UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

ÉDLEN DOS SANTOS BONELÁ

PRÉ-MELHORAMENTO DA AMENDOEIRA PARA AS CONDIÇÕES DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

São Mateus – ES
Fevereiro de 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

PRÉ-MELHORAMENTO DA AMENDOEIRA PARA AS CONDIÇÕES DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

ÉDLEN DOS SANTOS BONELÁ

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Edilson Romais Schmildt

São Mateus – ES

Fevereiro de 2025

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Bonelá, Édlen dos Santos, 1997-
B712p Pré-melhoramento da amendoeira para as condições do norte do Espírito Santo / Édlen dos Santos Bonelá. - 2025.
84 f. : il.

Orientador: Edilson Romais Schmildt.
Coorientador: Marcio Paulo Czepak.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Seleção de plantas. 2. Agricultura. 3. Cultivos agrícolas tropicais. I. Schmildt, Edilson Romais. II. Czepak, Marcio Paulo. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

ÉDLEN DOS SANTOS BONELÁ

PRÉ-MELHORAMENTO DA AMENDOEIRA PARA AS CONDIÇÕES DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Edilson Romais Schmildt
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Jalille Amim Altoé

Profa. Dra. Jalille Amim Altoé
Universidade Federal do Espírito Santo

Omar Schmildt

Prof. Dr. Omar Schmildt
Secretaria de Estado da Educação/ES

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.

Eclesiastes 3:1

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Evanildo Pessanha Bonelá (*in memoriam*) e Dulcinéia Correia dos Santos, que sempre trabalharam muito para proporcionar o melhor à nossa família. Vocês são meu maior exemplo de força, resiliência e dedicação, e essa conquista é reflexo de tudo o que aprendi com vocês.

À minha irmã, Ellen dos Santos Bonelá, por todo amor, alegria e apoio incondicional. Sua presença me inspira e torna tudo mais leve e possível.

Aos meus sobrinhos Thayla Oliveira da Cunha, Miguel Oliveira da Cunha e Melina Bonelá Paixão dos Santos, que renovam em mim a capacidade de aprender todos os dias e de ver o mundo com mais leveza.

Ao meu marido, Francisco da Silva Cunha, por ser meu companheiro de jornada, por me incentivar em minhas decisões e abraçar meus sonhos como se fossem seus. Seu apoio é fundamental em cada passo que dou.

Aos meus amigos, que tornaram essa caminhada menos preocupante e mais especial, mesmo nos momentos desafiadores. Por cada conversa, café compartilhado, dias de estudo e correria, obrigada. As conquistas são melhores quando divididas com quem nos quer bem.

Ao meu orientador, Edilson Romais Schmildt, por todas as vezes que disse “você dá conta”, mesmo quando eu não acreditava. Agradeço profundamente por confiar no meu trabalho e por me orientar com profissionalismo e dedicação.

À Universidade Federal do Espírito Santo pela infraestrutura, suporte acadêmico e por proporcionar bons ambientes de aprendizado e pesquisa, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa, que possibilitou a realização deste estudo e de outros trabalhos.

Aos professores que contribuíram para a minha formação. Cada um de vocês faz parte da construção de tudo o que sou como aluna e profissional.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....vii
ABSTRACT.....x
1. CAPÍTULOS.....1
1.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A CULTURA DA AMENDOEIRA: TENDÊNCIAS, COLABORAÇÃO E IMPACTO 2
Resumo.....2
Abstract 3
1.1.1 Introdução 3
1.1.2 Material e Métodos.....5
1.1.3 Resultados e Discussão.....7
1.1.3.1 Tendências nas publicações científicas 7
1.1.3.2 Colaboração e coautoria entre países 9
1.1.3.3 Colaboração e coautoria entre instituições 12
1.1.3.4 Produções científicas de maior relevância 13
1.1.3.5 Contribuição científica e colaboração entre autores.....16
1.1.3.6 Rede de conexão entre palavras 19
1.1.4 Conclusões 22
Referências 23
1.2 UTILIZAÇÃO DO ‘OKINAWA’ COMO PORTA-ENXERTO DE AMENDOEIRA NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO 26
Resumo.....26
Abstract 27
1.2.1 Introdução 27

