UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

PERFIL DE ZINCO NO CICLO DA NOGUEIRA-PECÃ (*Carya illinoinensis*) E SUA RELEVÂNCIA NUTRICIONAL COMO FONTE ALIMENTAR DO MICRONUTRIENTE

Danielle Galvan Casagranda

Lajeado/RS, julho de 2025

Danielle Galvan Casagranda

PERFIL DE ZINCO NO CICLO DA NOGUEIRA-PECÃ (*Carya illinoinensis*) E SUA RELEVÂNCIA NUTRICIONAL COMO FONTE ALIMENTAR DO MICRONUTRIENTE

Tese apresentada à banca de defesa do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, em nível de Doutorado, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como exigência parcial de obtenção de título de Doutor, na linha de pesquisa de Tecnologia e Ambiente.

Orientador: Dra. Simone Stülp
Co-orientadora: Dra. Lucélia Hoehne

Lajeado/RS, julho de 2025

Dedico esta tese ao Prof. Dr. Eduardo Miranda Ethur, por me ajudar a realizar um sonho.

À Clarinda Romam Pitol, por me apoiar e apoiar a pesquisa.

E às professoras Dra. Simone Stülp e Dra. Lucélia Hoehne.

RESUMO

A nogueira-pecã (Carya illinoinensis) é uma árvore nativa do sul dos EUA e norte do México, com frutos consumidos por indígenas há milênios. Pode atingir mais de 60 metros de altura e viver mais de 200 anos. Os EUA e o México são os maiores produtores, mas há cultivo também no Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, que concentra cerca de 7 mil hectares plantados. No estado, municípios como Anta Gorda, Cachoeira do Sul e General Câmara se destacam. Existem 42 cultivares registradas, sendo Barton e Pitol 1 as mais utilizadas. A noz-pecã é rica em óleos, proteínas e zinco, mineral essencial à saúde. O consumo de 30 g do fruto pode suprir 10% da necessidade diária de zinco. Este estudo investigou como a frutificação afeta a concentração de zinco nas folhas e nos frutos da planta. O experimento ocorreu no pomar da empresa Nozes Pitol EPP, localizada no município de Anta Gorda/RS, com a variedade Pitol 1 (Melhorada). As análises de solo foram realizadas ao longo de dois anos e ainda teve avaliação de adição de Zn por fertilizante foliar. Por sua vez, a coleta de material vegetal ocorreu nos estádios de brotação, floração, expansão do fruto, enchimento do fruto e maturação fisiológica. As amostras de solo foram encaminhadas a laboratório especializado, enquanto o material vegetal foi avaliado por meio de digestão/decomposição ácida em micro-ondas. A avaliação da bioacessibilidade foi realizada com base no método adaptado de Minekus *et al*. (2014) e conforme o trabalho de Souza (2018). Os sobrenadantes foram avaliados por espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) para quantificação de zinco. Concluiu-se que a aplicação foliar de zinco no pomar estudado não é necessária, pois as plantas mantêm níveis estáveis do micronutriente durante o ciclo, com maior absorção apenas na brotação. Na maturação fisiológica, a absorção diminui, pois a planta foca na formação do fruto. As variações climáticas influenciaram os teores de zinco ao longo dos estágios fenológicos nas duas safras analisadas. Não houve diferença significativa no teor de zinco nos frutos entre plantas tratadas e não tratadas. Mesmo sem suplementação, pequenas porções de noz-pecã podem atender parte da necessidade diária de zinco. Isso sugere potencial de uso na merenda escolar, beneficiando a nutrição infantil. A empresa pode utilizar os dados para promover seus produtos de forma transparente e educativa. O estudo também reforça a importância de práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: nogueira-pecã; quantificação; bioacessibilidade; zinco.

ABSTRACT

Pecan (Carya illinoinensis) is a tree native to the southern United States and northern Mexico, with its nuts consumed by Indigenous peoples for thousands of years. It can reach over 60 meters in height and live for more than 200 years. The U.S. and Mexico are the largest producers, but cultivation has also expanded to Brazil, particularly in the state of Rio Grande do Sul, where around 7,000 hectares are planted. Municipalities such as Anta Gorda, Cachoeira do Sul, and General Câmara are key production areas. There are 42 registered cultivars, with Barton and Pitol 1 being the most widely used. Pecan nuts are rich in oils, proteins, and zinc—an essential mineral for health. A 30 g serving can supply approximately 10% of the recommended daily zinc intake. This study investigated how fruiting affects zinc concentration in the leaves and nuts of the plant. The experiment was conducted in the orchard of Nozes Pitol EPP, located in Anta Gorda/RS, using the Pitol 1 (Improved) cultivar. Soil analyses were performed over two years, including an evaluation of foliar zinc fertilizer application. Plant material was collected during the budburst, flowering, fruit expansion, kernel filling, and physiological maturation stages. Soil samples were analyzed in a specialized laboratory, and plant tissue was processed via microwave-assisted acid digestion. Zinc bioaccessibility was evaluated using an adapted protocol from Minekus et al. (2014) and based on Souza (2018). The supernatants were analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) for zinc quantification. It was concluded that foliar zinc application is unnecessary, as plants maintained stable zinc levels throughout development, with higher uptake only during budburst. During physiological maturation, absorption decreased as the plant prioritized fruit development. Climatic variations significantly affected zinc concentrations across phenological stages in both harvest seasons. No significant differences in zinc content were observed between treated and untreated fruits. Even without supplementation, small portions of pecans can help meet daily zinc requirements, suggesting potential for inclusion in school meals to improve child nutrition. The company may use these findings to promote its products transparently and educationally. The study also emphasizes the importance of sustainable agricultural practices.

Keywords: pecan nut tree; quantification; bioaccessibility; zinc.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nogueira-pecã com nove anos de idade, Pomar Pitol, Anta Gorda/RS 17
Figura 2 - Flores masculina (esquerda) e feminina (direita) da nogueira-pecã 18
Figura 3 - Fruto de noz-pecã com amêndoa exposta e em maturação fisiológica 19
Figura 4 - Desenho esquemático de experimento de campo 26
Figura 5 - Estádios de desenvolvimento fenológico de estudo 28
Figura 6 - Desenho esquemático de metodologia de quantificação de zinco 29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Efeito da interação entre os tratamentos (com e sem zinco) e os estágios fenológicos da planta 38

Gráfico 2 - Representação das variações entre Zn e os dados climáticos (TC – Temperatura média; VC – Volume de chuva; DC – Dias com chuva; VT – Velocidade do vento; UR – Umidade relativa; HF – Horas de frio;) evidenciando os meses de amostragem (JUN/JUL - Bioacessibilidade; AGO/SET - Brotação; OUT/NOV - Floração; DEZ/JAN - Expansão do fruto; FEV/MAR - Enchimento do fruto; e, ABR/MAI - Maturação do fruto;) para as duas safras de estudo (Safra 2021/2022 e 2022/2023) 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do fruto da noz-pecã. Valores referentes a amostra de 100 gramas de noz-pecã 22
Tabela 2 - Condições operacionais do espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado utilizado para a determinação de metais 31
Tabela 3 - Soluções e concentrações utilizadas para o preparo das substâncias ativas 31
Tabela 4 - Soluções de simulação de fluídos: composições 31
Tabela 5 - Resultados da análise estatística dos efeitos do tratamento, estágio fenológico e ano, sobre a quantidade de zinco e anos de avaliação 36
Tabela 6 - Análise estatística de zinco em relação aos tratamentos nos estágios fenológicos 39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNC	Associação Brasileira de Nozes e Castanhas
ABR/MAI	Abril/Maio
AGO/SET	Agosto/Setembro
BBCH	*Biologishe Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry*
Cfa	Clima subtropical úmido
DC	Dias com chuva
DEZ/JAN	Dezembro/Janeiro
Emater	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EPP	Empresa de Pequeno Porte
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FEV/MAR	Fevereiro/Março
GLM	Modelos Lineares Generalizados
HF	Horas de frio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPECAN	Instituto Brasileiro de Pecanicultura
ICP-OES	Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado
ISSN	*International Standard Serial Number*
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NMDS	*Non-Metric Dimensional Scaling*
OUT/NOV	Outubro/Novembro
RDI	Recomendações diárias de ingestão
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina

TC	Temperatura média
UR	Umidade relativa
VC	Volume de chuva
VT	Velocidade do vento
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **11**
1.1 Objetivos **12**
1.1 Objetivos específicos **13**

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **14**
2.1 A cultura da Nogueira-Pecã **14**
2.2 Área cultivada **16**
2.3 A planta **17**
2.4 Propriedades do fruto **20**
2.5 Relação entre o Zn e a nogueira-pecã
2.5.1 Relação do Zn com a planta
2.52 Importância do Zn no fruto **22**

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS **24**
3.1 Descrição do local do experimento **25**
3.2 Extração e quantificação de zinco no material vegetal (folhas e partes dos frutos) **29**
3.2.1 Digestão da amostra **30**
3.2.2 Quantificação de zinco por ICP-OES **30**
3.3 Quantificação de zinco na amêndoa através de testes de bioacessibilidade **31**
3.4 Estatística dos dados **33**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **34**
4.1 Zinco em folhas e frutos **34**
4.1.1 Com tratamento de zinco e sem tratamento de zinco **37**
4.1.2 Comparação das aplicações de zinco nas safras 2021/2022 e 2022/2023 **39**
4.3 Bioacessibilidade de zinco no fruto **41**
4.4 Importância nutricional da noz-pecã como fonte de zinco **42**

5 CONCLUSÕES **44**

REFERÊNCIAS **46**

1 INTRODUÇÃO

A nogueira-pecã (*Carya illinoinensis* (Wangenh) Koch - Junglandaceae) tem origem do vocábulo indígena *Pakan* que significa a noz que requer uma pedra para romper-se (Madero; Frusso; Bruno, 2012; Doreste, 2011). O fruto era consumido durante o inverno por tribos indígenas dos Estados Unidos e México. A planta caracteriza-se por ser de grande porte, podendo superar os 60 metros de altura e alcançar longevidade superior a 200 anos (Reiger, 2004). Nativa das regiões sudoeste dos Estados Unidos e norte do México, ocorre naturalmente nos vales dos rios Mississipi, Ohio, Missouri, Colorado e Guadalupe (Madero, 2003).

Os maiores produtores de noz-pecã do mundo são os Estados Unidos, seguido do México. Além desses, existem pomares comerciais estabelecidos no Brasil, Argentina, Uruguai, Israel, Austrália, Peru e África do Sul (Herrera, 2000; Weels, 2013; Martins *et al.*, 2018).

No Brasil, a nogueira-pecã foi introduzida por imigrantes norte-americanos na década de 1910, no estado de São Paulo, nos municípios de Americana, Santa Bárbara e Piracicaba (Mota; Zalher, 1994; Lacerda; Lorenci, 2006). Contudo, o grande movimento de implantação de pomares de noz-pecã ocorreu nas décadas de 1960 e 1970. Até o início da década de 2020, existiam aproximadamente 6.600 mil hectares de nogueira-pecã implantados no Rio Grande do Sul, tornando o estado o maior produtor de noz-pecã do Brasil (Emater, 2022). Atualmente, há aproximadamente 1,3 mil produtores da nogueira-pecã espalhados em todas as regiões do estado, com maior concentração na Depressão Central e no Vale do Taquari. Dos 7 mil hectares cultivados, cerca de 5 mil estão em idade de frutificação (Emater, 2022).

Presente em 114 municípios do estado, a cultura da nogueira-pecã tem sua maior concentração na região Centro-Sul, que atualmente abriga a maioria dos pomares produtores.

Nos principais municípios produtores – Cachoeira do Sul, General Câmara e Anta Gorda – as áreas cultivadas variam entre 101 a 867 hectares (Emater; ASCAR, 2014). Segundo a Emater (2022), a cidade de Anta Gorda possui uma área plantada de 500 hectares, dos quais 450 hectares correspondem a pomares em fase de produção e com frutos destinados à comercialização.

Atualmente, existem 42 cultivares de nogueira-pecã registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Nos municípios de Cachoeira do Sul, General Câmara e Anta Gorda, destacam-se as cultivares Barton e Pitol 1. A cultivar Barton apresenta 57% de rendimento de amêndoa por fruto, possui brotação tardia e é, atualmente, a mais cultivada no estado. Já a cultivar Pitol 1 possui rendimento de 55,24% de amêndoa, com nozes que variam de tamanho médio a grande (Ojeda-Barrios *et al.*, 2009; Doreste, 2011; Murrieta, 2012; Divinut, 2013; Fronza; Poletto; Hamann, 2013; Inta, 2013).

