72**          | 0.34   |
| <b>K<sub>fw</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 | 1               | -0.43**         | 0.50**          | -0.09           | -0.01           | -0.11           | 0.77**          | 0.74**          | -0.74**         | -0.66***        | -0.40  |
| <b>B<sub>fw</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 | 1               | -0.37***        | 0.12            | 0.20            | 0.30***         | -0.41           | -0.70**         | 0.56*           | 0.66***         | -0.15  |
| <b>N<sub>fs</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.14           | -0.13           | -0.22           | 0.66***         | 0.77**          | -0.71**         | -0.62***        | -0.28  |
| <b>P<sub>fs</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.47**          | 0.35***         | -0.63***        | -0.64***        | 0.85**          | 0.62***         | 0.25   |
| <b>K<sub>sv</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.39**          | -0.28           | -0.42           | 0.28            | 0.30            | -0.31  |
| <b>B<sub>fs</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.60***        | -0.79**         | 0.82**          | 0.89**          | 0.13   |
| <b>N<sub>fr</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.64***         | -0.68***        | -0.50*          | -0.46* |
| <b>P<sub>fr</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.81**         | -0.75**         | -0.15  |
| <b>K<sub>fr</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.74**          | 0.20   |
| <b>B<sub>fr</sub></b> |       |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.26   |

Nut: nutrient; N<sub>s</sub>: soil nitrogen; P<sub>s</sub>: soil phosphorus; K<sub>s</sub>: soil potassium; TOC: total organic carbon; Al: aluminum; N<sub>fw</sub>: foliar winter nitrogen; P<sub>fw</sub>: foliar winter phosphorus; K<sub>fw</sub>: foliar winter potassium; B<sub>fw</sub>: foliar winter boron; N<sub>fs</sub>: foliar summer nitrogen; P<sub>fs</sub>: foliar summer phosphorus; K<sub>fs</sub>: foliar summer potassium; B<sub>fs</sub>: foliar summer boron; N<sub>fr</sub>: fruit nitrogen; P<sub>fr</sub>: fruit phosphorus; K<sub>fr</sub>: fruit potassium; B<sub>fr</sub>: fruit boron; RY: relative yield; \*:significant p<0.05; \*\*: significant p<0.001; \*\*\*: significant p<0.01.

Source: Authors (2022)

**Table 8** - Correlation between soil parameters (10-20 cm), leaf and fruit nutrients and relative yield of evaluated orchards.

| Nut.                  | Al      | N <sub>s</sub> | P <sub>s</sub> | K <sub>s</sub> | B <sub>s</sub> | TOC     | N <sub>fw</sub> | P <sub>fw</sub> | K <sub>fw</sub> | B <sub>fw</sub> | N <sub>fs</sub> | P <sub>fs</sub> | K <sub>fs</sub> | B <sub>fs</sub> | N <sub>fr</sub> | P <sub>fr</sub> | K <sub>fr</sub> | B <sub>fr</sub> | RY     |
|-----------------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| <b>pH</b>             | -0.56** | -0.25*         | -0.00          | -0.38**        | -0.23*         | -0.00   | 0.08            | -0.18           | 0.37**          | -0.35***        | 0.28*           | -0.05           | 0.12            | -0.04           | 0.62***         | 0.86**          | -0.87**         | -0.81**         | -0.25  |
| <b>Al</b>             | 1       | 0.18           | -0.22          | -0.10          | -0.10          | -0.02   | 0.09            | 0.10            | -0.26*          | 0.48**          | -0.15           | -0.08           | -0.03           | -0.16           | -0.11           | 0.12            | 0.11            | 0.04            | 0.11   |
| <b>N<sub>s</sub></b>  |         | 1              | -0.16          | 0.17           | 0.39**         | 0.65**  | 0.32***         | 0.49**          | -0.34***        | 0.24*           | -0.17           | 0.19            | 0.47**          | 0.30*           | -0.57*          | -0.82**         | 0.71**          | 0.64***         | 0.00   |
| <b>P<sub>s</sub></b>  |         |                | 1              | 0.19           | 0.41**         | -0.07   | -0.00           | 0.10            | -0.23*          | -0.04           | -0.29*          | 0.25*           | 0.07            | 0.36***         | -0.48*          | 0.68***         | 0.70**          | 0.62***         | 0.00   |
| <b>K<sub>s</sub></b>  |         |                |                | 1              | 0.57**         | 0.00    | -0.17           | 0.24*           | 0.08            | 0.01            | -0.21           | 0.29*           | 0.25*           | 0.51**          | -0.65***        | -0.84**         | 0.85**          | 0.67***         | 0.11   |
| <b>B<sub>s</sub></b>  |         |                |                |                | 1              | 0.30*** | 0.06            | 0.27*           | -0.07           | 0.10            | -0.16           | 0.16            | 0.27*           | 0.78**          | -0.59***        | -0.69***        | 0.81**          | 0.73**          | -0.01  |
| <b>TOC</b>            |         |                |                |                |                | 1       | 0.23*           | 0.14            | -0.34***        | 0.01            | -0.15           | -0.14           | 0.17            | 0.20            | -0.58***        | -0.83**         | 0.71**          | 0.70**          | 0.23   |
| <b>N<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         | 1               | 0.18            | -0.29***        | 0.50**          | -0.11           | 0.02            | 0.18            | 0.26*           | 0.34            | 0.17            | -0.18           | -0.10           | -0.46* |
| <b>P<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 | 1               | -0.19           | 0.32***         | -0.30***        | 0.49**          | 0.52**          | 0.40**          | -0.47*          | -0.53*          | 0.59***         | 0.72**          | 0.34   |
| <b>K<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 | 1               | -0.43**         | 0.50**          | -0.09           | -0.01           | -0.11           | 0.77**          | 0.74**          | -0.74**         | -0.66***        | -0.40  |
| <b>B<sub>fw</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 | 1               | -0.37***        | 0.12            | 0.20            | 0.30***         | -0.41           | -0.70**         | 0.56*           | 0.66***         | -0.15  |
| <b>N<sub>fs</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.14           | -0.13           | -0.22           | 0.66***         | 0.77**          | -0.71**         | -0.62***        | -0.28  |
| <b>P<sub>fs</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.47**          | 0.35***         | -0.63***        | -0.64***        | 0.85**          | 0.62***         | 0.25   |
| <b>K<sub>sv</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.39**          | -0.28           | -0.42           | 0.28            | 0.30            | -0.31  |
| <b>B<sub>fs</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.60***        | -0.79**         | 0.82**          | 0.89**          | 0.13   |
| <b>N<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.64***         | -0.68***        | -0.50*          | -0.46* |
| <b>P<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.81**         | -0.75**         | -0.15  |
| <b>K<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.74**          | 0.20   |
| <b>B<sub>fr</sub></b> |         |                |                |                |                |         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.26   |

Nut: nutrient; N<sub>s</sub>: soil nitrogen; P<sub>s</sub>: soil phosphorus; K<sub>s</sub>: soil potassium; TOC: total organic carbon; Al: aluminum; N<sub>fw</sub>: foliar winter nitrogen; P<sub>fw</sub>: foliar winter phosphorus; K<sub>fw</sub>: foliar winter potassium; B<sub>fw</sub>: foliar winter boron; N<sub>fs</sub>: foliar summer nitrogen; P<sub>fs</sub>: foliar summer phosphorus; K<sub>fs</sub>: foliar summer potassium; B<sub>fs</sub>: foliar summer boron; N<sub>fr</sub>: fruit nitrogen; P<sub>fr</sub>: fruit phosphorus; K<sub>fr</sub>: fruit potassium; B<sub>fr</sub>: fruit boron; RY: relative yield; \*:significant p<0.05; \*\*: significant p<0.001; \*\*\*: significant p<0.01.

Source: Authors (2022)

**Table 9** - Correlation between soil parameters (20-40 cm), leaf and fruit nutrients and relative yield of evaluated orchards.

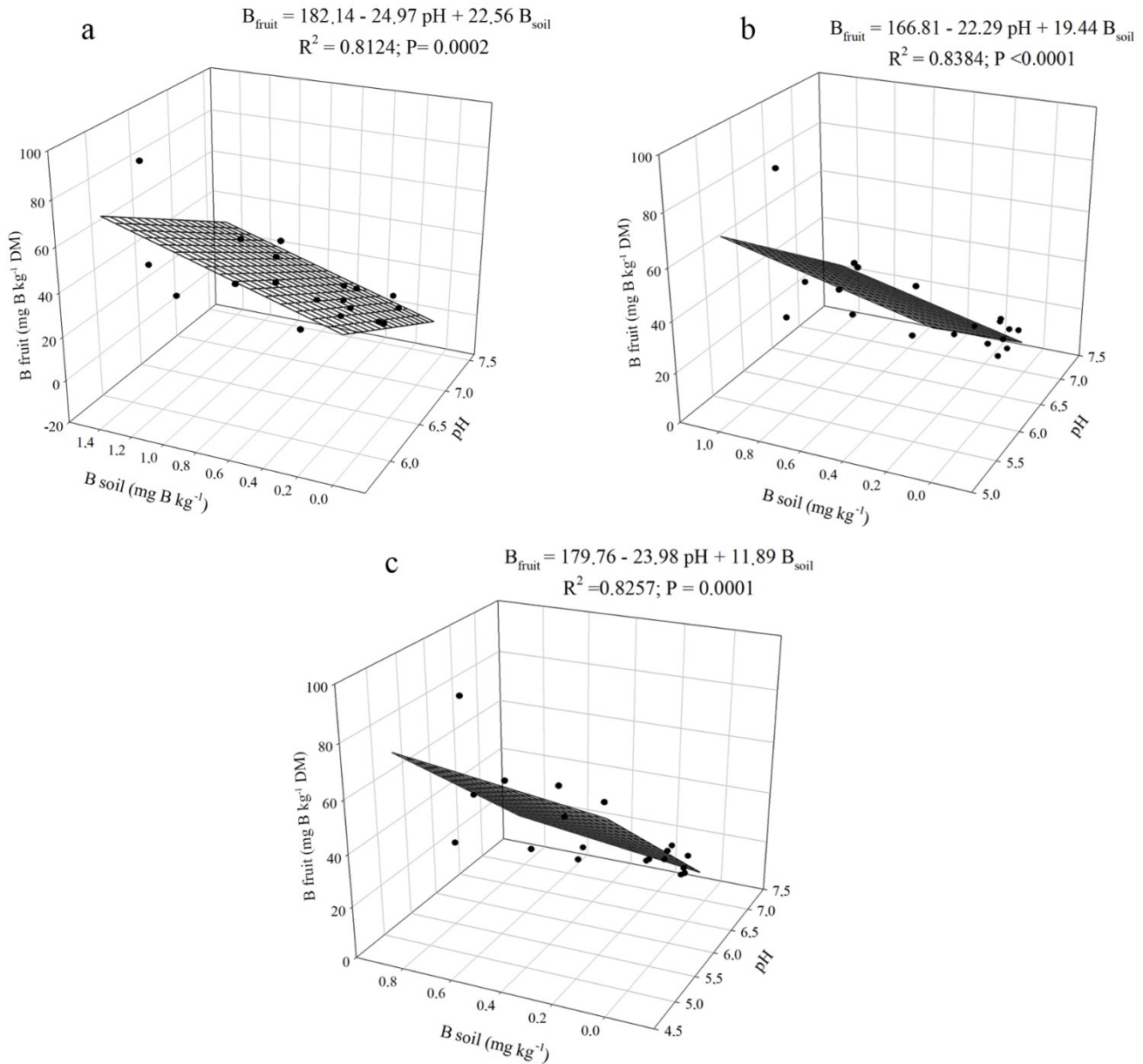
| Nut.            | Al      | N <sub>s</sub> | P <sub>s</sub> | K <sub>s</sub> | B <sub>s</sub> | TOC    | N <sub>fw</sub> | P <sub>fw</sub> | K <sub>fw</sub> | B <sub>fw</sub> | N <sub>fs</sub> | P <sub>fs</sub> | K <sub>fs</sub> | B <sub>fs</sub> | N <sub>fr</sub> | P <sub>fr</sub> | K <sub>fr</sub> | B <sub>fr</sub> | RY     |
|-----------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| pH              | -0.73** | -0.22*         | -0.12          | -0.24*         | -0.04          | -0.11  | 0.01            | -0.06           | 0.57**          | -0.33***        | 0.44**          | 0.09            | 0.20            | 0.18            | 0.65***         | 0.86**          | -0.91**         | -0.81**         | -0.18  |
| Al              | 1       | 0.20           | -0.10          | 0.02           | -0.12          | 0.10   | 0.14            | -0.01           | -0.47**         | 0.53**          | -0.25*          | -0.24*          | -0.26*          | -0.28*          | -0.38           | -0.53*          | 0.61*           | 0.31            | 0.14   |
| N <sub>s</sub>  |         | 1              | 0.03           | 0.12           | 0.43**         | 0.60** | 0.31***         | 0.41**          | -0.45**         | 0.38**          | -0.20           | 0.10            | 0.34*           | 0.41**          | -0.52*          | -0.79**         | 0.71***         | 0.68***         | -0.01  |
| P <sub>s</sub>  |         |                | 1              | 0.25*          | 0.17           | 0.16   | 0.00            | -0.01           | -0.21           | -0.08           | -0.11           | 0.07            | -0.04           | 0.22            | -0.21           | -0.30           | 0.27            | 0.40            | 0.01   |
| K <sub>s</sub>  |         |                |                | 1              | 0.30**         | 0.02   | -0.07           | 0.02            | -0.13           | -0.09           | -0.21           | 0.05            | -0.08           | 0.25*           | -0.64***        | -0.85**         | 0.84**          | 0.71**          | 0.03   |
| B <sub>s</sub>  |         |                |                |                | 1              | 0.26*  | 0.15            | 0.21            | -0.11           | 0.12            | -0.11           | 0.19            | 0.19            | 0.74**          | -0.53*          | -0.60***        | 0.73**          | 0.64***         | -0.01  |
| TOC             |         |                |                |                |                | 1      | 0.28*           | 0.18            | -0.42**         | 0.07            | -0.12           | -0.04           | 0.13            | 0.14            | -0.46*          | -0.74**         | 0.58***         | 0.57*           | -0.08  |
| N <sub>fw</sub> |         |                |                |                |                |        | 1               | 0.18            | -0.29***        | 0.50**          | -0.11           | 0.02            | 0.18            | 0.26*           | 0.34            | 0.17            | -0.18           | -0.10           | -0.46* |
| P <sub>fw</sub> |         |                |                |                |                |        |                 | 1               | -0.19           | 0.32**          | -0.30***        | 0.49**          | 0.52**          | 0.40**          | -0.47*          | -0.53*          | 0.59***         | 0.72**          | 0.34   |
| K <sub>fw</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 | 1               | -0.43**         | 0.50**          | -0.09           | -0.01           | -0.11           | 0.77**          | 0.74**          | -0.74**         | -0.66***        | -0.40  |
| B <sub>fw</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 | 1               | -0.37***        | 0.12            | 0.20            | 0.30***         | -0.41           | -0.70**         | 0.56*           | 0.66***         | -0.15  |
| N <sub>fs</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.14           | -0.13           | -0.22           | 0.66***         | 0.77**          | -0.71**         | 0.62***         | -0.28  |
| P <sub>fs</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.47**          | 0.35***         | -0.63***        | -0.64***        | 0.85**          | 0.62***         | 0.29   |
| K <sub>sv</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.39**          | -0.28           | -0.42           | 0.28            | 0.30            | -0.31  |
| B <sub>fs</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.60***        | -0.79**         | 0.82**          | 0.89**          | 0.13   |
| N <sub>fr</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.64***         | -0.68***        | -0.50*          | -0.46* |
| P <sub>fr</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | -0.81**         | -0.75**         | -0.15  |
| K <sub>fr</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.74**          | 0.20   |
| B <sub>fr</sub> |         |                |                |                |                |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1               | 0.26   |