1.2.2 Material e Métodos.....29
1.2.3 Resultados e Discussão.....31
1.2.4 Conclusões 35
Referências 35
1.3 MODELAGEM DE ÁREA FOLIAR DE AMENDOEIRA CLONE '70' 37
Resumo.....38
Abstract 39
1.3.1 Introdução 40
1.3.2 Material e Métodos.....41
1.3.3 Resultados e Discussão.....43
1.3.4 Conclusões 46
Referências 46
1.4 DIVERSIDADE GENÉTICA EM AMENDOEIRA (*Prunus dulcis*) NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO 49
Resumo.....49
Abstract 50
1.4.1 Introdução 51
1.4.2 Material e Métodos.....52
1.4.3 Resultados e Discussão.....54
1.4.4 Conclusões 65
Referências 65
Apêndices.....69

RESUMO

BONELÁ, Édlen dos Santos; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2025; **Pré-melhoramento da amendoeira para as condições do norte do Espírito Santo**; Orientador: Edilson Romais Schmildt; Coorientador: Marcio Paulo Czepak.

A amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) é uma cultura de grande importância econômica e alimentar em diversas regiões do mundo, mas seu cultivo ainda é inexplorado no Brasil. Para viabilizar sua introdução e expansão, o pré-melhoramento torna-se uma ferramenta essencial, pois permite identificar genes ou características favoráveis em materiais genéticos ainda não adaptados, semi-adaptados ou sem histórico de seleção. Neste contexto, objetivou-se, através deste trabalho, realizar o pré-melhoramento da amendoeira, caracterizando a cultura e avaliando seu comportamento em condições tropicais do norte do Espírito Santo, com ênfase na adaptação e no desempenho de plantas propagadas por diferentes métodos. O trabalho está estruturado em quatro capítulos que abordam diferentes perspectivas dessa pesquisa. O capítulo 1 apresenta uma análise bibliométrica da produção científica sobre a cultura da amendoeira, utilizando a plataforma *Scopus* para identificar tendências de pesquisa, os principais países produtores e as áreas de maior foco científico. A análise de 1.160 artigos publicados entre 2003 e 2023 revelou a predominância de publicações da Espanha, Estados Unidos, Irã, Itália e Turquia. A análise de palavras-chave revelou temas-chave, incluindo genética, melhoramento e

estresse hídrico. A análise bibliométrica mostrou-se uma ferramenta quantitativa eficaz para compreender a situação da pesquisa científica relacionada à cultura da amendoeira, proporcionando referências de pesquisas na área. No capítulo 2, foi avaliada a adaptação da amendoeira ao clima tropical por meio de diferentes métodos de propagação, sendo seminífera 1 (mudas de amendoeira obtidas por sementes), seminífera 2 (mudas obtidas por semente, com retirada dos ramos laterais) e enxertia (ramos da seminífera 2 enxertadas no porta-enxerto ‘Okinawa’). Os resultados mostraram que as plantas propagadas por enxertia apresentaram melhores índices de sobrevivência, altura e diâmetro do caule, evidenciando que o uso do porta-enxerto ‘Okinawa’ foi eficaz na adaptação da amendoeira ao clima tropical. No capítulo 3, realizou-se a modelagem da área foliar do clone ‘70’ de amendoeira. Para isso, foram ajustadas e comparadas 12 equações matemáticas (linear, quadrática, potência e exponencial) para estimar a área foliar com base nas dimensões foliares de comprimento (C), largura (L) e o produto do comprimento pela largura (CL), utilizando o software R. A equação quadrática, em função do produto comprimento por largura apresentou o melhor ajuste, sendo validada pela raiz do quadrado médio do erro (RQME) e erro absoluto médio (EAM) mais próximos de zero e índice de concordância de Willmott (d) mais próximo da unidade, sendo a equação dada por $\mathrm{AFE} = 0{,}0865 + 0{,}6517CL + 0{,}0015CL^2$. No capítulo 4, foi avaliada a diversidade genética de amendoeiras no norte do Espírito Santo, considerando os efeitos da propagação vegetativa por clonagem e da propagação por sementes no desenvolvimento das plantas e sua resistência a doenças. Foram analisados 226 indivíduos, sendo 64 clonados e 162 originados de sementes, dos quais foram mensuradas variáveis como número de brotos, número de brotos acima dos 100 cm, altura e diâmetro do caule, e incidência e severidade da doença "furo de bala". Foram estimados como parâmetros genéticos a variância ambiental, coeficiente de variação experimental, variância fenotípica, variância genética, herdabilidade no sentido amplo, coeficiente de variação genético e índice de variação. A análise permitiu identificar genótipos com maior porte e menor suscetibilidade a doenças, destacando sua aptidão para propagação e utilização em programas de melhoramento da cultura. Por meio dos estudos de pré-melhoramento, foi possível confirmar a viabilidade do cultivo da amendoeira e sua adaptação ao clima tropical do norte do Espírito Santo, especialmente com o uso do porta-enxerto ‘Okinawa’. Esses resultados representam um passo inicial na seleção