O consumo de noz-pecã é antigo, com tradição alimentar que remonta a mais de 10.000 anos (INC, 2016). A noz-pecã é fonte de uma grande variedade de nutrientes, sendo sua amêndoa composta por óleos (73-75%), carboidratos (12-15%), proteínas (9-10%), água (3-4%) e minerais (1,5%). Dentre os minerais importantes que compõem a oleaginosa, destaca-se o zinco (Zn), nutriente essencial para o desenvolvimento celular, transcrição gênica e desenvolvimento fetal. Este fruto é um dos mais ricos em zinco encontrados no mercado nacional – o consumo de 30 gramas chega a conter 1,2 mg de Zn, o que representa aproximadamente 10% da demanda diária do ser humano (Ortiz, 2000).

Diante disso, o presente estudo avaliou o efeito da frutificação na concentração de Zn nas folhas ao longo do ciclo da planta de noz-pecã, bem como as mudanças nas concentrações deste elemento no fruto e em suas partes componentes.

1.1 Objetivos

Analisar as concentrações de zinco (Zn) ao longo do desenvolvimento da nogueira-pecã (Carya illinoinensis) e sua bioacessibilidade no fruto maduro, com ênfase na importância nutricional do alimento como fonte de zinco para a saúde humana.

1.1 Objetivos específicos

1. Determinar os teores de zinco nas folhas e frutos da nogueira-pecã ao longo dos estágios fenológicos.

2. Estimar a bioacessibilidade do zinco presente nas amêndoas maduras da noz-pecã.

3. Relacionar os teores encontrados com as recomendações diárias de ingestão humana, estimando o potencial da noz-pecã como fonte alimentar de zinco.

4. Avaliar a absorção de Zinco no fruto, com adição de fertilizante foliar na planta por duas safras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da nogueira-pecã

A noz-pecã é um fruto apreciado por diversos povos em diferentes partes do mundo. O Brasil tem sua produção concentrada na região Sul do país. O consumo do fruto está em expansão no mercado nacional, podendo ser consumido in natura, em produtos industrializados ou na fabricação de bolos, doces e tortas (Krolow, 2024).

Mundialmente classificada como um fruto seco, ou seja, com efeitos nutracêuticos e com características próprias, a noz-pecã teve a sua produção ampliada nos últimos anos, passando de 68 mil toneladas em 2004/2005 para 166 mil toneladas em 2020/2021. Atualmente, ocupa a terceira posição em acréscimo de produção comparada às demais frutas secas como noz-europeia, pistache, castanha-de-caju, avelã, castanha-do-brasil e macadâmia (Martins *et al.*, 2024).

Produzida em mais de 57 países do mundo, a noz-pecã está em um grupamento de frutas denominadas "Nozes Não Especificadas" de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), por ter sua importância regionalizada (FAO, 2024). No Rio Grande do Sul, o consumo e a produção de maior volume ocorrem, de fato, em localidades com pomares mais antigos e em produção. Em locais onde o cultivo é mais recente, inicialmente, estão sendo desenvolvidas atividades de turismo e a implantação do fruto nas merendas escolares (IBPECAN, 2023).

O aprimoramento dos sistemas de cultivo, a participação e a realização de pesquisas pelas universidades – como a Universidade Federal de Santa Maria e a Universidade Federal de Pelotas –, bem como a Embrapa Clima Temperado, têm possibilitado o aumento da expansão do fruto e da produtividade. Além disso, apesar da grande produção nos Estados Unidos e México, alguns países vêm apresentando destaque devido à expansão de área nos últimos anos, como a África do Sul, a Argentina e a China – um dos maiores consumidores e importadores da fruta –, que está investindo em pesquisa e aprimorando os pomares do país. Uruguai e Peru também são exemplos de países que estão aumentando a área de cultivo da fruta (Martins *et al.*, 2024).

Em relação ao consumo da noz-pecã, nota-se uma maior concentração nos países que mais importam o fruto, como México e Estados Unidos (Martins *et al.*, 2024). No caso do Brasil, não se sabe com exatidão qual é o volume de importação, uma vez que o fruto entra no país sob a classificação geral de frutos secos, não havendo distinção. Por outro lado, sabe-se que o maior volume de nozes importadas é composto pelas nozes chilenas *Juglans regia L.* (Ortiz, 2000). Em 2018, a Normativa nº 22, de 24 de julho de 2018, permitiu a importação do fruto da Argentina, favorecendo a sua entrada no país (Brasil, 2018).

A noz-pecã é incluída em dietas recomendadas por nutricionistas devido às suas importantes características funcionais e nutracêuticas, assim como ocorre com grande parte dos frutos secos (Ortiz, 2000). No entanto, seu consumo deve ser sempre acompanhado por um mix de frutas com propriedades semelhantes. No Brasil, o consumo ainda é relativamente baixo em comparação a outros países. A Associação Brasileira de Nozes e Castanhas (ABNC) estima um consumo de 9 gramas por habitante ao ano, enquanto nos Estados Unidos esse número chega a 900 gramas por habitante ao ano (Martins *et al.*, 2024).

O fruto da noz-pecã é uma importante fonte de vitaminas e minerais. Destacam-se, entre as vitaminas, a E e a B6, além de quantidades consideráveis de minerais como zinco, magnésio, fósforo, manganês, cromo e selênio (Vizzotto *et al.*, 2024). Dentre esses, ressalta-se o zinco, quando utilizado em dietas, torna-se uma importante fonte de nutrientes, vitaminas e minerais. Além disso, é fundamental para o crescimento, tendo grande importância no desenvolvimento das crianças (Abrams; Motil; Hoppin, 2022). Em vista disso, uma dieta escolar acompanhada por um nutricionista e tendo a noz-pecã como recomendação, poderia ser fonte de zinco e auxiliar na deficiência deste mineral.

Historicamente, a noz-pecã era muito consumida pelos povos nativos de países como Estados Unidos e México, sendo utilizada na preparação de diversos pratos e da "*powcohicoria*", um tipo de "leite vegetal" feito com nozes trituradas e água quente (Brison, 1974). Os frutos da nogueira-pecã possuem alto teor de proteínas e óleos, sendo esse último também aproveitado pela indústria farmacêutica (Moore, 2011). Trata-se de uma espécie importante em sistemas agroflorestais, por fornecer frutos e produzir madeiras de boa qualidade em consórcio com outras culturas implantadas no sistema (Filippin, 2012).

No Rio Grande do Sul (RS), a implantação de pomares teve dois momentos distintos. O primeiro deles foi nas décadas de 1960 e 1970, impulsionado pela aprovação da Lei 5.106/66, regulamentada pelo Decreto 59.615/66, que permitia a associação de florestamento e reflorestamento com algumas espécies frutíferas (Brasil, 1966a; 1966b). Nessa época, surgiram os primeiros viveiros em Anta Gorda, além de um dos maiores plantios de nogueira-pecã da

América do Sul, localizado no município de Cachoeira do Sul (Fronza; Poletto; Hamann, 2013). No entanto, essa fase inicial foi marcada pelo desestímulo à cultura, devido à falta de conhecimento sobre a espécie e à inexistência de pesquisas relacionadas.

O segundo momento ocorreu nos anos 2000, quando a iniciativa de motivar a implantação dos pomares surgiu a partir de viveiros, indústrias e do "Pró-fruta", um programa desenvolvido pelo Governo do Estado do RS por meio da Emater/RS. Em 2017, foi lançado no estado o Programa Estadual de Desenvolvimento da Pecanicultura – Pró-Pecã, durante a Fenasul/Expoleite, juntamente com a instalação da Câmara Setorial da Noz-Pecã, cujo objetivo é incentivar a cultura. No ano seguinte, em 2018, foi criado o Instituto Brasileiro de Pecanicultura (IBPECAN), fundado por produtores de noz-pecã com o propósito de atender às demandas da cultura. Atualmente, a nogueira-pecã também conta com o apoio da Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas/RS, que tem uma linha de pesquisa destinada à espécie.

2.2 Área cultivada

Em 2006, a área produtiva no estado do Rio Grande do Sul era de apenas 1.366 hectares, com uma produção de 1.108 toneladas (IBGE, 2006). Em 2014, houve um expressivo aumento na área cultivada, que passou para 3.396 hectares, resultando em uma produção de 1.695 toneladas. Esse crescimento representa um acréscimo de 148% na área plantada e de 53% na quantidade de nozes produzidas (Emater, 2017).

Frente a esse cenário, a área plantada com a cultura da nogueira-pecã vem crescendo no Rio Grande do Sul, apresentando um considerável potencial para a expansão dos pomares comerciais. Atualmente, o estado conta com 6.600 hectares plantados, dos quais 4.000 estão em produção – área que vem se ampliando, assim como a diversificação do mercado do fruto. Em 2021, a produção atingiu 4.300 toneladas, e produtores, juntamente com a indústria responsável pelo beneficiamento do fruto, exportaram cerca de 300.000 quilos de noz-pecã. Esse aumento na produção consolida o RS como o maior produtor de noz-pecã em nível nacional (Emater, 2022).

Os cinco municípios com maiores áreas de cultivo no estado, que representam 60% da área total cultivada, são: Cachoeira do Sul (25,5%), General Câmara (18,5%), Anta Gorda (11,2%), Santa Maria (2,9%) e Cruzeiro do Sul (1,7%). Dentre esses, destaca-se Anta Gorda,

onde o cultivo de nogueira-pecã teve início em 1943, quando o prefeito Armínio Miotto adquiriu mudas da cultivar americana Kentucky, provenientes de um viveiro no estado de São Paulo (Fronza; Hamann, 2016). Assim que as mudas iniciaram a produção, despertaram interesse de outros agricultores, resultando no surgimento de viveiros que permanecem estabelecidos na cidade até hoje, comercializando essa espécie frutífera para todo Sul do Brasil e alguns estados do Sudeste (Martins *et al.*, 2024).

2.3 A planta

A nogueira-pecã (Figura 1) pode alcançar até 60 metros de altura, viver por mais de 100 anos e produzir mais de 100 kg de nozes por planta (Frusso, 2007). Trata-se de uma árvore caducifólia, cujas folhas adultas são compostas por nove a dezessete folíolos oblongo-lanceolados, medindo cerca de 10 a 15 cm (Fronza; Poletto; Hamann, 2013). De acordo com os autores citados, o sistema radicular possui um eixo central pivotante bem desenvolvido, acompanhado de raízes laterais igualmente desenvolvidas, com profundidade de 30 a 60 cm. Em condições naturais, esse sistema pode atingir até 10 metros de profundidade (Lemus, 2004).

Figura 1 - Nogueira-pecã com nove anos de idade, Pomar Pitol, Anta Gorda/RS



Fonte: Da autora (2025).

Quanto ao sistema reprodutivo, a nogueira-pecã é uma espécie monóica, apresentando flores masculinas e femininas separadas na mesma planta (Figura 2). As inflorescências femininas são pistiladas, crescem em pequenas espigas curtas, contendo de duas a dez flores. Além disso, possuem quatro sépalas unidas, cuja coloração varia conforme a variedade, estando dispostas entre a base do estigma e o ápice do ovário (Lemus, 2004; Frusso, 2007; Fronza; Poletto; Hamman, 2013). Quanto às flores masculinas, as inflorescências estaminadas são compostas por dois a três amentilhos pendentes, unidos por um pedúnculo. Essas estruturas surgem ao longo dos ramos de crescimento do ano e medem de 5 a 15 cm de comprimento, podendo conter de 72 a 123 flores individuais (Frusso, 2007; Fronza; Poletto; Hamman, 2013) (Figura 2). A floração ocorre durante a primavera, e sua polinização é anemófila, ou seja, realizada basicamente pelo vento (Frusso, 2007).

Figura 2 - Flores masculina (esquerda) e feminina (direita) da nogueira-pecã



Fonte: Da autora (2025).

Por tratar-se de uma planta alógama, com forte tendência a dicogamia – ou seja, a produção ou maturação dos elementos reprodutivos podem ocorrer em tempos distintos–, para assegurar a fecundação cruzada, o plantio deve ser realizado com variedades denominadas produtoras (que possuem liberação tardia do pólen), intercaladas com nogueiras polinizadoras (com liberação precoce de pólen). Além disso, recomenda-se que o pomar esteja orientado na mesma direção do vento (Fronza; Poletto; Hamann, 2013; Fronza; Hamann, 2016).