Nut: nutrient; N<sub>s</sub>: soil nitrogen; P<sub>s</sub>: soil phosphorus; K<sub>s</sub>: soil potassium; TOC: total organic carbon; Al: aluminum; N<sub>fw</sub>: foliar winter nitrogen; P<sub>fw</sub>: foliar winter phosphorus; K<sub>fw</sub>: foliar winter potassium; B<sub>fw</sub>: foliar winter boron; N<sub>fs</sub>: foliar summer nitrogen; P<sub>fs</sub>: foliar summer phosphorus; K<sub>fs</sub>: foliar summer potassium; B<sub>fs</sub>: foliar summer boron; N<sub>fr</sub>: fruit nitrogen; P<sub>fr</sub>: fruit phosphorus; K<sub>fr</sub>: fruit potassium; B<sub>fr</sub>: fruit boron; RY: relative yield; \*:significant p<0.05; \*\*: significant p<0.001; \*\*\*: significant p<0.01.

Source: Authors (2022)



**Figure 1** – Multiple regression among soil pH, available boron in soil and average content of B in fruit. a) Layer 0-10 cm; b) Layer 10-20 cm; c) Layer 20-40 cm.



Source: Authors (2022)

#### 4. Discussion

The acidity conditions of the soil can be restrictive to the root deepening of olive trees, decreasing the volume of soil explored, as well as water and nutrients uptake (Jones and Ryan 2017; Shetty et al 2020), decreasing the crop yield. The proper correction of these attributes in deep layers is only possible to be made at the orchard implementation. Considering the long lifespan expected for an olive grove and the occurrence of naturally acidic and aluminic soils in southern Brazil, the soil pH correction along the profile is of utmost importance before the orchard implantation.

In adult orchards with subsoil acidity problems, the application of agricultural gypsum is an alternative to favor calcium descent in the profile and attenuate  $\text{Al}^{3+}$  toxicity to roots in the subsurface (Tiecher et al. 2018), but the effectiveness

of such subsoil amelioration is smaller than that from adequate incorporation of liming at implementation. The gypsum does not alter the soil pH and, in sandy soils (as verified in several olive orchards in southern Brazil), the gypsum rate should be estimated with severe criteria, to maximize the benefits of this technique without promoting damage by leaching of nutrients such as K.

Since P has low mobility in the soil, its stratification along the soil profile tends to accentuate over the years (Mesquita et al. 2012). In orchards in which P fertilizers are not incorporated in the soil before establishment, the stratification tends to be even greater.

In orchards in the same region, Bender et al. (2018) described olive orchards with adequate P contents in leaves from trees where available P in the soils was considered low, as the results presented in this study. The same authors suggested the classification of olives in the group of Low P demanding species in the CQFS-RS/SC (2016) manual. The contradiction between leaf and soil P contents may be also related to the low P exportation through the harvest of olive fruits (Tiecher et al. 2020). In addition, olive trees seem to be efficient in absorbing the nutrient from soils, which can be related to the association with arbuscular mycorrhizae, improving the uptake of nutrients, including less labile P forms from the soil (Chenchouni et al. 2019).

Broadcast and incorporation of P fertilizers onto the soil at orchard implementation and maintenance fertilizations are advised (CQFS-RS/SC 2016; Tiecher et al. 2020) even though reports of P deficiency in olive orchards are rare (Jiménez-Moreno and Fernández-Escobar 2016) and few studies are conducted in the world (Chatzistathis et al, 2020). In the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, a replenishment rate of 4kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> for each ton of fruit produced is recommended (CQFS-RS/SC 2016). Although olive trees have low P exportation rates, such replenishment is important to avoid losses in yield or quality by P deprivation (Fernández-Escobar et al. 2015). After all, P is an important constituent of nucleic acids and phospholipids, which form cell membranes (Jiménez-Moreno and Fernández-Escobar 2016), acting on the processes of photosynthesis and respiration, root growth, and cell division (Mesquita et al. 2012).

Potassium is the nutrient in the largest concentration in the fruits, as already expected and reported (Fernández-Escobar et al. 2015). The averages obtained are close to that found by Bender et al. (2018), in southern Brazil, and by El-Fouly et al. (2014) in Egypt.

In olive groves in the Mediterranean region, K is the element with the highest frequency of deficiency-related nutritional problems (Fernández-Escobar et al. 2015; Fernández-Escobar et al. 2018), caused by the high exportation of K by fruit harvesting and pruning. The lower annual precipitation of the Mediterranean region and calcareous soil of the region contribute to this behavior, as K shows less movement towards the roots, where it is supplied predominantly by diffusion. Besides that, the abundance of Ca and Mg can cause antagonism with K, exacerbated in periods of drought. For this reason, in many olive groves in the Mediterranean region, foliar K fertilization is recommended to improve tree nutrition with this element.

Although the B levels in the soil are within the level considered adequate, they are very close to the value of the critical level (0.3 mg B kg<sup>-1</sup> of soil). Orchard 3, which was the only one with fruit production in the year 2018, had available B levels five times higher than the considered as critical level in some experimental units, an unusual situation to what is found in most Brazilian orchards, whose deficiency is easily observed. Boron is one of the micronutrients with more records of deficiency in Brazilian crops (Prado et al. 2006) and according to Deliboran et al. (2020), symptoms of deficiency and toxicity are common.

The availability of B to plants is affected by numerous factors, including soil texture, pH, and organic matter content. According to Rosolem and Biscaro (2017), most of the available B in soils is bound to the organic fraction, but it can also be adsorbed in clays and iron and aluminum oxides (International Plant Nutrition Institute - INPI 2018). Thus, soils with low

organic matter contents tend to present lower B availability. Regarding texture, sandy soils or coarser soils tend to have a lower sorptive capacity and lower organic matter content, which favors greater leaching of B and lower natural availability of the element (Shibli and Srebnik 2002; INPI 2018). In acidic soils, B tends to remain less available for uptake, according to Shibli and Srebnik (2002). In the present work, these two conditions were observed separately, obtaining two orchards with lower contents of the nutrient: orchard 4, with acidic soils, and orchard 8 with a sandier texture soil. Associated with the above factors, historical B fertilization can be a master factor - there is no such information previously to the orchard implementation.

In most of the regions where olive is traditionally cultivated, B contents in the leaf tissues are considered adequate when the value falls within 19 to 150 mg B kg<sup>-1</sup> DM (Beutel et al. 1983), which is a wide range of concentrations. In the soil and climate conditions of southern Brazil, the same assortment was adopted, but up to now, there is no scientific support from local research for the critical levels of micronutrients in olive leaf tissue. We speculate, based on empirical observations, that the threshold value of 19 mg B kg<sup>-1</sup> is insufficient to provide adequate olive yields in the region.

It is possible to notice a large amplitude of contents among the orchards: the average of orchard 3 (47.76 mg B kg<sup>-1</sup> DM) was similar to other studies conducted in Portugal (Rodrigues et al. 2012; average 53.36 mg B kg<sup>-1</sup> DM) and orchard 7 obtained an average (13.86 mg B kg<sup>-1</sup> DM) closer to that found in the study by Bender et al. (2018; average 6.69 mg B kg<sup>-1</sup> DM), in the same region of the present study.

Nitrogen is the most required nutrient in most plants and olive trees and, together with K, is the element usually applied in the greatest amounts (Fernández-Escobar et al. 2002; Fernández-Escobar et al. 2014; INPI 2018). A study by Fernández-Escobar et al. (2004) described that in 'off'-year and in plants without fertilization, N accumulated in new leaves, so that can be used in the period of differentiation and growth of new shoots, occurring at the end of winter and with minimum peak seen in summer, during the harvest period. In fertilized plants, the levels are dependent on the fertilization seasons.

Monitoring N status periodically, through leaf analysis, is crucial to avoid excessive N, especially in the post-harvest period until the end of winter, to avoid possible losses in flowering, fruit formation, and production. Although the correlation coefficient was not so high between relative fruit yield and the N content in fruit and foliar, this result suggests that the nitrogen fertilization applied in high amounts to olive trees in the pre-flowering period is limiting fruit yield by an excess of the nutrient, which was warned in a previous study by Bender et al. (2018) in the same region. It is known that high N contents in the olive leaf can inhibit the flowering and fruiting, favoring the growth of the vegetative part at the expense of the reproductive one, as well as sensibility to pests and difficulty in absorbing other nutrients, like B, Fe, Mg and K (Erel et al. 2008; Fernández-Escobar et al. 2002; Fernández-Escobar et al. 2018; Zamora et al. 2010). Besides the loss in production, there is a greater need for pruning and there may be losses in the quality of the olive oil produced and a higher incidence of diseases.