de genótipos adaptados, abrindo caminho para futuras pesquisas da amendoeira no Brasil.

Palavras-chave: *Prunus dulcis*, Clima tropical, Enxertia, Propagação, Ajuste de equações, Adaptação.

ABSTRACT

BONELÁ, Édlen dos Santos; M.Sc.; Federal University of Espírito Santo; February 2025; **Pre-breeding of almond trees for the conditions of northern Espírito Santo**; Advisor: Edilson Romais Schmildt; Co-advisor: Marcio Paulo Czepak.

The almond tree (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) is a crop of great economic and food relevance in various regions of the world, especially in Mediterranean climate regions. In Brazil, despite its global importance, commercial almond tree cultivation has not yet been registered. The objective of this study was to carry out the preliminary improvement of the almond tree, through investigations that characterize the crop and assess its behavior in tropical conditions in the north of Espírito Santo, with a focus on the adaptation and performance of plants propagated by different methods. The work is structured into four chapters that address different perspectives of this research. Chapter 1 presents a bibliometric analysis of the scientific production on almond tree cultivation, using the Scopus platform to identify research trends, leading producing countries, and the areas of greatest scientific focus. The analysis of 1,160 articles published between 2003 and 2023 revealed the predominance of publications from Spain, the United States, Iran, Italy, and Turkey. The keyword analysis revealed key themes, including genetics, breeding, and water stress. The bibliometric analysis proved to be an effective quantitative tool for understanding the status of scientific research related to almond tree cultivation, providing insights and references for research in the field. In Chapter 2, the adaptation of the almond tree to the tropical climate was evaluated through different propagation methods: seminiferous 1 (almond

seedlings obtained from seeds), seminiferous 2 (seedlings obtained from seeds with lateral branches removed), and grafting (branches from seminiferous 2 grafted onto the 'Okinawa' rootstock). The results showed that plants propagated by grafting presented better survival rates, height, and stem diameter, highlighting that the use of the 'Okinawa' rootstock was effective in adapting the almond tree to the tropical climate. Chapter 3 addressed the modeling of the leaf area of the '70' almond tree clone, aiming to understand the plant's physiological performance. Twelve mathematical equations (linear, quadratic, power, and exponential) were adjusted and compared to estimate the leaf area based on the leaf dimensions: length (L), width (W), and the product of length and width (LW), using the R software. The quadratic equation, based on the product of length and width, presented the best fit, validated by the root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) closest to zero, and the Willmott agreement index (d) closest to one, with the equation given by $LAE = 0.0865 + 0.6517LW + 0.0015LW^2$. In Chapter 4, the genetic diversity of almond trees in the northern Espírito Santo was evaluated, considering the effects of vegetative propagation through cloning and seed propagation on plant development and disease resistance. A total of 226 individuals were analyzed, including 64 cloned and 162 seed-derived plants. Variables such as the number of shoots, the number of shoots above 100 cm, height, stem diameter, and the incidence and severity of the "bullet hole" disease were measured. Genetic parameters estimated included environmental variance, experimental coefficient of variation, phenotypic variance, genetic variance, broad-sense heritability, genetic coefficient of variation, and variation index. The analysis allowed for the identification of genotypes with greater size and lower disease susceptibility, highlighting their suitability for propagation and use in breeding programs. Through pre-breeding studies, the viability of almond cultivation and its adaptation to the tropical climate of northern Espírito Santo was confirmed, particularly with the use of the ‘Okinawa’ rootstock. These results represent an initial step in the selection of adapted genotypes, paving the way for future research of almond cultivation in Brazil.