No Rio Grande do Sul, as cultivares cultivadas e denominadas de “produtoras” são, basicamente, a Desirable, a Barton e a Pitol 1. Já as variedades consideradas “polinizadoras” incluem a Stuart, a Shawnee, a Choctaw, a Pitol 2 e a Imperial. Vale destacar que as variedades de nogueira-pecã podem apresentar variações na maturação de suas flores, dependendo das condições climáticas, que podem antecipar ou retardar esse processo (Rovani, 2016).

Os frutos dessa espécie são denominados drupas e crescem agrupados em cachos, apresentando forma alongada e elipsoidal, com três a cinco centímetros de comprimento. São constituídos por um endocarpo liso e delgado (Madero; Frusso; Bruno, 2012) (Figura 3). A maturação ocorre entre os meses de março e maio, podendo variar em função das condições edafoclimáticas, fitossanitárias e genéticas das plantas (Luz *et al*., 2001).

Figura 3 - Fruto de noz-pecã com amêndoa exposta e em maturação fisiológica



Fonte: Da autora (2025).

Segundo Frusso (2007), o desenvolvimento fenológico da nogueira-pecã é dividido em três períodos: desenvolvimento vegetativo, desenvolvimento reprodutivo e senescência, os quais auxiliam na condução do manejo do pomar. Os estágios do desenvolvimento fenológico e os manejos correspondentes são descritos por Frusso (2007) e Madero, Frusso e Casaubon (2007). O estágio vegetativo ocorre no final do mês de maio até meados de novembro, período em que se inicia a brotação das folhas (Frusso, 2007). Em meados de outubro, observa-se o repouso das gemas e o surgimento dos primeiros folíolos, respectivamente. A expansão dos folíolos se estende até meados de novembro, quando as folhas atingem seu tamanho definitivo.

O segundo estágio, no qual ocorre o desenvolvimento reprodutivo, compreende os períodos de floração, formação de frutos e maturação, que se estendem entre os meses de outubro e abril, aproximadamente seis meses após a polinização. Dentre as principais etapas desse estágio, destacam-se: o alongamento das estruturas florais; a liberação do pólen e a receptividade do estigma; o período de pós-polinização; o desenvolvimento dos frutos; o preenchimento da amêndoa; o desenvolvimento completo do embrião e a abertura da casca que envolve a noz. As cultivares comerciais necessitam de 180 a 200 dias para que os frutos atinjam a maturação e possam ser colhidos. Por fim, a planta entra em estágio de senescência, período em que ocorre o amarelecimento das folhas, que posteriormente caem (Frusso, 2007).

A importância de conhecer os estágios fenológicos da planta está diretamente relacionada aos manejos que a cultura exige. A nogueira-pecã requer alguns cuidados

específicos durante seu desenvolvimento, como podas de formação, desbaste, condução e controle de doenças e pragas, que atacam os pomares e podem causar sérios danos à produção.

Neste cenário, um estudo feito por De Marco (2020) teve como objetivo adaptar uma escala fenológica com os principais estádios da nogueira-pecã, facilitando a verificação dos períodos de brotação, floração e desenvolvimento do fruto.

2.4 Propriedades do fruto

A noz-pecã é considerada um fruto seco, que, em conceito, é uma semente comestível com baixo teor de água e presença substancial de óleos (Bilharva *et al.*, 2019). Rico em substâncias antioxidantes e minerais, seu consumo é benéfico para a saúde, prevenindo doenças degenerativas e crônicas (Ortiz, 2000).

O fruto é fonte de energia, minerais, vitaminas, bem como um excelente antioxidante, devido à presença de ácidos graxos monoinsaturados em sua composição (Vizzotto *et al.*, 2024). As concentrações de vitamina E e B6, responsáveis por reações enzimáticas no corpo humano, também são elevadas. Dentre os minerais presentes no fruto, tem-se o manganês, o potássio, o cálcio, o ferro, o magnésio, o zinco e o selênio (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química do fruto da noz-pecã. Valores referentes a amostra de 100 gramas de noz-pecã

Componente	Quantidade
Água	3,52 g
Energia	691 Kcal
Energia	2890 KJ
Proteína	9,17 g
Lipídio total	72 g
Cinzas	1,49 g
Carboidratos	13,9 g
Fibra	9,6 g
Açúcares totais	3,97 g
Sacarose	3,9 g
Glicose	0,04 g
Frutose	0,04 g
Lactose	0 g
Maltose	0 g
Amido	0,46 g
Cálcio, Ca	70 mg
Ferro, Fe	2,53 mg
Magnésio, Mg	4,5 mg
Fósforo, P	277 mg

Continua...

(Continuação da Tabela 1)

Componente	Quantidade
Potássio, K	410 mg
Sódio, Na	0 mg
Zinco, Zn	4,53 mg
Cobre, Cu	1,2 mg
Manganês, Mn	4,5 mg
Selênio, Se	3,8 µg
Fluoreto, F	10 µg
Vitamina C	1,1 mg
Tiamina	0,66 mg
Riboflavina	0,13 mg
Niacina	1,17 mg
Ácido pantotênico	0,863 mg
Vitamina B-6	0,21 mg
Ácido fólico	0 µg
Vitamina B-12	0 µg
Vitamina A	3 µg
Retinol	0 µg
Caroteno, beta	29 µg
Caroteno, alfa	0 µg
Vitamina E	1,4 mg
Vitamina D	0 µg
Vitamina K	3,5 µg
Ácidos Graxos	6,18 g

Fonte: USDA (2018).

Os lipídios presentes em 100 gramas de noz-pecã correspondem a 70% do seu peso total. Essa proporção pode variar conforme a cultivar, o local de plantio, a época de colheita, os processos de secagem e armazenamento, entre outros fatores, o que contribui para o elevado volume lipídico do fruto. As características físico-químicas desses lipídios, que compõem o óleo de noz-pecã extraído a frio, foram descritas por Oro (2007).

Oro (2007) destaca, ainda, que o óleo de noz-pecã é uma excelente fonte de ácidos graxos monoinsaturados, apresentando teores elevados de γ-tocoferol, um composto com alta atividade antioxidante, superior ao observado em outros tipos de nozes. De acordo com as análises físico-químicas e sensoriais obtidas, o óleo tem uma vida útil de 120 dias.

Pontua-se, ainda, que os usos da noz-pecã são diversos, variando desde o consumo in natura até sua aplicação em produtos processados, como o óleo de noz-pecã. Além disso, o fruto é utilizado em receitas de bolos, tortas, pratos salgados e mixes com outras frutas secas, bem como na fabricação de cosméticos como cremes hidratantes, esfoliantes, sabonetes e gloss labial.

Neste contexto, a valorização de suas propriedades nutricionais tem refletido na dinâmica de mercado. Embora o mercado interno ainda seja o maior consumidor da fruta produzida no Sul do Brasil, em 2021, três indústrias do Rio Grande do Sul exportaram o fruto para três países diferentes, o que evidencia o potencial de ampliação do mercado da noz-pecã (Martins *et al.*, 2024). Diante da crescente demanda externa e dos excelentes preços de

comercialização, nos últimos anos, pomares vêm sendo instalados, ou mesmo recuperados, com o intuito de ampliar a oferta do produto no mercado.

2.5 Relação entre o Zn e a nogueira-pecã

2.5.1 Relação de Zn com a planta

O zinco é absorvido pelas plantas na forma de Zn^{2+}. É ainda motivo de controvérsias se o Zn^{2+} é absorvido pelas plantas por processo passivo ou ativo, embora muitos trabalhos atestam que a absorção do elemento é tipicamente metabólica.

A principal função do Zn é no metabolismo, componente e ativador enzimático, citando-se as desidrogenases (alcoólica, glutâmica e lática), sintetases, carboxilases, isomerases. O Zn está estreitamente envolvido no metabolismo nitrogenado da planta. Em plantas deficientes em Zn, há redução da síntese protéica e acúmulo de aminoácidos e amidas. Três distintos mecanismos são responsáveis pelo efeito adverso da deficiência de Zn na síntese e conteúdo protéico nas plantas. Primeiro, o Zn é um componente da RNA polimerase, que pela polimerização de nucleotídeos, leva à síntese do RNA. Segundo, o Zn é um constituinte dos ribossomos, que atua na manutenção da integridade estrutural destas organelas. Em plantas deficientes em Zn há a desintegração dos ribossomos, mas com a aplicação do micronutriente, o processo volta ao normal rapidamente. Terceiro, é que o Zn regula a atividade da RNAse, que atua na desintegração do RNA. Há clara correlação inversa entre o suprimento de Zn e a atividade da RNAse e também entre a atividade da RNAse e o conteúdo de proteínas e o crescimento da planta.

Devido à pouca mobilidade, os sintomas de deficiência de zinco se manifestam nas folhas mais novas. Os sintomas mais típicos da carência do elemento consistem no encurtamento dos internódios e na produção de folhas novas pequenas, cloróticas e lanceoladas e formação de tufos na ponta de ramas das plantas perenes. Em plantas de nogueira-pecã a deficiência se caracteriza por entrenós foliares curtos, área foliar reduzida, cloroses e necroses das nervuras e morte dos brotos (Walworth y Heerema, 2019).

Dentre as plantas consideradas caducifólias, a nogueira-pecã é a que mais apresenta deficiência de zinco (Ashraf et al., 2013). A deficiência de zinco pode reduzir em 30% o rendimento e a qualidade da amêndoa de noz-pecã (Castillo-González et al., 2019). Muitos

fatores podem influenciar a concentração foliar de zinco na nogueira, incluindo as condições de solo, topografia, irrigação, microclima, pragas e doenças, entre outros (Heerema et al., 2017).

O fornecimento de zinco para planta pode ser feito através de aplicações foliares ou diretamente no solo. Estudos realizados por Medina e Chávez (2000) comprovam que a aplicação de zinco via foliar pode suprir a necessidade da planta durante o ciclo, bem como a utilização deste via solo de acordo com Tarango et.al (2024).

2.5.2 Importância de Zinco no fruto

Embora muito nutritiva, a noz-pecã ainda é pouco presente na mesa da população brasileira. Segundo levantamento feito por Moraes *et al*. (2019), a dieta da população no país necessita de adequação, sendo classificada como de baixa qualidade, com consumo insuficiente de frutas, verduras, legumes, leite e derivados, além de apresentar alto consumo de gorduras, em especial as saturadas. Ademais, de acordo com Cruz e Soares (2011), em relação aos micronutrientes, há deficiência de zinco na dieta brasileira, o que torna o consumo do fruto especialmente adequado, por ser fonte de vários nutrientes, com destaque para esse mineral.

Nesse contexto, no século XX, a importância do zinco começou a crescer entre a comunidade científica da área da saúde, devido à essencialidade deste micronutriente para plantas e animais. Assim, ao se reconhecer a importância deste micronutriente nas reações enzimáticas do corpo humano, seu valor passou a ser ainda mais destacado (Mafra; Cozzolino, 2004).

O zinco encontra-se no corpo humano em concentrações de 1,5 g a 2,5 g e as recomendações diárias de ingestão (RDI) são de 11 mg/dia para homens e 8 mg/dia para mulheres adultas (Cruz; Soares, 2011). Além disso, a suplementação de zinco (como micronutriente), desde o período pré-natal até a faixa etária dos 8 a 11 anos, influencia no desenvolvimento e na estatura das crianças (Stewart, 2009; Ebrahimi; Pormahmodi; Kamkar, 2006).

Em estudo feito por Galvão *et al.* (2013), observou-se a diminuição de episódios de diarreia em crianças com desnutrição, por meio da administração de 10 mg de zinco para aquelas com menos de seis meses e 20 mg para as maiores de seis meses. Ademais, a suplementação com zinco foi feita em crianças com quadros de obesidade, constatando-se uma diminuição nos níveis de açúcar no sangue, colesterol e triglicérides, contribuindo, assim, para a prevenção de doenças como a diabetes (Hartono *et al.*, 2021). Além disso, a suplementação

com 15 mg de sulfato de zinco durante três meses em 53 crianças resultou em uma maior absorção de ferro (Ozkarakaya *et al.*, 2021).