At high soil pH, as required by the olive tree, available soil B must be higher for this element to reach higher levels in the fruit. The establishment of a threshold value of soil B for olive orchards in south Brazil, therefore, should be dependent on soil pH – the higher soil pH, the larger threshold values of available B in the soil should be. The present study corroborates the study of Bender et al. (2018) in the sense that the critical level of soil B for olives should be higher than that currently adopted in the subtropical climate of south Brazil.

It is not possible to state that correlations with foliar nutrient levels in summer are of greater relevance than those in winter. This is a relevant result from a practical point of view. After all, there is no standardization on the timing of leaf tissue sampling in olive trees in the south of Brazil. Although in summer there is the greatest demand for nutrients from the fruit, in winter there is greater stability of the contents (Mesquita et al. 2012). However, recent studies showed that the best timing for sampling to verify the nutritional status depends on the element evaluated and the variety studied. The studies conducted by Bueno et al. (2011) and Nieto et al. (2017) showed that for N and K the best sampling period would be in spring, when the development of fruits occurs. Additionally, for Nieto et al. (2017), P also could be analyzed at the same period as N and K, but

for B the collection must be between autumn and spring, when the trees are in dormancy, and at the beginning of the development of the inflorescences, corroborating with the findings of the present study, where the average of the element was higher in the winter period in seven of the eight orchards evaluated. In a study with six varieties of olive, Manolikaki et al. (2022) observed that concentrations of nutrients (Ca, Fe, and, Mn) were affected by the genotype and season, with the highest concentration of the elements in April (Spring in North Hemisphere).

Considering that most fertilization is normally performed in the flowering and fruiting period, foliar sampling in winter favors the recommendation for the period of greatest demand by plants. However, knowing the nutritional status of the plant at harvest or in the fruit set is important to sustain adequate levels of the nutrients in leaves when fruits are a major sink. Thus, the recommendation to perform foliar sampling in olive trees twice a year seems quite reasonable. Regardless of the recommended sampling time in each system, the most important is to have support material for the correct recommendation, calibrated based on scientific results obtained at the same collection time that producers and technicians will use.

Considering the characteristic of the olive tree to have roots that can reach 1.5 m deep in soils without limitations (Navarro García et al. 2012) and the naturally acidic characteristic of southern Brazilian soils, it is important to analyze the 20-40 cm layer, even if sporadically, to monitor the acidification of the profile and guide the liming of the orchards in the medium and long term, although the best to correct subsoil acidity is the lime incorporation before the implementation of the orchard.

Studies of correlation are the base for the fine adjustment of a system for recommendation of fertilization. For future studies, we suggest to replicate the evaluations in different locations, with other types of cultivar (as we conducted only with Arbequina), soil, orchard managements and years, in order to expand the representativeness. However, due to the high spatial variability among the trees in the same orchard, the attributes should be quantified individually by tree, in order to refine the correlations among chemical characteristics of soil and leaf, as well as olive fruit yield. As the regional databank increases, new techniques for olive nutrition should be used (i.e. DRIS, CND, among others).

## 5. Conclusion

Most of the orchards present favorable nutritional conditions for the development of olive trees. However, some orchards may be restricted by P scarcity, as even in the surface layer the levels of this element are low. Also, in orchards with sandy soil, B levels are less than ideal for cultivation.

In some orchards, there is concern about the excess of  $Al^{3+}$  in depth associated with the acid pH of the soil, which may be hindering the absorption of water and nutrients by plants. For this reason, chemical analysis of deeper layers of soil (20-40 cm) are recommended. However, in orchards where subsoil pH was adequately corrected, soil sampling at 0-20 cm in routine sampling is enough to represent the soil fertility conditions for olives.

According to the data obtained in Pearson's Correlation analysis, excessive N may be causing limitations in production.

## Acknowledgments

We are highly thankful to the producers who allowed us to carry out the study in their orchards and to everyone who contributed to this research. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

## References

- Alba, J.M.F., Flores, C.A. & Wrege, M.S. (2013). *Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul*. Brasília, DF: EMBRAPA.
- Allison, L.E. (1960). Wet combustion apparatus and procedure for organic and inorganic carbon in soil. *Soil Science Society of America*, 24, 36-40.

- Bender, D.D.B.B., Weber, M.A. & Vieira, F.C.B. (2018). Necessidade de ajustes no sistema de recomendação de calagem e adubação de oliveiras (*Olea europaea* L.) no sul do Brasil. *Ecologia e Nutrição Florestal- ENFLO*, 6(1), 17-32.
- Beutel, J., Uriu, K. & Lilleland, O. (1983). Leaf analysis for California deciduous fruits. In: Reisenauer, H.M. (Ed.). *Soil and Plant Tissue Testing in California, Bulletin 1879*. University of California.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. (2013). Acidez, alcalinidade, aridez e salinidade do solo. In: Brady, N.C. & Weil, R.R. *Elementos da natureza e propriedades do solo* (pp. 298-355). Bookman.
- Bueno, L., Sánchez, E. & Searles, P. (2011). Seasonal changes in mineral nutrient concentrations of olive leaves in an arid region of Argentina. *Acta Horticulturae*, 924, 69-76.
- Chapman, H. D. (1966). *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. University. of California, Berkeley.
- Chatzistathis, T., Monokrousos, N., Psoma, P., Tziachris, P., Metaxa, I., Strikos, G., Papadopoulos, F.H. & Papadopoulos, A.H. (2020). How fully productive olive trees (*Olea europaea* L., cv. 'Chondrolia Chalkidikis') manage to over-satisfy their P nutritional needs under low Olsen P availability in soils? *Scientia Horticulturae*, 265, 109251.
- Chenchouni, H., Mekahlia, M.N., Beddiar, A. (2019). Effect of inoculation with native and commercial arbuscular mycorrhizal fungi on growth and mycorrhizal colonization of olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae*, 261.
- Childers, N. F. (1966). *Fruit Nutrition: Temperate to Tropical*. New Brunswick, New Jersey: Horticultural Publications, Rutgers State University.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) – RS/SC. (2016). *Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo :Núcleo Regional Sul.
- Deliboran, A., Savran, K., Dursun, O., Eralp, O., Pekcan, T., Turan, H.S., Aydogdu, E., Cilgin, I., Olmez, H.A., Savran, S. & Nacar, A.S. (2020). Determination of Nutritional Status of Olive (*Olea europaea* L.) Trees Grown in Izmir and Mugla Province in Terms of Boron and The Other Microelements with Soil and Leaf Analyzes. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(3), 2020.
- El-Fouly, Mohamed M., El-Taweel, A.A., Osman, I.M.S., El-Din, I. S. & Shaaban, S.H.A. (2014). Nutrient removal from different parts of a Koroneiki olive trees grown in Sandy soil as a base of fertilizer recommendation in Egypt. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(11), 1718-1728.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (1997). *Manual de métodos e análise de solo*. 2<sup>nd</sup> ed. Rio de Janeiro: CNPS.
- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). (2012). *Oliveira no Brasil: tecnologias de produção*, ed. Oliveira, A. F. Belo Horizonte.
- Erel, R., Dag, A., Ben-Gal, A., Schwartz, A. & Yermiyahu, U. (2008). Flowering and Fruit Set of Olive Trees in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 133(5), 639-647.
- Fernández-Escobar, R., Sánchez-Zamora, M.A., Uceda, M. & Beltran, G. (2002). The Effect of Nitrogen Overfertilization on Olive Tree Growth and Oil Quality, *Acta Horticulturae*, 586.
- Fernández-Escobar, R., Moreno, R. & Sánchez-Zamora, M.A. (2004). Nitrogen Dynamics in the Olive Bearing Shoot. *HortScience*, 39(6), 1406-1411.
- Fernández-Escobar, R., Antonaya-Baena, M.F., Sánchez-Zamora, M.A. & Molina-Soria, C. (2014). The amount of nitrogen applied and nutritional status of olive plants affect nitrogen uptake efficiency. *Scientia Horticulturae*, 167:
- Fernández-Escobar, R., Sánchez-Zamora, M.A., García-Novelo, J.M. & Molina-Soria, C. (2015). Nutrient removal from Olive trees by fruit yield and prunning. *HortScience*, 50(3), 474-478.
- Fernández-Escobar, R., Guerreiro, M.; Benlloch, M. & Benlloch-González, M. (2016). Symptons of nutrient deficiencies in Young olive trees and leaf nutriente concentration at wich symptons appear. *Scientia Horticulturae*, 209, 279-285.
- Fernández-Escobar, R. (2018). Trends in olive nutrition. *Acta Horticulturae*, 1199, 215-223.
- International Olive Council (IOC). 2020a. <https://www.internationaloliveoil.org/olive-world/olive-oil-health>.
- Internacional Olive Council (IOC). 2020b. Newsletter Internacional Olive Council 150.
- International Plant Nutrition Institute (INPI). (2018). *Nutri-fatos: Boro*, 7.
- Jiménez-Moreno, M.J. & Fernández-Escobar, R. (2016). Response of Young olive plants (*Olea europaea*) to phosphorus application. *HortScience*, 59(9), 1167-1170.
- Jones, D.L. & Ryan, P.R. (2017). Aluminum Toxicity. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 1, 211-218.

- Manolikaki, I., Dugalaki, N., Psarras, G., Tzerakis, C., Sergentani, C., Papamanolioudaki, A., Tul, S. and Koubouris, G. (2022). Seasonal Variation of Leaf Ca, Fe, and Mn Concentration in Six Olive Varieties. *International Journal of Plant Biology*, 13, 95-105.
- Mesquita, H.A., García, C.N. & Costa, E.L. (2012). Solos, aspectos nutricionais e sugestões de fertilização. In: Oliveira, A. F. (Ed.). *Oliveira no Brasil: tecnologias de produção* (pp. 386-432). EPAMIG.
- Murphy, J. & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.
- Navarro García, C., Mesquita, H.A. & Alvarenga, A.A. (2012). Limitações de clima, solo e planejamento do plantio para o cultivo da oliveira. In: Oliveira, A. F. (Ed.). *Oliveira no Brasil: tecnologias de produção* (pp. 349-383). EPAMIG.
- Nieto, J., García-Fuentes, A., García, L. & Fernández-Ondoño, E. (2017). Estudio de la dinámica nutricional en hojas de olivo: periodos de estabilidad analítica. *Spanish Journal of Soil Science*, 7(1), 40-58.
- Prado, R.M., Natale, W. & Rozane, D.E. (2006). Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(2), 305-309.
- Ramos, A., Rapoport, H.F., Cabello, D. & Rallo, L. (2018). Chilling accumulation, dormancy release temperature, and the role of leaves in olive reproductive budburst: Evaluation using shoot explants. *Scientia Horticulturae*, 231, 241-252.
- Reis, C., Reis, E. L. & Silva, C.A. (2006). Modificação de procedimento para extração de boro em solos. *RECIE*, 15(1/2), 91-94.
- Rodrigues, M.A., Ferreira, I.Q., Claro, A.M. & Arrobas, M. (2012). Fertilizer recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. *Scientia Horticulturae*, 142, 205-211.
- Rosolem, C.A. & Biscaro, T. (2007). Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(10), 1473-1478.
- Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Estado do Rio Grande do Sul. (2022). [https://www.agricultura.rs.gov.br/rs-bate-recorde-na-producao-de-azeites-em-2022#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20azeite%20no,passado%20\(202%20mil%20litros\)](https://www.agricultura.rs.gov.br/rs-bate-recorde-na-producao-de-azeites-em-2022#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20azeite%20no,passado%20(202%20mil%20litros)).
- Shibli, A. & Srebnik, M. (2002). Environmental aspects of boron. In: Ali, H.A. (Ed.). *Soil Chemistry* (pp. 551-597).
- Shetty, R., Vidya, C.S.N., Prakash, N.B., Lux, A. & Vaculik, M. (2021). Aluminum toxicity in plant and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review. *Science of The Total Environment*, 765, 142744.
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H. & Volkweiss, S. J. (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2<sup>nd</sup> ed. Porto Alegre: Departamento de solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tiecher, T., Pias, O.H.C., Bayer, C., Martins, A.P., Denardin, L.G.O. & Anghinoni, I. (2018). Crop responds to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brasil: a systematic review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 1-17.
- Tiecher, T.L., Vieira, F.C.B., Nava, G., Navroski, R., Barreto, C.F., Tiecher, T. & Brunetto, G. (2020). Calagem, adubação e estado nutricional em oliveiras. In: Brunetto, G., Melo, G.W.B., Giroto, E., Tassinari, A., Krug, A.V., Marques, A.C.R., Paula, B.V., Marchezan, C., Betemps, D.L., Trentin, E., Silva, I.C.B. & Silva, L.O.S. (Eds.). *Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas* (pp. 236-248). Porto Alegre-RS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Zamora, F.G., Coletto, F. R., Rodríguez, J.C., García, J.P. & de La Rosa, J. L. M. (2010). *Suelo, Riego, nutrición y medio ambiente del olivar*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Zouari, I., Mechri, B., Attia, F., Cheraief, I., Mguidiche, A., Laabidi, F., Hammami, M., Martins, M., Ribeiro, H. & Aïachi-Mezghani. (2020). Mineral and carbohydrates changes in leaves and roots of olive trees receiving biostimulants and foliar fertilizers. *South African Journal of Botany*, 135, 18-28.