Keywords: *Prunus dulcis*, Tropical climate, Grafting, Propagation, Equation fitting, Adaptation.

1. CAPÍTULOS

1.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A CULTURA DA AMENDOEIRA: TENDÊNCIAS, COLABORAÇÃO E IMPACTO

“Preparado com base nas normas do periódico Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE”

Resumo

A análise bibliométrica é uma ferramenta essencial para compreender a evolução e as tendências da produção científica em determinada área do conhecimento. No contexto da cultura da amendoeira, essa abordagem permite identificar os avanços em pesquisa ao longo do tempo. Assim, este estudo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica abrangente sobre a produção científica relacionada à amendoeira no período de 2003 a 2023, com foco na investigação, desenvolvimento, inovação e disseminação de tecnologias. Por meio da plataforma Scopus, foram identificados 1.160 artigos relevantes, utilizando como palavras-chave: *Prunus dulcis*; Almond; Almendro; Amêndoa; Agricult; Nutrition; Phytosanitary; Genetic; Improvement; Irrigat; Breed; Genotype; e Cultivar. O maior número de publicações é liderado pela Espanha, seguido dos Estados Unidos da América, Irã, Itália e Turquia. Esses países, que também se destacam como importantes produtores mundiais de amêndoas, estabeleceram conexões sólidas entre autores, universidades e as palavras-chave mencionadas. Conclui-se que a análise bibliométrica demonstra ser uma ferramenta quantitativa eficaz para compreender o estado da pesquisa científica relacionada à cultura da amendoeira. Além disso, essa abordagem oferece um conjunto de conhecimentos e referências para pesquisadores que atuam na mesma área, servindo como base para orientar futuras investigações e promover avanços neste campo.

Palavras-chave: Bibliometria; *Prunus dulcis*; Agricultura.

Abstract

Bibliometric analysis is an essential tool for understanding the evolution and trends of scientific production in a given field of knowledge. In the context of almond cultivation, this approach allows for the identification of research advances over time. Thus, this study aims to conduct a comprehensive bibliometric analysis of scientific production related to almonds from 2003 to 2023, focusing on research, development, innovation, and technology dissemination. 1160 articles were found that had as main keywords: *Prunus dulcis*, almond, almond, agricult, almond, among others. The largest number of publications is led by Spain, followed by the United States of America, Iran, Italy and Turkey. These countries, recognized as important world producers of almonds, established a solid interaction between authors, universities and keywords. It is concluded that the bibliometric analysis is an effective quantitative tool for understanding the situation of scientific research related to the almond tree culture, providing knowledge and research references in the same area.

Keywords: Bibliometrics; *Prunus dulcis*; Agriculture.

1.1.1 Introdução

A cultura da amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A Webb.) possui grande valor e importância comercial devido às suas qualidades nutricionais benéficas (Guimarães et al., 2023). Originária do Mediterrâneo, essa árvore foi uma das primeiras a ser domesticada para a produção de nozes (Hamadeh et al., 2018).