Em vistas desses benefícios, é relevante elencar as principais fontes de zinco, que incluem carnes bovinas, peixes, aves, leite, queijos, frutos do mar, cereais de grãos integrais, gérmen de trigo, feijões, nozes, amêndoas, castanhas e semente de abóbora. Entre essas fontes, a noz-pecã merece destaque: 30 gramas do fruto contém 1,2 mg de Zinco, o que representa 10% da necessidade diária do mineral (Eagappan; Sasikumar, 2014).

É importante pontuar que apenas parte da quantidade ingerida de zinco diariamente estará disponível para o organismo, uma vez que a sua biodisponibilidade pode ser afetada durante a absorção intestinal ou na corrente sanguínea. Ademais, há elementos que podem ser antagonistas e influenciar a absorção intestinal de zinco, como fitatos, oxalatos, taninos e polifenóis. Por outro lado, há componentes que podem ser facilitadores, como aminoácidos, fosfatos, ácidos orgânicos e proteínas (Cruz; Soares, 2011).

É relevante mencionar, ainda, que o consumo diário de nozes vem aumentando devido às suas propriedades nutracêuticas, o que torna o mercado do fruto promissor, especialmente quando aliado ao alto valor agregado na sua comercialização (Luz *et al.*, 2001). Em vista disso, o cultivo da nogueira-pecã é uma alternativa de renda tanto para grandes quanto para pequenos agricultores. Além disso, caracteriza-se como uma alternativa de produção de médio e longo prazo com potencial de exportação (Cabo, 2006). Todavia, essa cultura carece de pesquisas científicas que enfoquem as formas de implantação e condução no Brasil, bem como estudos que comprovem os benefícios do consumo desse fruto tão rico em propriedades (Kimati *et al.*, 2005).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo abrange a análise da concentração de zinco, seu teor na planta em diferentes estágios de desenvolvimento e a avaliação da bioacessibilidade desse micronutriente nos frutos, permitindo uma investigação sobre seu impacto no ciclo da planta da nogueira-pecã. Neste contexto, compreende-se que o zinco é um nutriente que influência no desenvolvimento das plantas, podendo apresentar respostas maiores em diferentes estágios de crescimento.

À vista disso, o experimento, realizado em colaboração com a empresa Nozes Pitol através do programa MAI/DAI do CNPq que busca fortalecer a pesquisa, o empreendedorismo e a inovação nas instituições científica, tecnológica e de inovação (ICTs) que envolve estudantes de graduação e pós-graduação em projetos de interesse do setor empresarial, mediante parceria com empresas.

O objetivo principal foi fornecer informações valiosas aos consumidores sobre a relação entre o uso de zinco na cultura da nogueira-pecã e os benefícios do consumo da noz em termos de teor de zinco. Os dados coletados neste trabalho referem-se aos valores de zinco encontrados nas folhas das plantas durante os estádios fenológicos do desenvolvimento vegetativo, assim como no fruto e nas folhas durante os estádios reprodutivos, incluindo a quantificação da bioacessibilidade do zinco no fruto. As coletas foram realizadas em duas safras: 2021/2022 e 2022/2023.

Frente a isso, este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados ao longo da pesquisa. Os subcapítulos descrevem o local e a forma como a experimentação foi conduzida, bem como as metodologias empregadas para a extração do zinco no material vegetal e na avaliação de sua bioacessibilidade. Por fim, são apresentadas as análises estatísticas realizadas com os dados coletados.

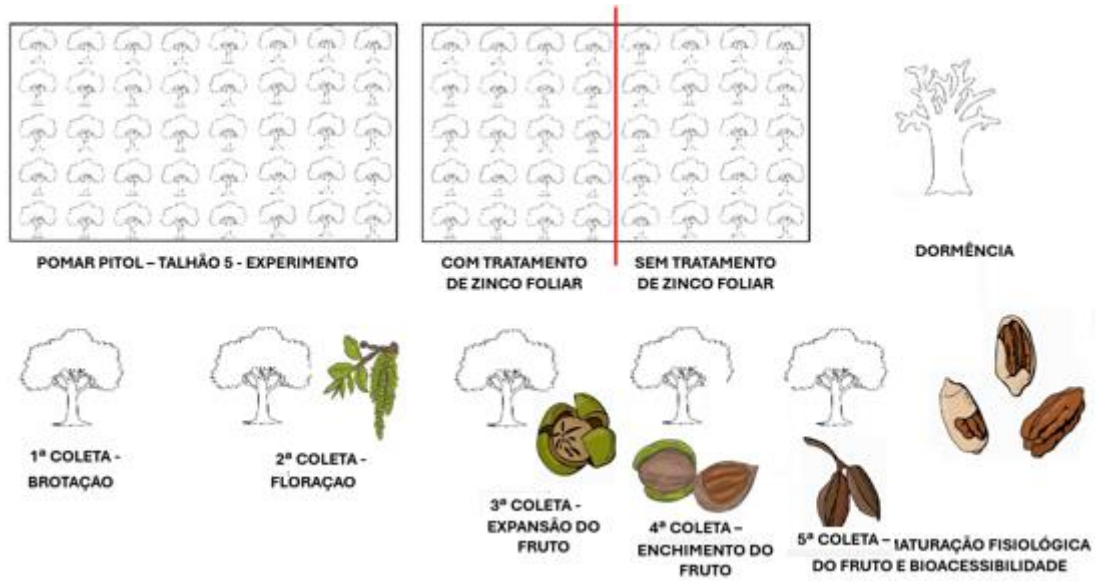
3.1 Descrição do local do experimento

A empresa Nozes Pitol EPP, localizada na Linha Dossena s/n, no município de Anta Gorda/RS), foi inaugurada no ano de 2004 pelos sócios Leandro e Lenio Pitol, filhos do Sr. Luizinho Pitol, fundador do Viveiros Pitol, que atua há mais de 65 anos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A empresa surgiu de uma necessidade de industrializar os frutos provenientes das mudas comercializadas pelo Viveiros Pitol. Atualmente, a Nozes Pitol atende todo o território nacional com o fruto industrializado e realiza exportações do produto in natura ou com casca para Ásia e Europa.

O pomar da empresa, situa-se nas coordenadas geográficas 28°57'40”S e 52º00'21”W, a uma altitude de 405 m. As plantas estão dispostas em espaçamento de 10 x 10 m e o pomar é composto por diversas cultivares de noz-pecã, com maior abundância das variedades Barton e Pitol 1 (Melhorada). O clima da região é subtropical úmido (Cfa), com verões quentes, conforme classificação de KÖPPEN. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, sendo que a temperatura média mais baixa ocorre no mês de julho, enquanto a mais alta é registrada em janeiro. O solo tem textura argilosa (IBGE, 2015).

O pomar é dividido em 10 talhões, utilizados para organizar a área em seções menores, cada uma contendo entre 100 e 150 plantas. O talhão utilizado neste estudo é o de número 5, implementado em 2006 e composto por 150 plantas. Nos anos de realização desta pesquisa, as plantas estavam com 17 anos. A variedade em estudo será a MELHORADA ou PITOL 1, desenvolvida pelos Viveiros Pitol, pertencentes à empresa Nozes Pitol.

Figura 4 - Desenho esquemático de experimento de campo



Fonte: Da autora (2025).

Foram utilizadas 40 plantas para o estudo, seguindo a metodologia utilizada por Chávez *et al.* (2000) em estudos com pomares sob deficiência de zinco. Para garantir uma amostragem adequada, selecionou-se, aleatoriamente, as 40 plantas de uma população total de 150. Em seguida, dividiu-se igualmente essa amostra em dois grupos (Controle e Tratamento) de 20 plantas cada. Um grupo foi designado para receber tratamento com zinco (Tratamento), enquanto o outro não recebeu nenhum tratamento adicional (Tratamento). Essa abordagem garante que ambas as condições - com e sem tratamento - estejam representadas de forma equilibrada na amostra, permitindo comparações significativas entre os dois grupos.

As aplicações do grupo tratamento seguiram recomendações agronômicas, utilizando-se o produto comercial ZincMol (661,5 g/L de zinco), na dose recomendada de 350 mL por hectare. As pulverizações foram feitas por drone e por pulverizador terrestre, em três momentos: na brotação, e aos 28 e 56 dias após a brotação. A pesquisa foi realizada nas safras 2021/2022 e 2022/2023. Os dados meteorológicos referentes aos anos de estudo foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Uva e Vinho, localizada em Bento Gonçalves/RS, a 80 km do experimento.

A coleta de material para estudo foi realizada nos estádios de brotação, floração, expansão do fruto, enchimento do fruto e maturação fisiológica do fruto (Figura 4). O material vegetal foi coletado de todas as plantas (folhas) e após a coleta se fez uma amostra composta de todas as folhas coletadas, da mesma forma com os frutos. A coleta se iniciava pelo grupo Controle e em seguida do grupo Tratamento.

Ademais, esta pesquisa segue a escala fenológica proposta por De Marco (2020), elaborada com base na escala BBCH e modificada por Finn, Straszewski e Peterson (2007) e Han, Peng e Marshall (2018). Dessa maneira, os estádios de avaliação correspondem aos códigos 11(*101) – primeiras folhas visíveis; 69(E) e 69(P) – final da floração; 73 e 75 – 50% do tamanho final dos frutos; 78 – início do preenchimento das amêndoas; 89 – frutos totalmente maduros. A Figura 5 foi adaptada a partir da imagem apresentada por De Marco (2020), ilustrando visualmente a condição da planta em cada estádio de estudo.

Figura 5 - Estádios de desenvolvimento fenológico de estudo



Fonte: De Marco (2020, p. 43).

3.2 Extração e quantificação de zinco no material vegetal (folhas e partes dos frutos)

Para realização da experimentação, foram coletadas folhas de todas as plantas do grupo Controle e Tratamento. A coleta foi através de caminhamento em zigue-zague pelo pomar,

sendo que as coletas foram das folhas do terço médio e inferior das plantas. Após a coleta de cada grupo, se formava uma amostra composta das folhas. Então, eram identificados os sacos do grupo Tratamento e do grupo Controle. As folhas das amostra eram submetidas a secagem natural e após levadas ao laboratório para realização das análises.

A extração e a quantificação do zinco no material vegetal ocorreram em duas etapas. A primeira delas foi realizada no laboratório de projeto de pesquisa III da Univates, onde foi feita a digestão das amostras. Na segunda etapa, as amostras da digestão foram encaminhadas ao Laboratório de Físico-Química do Unianálises para a quantificação do zinco (Figura 6).

Figura 6 - Desenho esquemático de metodologia de quantificação de zinco



Fonte: Da autora (2025).

3.2.1 Digestão da amostra

O método utilizado para quantificação de zinco nas amostras de material vegetal foi a decomposição ácida em forno micro-ondas (Tolg, 1971 *apud* Souza, 2018). Esse método é utilizado em diversos artigos relacionados à extração de metais em material vegetal (Nogueira, 2003; Melo; Silva, 2008).

Desse modo, o estudo foi dividido em dois grupos: Controle (sem aplicação foliar de zinco) e Tratamento (com aplicação foliar de zinco). O material vegetal coletado de cada grupo passou por um processo de secagem natural, com duração de 7 a 10 dias, sendo posteriormente transportado até os laboratórios de química da Univates.

Das amostras de cada grupo, foram pesados 0,5 g de cada tratamento, sendo preparadas triplicatas em falcons que foram para a câmera de exaustão. Nelas, foram adicionados água (1 mL), ácido nítrico (3 mL) e peróxido de hidrogênio (2 mL). Em seguida, essas amostras foram submetidas à digestão/decomposição ácida em forno micro-ondas (*Anton Paar, Multiwave PRO*), com aquecimento gradativo até 180 ºC, em um processo com duração de 40 minutos.

3.2.2 Quantificação de zinco por ICP-OES

Após a digestão, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Físico-Química, do Unianálises, da Universidade do Vale do Taquari, onde foi feita a leitura das amostras em espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), modelo iCAP PRO XP DUO (*Thermo Scientific*, Alemanha), equipado com câmara de nebulização ciclônica, nebulizador concêntrico e tocha de quartzo com tubo injetor de cerâmica (diâmetro interno de 2 mm). As condições operacionais do equipamento estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições operacionais do espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado utilizado para a determinação de metais

Parâmetro	
Potência do gerador de radiofrequência (W)	1150
Vazão de argônio principal (L min^{-1})	12,5
Vazão de argônio auxiliar (L min^{-1})	0,5
Vazão de argônio nebulizador (L min^{-1})	0,5
Vista de observação	Axial
Modo de análise	iFR
Comprimentos de onda espectral (nm)	Mn 257,610; Ni 231,604 e Zn 213,856

Fonte: Adaptado pela autora, com base no dados do Laboratório Unianálises (2025).