**CALIBRATION OF BORON FERTILIZATION THROUGH THE SOIL AND  
FOLIAR APPLICATIONS IN OLIVE (*Olea europaea* L.) IN RIO GRANDE DO  
SUL STATE, BRAZIL**

Maria Carolina dos Santos Figueiredo<sup>1</sup>  
Vanessa Rosseto<sup>2</sup>  
Carine Freitas Barão<sup>3</sup>  
Rosângela Silva Gonçalves Nunes<sup>4</sup>  
Iolanda da Luz Duarte<sup>5</sup>  
Mirla Andrade Weber<sup>6</sup>  
Frederico Costa Beber Vieira<sup>7</sup>

**Abstract:** The fertilizer recommendation system for olive orchards in south of Brazil is mainly based on studies from countries with different soil and climate conditions and, therefore, demands regional adjustments. One of the nutrients that need improvement is Boron (B). Aiming to determine the best rate of B fertilization, a field experiment was carried out in four orchards in central region of Rio Grande do Sul in 2019. B was applied via soil (0, 25, 50, and 100 g ulexite per tree; factor A) with absence or presence of foliar fertilizer (factor B). Soil and leaf analysis were performed, as well as olive fruit yields. Residual effect of fertilizers was evaluated in 2020. The statistical analysis revealed that it was not viable to determine the best dose of B or if foliar fertilization has influenced the production for the first harvest after fertilizer in the first year after fertilization. A strong rain season during the pollination period has aggravated the “off” year alternation. However, in the second year, the largest rate of B via soil (100 g ulexite per tree) with no foliar fertilization promoted the best residual effect on fruit yield.

**Keywords:** Acrisol, Regosol, olive trees, boron, nutrition, fertilization

**Data de Submissão:** 16/06/2022

### 5.2.1 Introduction

The olive (*Olea europaea* L.) is considered a high boron (B) demanding species (FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2018). This is an essential micronutrient for plant development, which in the soil, less than 5% of B is available for the plants because of its scarcity in the soil solution (FLORES; MATTENELLA; KWOK, 2006).

The availability of the element in the soil depends on factors such as texture, pH, organic matter content, and moisture, among others (GARCIA-SANCHEZ *et al.*, 2020). Organic matter is generally the main source of B in soil (BELTRÃO *et al.*, 2010), releasing the nutrient through mineralization into the soil solution. The pH, according to Shibli and Srebnik (2006), is the main factor of soil solution that affects B availability, being less available in soils with high pH values, mainly above 6.5, and in very acid soils, below 5.0, where remains strongly adsorbed on the surface of aluminum and iron oxides (ARUNKUMAR *et al.*, 2018).

The absorption by plants occurs as boric acid ( $H_3BO_3$ ), which can move, through a gradient concentration, by the lipid bilayer membrane (BROWN *et al.*, 2002). After its absorption by roots, B is transported by xylem through diffusion and distributed to other plant parts by a water flow (CAMACHO-CRISTÓBAL *et al.*, 2018).

In plants, B is primarily located in the cell wall, where the element has a structural role in forming pectin composites that act on the stability of the cell wall matrix (CAMACHO-CRISTÓBAL *et al.*, 2018). Hence, B acts on integrity and maintenance of membrane function. Boron is also important for processes related to reproductive development, the viability of pollen grains, pollen tube growth, flowering set, and fruit production.

Its release in the form of borates occurs very slowly and, in many cases, does not provide the necessary amount of the element for species that are cultivated for long periods (GARCIA-SANCHEZ *et al.*, 2020). Thus, it is often necessary to supplement the element through the application of fertilizers in order to achieve crop yield potential. However, plant species present large differences in B requirements. In addition, the range between B deficiency and B toxicity by excess is too narrow. In this context, the fine adjustment of the B fertilization system, according to each regional soil and climate condition, as well as each plant species and genotypes, is essential to manage efficiently the fertilization of this micronutrient.

Low content of B limited fruit production in some orchards located in central region of the state of Rio Grande do Sul (BENDER; WEBER; VIEIRA, 2018). Also, according to the authors, the minimal threshold level of available B in soils for most of the crops for the soils of the region (CQFS – RS/SC, 2016) is not enough for olives, requiring higher values to make possible reach higher fruit yield. The authors pointed out the necessity of adjustment in the fertilizer recommendation system with basis on regional and local research. After all, the current recommendation system for olive fertilization in the region is mainly based on studies carried out in countries of Mediterranean region and in the west USA, where the climate (arid and semiarid) and the soil (alkaline/calcareous) conditions are different from those in the south Brazil (humid acid soils).

This study aimed to determine the best rate of B fertilization in adult olive orchards cropped in the central region of Rio Grande do Sul, through soil (ulexite source) and foliar application, searching for improve the production of the orchards.

### 5.2.2 Material and Methods

#### Sites of study

The experiment was conducted in four orchards, in the municipalities of Caçapava do Sul and São Gabriel, Rio Grande do Sul state, southern Brazil (Table 1), between 2019 and 2021.



According to Koppen's climate classification, both the municipalities fit the Cfa climate type (KUICHINTER; BURIOL, 2001) and their area is mostly considered adequate for olive crops according to soil and climate conditions (WREGE; COUTINHO, 2013).

Table 1 – Location and identification of analyzed orchards.

| Location        | Identification | Age at 2020 | Type of soil*                 | Coordinates                    | Spacing | Integrated livestock |
|-----------------|----------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|----------------------|
| Caçapava do Sul | 1              | 10          | Regosol – Neossolo Regolítico | 30°24'53.95"S<br>53°26'48.62"O | 5x3     | Bovine cattle        |
| Caçapava do Sul | 2              | 17          | Regosol – Neossolo Regolítico | 30°37'29.21"S<br>53°20'42.83"O | 7x6     | Pigs                 |
| São Gabriel     | 3              | 5           | Acrisol – Argissolo           | 30°04'05.2"S<br>54°27'44.8"O   | 5x5     | Sheep                |
| São Gabriel     | 4              | 7           | Acrisol – Argissolo           | 30°05'10.6"S<br>54°36'35.2"O   | 7x5     | -                    |

\* World Resource Base-FAO (WRB/FAO) and Brazilian system of soil classification (SIBCS), respectively.

### Conduction of the experiments

The studies were carried out only with cv. 'Arbequina', which is the dominant cultivar cropped in Rio Grande do Sul state.

The same experimental design was replicated in each of the four orchards. The experiment comprises four rates of Boron fertilizer, applied to the soil (ulexite, a poorly soluble source), in the main plots and the absence or presence of B foliar fertilizer in the subplots, according to a split-plot randomized block design and three replicates, totaling 24 experimental units (EU) per orchard.

In the soil, B was applied in July 2019, at the rates of 0, 25, 50, and 100 g of ulexite (Produbor 10®, 10% total B, 6% soluble in citric acid) per experimental unit, broadcasted in a square in the canopy projection with 4m<sup>2</sup>. The doses are equivalent to 0, 1.5, 3.0, and 6.0 g of citric acid-soluble B per tree, respectively. The rates definition followed by Haifa Group (2019) and Mesquita, García and Costa (2012) and were also based on the results obtained by Bender, Weber and Vieira (2018), in which the authors found the threshold level for B in the soil to be 1.6 mg B kg<sup>-1</sup>, which is equivalent to 4 g of the element per tree if consider 4m<sup>2</sup> of canopy projection and 0-10 cm depth in the soil.

Foliar application was made in October 2019, using YaraVita® Bortrac™, which contains Boron (B) 10.9% w/w (150 g L<sup>-1</sup>) and also Nitrogen (N) 4.7% w/w (65 g L<sup>-1</sup>). A solution containing 10 mL of the product diluted in 1.5L of distilled water was prepared at the time of application and was uniformly sprayed in the canopy through a backpack-type sprayer.

### Soil, leaves, and fruits sampling

In the winter of 2019, before the application of the treatments, soil and leaves were collected to characterize the orchards (Table 2). The soil collection was made one meter away from the trunk, on the row and interrow of crops, in the depths of 0-10, 10-20, and 20-40 cm. Row and interrow from each tree were homogenized to compose only one sample per depth. After, they were dried, ground, and sieved (2 mm).

In winter (June 2019) and summer (February 2020), mature leaf samples were collected from the current season shoots, in the middle third of canopy height, from the four quadrants of each experimental unit. Such sampling events correspond, respectively, to the time before and after the application of treatments (both soil and foliar fertilizers). In both samplings, 100 leaves from each EU were collected, cleaned with distilled water, oven-dried at 50° C, ground, and sieved (1mm).

The fruits were sampled manually, in February of 2020 (Summer in South Hemisphere), concomitantly to the commercial harvest, whose period was defined by each owner of the orchard. All the fruits of each tree were harvested, and total fresh mass was quantified to determine total production per tree. The fruit samples were kept under refrigeration until the analysis, when they were washed with distilled water, manually grounded (whole fruit, without pulp separation), and dried at 60° C. In the summer of 2021, at harvest time, fruits were harvested and sampled again to evaluate the residual effect of the fertilizers.

Table 2 – Physicochemical characterization of soil and leaf tissue previously to the treatment application at the analyzed orchards. N = nitrogen, P = phosphorus, K = potassium, B = boron, Al = aluminum.

| Orchard | Soil chemical attributes |                     |                     |                     |                                    |                     |                      |
|---------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|
|         | Total N                  | Exch. P             | Exch. K             | Avail. B            | Exch. Al <sup>+3</sup>             | pH-H <sub>2</sub> O | Clay content         |
|         | g 100g <sup>-1</sup>     | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | -                   | g 100g <sup>-1</sup> |
| 1       | 0.16                     | 13.6                | 260.1               | 0.44                | 0.23                               | 6.12                | 7.4                  |
| 2       | 0.14                     | 10.2                | 24.1                | 0.07                | 0.04                               | 7.04                | 10.2                 |
| 3       | 0.01                     | 3.4                 | 107.6               | 0.06                | 0.12                               | 6.67                | 9.1                  |
| 4       | 0.06                     | 18.2                | 183.1               | 0.11                | 0.05                               | 6.33                | 4.8                  |

|   | Leaf tissue attributes |                      |                      |                     |
|---|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|   | N                      | P                    | K                    | B                   |
|   | g 100g <sup>-1</sup>   | g 100g <sup>-1</sup> | g 100g <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |
| 1 | 1.25                   | 0.11                 | 2.58                 | 47.0                |
| 2 | 2.17                   | 0.22                 | 3.01                 | 59.7                |
| 3 | 0.86                   | 0.09                 | 2.53                 | 7.9                 |
| 4 | 2.17                   | 0.06                 | 2.56                 | 30.6                |

Abbreviations: Exch.: exchangeable. Avail.: available.