O aumento global das plantações de amêndoas tem sido impulsionado pelo crescente reconhecimento e divulgação de seus benefícios (Míras-Avalos et al., 2023). Os Estados Unidos da América lideram a produção mundial de amêndoas, seguidos pela Espanha e Austrália, desempenhando um papel significativo nesse mercado em expansão (Canton, 2021).

A produção e comercialização de frutos desempenham papel essencial na economia, impulsionando renda e qualidade de vida das famílias na fruticultura. No Brasil, a área cultivada de frutas vem crescendo devido à modernização e gestão

aprimorada das propriedades rurais, com tecnologias de baixo impacto ambiental. Essas medidas atendem às demandas do mercado consumidor (Fachinello et al., 2011).

A produção e rentabilidade da amendoeira dependem fortemente da irrigação, especialmente em regiões como o Mediterrâneo, onde há pouca chuva e alta evaporação (Vivaldi et al., 2021). Embora haja uma grande diversidade de variedades de amêndoas no Mediterrâneo, a produção atual é dominada por algumas poucas variedades comerciais (Fernandes de Oliveira et al., 2023).

No Centro Universitário Norte do Espírito Santo, localizado em São Mateus-ES (Ceunes), pesquisadores têm se dedicado à introdução do cultivo da amendoeira no país, visto não existir produção comercial no Brasil de acordo com dados do IBGE (2022) e da FAO (2021). Esse empreendimento requer uma compreensão abrangente dos estudos e pesquisas nas áreas de melhoramento genético, fitotecnia, irrigação e manejo fitossanitário.

A bibliometria, termo introduzido por Pritchard em 1969, desempenha um papel importante na análise das tendências de pesquisa em diversas áreas de estudo. É frequentemente utilizada para analisar a literatura científica sobre um tema específico, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos avanços e desenvolvimentos nesse campo (Zhang et al., 2017).

A revisão bibliométrica tem se mostrado uma ferramenta eficaz para analisar as tendências de pesquisa na área das Ciências Agrárias. Por meio dessa abordagem, é possível examinar de forma sistemática e quantitativa a produção científica relacionada a um determinado tema, identificando autores relevantes, periódicos de destaque, principais áreas de pesquisa e evolução temporal dos estudos (Moraes et al., 2023).

Estudos bibliométricos têm sido conduzidos na área de ciências agrárias, destacando sua relevância ao identificar tendências emergentes como novos temas de pesquisa ou áreas de foco em crescimento. Nascimento et al. (2022) avaliaram a cafeicultura ao longo de 20 anos (2002-2022), enquanto Rasera et al. (2023) fizeram uma análise sobre mudanças climáticas e citricultura em um período de 30 anos (1992-2022). Revisões bibliométricas específicas foram realizadas para o abacaxizeiro por Villalobos et al. (2023) e para a mangueira por Tirado- Kulieva et al. (2022). No entanto, não foram encontrados estudos bibliométricos na cultura da

amendoeira, indicando uma oportunidade para futuras pesquisas explorarem essa área.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi identificar, a partir do banco de dados Scopus, a evolução das pesquisas científicas na cultura da amendoeira no período de 2003 a 2023, com foco na pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologias.

1.1.2 Material e Métodos

A pesquisa bibliométrica adotou como fonte de dados a plataforma Scopus, por permitir uma busca mais completa e exclusiva por autor como constatado por Moraes et al. (2023). Por ter como objetivo a reunião das pesquisas já realizadas com a amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A Webb.) na área das ciências agrárias e biológicas, o uso do Scopus permitiu um melhor refinamento das informações obtidas, bem como sua organização, visto que é a principal fonte de avaliação da produção científica mundial (Moraes et al., 2023).