3.3 Quantificação de zinco na amêndoa através de testes de bioacessibilidade

A fração bio acessível foi determinada por meio do método adaptado de Minekus *et al*. (2014) e com base no trabalho de Souza (2018). Em vista disso, inicialmente, foram preparadas as soluções de sais utilizadas, conforme descritas na Tabela 3, que apresenta as soluções e suas concentrações. Já a Tabela 4 traz as composições dos fluidos que simulam a saliva, o suco gástrico e o suco intestinal, contendo os sais e enzimas utilizados nas soluções de digestão.

Tabela 3 - Soluções e concentrações utilizadas para o preparo das substâncias ativas

Reagentes	Concentração	Reagentes	Concentração
KCl	37,3 g L^{-1}	$CaCl_2(H_2O)_2$	7,5 mmol L^{-1}
KH_2PO_4	34,0 g L^{-1}	$CaCl_2(H_2O)_2$	2,0 mmol L^{-1}
$NaHCO_3$	84,0 g L^{-1}	$CaCl_2(H_2O)_2$	9,2 mmol L^{-1}
NaCl	117,0 g L^{-1}	NaOH	40,0 (1 mo L^{-1})
$MgCl_2(H_2O)_6$	15,2 g L^{-1}	HCl	6,0 mol L^{-1}
$(NH_4)_2CO_3$	12,0 g L^{-1}	HCl	1,0 mol L^{-1}
$CaCl_2(H_2O)_2$	14,7 g L^{-1}		

Fonte: Adaptado pela autora, com base em Minekus (2014).

Tabela 4 - Soluções de simulação de fluídos: composições

Saliva	Concentração (g L^{-1})	Suco gástrico	Concentração (g L^{-1})	Suco Intestinal	Concentração (g L^{-1})
KCl	1,1	KCl	0,5	KCl	0,5
KH_2PO_4	0,5	KH_2PO_4	0,01	KH_2PO_4	0,1
$NaHCO_3$	1,1	$NaHCO_3$	2,1	$NaHCO_3$	7,1

Continua...

(Continuação da Tabela 4)

Saliva	Concentração (g L^{-1})	Suco gástrico	Concentração (g L^{-1})	Suco Intestinal	Concentração (g L^{-1})
$MgCl_2(H_2O)_6$	0,03	NaCl	2,7	NaCl	2,2
$(NH_4)_2CO_3$	0,003	$MgCl_2(H_2O)_6$	0,02	$MgCl_2(H_2O)_6$	0,07
				HCl 6 M	140 µL
HCl 1 M	120 µL	$(NH_4)_2CO_3$	0,05	Bile[c]	27
α Amilase [a]	25	HCl 6 M	260	Pancreatina[d]3X	2,68

Fonte: Adaptado pela autora, com base em Minekus (2014).

Os estudos para a determinação da fração bio acessível foram realizados nas amêndoas apenas no estágio de maturação do fruto, em ambas as safras analisadas. Cada amostra continha aproximadamente 5 g. As três etapas do sistema gastrointestinal foram realizadas em sequência, compreendendo: simulação da boca (primeira etapa), simulação do estômago (segunda etapa) e simulação do intestino (terceira etapa).

Na primeira etapa – simulação da boca – foram adicionados 8 mL de saliva sintética e 1 mL de $CaCl_2$ 7,5 mM. Em seguida, o pH foi verificado até apresentar neutralidade. Após esse preparo, as soluções foram colocadas em banho Dubnoff, com agitação e aquecimento a 37 ºC, por 10 minutos.

Na segunda etapa – simulação do estômago –, adicionou-se 9,1 mL de suco gástrico sintético e 700 µL de $CaCl_2$ 2 mM. Além disso, o pH das soluções foi ajustado através da adição de HCl 1 mol L^{-1}. Na sequência, as soluções foram novamente colocadas em banho Dubnoff, com agitação e aquecimento a 37 ºC, por 2 horas.

Na terceira etapa – simulação de intestino – foram acrescentados 18,5 mL de suco intestinal sintético e 1,35 mL de $CaCl_2$ 9 mM. O pH da solução foi novamente ajustado para 7 com NaOH 1 mol L^{-1}. Por fim, as soluções foram encaminhadas ao banho Dubnoff, com agitação e aquecimento a 37 ºC, por 2 horas.

Ao final dessas etapas, as soluções resultantes foram colocadas em banho de gelo por 20 minutos para inativação das enzimas e, posteriormente, centrifugadas a 10.000 rpm por 10 minutos para separação da fase sólida (fração não bio acessível) e retirada do sobrenadante (fração bio acessível). O mesmo procedimento foi realizado para o branco analítico. Ao término do processo, os sobrenadantes foram analisados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

3.4 Estatística dos dados

Para essa rotina estatística, a variável dependente analisada foi a quantidade de zinco. À vista disso, a análise dos dados foi realizada utilizando a linguagem R (*R Core Team*, 2024), com o auxílio do pacote *tidyverse* para manipulação dos dados. O conjunto de dados foi importado e as variáveis categóricas Tratamento, Estágio Fenológico e Safra – convertidas em fatores, garantindo o correto ajuste dos modelos estatísticos. Dessa forma, para avaliar os efeitos desses fatores sobre as concentrações de zinco, foram ajustados Modelos Lineares Generalizados (GLM), utilizando a distribuição gaussiana com função de ligação identidade.

A escolha do modelo GLM justifica-se pela natureza contínua das variáveis resposta, permitindo a análise dos efeitos principais e das interações entre os fatores. A significância dos efeitos foi avaliada por meio da análise de deviance (Teste Qui-quadrado; anova (modelo, *test* = “Chisq”)), com o objetivo de verificar se a inclusão de cada variável explicativa melhorava

significativamente o ajuste do modelo. Todos os procedimentos estatísticos foram conduzidos no *software* R (versão 4.4.2), adotando-se o nível de significância de 5% ($\alpha = 0.05$).

Complementarmente, para a demonstração das relações multivariadas dos dados climáticos e a disponibilidade do nutriente em estudo, zinco, utilizou-se a análise de ordenação *Non-Metric Dimensional Scaling* (NMDS). Essa análise empregou a distribuição de *Gower*, uma vez que as variáveis possuem diferentes unidades de medidas, sendo realizada em duas dimensões. Por sua vez, os dados foram organizados separando-os por tratamentos (com e sem) e por safra de amostragem (ano 1 e ano 2). A análise foi representada por dois gráficos: um em que os pontos representam os estágios fenológicos e outro em que representam os meses do ano de amostragem. A rotina estatística foi elaborada no programa PAST 5.02 (versão de dezembro de 2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir referem-se à investigação sobre a dinâmica do zinco (Zn) na nogueira-pecã (*Carya illinoinensis*), com foco na sua acumulação nos tecidos vegetais ao longo dos estágios fenológicos e na avaliação do fruto maduro como potencial fonte nutricional do micronutriente para a dieta humana.

Inicialmente, foram determinados os teores de zinco nas folhas e frutos durante o desenvolvimento da planta, permitindo observar padrões de absorção e translocação do elemento ao longo do ciclo fenológico. Posteriormente, avaliou-se a bioacessibilidade do zinco presente nas amêndoas maduras, estimando a fração do mineral potencialmente disponível para absorção no organismo humano após o consumo do alimento.

Examinou-se o impacto da aplicação de fertilizante foliar ao longo de dois anos sobre os teores de zinco nos frutos, visando identificar possíveis estratégias de manejo agronômico para o enriquecimento nutricional da cultura. Por fim, os valores obtidos foram então comparados às recomendações diárias de ingestão de zinco, a fim de estimar a contribuição nutricional da noz-pecã na alimentação humana.

Esses dados fornecem subsídios importantes para o entendimento da nogueira-pecã não apenas como cultura de valor econômico, mas também como alimento funcional, com potencial para auxiliar no atendimento das necessidades diárias de zinco da população.

Diante disso, para descrever, relacionar e discutir os procedimentos realizados nesta pesquisa, as etapas serão detalhadas da seguinte forma: zinco em folhas e frutos e bioacessibilidade de zinco no fruto.

4.1 Zinco em folhas e frutos

Para a determinação da quantificação de zinco, a partir de dados obtidos do ICP-OES, observou-se, conforme apresentado na Tabela 5, uma relação estatisticamente significativa entre os tratamentos com e sem zinco, os estágios fenológicos da planta e a safra (ano) de estudo.

Tabela 5 - Resultados da análise estatística dos efeitos do tratamento, estágio fenológico e ano, sobre a quantidade de zinco e anos de avaliação

Fator de variação	Coeficiente (ß)	Erro padrão	Valor de t	p-valor	Média ± erro padrão
Tratamento: COM	**17,9164**	**Categoria de referência**			25.58±3.23
Tratamento: SEM	0,5624	5,6259	0,1	0,920714	23.69±2.71
Estágio Fenológico: Brotação	**17,9164**	**Categoria de referência**			30.87±3.70
Estágio Fenológico: Floração	7,9358	5,6259	1,411	0,163708	34.14 ± 5.41
Estágio Fenológico: Enchimento do fruto	-2,3099	5,6259	-0,411	0,682886	26.88 ± 5.95
Estágio Fenológico: Expansão do fruto	-1,2906	5,6259	-0,229	0,819368	24.33 ± 5.65
Estágio Fenológico: Maturação do fruto	-15,632	5,6259	-2,779	**0,007345**	19.44 ± 4.73
Estágio Fenológico: Bioacessibilidade	-24,0955	5,905	-4,081	**0,000139**	10.92 ± 1.37
Safra 2021/2022	**17,9164**	**Categoria de referência**			36.87±2.68
Safra 2022/2023	25,3518	2,3161	10,946	**<0.0001**	12.02±1.21

Diferenças significativas ($p<0.05$) estão destacadas em negrito, indicando variações relevantes entre os níveis dos fatores analisados.

Fonte: Da autora (2025).

4.1.1 Com tratamento de zinco e sem tratamento de zinco

De acordo com a estatística utilizada para comparar os dados de concentração de zinco em diferentes estágios da cultura – os Modelos Lineares Generalizados (GLM) –, pode-se afirmar que não houve diferença estatisticamente significativa nas quantidades de zinco entre os estágios fenológicos, tanto nas plantas que receberam aspersões de zinco quanto naquelas que não receberam. Ou seja, não houve variação na concentração de zinco entre os tratamentos com e sem aplicação do produto comercial à base de zinco (Tabela 5, Gráfico 1).

Como já citado anteriormente, as aspersões de zinco foram realizadas em três momentos ao longo do ciclo da planta: na brotação, e aos 28 e 56 dias após a brotação. Os estágios

fenológicos correspondentes a essas aplicações foram brotação, floração e expansão do fruto, que, segundo Medina e Chávez (2000), são períodos recomendados para a realização de aspersões com zinco em plantas de nogueira-pecã, visando a uma maior concentração do micronutriente nas folhas, melhor desenvolvimento vegetativo das plantas e maior qualidade da noz-pecã.