### Chemical and physical analysis

Contents of total N, P, and K in leaf and fruit tissues, soil pH, contents of exchangeable P and K in the soil, soil content of total N, and exchangeable Al<sup>+3</sup> were determined according to Tedesco *et al.* (1995) and Murphy and Riley (1962). Soil available B content in soil was extracted with hot water and determined with Azomethine-H, according to Reis, Reis and Silva (2006) with adaptations. Boron content in leaf and fruit tissue was determined in the ash after being burnt with a muffle furnace, according to Tedesco *et al.* (1995), and B content was determined with Azomethine-H, according to Reis, Reis and Silva (2006) with adaptations. Clay content was determined by the pipette method (EMBRAPA, 1997) with modifications.

The nutrient contents in soil and leaves samples were interpreted according to the Manual of Fertilization and Liming for the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (CQFS – RS/SC, 2016) and EPAMIG (2012).

### Statistical analysis

The data were submitted to analysis of variance ( $P \leq 0.10$ ). When significant differences were observed, the effect of B rates added to the soil (factor A) was analyzed by regression of 10% probability, and the effect of foliar fertilization of B (factor B) was analyzed by F-test. The interaction between the above factors, when significant, was also analyzed using regression analysis and F-test for factors A and B, respectively.

### 5.2.3 Results and Discussion

The results from the analysis of nutrients from leaf tissue and fruits are in Table 3. The content of N in leaf tissue was higher after the fertilization in orchard 2 and in orchard 1, lower only at the dose of 50 g. For P, the levels before and after were very similar and, for both orchards. Contents of K and B were lower than the initial level after the fertilization. These last two nutrients are very important in fruits: K is the nutrient with higher levels in olive fruits (FERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.* 2015) and B is necessary for development of the fruits (MESQUITA; GARCÍA; COSTA, 2012; CAMACHO-CRISTÓBAL *et al.*, 2018), which can explain why these elements were lower in summer since they were exported to fruits.

The analysis of variance results for orchards 1 and 2 are reported in Table 4. The applications of B fertilizers via soil and foliar spray did not affect significantly ( $P < 0.10$ ) the fruit yield in none orchard in the first harvest after fertilization treatments.

The absence of a significant effect on the fruit yield in the first harvest after B fertilization was likely influenced by the low productivity of the orchards (and even the absence of fruit production in some orchards). Alternate bearing is common and occurs naturally in olive trees, and biotic and abiotic factors may affect its intensity (TURKTAS *et al.*, 2013). In the case of the present study, the low-yield (“off-year”) was probably exacerbated by the occurrence of an intense rainfall period coinciding with the flowering and pollination period, especially in October 2019, with about 400 mm of rainfall (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2021). The accumulated rainfall of this month was, therefore, close to the minimum water requirement of the species for one entire year (650-800 mm) (COUTINHO *et al.*, 2009). This was followed by a dry period and maximum temperatures exceeding 35°C (INMET, 2021). High temperatures impair production, modify fruit development, and oil accumulation, and reduce polyphenols and oleic acid (NISSIM *et al.*, 2020).

The alternate bearing can be considered a possible source of discrepancies to fertilization experiments. Ateyyeh and Shabat (2006) highlight that olive trees define their production in the year before the harvest. Therefore, according to these authors, it would be best to conduct studies in the off-year because olive trees have not the best response to fertilization in the on year. However, our research did not obtain a significant effect on fruit yield in the first harvest following fertilization treatments (off-year).

Table 3 – Chemical attributes from leaf and fruit tissues, sampled at the moment of the first fruit harvest after soil and foliar fertilization (February/March 2020). N = nitrogen; P = phosphorus; K = potassium; B = boron.

| Leaf tissue attributes – Orchard 1 |                      |      |                      |      |                      |      |                     |       |
|------------------------------------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|---------------------|-------|
| Ulexite doses                      | N                    |      | P                    |      | K                    |      | B                   |       |
|                                    | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | mg kg <sup>-1</sup> |       |
| G                                  | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                 | FF    |
| 0                                  | 1.36                 | 1.45 | 0.10                 | 0.12 | 1.41                 | 1.45 | 30.63               | 34.44 |
| 25                                 | 1.62                 | 1.65 | 0.13                 | 0.10 | 1.67                 | 1.71 | 44.60               | 41.85 |
| 50                                 | 1.27                 | 1.34 | 0.11                 | 0.11 | 1.43                 | 1.79 | 38.47               | 38.04 |
| 100                                | 1.40                 | 1.53 | 0.09                 | 0.11 | 1.45                 | 1.47 | 43.97               | 39.10 |
| Fruit attributes – Orchard 1       |                      |      |                      |      |                      |      |                     |       |
| Ulexite doses                      | N                    |      | P                    |      | K                    |      | B                   |       |
|                                    | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | mg kg <sup>-1</sup> |       |
| G                                  | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                 | FF    |
| 0                                  | 0.68                 | 0.81 | 0.09                 | 0.07 | 2.37                 | 2.23 | 20.63               | 17.38 |
| 25                                 | 0.80                 | 0.76 | 0.10                 | 0.07 | 2.98                 | 2.29 | 19.70               | 21.67 |
| 50                                 | 0.62                 | 0.70 | 0.07                 | 0.08 | 2.00                 | 2.30 | 19.82               | 21.10 |
| 100                                | 0.84                 | 0.86 | 0.10                 | 0.09 | 2.93                 | 2.64 | 19.62               | 15.90 |
| Leaf tissue attributes – Orchard 2 |                      |      |                      |      |                      |      |                     |       |
| Ulexite doses                      | N                    |      | P                    |      | K                    |      | B                   |       |
|                                    | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | mg kg <sup>-1</sup> |       |
| G                                  | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                 | FF    |
| 0                                  | 2.22                 | 2.46 | 0.20                 | 0.13 | 0.14                 | 1.65 | 45.23               | 53.93 |
| 25                                 | 2.50                 | 2.25 | 0.14                 | 0.14 | 1.77                 | 1.76 | 27.90               | 31.99 |
| 50                                 | 2.34                 | 2.18 | 0.11                 | 0.15 | 1.79                 | 1.75 | 43.23               | 45.09 |
| 100                                | 2.36                 | 2.18 | 0.12                 | 0.10 | 1.74                 | 1.64 | 34.20               | 47.69 |
| Fruit attributes – Orchard 2       |                      |      |                      |      |                      |      |                     |       |
| Ulexite doses                      | N                    |      | P                    |      | K                    |      | B                   |       |
|                                    | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | g 100g <sup>-1</sup> |      | mg kg <sup>-1</sup> |       |
| G                                  | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                  | FF   | WFF                 | FF    |
| 0                                  | 1.48                 | 1.38 | 0.07                 | 0.07 | 2.41                 | 2.33 | 9.32                | 13.45 |
| 25                                 | 1.87                 | 1.06 | 0.10                 | 0.06 | 2.61                 | 2.21 | 21.76               | 10.88 |
| 50                                 | 1.20                 | 1.15 | 0.06                 | 0.06 | 1.99                 | 2.38 | 16.59               | 16.59 |
| 100                                | 1.12                 | 1.43 | 0.03                 | 0.08 | 1.90                 | 2.90 | 15.55               | 10.51 |

Abbreviations: WFF.: Without Foliar Fertilization; FF.: With Foliar Fertilization

Table 4 – Summary of analysis of variance (ANOVA) of olive fruit yield to orchards 1 and 2 in the first harvest (application year) and orchards 1, 3, and 4 in the second harvest (residual effect).

| 1st year      |                      |                      |                      |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| F.V           | Orchard 1            | Orchard 2            |                      |
| Block         | 0.8092 <sup>ns</sup> | 0.5330 <sup>ns</sup> |                      |
| B soil (Bs)   | 0.5000 <sup>ns</sup> | 0.5000 <sup>ns</sup> |                      |
| B foliar (Bf) | 0.8016 <sup>ns</sup> | 0.2510 <sup>ns</sup> |                      |
| Bs * Bf       | 0.6378 <sup>ns</sup> | 0.5893 <sup>ns</sup> |                      |
| CV 1 (%)      | 80.90                | 79.44                |                      |
| CV 2 (%)      | 74.33                | 42.72                |                      |
| 2nd year      |                      |                      |                      |
|               | Orchard 1            | Orchard 3            | Orchard 4            |
| Block         | 0.6287 <sup>ns</sup> | 0.5453 <sup>ns</sup> | 0.1403 <sup>ns</sup> |
| B soil (Bs)   | 0.5000 <sup>ns</sup> | 0.5000 <sup>ns</sup> | 0.5000 <sup>ns</sup> |
| B foliar (Bf) | 0.8776 <sup>ns</sup> | 0.5446 <sup>ns</sup> | 0.7468 <sup>ns</sup> |
| Bs * Bf       | 0.7006 <sup>ns</sup> | 0.1027 <sup>ns</sup> | 0.6635 <sup>ns</sup> |
| CV 1 (%)      | 52.99                | 59.19                | 33.01                |
| CV 2 (%)      | 71.93                | 110.87               | 41.48                |

<sup>ns</sup>: not significant at  $P = 0.10$ .

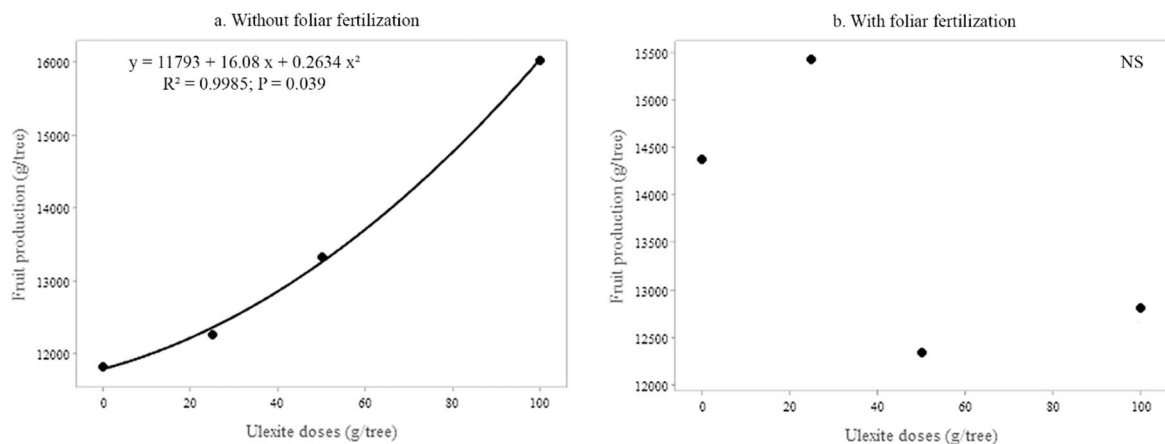
The soil analysis made previously for the applications of B fertilizers in the present study showed averages of 0.44, 0.07, 0.06, and 0.11 mg B kg<sup>-1</sup> of soil to the orchards 1, 2, 3, and 4, respectively (Table 1), which are lower values than the 1.6 mg B kg<sup>-1</sup> suggested by Bender, Weber and Vieira (2018) as a threshold value. For Haifa Group (2019), to correct the levels of the element in the soil, from 113 to 225 g tree<sup>-1</sup> of a fertilizer containing between 14-20% of soluble B should be applied, which would be equivalent to at least 15.82 g B tree<sup>-1</sup>. For Bender, Weber and Vieira (2018), this dose would be 12.8 g tree<sup>-1</sup>. The product applied in this study has 10% of total B and 6% of soluble B in citric acid, i.e., the experimental units received 0, 2.5, 5, and 10 g of total B and 0, 1.5, 3.0, and 6 g of soluble B in citric acid, which is below the values suggested by the references. However, the soils of the present study have a low content of clay (Table 1), which increases the risk of B toxicity due to excess fertilization. Importantly, no visual symptom of B toxicity was observed in our study, in none tree.

The foliar analysis before fertilization (Table 1) revealed that the orchards were, in their majority, within contents considered adequate to the crop (19-150 mg B g<sup>-1</sup> DM), with averages of 47.0, 59.6, 7.9, and 30.6 mg g<sup>-1</sup> DM to the orchards 1, 2, 3, and 4 respectively. In this logic, at least in orchard 3, it would be expected an increase in fruit yield in response to B fertilization, as it was the only one with a foliar B deficiency situation. Possibly such scarcity has hampered the processes of flower bud induction and/or floral initiation, expected to occur before the amendment with B fertilizers, compromising fruit yield (FERNANDEZ-ESCOBAR *et al.*, 1992; PERICA *et al.*, 2001). In orchards 1 and 2, in turn, in which foliar B contents were higher and considered adequate for olive cultivation (in the sampling event before fertilization), there was probably no restriction on flower induction or initiation due to B scarcity. However, in orchards 1 and 2, neither the application of fertilizers via soil nor via foliar promoted significant effect on fruit yield in the first harvest after B amendment, which is in agreement with the research developed by Ateyyeh and Shabat (2006) to the 'Rasie' cultivar, in plants whose leaf contents were within the adequate range. In contrast, Perica *et al.* (2001) observed an increase in the production of the 'Manzanilla' cultivar, whose initial leaf content was low - 16 mg B kg<sup>-1</sup> MS.

The residual effect of B fertilizers in our study was evaluated in the following year (Summer of 2021, in the second fruit harvest after B fertilization). When the fruit yield of each orchard was analyzed individually, no significant differences in fruit yield were observed in

any orchards (Table 3). Nonetheless, for the average of the three orchards, fruit yield in the second year increased proportionally to the B rate applied to the soil ( $P=0.039$ ), in the absence of foliar B fertilization (Figure 1a). The largest B rate of the soil fertilization (100 g ulexite per tree) promoted the greatest residual effect, evidenced by the prominent fruit yield. The 100 g of ulexite (6 g B) per tree is close to the values suggested by Bender, Weber and Vieira (2018) and Haifa Group (2019). As already mentioned, damages by B excess were not observed in any rate and orchard. Therefore, in soils of available B contents as those in the present study (up to  $0.44 \text{ mg B kg}^{-1}$ ), the rate of 100 g per tree of ulexite - a less soluble B fertilizer - seems to be adequate. However, in the trees treated with foliar B fertilization, the residual effect of soil fertilization was not significant (Figure 1b). Inclusively, the two larger rates of soil fertilization, when joined by foliar B application, tended to have smaller fruit yields in the second year after B fertilization (Figure 1b). Analyzing the amount of B applied in only one event of foliar fertilization, it is possible to see that the B quantity is small. The foliar fertilizer applied in the present study has a concentration of  $150 \text{ g L}^{-1}$ , i.e., in the 10 mL applied in each EU, only  $1.5 \text{ g B tree}^{-1}$  were added. For this reason, the ideal would be to repeat the applications, in different periods, that prioritize the times when the olive tree requires the most B to meet the demand of the reproductive part.

Figure 1 – Olive fruit yield (mean of three orchards) in the second harvest after B fertilization (residual effect of fertilizers) using ulexite rates in soil and the absence (a) and presence (b) of B foliar fertilization. NS: not significant ( $P>0.05$ ).



It is important to note that B is an element extremely important in the processes of flowering and fruit formation in the olive tree. Therefore, more repetitions of the study are necessary in different years (mainly because of the bearing effect in the current study), with other types of soil and including more soluble B fertilizers, to better determine the B rate to be recommended, as well as with repeated foliar fertilization events.

## 5.2.4 Conclusions

In the first year of the study, it was neither possible to define the best rate of boron fertilizer to the soil, nor the employment of foliar fertilization. Responses to B fertilization in this first year were probably restrained by the low fruit yield in the “off-year” of alternate bearing.

In the second year, however, in the average of three field experiments (three orchards), the residual effect was the largest for the rate of 100 g ulexite per tree (equivalent to 6 g B per tree) without foliar fertilization. When foliar B fertilizer was used, however, no significant effect of soil B fertilization was observed.

### 5.2.5 Acknowledgments

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. We also thank the farmers for allowing us to carry out the field experiments in their orchards and Yara Company for providing the foliar fertilizer.

### References

- ARUNKKUMAR, B.R., THIPPESHAPPA, G.N., ANJALI, M.C., PRASHANTH, K.M. Boron: A critical micronutrient for crop growth and productivity. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 2, n. 7, p. 2738-2741, 2018.
- ATEYYH, A.F., SHATAT, F.A. Effect of foliar boron application on fruit set of Olive (*Olea europaea* L.) cultivar Rasie. **Olivebioteq**, n. 1, p. 223-229, 2006.
- BELTRÃO, N. E. de M., VALE, L. S. do, MARQUES, L. F., CARDOSO, G. D., SIVA, F. V. de F. Fontes e modos de aplicação de boro no algodoeiro herbáceo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 001-007, 2010.
- 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. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 6, n. 1, p. 17-32, 2018.
- BROWN, P.H., BELLALLOUI, N., WIMMER, M.A., BASSIL, E.S., RUIZ, J., HU, H.; PFEFFER, H., DANNEL, F.; RÖMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant Biology**, v. 4, n. 2, p. 205-223, 2002.
- CAMACHO-CRISTÓBAL, J.J., NAVARRO-GOCHICOA, M.T., REXACH, J., GONZÁLEZ-FONTES, A., HERRERA-RODRÍGUEZ, M.B. Plant response to boron deficiency and boron use efficiency in crop plants. **Plant Micronutrient Use Efficiency**, p. 109-121, 2018.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.
- COUTINHO, E.F., WREGE, M.S., JÚNIOR, C.R., ALMEIDA, I.R. DE, STEINMETZ, S. Clima. In: COUTINHO, E.F., RIBEIRO, F.C., CAPPELLARO, T.H. (Eds). **Cultivo de Oliveira (*Olea europaea* L.)**. Embrapa Clima Temperado, Sistemas de Produção 16, Pelotas, RS, 2009. 125p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos e análise de solo**. 2<sup>nd</sup> ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. OLIVEIRA, A. F. (Ed.). Belo Horizonte, 2012. 772p.

- FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., BENLLOCH, M., NAVARRO, C., MARTIN, G.C. The Time of Floral Induction in the Olive. **Journal of American Soc. Hort. Sci.**, v. 117, n. 2, p. 304-307, 1992.
- FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., SÁNCHEZ-ZAMORA, M.A., GARCÍA-NOVELO, J.M., MOLINA-SORIA, C. Nutrient removal from Olive trees by fruit yield and prunig. **HortScience**, v. 50, n. 3, p. 474-478, 2015.
- FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Trends in olive nutrition. **Acta Horticulturae**, n. 1199, p. 215-223, 2018.
- FLORES, H.R., MATTENELLA, L.E., KWOK, L.H. Slow release boron micronutrients from pelletized borates of northwest of Argentina. **Mineral Engineering**, n. 19, p. 364-367, 2006.
- GARCÍA-SANCHÉZ, F., SIMÓN-GRAO, S., MARTÍNEZ-NICOLÁS, J.J., ALFOSEA-SÍMON, M., LIU, C., CHATZISSAVVIDIS, C., PÉREZ-PÉREZ, J., CÁMARA-ZAPATA, J.M. Multiple stresses occurring with boron toxicity and deficiency in plants. **Journal of Hazardous Materials**, n. 397, 2020.
- HAIFA GROUP. **Nutritional recommendations for Olives**. Available online: <https://www.haifa-group.com/olives-fertilizer>. Accessed on: 5 apr. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Available online: <https://tempo.inmet.gov.br>. Access on: 21 nov. 2021.
- KUINCHTNER, A., BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Série: Ciências Exatas, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.
- LIMA, J.C.P.S., NASCIMENTO, C. W.A., LIMA, J.G.C., JUNIOR, M.A.L. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 73-79, 2007.
- MESQUITA, H. A., GARCÍA, C. N., COSTA, É. L. 2012. Solos, aspectos nutricionais e sugestões de fertilização. In: OLIVEIRA, A. F. (Ed.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. EPAMIG, 2012. 385-432p.
- MURPHY, J., RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, n. 27, p. 31-36, 1962.
- NISSIM, Y., SHLOBERG, M., BITON, I., MANY, Y., DORON-FAIGENBOIM, A., ZEMACH, H., HOVAV, R., KEREM, Z., AVIDAN, B., BEN-ARI, G. High temperature environment reduces olive oil yield and quality. **PLOS ONE**, v. 15, n. 4, 2020.
- PERICA, S., BROWN, P.H., CONNELL, J.H., NYOMORA, A.M.S., DORDAS, C., HU, H., STANGOULIS, J. Foliar Boron Application Improves Flower Fertility and Fruit Set of Olive. **HortScience**, v. 36, n. 4, p. 714-716, 2001.
- REIS, C., REIS, E. L., SILVA, C.A. Modificação de procedimento para extração de boro em solos. **RECIE**, v.15, n. 1/2, p. 91-94, 2006.



SHIBLI, A.; SREBNIK, M. Environmental aspects of boron. *In*: ALI, H.A. **Studies in Inorganic Chemistry**. Elsevier, 2006. 551-597p.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H., VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2ª edição revista e ampliada. Porto Alegre, Departamento de solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TURKTAS, M., INAL, B., OKAY, S., ERKILIC, E.G., DUNDAR, E., HERNANDEZ, P., DORADO, G., UNVER, T. Nutrition Metabolism Plays an Important Role in the Alternate Bearing of the Olive Tree (*Olea europaea* L.). **PLoS ONE**, v. 8, n. 3, 2013.

WREGGE, M., COUTINHO, E. Zoneamento agroclimático da olivicultura. *In*: ALBA, J.M.F., FLORES, C.A., WREGGE, M.S. (Eds). **Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul**. Brasília. DF, EMBRAPA, 2013, 11-19p.

## 6 DISCUSSÃO

Até o presente momento não há outros trabalhos que abordem a calibração de doses de B para a cultura da oliveira no Rio Grande do Sul, onde a espécie apresenta grande potencial de cultivo. O nível crítico do nutriente recomendado ( $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) não se adequa para a espécie, sendo necessária a melhoria do sistema de recomendação, levando em conta as diferentes condições de solo, clima e relevo do estado. No presente trabalho, verificou-se que a maior dose de fertilizante boratado aplicado ao solo resultou em melhor efeito residual, aumentando a produtividade no segundo ano. Tal dose foi estabelecida para suprir ao solo a quantidade de B equivalente ao nível crítico determinado no trabalho de Bender, Weber e Vieira (2018), de  $1,6 \text{ mg B kg}^{-1}$  de solo e, portanto, os resultados do presente estudo de certa forma corroboram com o estudo reportado pelos autores. No entanto, há que se considerar que a fonte de boro utilizada no presente estudo é uma fonte pouco solúvel (ulexita). A aplicação de fontes menos solúveis pode ser uma estratégia interessante para pomares implantados em solos de textura mais grosseira, arenosa, e com teor baixo de matéria orgânica, como é o caso de vários pomares do RS. Afinal, a liberação mais lenta do nutriente, teoricamente, favoreceria um melhor aproveitamento pela planta e menor perda por lixiviação, além de menor risco de toxidez por excesso do micronutriente.

A análise do efeito residual da adubação boratada revelou que a dose de  $100\text{g}$  de ulexita  $\text{árvore}^{-1}$ , correspondente à  $10 \text{ g}$  de B solúvel em ácido cítrico por árvore, parece ser a mais adequada para a cultura quando não associada à fertilização foliar. As doses aplicadas foram inferiores ao recomendado por Bender, Weber e Vieira (2018) e Haifa Group (2019) e nenhum sintoma de toxidez nas plantas foi observado. Porém, quando associada à fertilização foliar, houve um pequeno declínio na produção, mas não é possível afirmar que esse declínio é devido a excesso por toxidez.