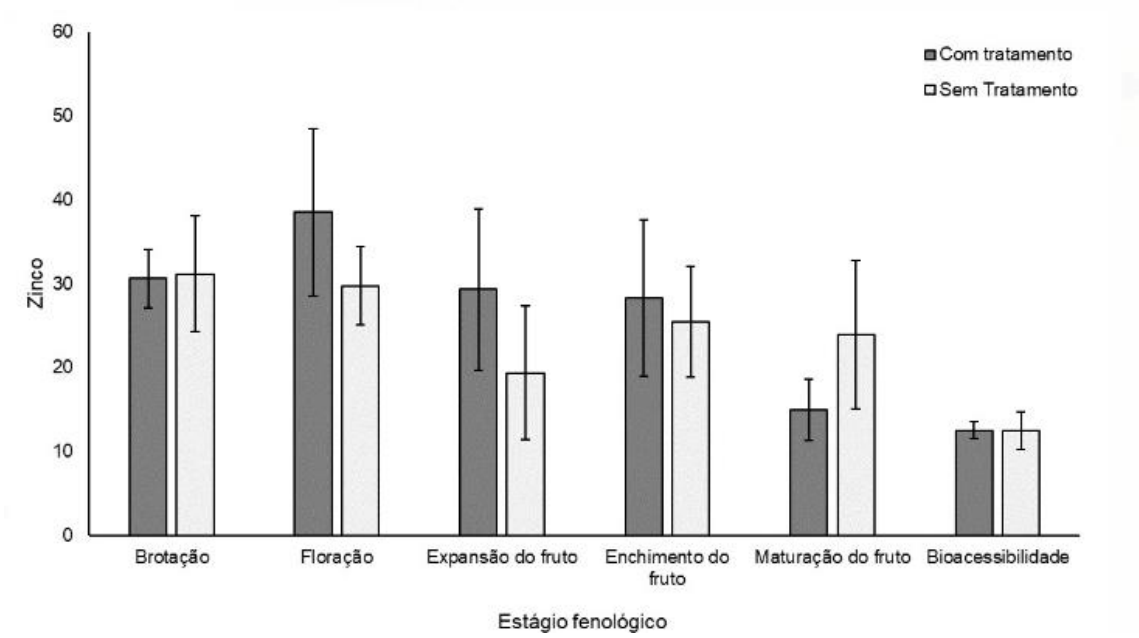
Nesse contexto, a adubação foliar configura-se como uma forma complementar de manejo de adubação em plantas, sendo empregada quando se identifica a deficiência no solo ou quando se busca promover uma concentração mais alta do nutriente na planta em momentos de maior necessidade. Entretanto, a eficiência dessa aplicação depende da formulação do produto, das condições climáticas durante e após a aplicação, do momento da aplicação – ou seja, do estágio fisiológico da planta – e da dose utilizada (Lima *et al.*, 2022).

É essencial destacar, ainda, que o zinco é um nutriente com mobilidade moderada nas folhas, e cerca de 50% do nutriente é absorvido entre 1 e 2 dias após a sua aplicação (Carvalho *et al.*, 2004). Desse modo, ao pulverizar zinco em folhas de nogueira-pecã, as folhas jovens podem absorver até 1,0%, enquanto as folhas maduras absorvem somente 0,1%. Por isso, recomenda-se que as aplicações sejam realizadas no início da brotação (Chavez *et al.*, 2000; Storey; Westfall, Smith, 1979). No Brasil, observa-se uma brotação inicial da planta nos meses de setembro/outubro e uma nova brotação nos meses de novembro/dezembro (De Marco, 2020).

Em relação a isso, as análises apresentaram uma diferença estatística significativa na quantidade de zinco em plantas com e sem tratamento, quando comparados os estágios de brotação e maturação fisiológica do fruto. Esse resultado pode ser atribuído à maior absorção do nutriente em folhas novas, especialmente até o estágio de expansão do fruto, quando o pomar ainda apresenta brotações recentes. No cafeeiro, outra planta perene, Sacramento (1998) observou que, entre 4 e 5 dias após a aplicação do zinco, houve translocação do nutriente apenas para as partes mais novas das plantas.

Diante disso, as aplicações de zinco foram realizadas desde a brotação até o estágio de expansão do fruto. Porém, durante o estágio de maturação fisiológica dos frutos – que ocorre entre seis e sete meses após a floração, segundo De Marco (2020) – a planta destina todos os seus nutrientes ao fruto e "inicia" um processo de "desligamento" desses, não havendo, portanto, necessidade de absorção de zinco neste período (Gráfico 1). Em estudo sobre a absorção foliar de nutrientes, Rosolem (2002) concluiu que a absorção de zinco é lenta e sua translocação ocorre, principalmente, para os pontos de crescimento da planta.

Gráfico 1 - Efeito da interação entre os tratamentos (com e sem zinco) e os estágios fenológicos da planta



Fonte: Da autora (2025).

Comparando os dados coletados para zinco nos estágios correspondentes às aplicações – brotação, floração e expansão do fruto – não houve diferença estatística (Tabela 6). Assim, a utilização de zinco via foliar com o objetivo de aumentar o teor desse micronutriente na planta não foi justificada.

Tabela 6 - Análise estatística de zinco em relação aos tratamentos nos estágios fenológicos

Tratamento	Estágio Fenológico	Coeficiente (ß)	Erro padrão	Valor de t	p-valor	Média ± erro padrão
COM	**Brotação**	**30,5923**	**Categoria de referência**			**30.59 ± 3.49**
COM	Floração	7,9358	9,7665	0,813	0,420	3,53 ± 9,95
COM	Enchimento do fruto	-2,3099	9,7665	-0,237	0,814	28,28 ± 9,59
COM	Expansão do fruto	-1,2906	9,7665	-0,132	0,895	29,30 ± 9,29
COM	Maturação do fruto	-15,632	9,7665	-1,601	0,115	14,96 ± 3,61
COM	Bioacessibilidade	-21,5603	10,2432	-2,105	0,040	9,03 ± 0,99
SEM	Brotação	0,5624	9,7665	0,058	0,954	12,49 ± 2,27
SEM	Floração	-0,843	9,7665	-0,086	0,932	31,15 ± 6,92
SEM	Enchimento do fruto	-5,1233	9,7665	-0,525	0,602	25,47 ± 7,94
SEM	Expansão do fruto	-11,2335	9,7665	-1,15	0,255	19,36 ± 6,63
SEM	Maturação do fruto	-6,665	9,7665	-0,682	0,498	29,75 ± 4,69
SEM	Bioacessibilidade	-18,0985	9,7665	-1,853	0,069	23,93 ± 8,80

Diferenças significativas ($p<0.05$) estão destacadas em negrito, indicando variações relevantes entre os níveis dos fatores analisados.

Fonte: Da autora (2025).

4.1.2 Comparação das aplicações de zinco nas safras 2021/2022 e 2022/2023

Analisando as variáveis do estudo relacionadas às safras de 2021/2022 e 2023/2024 em conjunto com os dados climáticos coletados, a análise estatística multivariada representada no Gráfico 2 não revela uma separação clara entre os pontos referentes aos tratamentos com e sem zinco, havendo sobreposições das amostras no espaço da ordenação. Contudo, observa-se uma distinção nítida entre os pontos correspondentes às safras, denominadas ano (Ano 1: safra 2021/2022 e Ano 2: safra 2022/2023). A safra 2021/2022 apresenta maior variabilidade, distribuindo-se em um polígono amplo no espaço da ordenação, enquanto a safra 2022/2023, localiza-se no quadrante superior esquerdo, indicando menor variabilidade entre os pontos.

Em relação às variáveis ambientais – temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento e horas de frio –, a safra 2021/2022 foi caracterizada por temperaturas mais amenas, maior volume de precipitação, mais dias de chuva, maior velocidade do vento, maior umidade relativa e mais horas de frio, em comparação à safra 2022/2023.

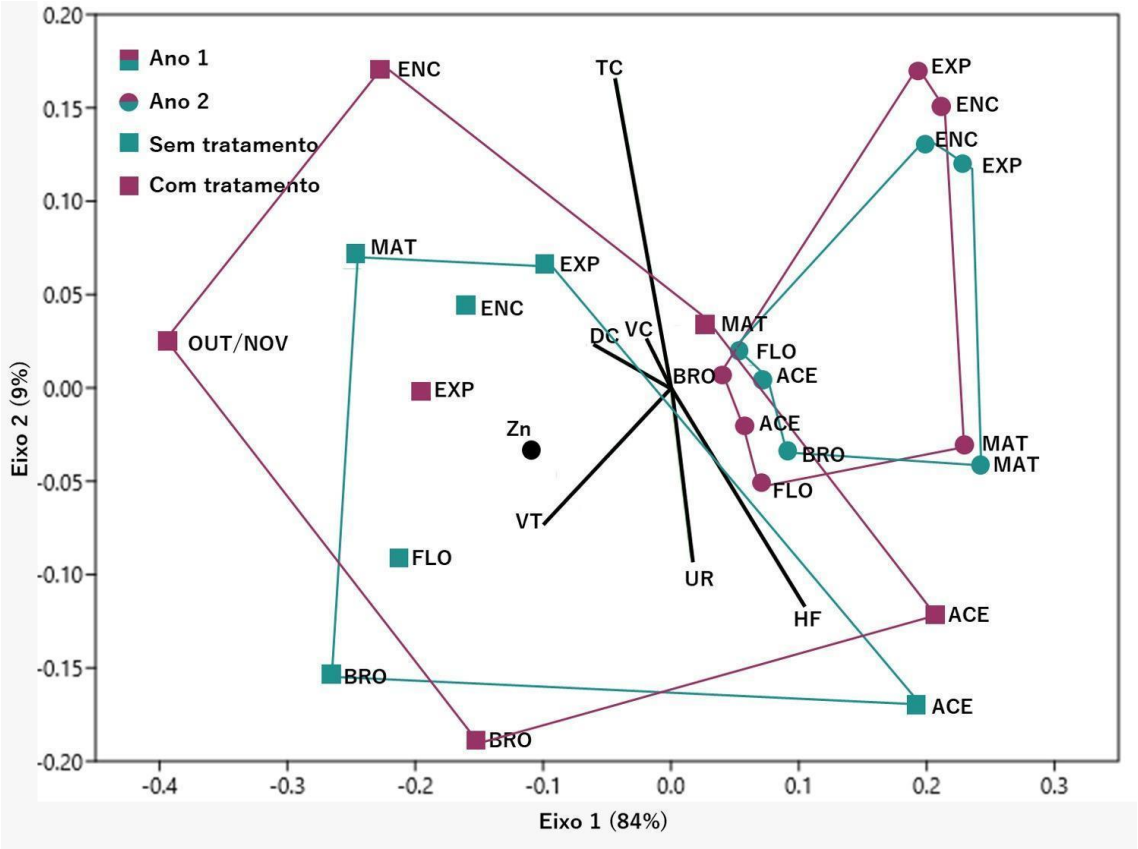
Conforme mencionado anteriormente, a nogueira-pecã é uma planta perene, cujo ciclo inicia na dormência, seguida da brotação, floração, expansão do fruto, enchimento do fruto e, por fim, a maturação fisiológica. Essas etapas são denominadas estágios fenológicos e todas são influenciadas pelas condições climáticas deste período: temperatura, horas de frio, precipitação, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Os estágios fenológicos considerados vegetativos iniciam com a brotação, que ocorre logo após a dormência, de meados de setembro a meados de outubro. Neste estágio, surgem as primeiras folhas da planta, provenientes de uma árvore em dormência que acumulou horas de frio suficientes, para, então, realizar a brotação. Outro fator que influencia esse processo é a temperatura: anos mais quentes ocasionam brotações antecipadas, enquanto anos mais frios resultam em brotações tardias (Sparks, 1992; Wood; Conner; Worley, 2004).

Na sequência, a floração da planta indica o início do ciclo reprodutivo. Neste estágio, a planta realiza a polinização e depende fortemente de fatores como umidade, temperatura, velocidade do vento e precipitação para que a fecundação seja eficiente. Temperatura e umidade influenciam na maturação das flores, ao passo que a velocidade do vento e a precipitação afetam a eficiência da polinização (Adriance, 1931; Han; Peng; Marshall, 2018).

Esses mesmos fatores climáticos continuarão a influenciar os próximos estágios fenológicos: expansão de frutos, enchimento de frutos e maturação fisiológica. Entretanto, dentre todas as variáveis climáticas, a precipitação se destaca como a mais determinante, pois afeta diretamente a produtividade, a qualidade dos frutos e a redução de alternância de produção (Petry *et al.*, 2024).

Gráfico 2 - Representação das variações entre Zn e os dados climáticos (TC – Temperatura média; VC – Volume de chuva; DC – Dias com chuva; VT – Velocidade do vento; UR – Umidade relativa; HF – Horas de frio;) evidenciando os meses de amostragem (JUN/JUL - Bioacessibilidade; AGO/SET - Brotação; OUT/NOV - Floração; DEZ/JAN - Expansão do fruto; FEV/MAR - Enchimento do fruto; e, ABR/MAI - Maturação do fruto;) para as duas safras de estudo (Safra 2021/2022 e 2022/2023)



Fonte: Da autora (2025).

Como observado, o zinco está localizado predominantemente dentro da nuvem de pontos da safra 2021/2022, sugerindo que, nesse período, as concentrações desse micronutriente foram mais elevadas em comparação à safra 2022/2023. O elemento foi posicionado de forma intermediária entre as variáveis volume de precipitação, dias de chuva e vento, indicando que sua maior disponibilidade é favorecida por valores mais elevados dessas condições ambientais. Um dado relevante é que o zinco apresentou uma relação negativa com o número de horas de frio (temperaturas abaixo de 7,2 ºC), o que indica que a sua disponibilidade tende a diminuir sob essas condições. Um padrão similar, embora menos pronunciado, foi observado em relação à umidade relativa do ar (UR).