Ambos os estudos do presente trabalho mostraram teores de B em tecido foliar com valores dentro do considerado como adequado para cultura (amostragem de inverno). Contudo, em alguns pomares, na maioria do estudo 2, os valores estavam próximos ao limite inferior da faixa ( $19\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$  MS). Essa faixa tem uma grande amplitude e, conforme resultados apresentados, pode ser necessário ajuste através da diminuição da amplitude entre os limites, com o aumento do limite inferior. Quando analisados os teores de folhas coletadas no verão, se observa que os teores são ainda menores, visto que a planta utilizou o nutriente no processo de florescimento (PERICA *et al.*, 2001). Logo, a melhor época para coleta e análise de B em tecido seria entre o inverno e primavera, quando a planta está em dormência (NIETO *et al.*, 2017).

Com base nos resultados do estudo 1, percebe-se que o teor de B nos frutos foi diminuído quando o pH do solo estava mais alto (maior que 6,5). Sabe-se que a disponibilidade de B diminui em solos alcalinos e este fato, corroborado pelo resultado supradescrito, sugere que o nível crítico do elemento no solo seja pH-dependente, variando entre os diferentes tipos de solo.

Os resultados obtidos com o P levam a crer que não somente o B necessite de ajustes para a cultura. É possível que, conforme também observado por Bender, Weber e Vieira (2018), a classificação da oliveira deveria ser revista para espécie com baixa demanda de P. Os resultados vistos talvez sejam explicados devido à eficiência de absorção do nutriente do solo associado à baixa exportação para os frutos (CHENCHOUNI, MEKAHLIA, BEDDIAR, 2020; TIECHER *et al.*, 2020).

Uma preocupação que se deve ter em relação à fertilização é o excesso de N. Não apenas pelo fato de ser prejudicial ao ambiente através de contaminação de corpos d'água e formação de gases de efeito estufa, como também porque em excesso o elemento causa o crescimento exacerbado da parte aérea em detrimento da parte reprodutiva, e assim, a planta produzirá menos, além de ficar mais suscetível a doenças e dificultar a absorção de outros nutrientes (FERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.*, 2002; ZAMORA *et al.*, 2010; MESQUITA; GARCÍA; COSTA, 2012), além de prejudicar a qualidade do azeite (EREL *et al.*, 2013b). Recomenda-se o monitoramento constante dos teores de N nos pomares e, especialmente no período entre a colheita dos frutos até o fim do inverno, o excesso de N deve ser cuidadosamente evitado.

A alternância da produção de frutos pelas oliveiras é um processo naturalmente esperado (KOUR *et al.*, 2018). Todavia, vários fatores podem exacerbar esta alternância. Como observado no estudo 2, os fatores climáticos também foram decisivos para uma menor produção: chuvas muito fortes nos meses de primavera, quando a planta está desenvolvendo as flores e em processo de polinização e, posteriormente, situação de seca com temperaturas acima de 35°C, que prejudicam a maturação dos frutos e a taxa fotossintética (COUTINHO *et al.*, 2009; NISSIM *et al.*, 2020). O ajuste no manejo da fertilização deve levar em conta o potencial de produção e a exportação de nutrientes via colheita de frutos e via poda.

## 7 CONCLUSÃO

De maneira geral, os pomares apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento das oliveiras. Porém, as recomendações de adubação para a cultura da oliveira necessitam de adaptações para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, entre elas, a dose adequada do nutriente boro, cuja demanda por parte da espécie é mais alta.

Constatou-se que o pH do solo influencia o teor de B nos frutos, mais do que o próprio teor do elemento no solo. Ainda, se deve ter cautela com relação aos teores de nitrogênio, pois o mesmo causa limitação da produção. A análise de solo deve ser realizada além de 20cm, de maneira esporádica, onde concentrações altas do alumínio em sua forma tóxica foram identificadas, associado a pH ácido, o que prejudica o crescimento de raízes e, consequentemente, a absorção de água de nutrientes.

Para as análises foliares, as coletas podem ser realizadas de acordo com o elemento a ser avaliado, como no caso do boro, cuja melhor época para coleta de folhas se mostrou entre inverno e primavera, quando os níveis estão estáveis.

A dose de 100g de ulexita (10 g de B total) quando não associada à fertilização foliar foi a que resultou em melhores rendimentos na cultura, porém, deve-se ter cautela em caso de associação dessa dose a eventos de adubação foliar, já que menores produções foram observadas.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, W. *et al.* Boron deficiency in Soils and Crops: A Review. **Crop Plant**, 77-114p, 2012.
- ALBA, J.M.F. *et al.* Zoneamento edafoclimático da olivicultura. *In: Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul*. ALBA, J.M.F.; FLORES, C.A.; WREGGE, M.S (Eds.). Brasília, DF: Embrapa, 2013. 37-64p.
- ALMEIDA, G.T.F. **Mapeamento do cultivo da oliveira no estado do Rio Grande do Sul**. 2018. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2018.
- ANDRADA, M. M. C. **Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 2005.
- ANDRADE, A.F. **Dinâmica de potássio no sistema solo-planta em cana-soca sob condições edafoclimáticas de Cerrado**. 2018. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia – GO, 2018.
- ARORA, S.; CHAHAL, D.S. Available boron content in some benchmark soils of Punjab under different moisture regimes in relation to soil characteristics. **Agropedology**, v.15, n.2, p. 90-94, 2005.
- BARROS, F. E. N. de. **Caracterização da fenologia de quatro cultivares de Oliveira (*Olea europaea* L.): ‘Arbequina’, ‘Cobrançosa’, ‘Galea’ e ‘Picual’, qualidade da flor e do pólen numa perspectiva de modelação**. 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Sustentável) – Instituto Politécnico de Portalegre, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Sustentável, Elvas- Portugal, 2011.
- 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. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.6, n.1, p.17-32, 2018.
- BEST OLIVE OILS. Disponível em: <https://bestoliveoils.org/search>. Acesso em: 22 set. 2021.
- BEUTEL, J., URIU, K., LILLELAND, O. Leaf analysis for California deciduous fruits. *In: REISENAUER, H.M. (Ed.). Soil and Plant Tissue Testing in California*. University of California, 1983. 15-17p.
- BOLAÑOS, L. *et al.* Why Boron? **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, n. 11, p. 902-912, 2004.
- BORGES, T.H. *et al.* Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: Physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. **Food Chemistry**, v. 215, p. 454-462, 2017.

- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo. *In*: BRADY, N.C.; WEIL, R.R. (Eds.). **Elementos da Natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora Ltda, 3ª edição, Porto Alegre – RS, 2013. 437-500p.
- BROWN, P.H.; HU, H. Phloem Mobility of Boron is Species Dependent: Evidence for Phloem Mobility in Sorbitol-rich Species. **Annals of Botany**, v. 77, p. 497-506, 1996.
- BROWN, P.H.; SHELPS, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v.193, p.85-101, 1997.
- BROWN, P.H. *et al.* Boron in Plant Biology. **Plant Biology**, v.4, n.2, p. 205-223, 2002.
- BRUNETTO, G.; MELO, G.W.B.; GIROTTO, E.; TASSINARI, A.; KRUG, A.V.; MARQUES, A.C.R.; PAULA, B.V.; MARCHEZAN, C.; BETEMPS, D.L.; TRENTIN, E.; SILVA, I.C.B.; SILVA, L.O.S. (Eds.). **Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas**. Porto Alegre-RS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2020. 276 p.
- BYERS, D.E.; MIKKELSEN, R.L.; COX, F.R. Greenhouse evaluation of four boron fertilizer materials. **Journal of Plant Nutrition**, n.24, v.4&5, p.717-725, 2001.
- CHAPMAN, H. D. **Diagnostic Criteria for Plants and Soils**. University. of California, 1966. 763p.
- CHENCHOUNI, H.; MEKAHLIA, M.N.; BEDDIAR, A. Effect of inoculation with native and commercial arbuscular mycorrhizal fungi on growth and mycorrhizal colonization of olive (*Olea europaea* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 261, n. 5, 2020.
- CHILDERS, N. F. **Fruit Nutrition: Temperate to Tropical**. New Brunswick, New Jersey: Horticultural Publications, Rutgers State University, 1966. 888p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ, V. H. A. (Eds.) Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- COMITÊ OLEÍCOLA INTERNACIONAL (COI). Newsletter Internacional Olive Council 150. 2020.
- COUTINHO, E.F. *et al.* Introdução e importância econômica. *In*: COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. (Eds.). **Cultivo de Oliveira (*Olea europaea* L.)**. EMBRAPA Clima Temperado. Pelotas, RS, 2009. 17-28p.
- CRUZ, M. C. M. da *et al.* Botânica, anatomia e ecofisiologia. *In*: OLIVEIRA, Adelson Francisco de (Ed.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. EPAMIG, 2012. 119-158p.

DEITCH, M.J.; SAPUNDJIEDFF, M.J.; FEIRER, S.T. Characterizing Precipitation variability and trends in the World's Mediterranean-Climate Areas. **Water**, v.9, n. 259, p.1-21, 2017.

DOMINGUETE, L.C.B. **Características físico-químicas e compostos bioativos de frutos de oliveira ao longo do desenvolvimento**. 2016. 77F. Dissertação (Mestrado em Farmácia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. Belo Horizonte - MG, 2016.

DOS SANTOS, A. N.; SILVA, L. F. O.; FANTE, C. A. Sensory Variations in Olive Oils from Arbequina Variety Elaborated with Changes in Fruit Selection and Process. **Food Analytical Methods**, v. 14, p. 1645-1653, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. OLIVEIRA, Adelson Francisco de (Ed.). EPAMIG, 2012. 772p.

EREL, R. *et al.* The importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its productivity. **Scientia Horticulturae**, v. 159, p. 8-18, 2013a.

EREL, R. *et al.* Olive (*Olea europea* L.) Tree Nitrogen Status is a Key Factor for Olive Oil Quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 47, p.11261–11272, 2013b.

EREL, R. *et al.* Phosphorus nutritional level, carbohydrate reserves and flower quality in olives. **Plos One**, v. 1, n.12, p.1-19, 2016.

EVO. **International Olive Oil Contest**. Disponível em: <https://www.appevo-iooc.it/risultati/> Acesso em: 22 set. 2021.

EVOOWR – **World Ranking of Extra Virgin Olive Oils**. Disponível em: [http://www.evooorldranking.org/\\_EN/pais\\_body.php](http://www.evooorldranking.org/_EN/pais_body.php). Acesso em: 29 jul. 2021

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R.; MORENO, R.; GARCÍA-CREUS, M. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. **Scientia Horticulturae**, v. 82, p. 25-45, 1999.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR R. *et al.* The Effect of Nitrogen Overfertilization on Olive Tree Growth and Oil Quality, **Acta Horticulturae**, n. 586, 2002.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R.; *et al.* Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, n.1, p.212-223, 2009.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Use and abuse of nitrogen in olive fertilization. **Acta Horticulturae**, v. 888, p. 249-258, 2011.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. *et al.* Symptons of nutrient deficiencies in young olive trees and leaf nutrient concentration at wich such symptons appear. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p.279-285, 2016.

FLORES, H.R.; MATTENELLA, L.E.; KWOK, L.H. Slow release boron micronutrients from pelletized borates of northwest of Argentina. **Mineral Engineering**, n.19, p. 364-367, 2006.

FREEMAN, M., URIU, K., HARTMANN, H.T. Diagnosing and correcting nutrient problems. *In*: SIBBET, G.S., FERGUSON, L. (Eds.). **Olive Production Manual**. University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, 2005. 83–92p.

GARCÍA, C.N.; MESQUITA, H.A. de; ALVARENGA, A.A. Limitações de clima, solo e planejamento do plantio para o cultivo da oliveira. *In*: OLIVEIRA, Adelson Francisco de (Ed.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. EPAMIG, 2012. 350-383p.

GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S. da; ANGHINONI, I.. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação da adubação. *In*: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016a. 23-28p.

GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S. da; ANGHINONI, I.; SOUSA, R. O. O sistema de recomendação de calagem e adubação. *In*: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016b. 23-28p.