4.2 Bioacessibilidade de zinco no fruto

Com relação a bioacessibilidade do zinco no fruto, não houve diferença estatística entre o uso ou não de zinco via foliar nas plantas quanto à quantidade de zinco bio acessível no fruto. Ou seja, os dados sugerem que o consumo do fruto de noz-pecã apresenta disponibilidade de zinco independentemente da aplicação do micronutriente no pomar.

Em vista disso, é importante mencionar que a bioacessibilidade do zinco é a fração presente no alimento que é liberada durante a digestão e se torna disponível para absorção. Em outras palavras, trata-se da quantidade do nutriente que é efetivamente liberada da matriz alimentar durante o processo digestivo (Chiplonkas *et al.,* 1999). O zinco é absorvido na membrana da cauda em escova intestinal e transportado do lúmen para as células epiteliais linfáticas – os enterócitos (Osko; Pierlejwka; Grembecka, 2023). Um estado desequilibrado ou deficiência deste microelemento está associado a consequências graves para a saúde, resultando em alta morbidade (Maret; Sandstead, 2006).

Pesquisas indicam que aproximadamente um terço da população mundial pode ter deficiência de zinco, o que acarreta consequências graves para a saúde, como redução da taxa de crescimento, comprometimento da defesa imunológica, paladar prejudicado, dificuldade na cicatrização de feridas, diarreia e alopecia (OMS, 2004). De acordo com Bueno e Czepielewski (2007), a deficiência desse micronutriente pode estar associada ao déficit de crescimento, além de outros efeitos adversos no desenvolvimento e na saúde humana.

Para prevenir problemas decorrentes da deficiência de zinco, é fundamental incluir na dieta alimentos ricos nesse micronutriente, como carnes, peixes, nozes, leguminosas e grãos integrais (Vizzotto *et al.,* 2024). Além do consumo desses alimentos, a suplementação de zinco pode ser feita por fármacos disponíveis no mercado. No entanto, conforme Osko, Pierlejwka e Grembecka (2023), em estudo sobre a bioacessibilidade do zinco com uso de suplementos químicos, esses produtos atendem às necessidades nutricionais, mas devem ser utilizados com prescrição adequada e com base em diagnóstico clínico.

À vista disso, conforme a *Food and Nutrition Board* (2002), as recomendações nutricionais de zinco são: lactentes (0-6 meses): 2 mg/dia; lactentes (7-12 meses): 3 mg/dia; crianças (1-3 anos): 3 mg/dia; adolescentes (9-13 anos): 8 mg/dia; adolescentes (14-18 anos): entre 9-11 mg/dia. Nesse contexto, vale destacar que o consumo de 38 gramas de noz-pecã fornece aproximadamente 1,6 mg de zinco (Unicamp, 2006).

Assim, no presente estudo, foram utilizadas 5 gramas de noz-pecã para avaliar a bioacessibilidade do zinco, em área com e sem tratamento foliar do nutriente. Os dados obtidos para zinco foram de 16 mg/dm^3 e 7 mg/dm^3 em área não tratada, e de 7 mg/dm^3 e 8 mg/dm^3 em área tratada com o micronutriente, nas safras 2021/2022 e 2022/2023, respectivamente. Estes resultados mostram que o consumo de 5 gramas de noz-pecã – que deve equivaler a apenas uma parte da amêndoa – poderia suprimir a necessidade diária de crianças de 1 a 8 anos. Isso demonstra que a noz-pecã pode ser uma alternativa de suplementação de zinco. Porém, a fim de confirmar essa hipótese, estudos individuais devem ser realizados.

É importante sinalizar, ainda, que, apesar da boa disponibilidade de zinco em solos ácidos para a nogueira-pecã, a textura do solo pode limitar sua absorção. No pomar estudado, a aplicação foliar de zinco não se mostrou necessária, uma vez que as plantas mantiveram os níveis adequados do micronutriente, exceto por uma maior absorção observada durante a brotação. As condições climáticas também influenciaram os teores de zinco das plantas. Ademais, a bioacessibilidade do zinco no fruto não foi afetada pela aplicação foliar, sugerindo que, mesmo em pequenas porções, a noz-pecã pode suprir as necessidades diárias.

Dessa forma, através das análises, a empresa Nozes Pitol pode afirmar que a noz-pecã é fonte de zinco e que a aspersão foliar não é essencial em solos ácidos, oferecendo informações relevantes para orientar produtores. Além disso, estudos futuros podem confirmar o potencial da noz-pecã para complemento nutricional na dieta de crianças e adolescentes, sendo essa uma informação valiosa tanto para a empresa quanto para os consumidores.

4.3 Importância nutricional da noz-pecã como fonte de Zinco.

Os resultados desta pesquisa mostram que a noz-pecã possui níveis expressivos de zinco em sua amêndoa, com média de 380 mg por 100 g, sendo bioacessível. Dado que a ingestão diária recomendada (IDR) de zinco é de 11 mg para homens e 8 mg para mulheres adultas, uma porção de 30 g do fruto pode fornecer até 11,4 mg, ou seja, 100% da necessidade diária, destacando-se como uma opção viável e acessível para enriquecer a dieta com esse micronutriente essencial.

Em comparação com outras nozes que também são fontes de zinco, estudos realizados por Rodrigues et al. (2012) quantificando o conteúdo de zinco em frutos oleaginosos, relataram os seguintes dados em relação à Ingestão Diária Recomendada (IDR) para todas as amostras (> 65%), com exceção das nozes macadâmia, que apresentaram 1,8 mg por 100 g, correspondendo a 25% da IDR. Os maiores teores de zinco foram encontrados nos pistaches (entre 7,4 e 8,3 mg

por 100 g), seguidos pelas castanhas-do-pará (6,9 mg por 100 g), noz-pecã (6,7 mg por 100 g), castanhas de caju (6,3 mg por 100 g), amêndoas (5,7 mg por 100 g), nozes europeias (5,2 mg por 100 g) e avelãs (4,5 mg por 100 g).

Além de sua alta densidade nutricional, a noz-pecã apresenta boa bioacessibilidade de zinco, o que significa que o organismo é capaz de absorver o mineral de forma eficiente. Essa característica é especialmente relevante para grupos com maior risco de deficiência, como crianças, gestantes, idosos e pessoas com dietas pobres em produtos de origem animal.

A Resolução CD/FNDE nº 6, de 8 de maio de 2020, estabeleceu novas diretrizes para a oferta de frutas e hortaliças na alimentação escolar. De acordo com a norma, os cardápios para o período parcial devem incluir, no mínimo, 280 gramas por estudante por semana, sendo obrigatória a oferta de frutas in natura em pelo menos dois dias e de legumes e verduras em pelo menos três dias da semana.

Nesse contexto, o Instituto Brasileiro de Pecanicultura vem incentivando o consumo da noz pecã in natura em creches, escolas e na rotina alimentar infantil. A publicação “A pecan pode ser a melhor amiga da saúde do seu filho”, escrita por Eduardo Ruedell para a SEAPI em 2024, destaca que a noz pecan pode ser introduzida na alimentação a partir dos 12 meses de idade — ou até antes, com orientação médica. Por ser rica em gorduras saudáveis, minerais e antioxidantes, ela exerce um papel importante no desenvolvimento das crianças.

Por isso, a noz-pecã pode ser incorporada em programas de alimentação escolar, políticas de segurança alimentar e ações de educação nutricional, consolidando-se não apenas como um produto de valor comercial, mas também como um alimento funcional com potencial impacto positivo na saúde pública.

5 CONCLUSÕES

No contexto do pomar estudado, concluiu-se que a utilização do zinco via foliar não é necessária, uma vez que comprovou-se que mesmo sem a adição de zinco via foliar a planta mantém os níveis do micronutriente estáveis durante os estágios de desenvolvimento. Observou-se apenas uma maior absorção no estágio de brotação, momento em que o nutriente é translocado facilmente para folhas novas e pontos de crescimento. Em contrapartida, no estágio de maturação fisiológica, esse processo não ocorre, pois a planta já encerrou o estágio vegetativo e o seu objetivo final é a maturação do fruto.

Além disso, verificou-se que as condições climáticas interferem diretamente nos teores de zinco nas plantas. Esse efeito pode ser evidenciado pelas variações nas concentrações do micronutriente ao longo dos estágios fenológicos, nos dois anos de observação, em resposta às diferentes variáveis climáticas observadas no estudo.

Quanto à bioacessibilidade do zinco no fruto, não houve diferença estatística significativa entre a utilização ou não de zinco no pomar com relação ao teor de zinco no fruto. Desse modo, notou-se que uma pequena quantidade da amostra é suficiente para suprir necessidades diárias de zinco, mesmo sem a complementação do micronutriente nas plantas durante o ciclo de desenvolvimento.

Nessa perspectiva, um estudo mais aprofundado dos dados relacionados ao teor de zinco no fruto e à bioacessibilidade poderia indicar que o uso de pequenas porções de noz-pecã em dietas para crianças e adolescentes poderia contribuir para a necessidade diária de zinco. Com base nesses resultados, a empresa poderia sugerir o uso de seus produtos a prefeituras municipais, por exemplo, para inclusão na alimentação escolar de crianças em idade pré-escolar e no ensino fundamental.

Além disso, ao fornecer informações sobre o teor de zinco nas nozes e sua relação com o uso desse mineral na cultura, a Nozes Pitol busca aumentar a transparência e a confiança dos consumidores. O experimento também contribui para a disseminação de conhecimento sobre os benefícios nutricionais das nozes e a importância de práticas agrícolas adequadas.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, S.A.; MOTIL, K.J.; HOPPIN, A.G. **Zinc deficiency and suppementation in children.** [S.l.]: UpToDate, 2022.

ADRIANCE, G. W. Factors Influencing Fruit Setting in the Pecan. **Botanical Gazette,** [S.l.], v. 91, n. 2, p. 144-166, 1931.

BILHARVA, M.G. **Sistemas de cultivo da nogueira-pecã**. 2019. 144f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

BRASIL. **Decreto nº 59.615, de 30 de novembro de 1996.** Aprova o Regulamento da Lei nº 5.106, de 2 de setembro de 1966. Brasília: Presidência da República, 1996a. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-59615-30-novembro-1966-400543-norma-pe.html. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. **Lei nº 5.106, de 2 de setembro de 1966**. Dispõe sôbre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Brasília: Presidência da República, 1966b. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-5106-2-setembro-1966-368482-publicacaooriginal-1-pl.html. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normativa nº 22, de 24 de novembro de 2018**. Brasília: MAPA, 2018.

BRISON, F.R. **Pecan Curture**. Austin: Capital Printing, 1974.

BUENO, A.L.; CZEPIELEWSKI, M.A. A importância do consumo dietético de cálcio e vitamina D no crescimento. **J. Pediatr.,** Rio de Janeiro, v. 84, n. 5, 2007.

CABO, A. **Nuez Pecan: el cultivo em el mundo e em Argentina**. Argentina: Informe Frutihorticula, 2006.

CARVALHO, J. G.; BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R. Nutrição mineral de adubação. *In:* ALVARENGA, M. A. R. (Ed.). **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia.** Lavras: UFLA, 2004. p. 63-120.

CHÁVEZ, E.F.; FLORES, J.I.C.; GONZÁLEZ, J.D.E.B.; CASTILLO, G.A.B.; ALCÁZAR, J.R. Asperisones foliares de zinc en nogal pecanero em suelos alcalinos. **Terra**, São Paulo, v. 18, n. 3, 2000.

CHIPLONKAS, S.A.; AGTE, V.V.; TARWADI, K.V.; KAVADIA, R. Dialisabilidade in vitro usando abordagem de refeição como um índice para absorção de zinco e ferro em humanos. **Biol. Trace Elem. Res.**, [S.l.], v. 67, p. 249-256, 1999.

CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre zinco. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

DE MARCO, R. **Fenologia, xenia e irrigação na produção de frutos de nogueira-pecã**. 2020. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

DIVINUT. **DVD do Produtor Parceiro.** Conhecendo a Divinut - Orientações técnicas, plantio e manejo da nogueira pecã. Variedades. 1 CD-ROM. 2013.

DORESTE, P. Frutas secas: nuez pecan. *In:* GONZÁLEZ, C. C. **Alimentos Argentinos.** Argentina: Secrataría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011.

EAGAPPAN, K.; SASIKUMAR, S. Therapeutic effects of nuts in various diseases. **International Journal of Recent Scientific Research**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 190-197, 2014.

EBRAHIMI, S.; PORMAHMODI, A.; KAMKAR, A. Study of zinc supplementation on growth of schoolchildren in Yasuj, southwest of Iran. **Pakistan Journal of Nutrition**, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 341-342, 2006.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER. **Informativo conjuntural nº1.445, frutíferas: 2014-2017**. Porto Alegre: Emater, 2017. Disponível: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/conjuntural/conj_13042017.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER. **Seminário de Pecanicultura da região Alta do Vale.** Porto Alegre: Emater, 2022.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – EMATER; ASSOCIAÇÃO SULINA DE CRÉDITO E ASSISTÊNCIA RURAL – ASCAR. **Cultura da noz pecã em 2014 no Rio Grande do Sul: área total, produção e número de produtores.** Porto Alegre: Emater-RS/Ascar, 2014.

FILIPPIN, I. L. **Viabilidade econômica do cultivo de nogueira pecã em áreas de reserva legal e de preservação permanente**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012. Disponível em: http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/123456789/1344/1/dissertacao_ivandro_luiz_filippin.pdf . Acesso em: 23 fev. 2023.

FINN, G. A.; STRASZEWSKI, A. E.; PETERSON, V. A general growth stage key for describing trees and woody plants. **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 151, p. 127-131, 2007.

FOOD AND NUTRITION BOARD. **Dietary reference intakes: Recomended levels for individual intake**. Washington: Institute of Medicine-National Academy of Sciences, 2002.

FRONZA, D.; HAMANN, J.J. **Técnicas para o cultivo da nogueira-pecã**. Santa Maria: Colégio Politécnico, 2016.

FRONZA, D.; POLETTO, T.; HAMANN, J. J. **O Cultivo da nogueira-pecã**. Santa Maria: Colégio Politécnico, 2013.

FRUSSO, E. A. Características morfológicas y fenológicas del pecán. *In:* LAVADO, R. S.; FRUSSO, E. A. (ed.). **La producción de pecán en Argentina**. Buenos Aires: INTA-FAUBA, 2007. p. 1-18.

GALVÃO, T.F.; THEES, M.F.R.S.; PONTES, R.F.; SILVA, M.T.; PEREIRA, M.G. Zinc supplementation for treating diarrhea in children: a systematic review and meta-analysis. **Rev Panam Salud Publica**. [S.l.], v. 33, n. 5, p. 370-377, 2013.

HAN, M.; PENG, F.; MARSHALL, P. Pecan phenology in Southeastern China. **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 172, p. 160-169, 2018.

HARTONO, R.; IPA, A.; AMIR, A.; RUSLI. Impact of zinc: Early prevention of obesity and fatty in children. **Obesity Medicine,** [S.l.], v. 21, p. 100313, 2021.

HERRERA, E. **Flowering Habits of Pecan Trees.** Las Cruces: New Mexico State University, 2000. (Guide H-622).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário: tabelas 73, 1612 e 1613**. Brasília: IBGE, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PECANICULTURA – IBPECAN. **Boletim Informativo nº 26.** Porto Alegre: IBPECAN, dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PECANICULTURA - IBPECAN. O IBPECAN. Porto Alegre: IBPECAN, 2024. Disponível em: https://www.ibpecan.org/boletins. Acesso em: 20 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA – INTA. **Guía para la plantación y cuidado de árboles jóvenes de pecán**. Buenos Aires: INTA, 2013.

INTERNACIONAL NUT AND CRIED FRUIT COUNCIL FOUNDATION – INC. **Nuts and dried fruits global statistical review 2015/2016**. México: INC, 2016.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in soils and plants**. Boca-Raton: CRC Press, 2011.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia:** doenças das plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005.

KROLOW, A.C.R; NACHTIGAL, J.C.; HOFFMANN, A.; MARTINS, C.R. Produtos e usos. *In:* MARTINS, C.R.; LAZAROTTO, M.; MALGARIM, M.B. **Nogueira-pecã: cultivo, benefícios e perspectivas.** Brasília: Embrapa, 2024. p. 412-423.

LABORATÓRIO UNIANÁLISES. **Análises fisico-químicas**. Lajeado: Univates, 2025. [arquivo particular].

LACERDA, M.; LORENZI, H. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas:** de consumo in natura. São Paulo: Nova Cultura, 2006.

LEMUS, G.S. **El cultivo del pecanero**. Chile: Ministério da Agricultura, 2004.

LIMA, C.E.P; SILVA, J.; GUEDES, I.M.R; TEIXEIRA, F.M.V. **Informativo: Cultivo do Tomate**. Brasília: Embrapa, 2022. Disponivel em: https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/producao/manejo-do-solo/adubacao-e-nutricao/adubacao-quimica/foliar. Acesso em: 26 fev. 2025.

LUZ, E. D. M. N.; SANTOS, A. F.; MATSUOKA, K.; BEZERRA, J. L. **Doenças causadas por Phytophtora no Brasil.** Campinas: Rural, 2001.

MADERO, E. R. La nuez pecán. **IDIA XXI**, Argentina, v. 3, n. 5, p. 78 -82, 2003.

MADERO, E. R.; FRUSSO, E. A.; BRUNO, N. R. **Desarrollo del cultivo de la nuez pecan en la Argentina.** Buenos Aires: INTA, 2012.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S.M.F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição,** [S.l.], v. 17, 2004.

MARET, W.; SANDSTEAD, H.H. Requisitos de zinco e os riscos e benefícios da suplementação de zinco. **J. Trace Elem. Med. Biol.**, [S.l.], v. 20, p. 3-18, 2006. DOI: 10.1016/j.jtemb.2006.01.006.

MARTINS, C.; CONTE, A.; FRONZA, D.; FILIPPINI ALBA, J. M.; HAMANN, J.; BILHARVA, M.; REIS, T. **Situação e perspectiva da nogueira-pecã no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. (Embrapa Clima Temperado. Documentos 462).

MARTINS, C.; ORTIZ, E.R.N.; BARROS, J.I.B; FARIAS, R.M. Pecã no Mundo**.** *In:* MARTINS, C.R.; LAZAROTTO, M.; MALGARIM, M.B. **Nogueira-pecã: cultivo, benefícios e perspectivas.** Brasília: Embrapa, 2024. p. 19-36.

MEDINA, M.C.; CHÁVEZ G., J.F.J. Efecto del abastecimento foliar de zinco sobre o balanço nutricional do nogal pecanero. **Terra**, São Paulo, v. 7, n. 4, 2000.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of the Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A. influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. **Química Nova**, Ijuí, v. 31, n. 3, p. 556-561, 2008.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIE, C.; CARRRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; LE FEUNTEUN, S.; LESMES, U.; MARCIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.; MÉNARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A. A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food –an international consensus. **Food & Function**, [S.l.], v. 5, p.1113-1124, 2014.

MOORE, L. M. **Pecan.** Baton Rouge: National Plant data Center, 2011. Disponível em: http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_cail2.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

MORAES, V.D. **Políticas de Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil:** as instâncias de coordenação intersetorial e de participação social. 2019. 261f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019.

MOTA, F. S.; ZAHLER, P. J. M. **Clima, agricultura e pecuária no Rio Grande do Sul.** Pelotas: Livraria Mundial, 1994.

MURRIETA, A. L. La germinación prematura de la nuez pecanera (viviparidad). *In:* SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NOGAL PECANERO, 13., 2012, Sonora. **Anais [...].** Sonora: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2012.

NOGUEIRA, A. R. A. Preparo de amostras. *In:* ENCONTRO NACIONAL SOBRE MÉTODOS DOS LABORATÓRIOS DA EMBRAPA, 8., 2003, Jaguariúna. **Anais [...].** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

OJEDA-BARRIOS, D. L.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, O. A.; LÓPEZ-OCHOA, G. R.; MARTÍNEZ-TELLES. J. J. Evolucíón de los sistemas de producción de nuez en México. **Tecnociencia**, Chihuahu, v. 3, n. 3, p. 115-120, set./dez. 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO. **World production**. Roma: FAO, 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Organização para a Alimentação e Agricultura. Vitaminas e Minerais Necessidades na Nutrição Humana**. 2. ed. Genebra, Suíça: OMS, 2004.

ORO, T. **Composição nutricional, compostos bioativos e vida útil de noz e óleo extra-virgem de noz-pecã [Carya illinoinensis (Wangenh.) K. Koch].** 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ORTIZ, R.N. **Propriedades Nutritivas e Nutracêuticas das Nozes**. 2000. 49f. Monografia (Especialização em Tecnologia dos Alimentos) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2000.

OSKO, J.; PIERLEJWKA, W.; GREMBECKA, M. Comparação da potencial bioacessibilidade relativa de suplementos de zinco — estudos in vitro. **National library of medicine**, [S.l.], v. 15, n. 12, p. 2813, 2023.

OZKARAKAYA, I.S.; BINNAZ, C.; KARAKUKCU, C. TORUN U.A.T. Effect of zinc supplementation on hemogram parameters and circulating concentrations of homocysteine, vitamin B12, and folate in zinc-deficient children and adolescentes. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, [S.l.], n. 65, p. 126724, 2021.

PETRY, M.T., DE MARCO, R., MARTINS, J.D., MARTINS, C.R. Manejo de Irrigação. *In:* MARTINS, C.R.; LAZAROTTO, M.; MALGARIM, M.B. **Nogueira-pecã: cultivo, benefícios e perspectivas.** Brasília: Embrapa, 2024. p. 207-228.

R CORE TEAM. **Sistema R: A Language and Environment for Statistical Computing.** EUA: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 10 dez. 2024.

REIGER, M. **Pecan – *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.** Georgia: University of Georgia, 2004. Disponível em: http://www.uga.edu/fruit%20/pecã.htm. Acesso em: 20 abr. 2025.

RODRIGUES, A.C. STROHER, G.L. SOUZA, A.H.P.; BITTENCOURT, P.R.S.; COSTA, M.B.; FLORES, E.L.M; GOHARA, A.K.; STROHER, G.R./ MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E. **Quantificação de Selênio e Zinco em frutos oleaginosos.** 52º Congresso Brasileiro de Química. Recife –PE. 2012.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

ROVANI, F. F. M. **Zoneamento de risco climático do cultivo da nogueira pecã (*Carya illinoinensis*) para o Rio Grande do Sul**. 2016. 232 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SACRAMENTO, L.V.S. **Absorção foliar, radicular e translocação de zinco em cafeeiro (Coffea arabica L.).** 1998. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

SOUZA, A.O. **Determinação da concentração total e bioacessível de metais em amostras de ceral matinal e infantil**. 2018. 131f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Zinco no solo. *In:* SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais [...]** Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1988. p. 295-299.

SPARKS, D. Apparent effect of zinc treatment on the growth-rate of pecan production and yield. **Hortscience**, [S.l.], v. 22, p. 899-901, 1992.

STEWART, C. P. Antenatal supplementation with folic acid+iron+zinc improves linear growth and reduces peripheral adiposity in school – age children in rural Nepal. **Am J Clin Nutr.,** [S.l.], v. 90, n. 1, p. 132-140, jul. 2009.

STOREY, J.B., SMITH, P.W., WESTFALL, J.D., HANNA, W.G. **A new method to increase absorption by pecan leaves.** [S.l.]: The Pecan Quarterly, 1973.

STOREY, J.B.; WESTFALL, P.N.; SMITH, M.W. Why do pecans need zinc?. **Pecan Quarterly**, [S.l.], v. 13, 1979.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS – UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: Nepa-Unicamp. 2006.

VIZZOTTO, M.; CAMARGO, T.M.; VINHOLES, J. RAPHAELLI, C. O.; PEREIRA, E.S. Composição química e relevância para saúde. *In:* MARTINS, C.R.; LAZAROTTO, M.; MALGARIM, M.B. **Nogueira-pecã: cultivo, benefícios e perspectivas.** Brasília: Embrapa, 2024. p. 400-411.

WEELS, L. **Southeastern pecan growers' handbook**. Georgia: University of Georgia, 2013.

WOOD, B. W.; CONNER, P. J.; WORLEY, R. E. Insight into alternate bearing of pecan. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 636, p. 617-629, 2004.



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09