GRANT, C. *et al.* A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, 2001.

HAIFA GROUP. **Nutritional recommendations for Olives**. Disponível em <https://www.haifa-group.com/olives-fertilizer>. Acesso em: 21 jan. 2020.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, p. 227-239, 1997.

HUSSEIN, A.H.A. Response of Manzanillo Olive (*Olea europaea* L.) Cultivar to Irrigation Regime and Potassium Fertigation under Tabouk Conditions, Saudi Arabia. **Journal of Agronomy**, p.1-12, 2008.

INSTITUTO AGRONÔMICO. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. (Org.). **Boletim Técnico** n. 100, Campinas, SP, 285 p. 1997.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (INPI). Nutri-fatos: Nitrogênio, n.1, 2018a.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (INPI). Nutri-fatos: Fósforo, n.2, 2018b.

JORNAL DA FRUTA. O dia mundial da oliveira é celebrado em 26 de novembro. **Revista da Fruta**, 26 de novembro de 2021. Disponível em: <https://revistadafruta.com.br/noticias-do-pomar/o-dia-mundial-da-oliveira-e-celebrado-em-26-de-novembro,406778.jhtml>. Acesso em: 02 ago. 2022.



KAILIS, S. Olives. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2nd edition, v. 3, 2017. 236-245p.

KOUR, D. *et al.* Alternate Bearing in Olive – A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 9, p.2281-2297, 2018.

LIAKOPOULOS, G. *et al.* Boron remobilization at low boron supply in olive (*Olea europaea*) in relation to leaf and phloem mannitol concentrations. **Tree Physiology**, v. 25, n. 2, p. 157-165, 2005.

LIMA, A. P. **Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil**. 2021. 76f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis - SC, 2021.

MAHMOUD, T.; MOHAMED, E.; EL-SHARONY, T. Influence of Foliar Application with Potassium and Magnesium on Growth, Yield and Oil Quality ok “Koroneiki” Olive Trees. **American Journal of Food Technology**, v. 12, n.3, p. 209-220, 2017.

MESQUITA, H.A.; GARCÍA, C.N.; COSTA, E.L. Solos, aspectos nutricionais e sugestões de fertilização. *In*: OLIVEIRA, A. F. **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. EPAMIG, cap. 13, 2012. p. 386-432.

MUSHTAQ, A. *et al.* Olive. *In*: HANIF, MUHAMMAD, NAWAZ, HAQ, KHAN, MUHAMMAD, BYRNE, HIGH (Eds.). **Medicinal Plants of South Asia**, 2020. 541-555p.

NICOLODI, M. *et al.* Solos. *In*: COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. (Eds). **Cultivo de Oliveira (*Olea europaea* L.)**. EMBRAPA Clima Temperado. Pelotas, RS, 2009. 29-36p.

NIETO, J. *et al.* Estudio de la dinámica nutricional en hojas de olivo: periodos de estabilidad analítica. **Spanish Journal of Soil Science**, v.7, n.1, p. 41-58, 2007.

NISSIM, Y. *et al.* High temperature environment reduces olive oil yield and quality. **PLOS ONE**, v. 15, n. 4, 2020.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, C.A. *et al.* Azeite de Oliva e suas propriedades em preparações quentes: revisão de literatura. **International Journal of Nutrology**, v.8., n.2, p.13-20, 2015.

PERICA, S. *et al.* Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. **HortScience**, v. 36, n. 4, p. 714-716, 2001.

PERICA, S. *et al.* Olive response to foliar boron application. **Acta Horticulturae**, n.586, p. 381–383, 2002.

PINHEIRO, C.M.S.; *et al.* Benefícios do óleo de oliva na prevenção de câncer de mama: uma revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde/ Electronic Journal Collection Health**, v. 6, p. 379-385, 2017.

PRÓ-OLIVA. <https://www.agricultura.rs.gov.br/pro-oliva> Acesso em 01 ago. 2022

RESTREPO-DIAZ, H. *et al.* Postassium fertilization of rainfed olive orchards. **Scientia Horticulturae**, v. 116, n. 4, p. 399-403, 2008.

RODRIGUES, M.A. *et al.* The effect of nitrogen fertilization on the incidence of olive fruit fly, olive leaf spot and olive anthracnose in two olive cultivars grown in rainfed conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 256, 2019.

ROSSI, C.Q. 2013. **Matéria Orgânica do Solo e Fósforo Orgânico em Cronossequência de Cana-de-Açúcar cultivada no cerrado**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2013. 100f.

SANTOS, D. R. dos. **Dinâmica do Fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. 225f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, 2000.

SANTOS, L.S. **Variabilidade do fósforo extraído causada pela variação analítica nos métodos Melich-1e 3**. 2013. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 2013.

SANTOS, R. dos, GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Pró-Oliva**. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/pro-oliva>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **RS bate recorde na produção de azeites em 2022**. Disponível em: [https://www.agricultura.rs.gov.br/rs-bate-recorde-na-producao-de-azeites-em-2022#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20azeite%20no,passado%20\(202%20mil%20litros\)](https://www.agricultura.rs.gov.br/rs-bate-recorde-na-producao-de-azeites-em-2022#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20azeite%20no,passado%20(202%20mil%20litros)). Acesso em: 25 maio 2022.

SFREDO, G.J. **Soja no Brasil: Calagem, adubação e nutrição mineral**. 2008. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p.

SHIREEN, F. *et al.* Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 7, p. 1-20, 2018.

SOYERGIN, S. Effects of Soil and Leaf Treatments to Eliminate Boron Deficiency in Olives. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, p.2004-2010, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4ª edição, Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TIECHER, T.L.; VIEIRA, F.C.B.; NAVA, G.; NAVROSKI, R.; BARRETO, C.F.; TIECHER, T.; BRUNETTO, G. Calagem, adubação e estado nutricional em oliveiras. *In*: BRUNETTO, G.; MELO, G.W.B.; GIROTTO, E.; TASSINARI, A.; KRUG, A.V.; MARQUES, A.C.R.; PAULA, B.V.; MARCHEZAN, C.; BETEMPS, D.L.; TRENTIN, E.;

SILVA, I.C.B.; SILVA, L.O.S. (Eds.). **Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas**. Porto Alegre-RS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2020. 236-248p.

TSABARDUCAS, V. *et al.* How nitrogen form and concentration affect growth, nutrient accumulation and photosynthetic performance of *Olea europaea* L. (cv. 'Kalamon'). **Scientia Horticulturae**, v. 218, p.23-29, 2017.

ULUISIK, I.; KARAKAYA, H.; KOC, A. The importance of boron in biological systems. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.45, p.156-162, 2018.

VIEIRA, R.C.B. **Recomendação de adubação fosfatada e potássica para rotação de culturas em latossolos em plantio direto de longa duração no centro-sul do Paraná**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014. 93.f

VILLA, F.; OLIVEIRA, A. F. Origem e expansão da oliveira na América Latina *In*: OLIVEIRA, A. F. de (Ed.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. EPAMIG, 2012. 22-38p.

WŁAŚNIEWSKI, S. *et al.* Effect of mineral fertilization on the yield, boron content and bioaccumulation factor in grain of cereals. **Journal of Elementology**, v. 24, n. 3, p. 1047-1061, 2019.

ZAMORA, F.G. *et al.* **Suelo, Riego, nutrición y medio ambiente del olivar**. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. 2010. 190p.

## APÊNDICE A – Método de análise de B em solo

### MÉTODO DE ANÁLISE DE BORO (B) NO SOLO: REIS, REIS E SILVA (2006) COM ADAPTAÇÕES

#### **Soluções:**

- Solução extratora:  $\text{CaCl}_2$  5 mmol  $\text{L}^{-1}$ : dissolver 0,5549 g de  $\text{CaCl}_2$  em 1 litro de água destilada.
- Solução tampão pH ~ 5: dissolver 250 g de acetato de amônio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) e 15 g de etilenodiamino-tetraacetado dibásico de sódio ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ ) em béquer com 400 mL de água destilada. Após, adicionar 100 mL de ácido acético glacial.
- Solução de azometina-H: dissolver 0,45 g de azometina-H em 100 mL de solução de ácido ascórbico 1% m/v (armazenar em refrigerador).
- Solução padrão (estoque) de ácido bórico: 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$  em boro: dissolver 0,57 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  em 1 L de água destilada.
- Soluções padrões diluídas (20  $\mu\text{g mL}^{-1}$  em boro): transferir alíquotas de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 mL da solução padrão de B para balões volumétricos de 100 mL e completar o volume com a solução de  $\text{CaCl}_2$  5 mmol  $\text{L}^{-1}$ , resultando em padrões com as concentrações de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .

#### **Extração de boro em solo:**

Em Erlenmeyer, adicionar 20 mL de solução extratora de B e 10 g de amostra de solo e tampar os frascos com funis de vidro. Aquecer a 100°C em chapa de aquecimento (tamanho grande para que mais amostras sejam aquecidas ao mesmo tempo) por 5 minutos após ebulição (Figura 1). Após, transferir o conteúdo para tubos Falcon e centrifugar por 5 minutos a 10.000 RPM.

#### **Determinação de boro:**

Retirar alíquotas de 4 mL de extrato de solo obtido na extração, adicionar 1,0 mL da solução extratora e 1,0 mL da solução de azometina-H, deixando agir por 30 minutos ao abrigo de luz. Medir as absorbâncias no comprimento de onda de 420 nm.

Figura 2 – Processo de extração de B em solo. A) Chapa de aquecimento e amostras de solo preparadas com solo e solução extratora. B) Amostras em aquecimento em Erlenmeyer tampadas funis de vidro.



Fonte: Barão, C.F.

## APÊNDICE B – Método de análise de B em frutos de oliveira

### MÉTODO DE ANÁLISE DE BORO (B) EM FRUTOS DE OLIVEIRA: TEDESCO *et al.* (1995), COM ADAPTAÇÕES

#### **Soluções:**

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,18 M: dissolver 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado a 1 litro com água destilada.
- Solução tampão pH ~ 8,1: dissolver 20 g de EDTA e 132 g de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (fosfato de amônio dibásico) em 500 mL de água destilada.
- Solução de azometina-H: dissolver 0,45 g de azometina-H em 100 mL de solução de ácido ascórbico 1% m/v (armazenar em refrigerador).
- Solução padrão de 50 mg L<sup>-1</sup> de B: dissolver 0,286 g de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) em 1 L de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,18 M. (quanto)
- Soluções padrão: retirar alíquotas de 0; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 e 10,0 mL da solução padrão de 50 mg L<sup>-1</sup> em balões de 100 mL. Completar o volume com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,18M.

#### **Preparação das amostras:**

Primeiramente, os frutos devem ser lavados com água destilada. Após separação da quantidade a ser analisada, passar as azeitonas inteiras (com caroço) em moedor manual. Se necessário, moer os frutos mais de uma vez, até obtenção de uma pasta (Figura 1). Deve ser realizada a higienização do aparelho utilizado para moer os frutos entre as amostras (nesse caso, o moedor foi lavado com água destilada até retirada de qualquer resquício de fruto e após seco com papel toalha).

A pasta resultante deve ser acondicionada em frascos de vidros higienizados para secagem do material em estufa a 60° C. Para secagem uniforme, mexer o material com espátula limpa, se possível, a cada 24 horas.

#### **Extração e determinação de B em frutos:**

Pesar 0,500 g do material seco em cadinhos de porcelana e queimar em forno mufla a 600° C por 1 hora. Após esfriar, retirar da mufla e adicionar 5 gotas de água destilada e 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,18M.

Deixar decantar por 3 horas e, após, retirar 4 mL do sobrenadante e colocar em copos plásticos, adicionar 4 mL de solução tampão-azometina (3:1). Deixar agir por 30 minutos ao abrigo da luz. Determinar as absorvâncias em 435nm. Nessa etapa, também deve ser feita a curva de calibração para leitura das absorvâncias com as soluções padrão.

Figura 3 - Processo de moagem de frutos (azeitonas) com moedor manual e pasta obtida após o processo.



Fonte: A autora.