Os termos usados na pesquisa foram filtrados até que fosse possível garantir a reunião de uma coletânea de informações sobre *Prunus dulcis* que contemplassem as áreas de interesse do trabalho, sendo assim, as palavras usadas foram: *Prunus dulcis*; Almond; Almendro; Amêndoa; Agricult; Nutrition; Phytosanitary; Genetic; Improvement; Irrigat; Breed; Genotype; e Cultivar. Essas foram dispostas de acordo com a ordem dos operadores booleanos “AND” e “OR”. Além disso, houve também uma limitação dos resultados a subárea “Agro” e a opção “EXACTKEYWORD” foi acionada, esta torna obrigatória a presença do termo “*Prunus dulcis”*, ambos por meio do código AND (LIMIT-TO [SUBAREA, “AGRI”]) AND (LIMIT-TO [EXACTKEYWORD, “*Prunus Dulcis*”]), assim como o ano de publicação, que foi restringido a um período maior que 2002 e menor que 2024, ou seja, 2003 a 2023.

Considerando que a coleta das informações foi feita no mês de julho de 2023, a pesquisa ainda foi capaz de abranger as publicações do primeiro semestre de 2023.

Desse modo, a partir dos fundamentos da pesquisa bibliométrica admitiu-se como base a sequência lógica: obtenção de dados; extração dos dados; organização; visualização; e análise dos gráficos gerados. Para a identificação e organização dos dados obtidos foi usado o *software* Bibliométrico VOSviewer (VOSviewer, 2023). Este *software* é capaz de organizar os dados fornecidos de acordo com possíveis conexões

que possam existir. Assim, os dados obtidos a partir do Scopus foram transferidos para o VOSviewer, onde foi feito um ranqueamento dos termos conforme a seleção anterior e a partir dos *clusters* gerados pelo *software* foram realizadas análises. Também foram gerados gráficos e mapas organizacionais de acordo com as conexões identificadas.

Os mapas gerados pelo VOSviewer apresentam esferas de diferentes tamanhos, em que, quanto maior a esfera, mais relevância o item possui dentro do tema analisado. Além disso, a variação das cores nesses mapas indica a qual item eles pertencem, bem como a presença de linhas que indicam as conexões entre os itens, onde a espessura das linhas aponta o quão forte a conexão é, quanto mais grossa maior a conexão. Outro aspecto analisado nos mapas é a distância entre os itens, que aponta a proximidade que existe entre eles.

Dessa forma, os mapas e gráficos gerados e analisados a partir do VOSviewer referiam-se às seguintes informações dentro do período de 20 anos (2003-2023): tendências nas publicações científicas; colaboração e coautoria entre países; colaboração e coautoria entre instituições; produções científicas de maior relevância; contribuição científica e colaboração entre autores; e rede de conexão entre palavras. As análises de conexão entre países e de autores foram feitas por coautoria, enquanto as análises de palavras-chave foram feitas por coocorrência, com número mínimo de limiar de ocorrência igual a 10 e 50 (Figura 1).

Processo Analítico	
Base de dados	Acesso a base de dados Scopus
Termos	Escolha das palavras de maior impacto para a filtragem de arquivos relacionados, no título, resumo e palavras-chave
Delimitações	Delimitação dos termos selecionados de acordo com o ano e área do conhecimento (ano de publicação de 2002 - 2024 e Agriculture - AGRI)
Organização	Organização dos dados em planilhas e download em formato que seja compatível com o Software VOSviewer (RIS)
Processamento	Importação dos dados para o Software VOSviewer para tratamento dos dados e geração de gráficos e clusters
Análises	Analise e interpretação dos gráficos e clusters gerados (número de publicações; contribuição entre países; citações por países; contribuição entre os países, instituições, ranking das instituições com mais publicações; ranking dos artigos mais citados; entre outros)

Figura 1. Resumo esquemático da metodologia utilizada.

1.1.3 Resultados e Discussão

1.1.3.1 Tendências nas publicações científicas

A análise bibliométrica revelou um total de 1.160 artigos que abordam a evolução das pesquisas científicas sobre a cultura da amendoeira no período de 2003 ao primeiro semestre de 2023, com uma média de 87,6 publicações por período (Figura 2). Observa-se que o número de pesquisas no ramo caiu nos últimos anos, chegando a 30 em 2022.

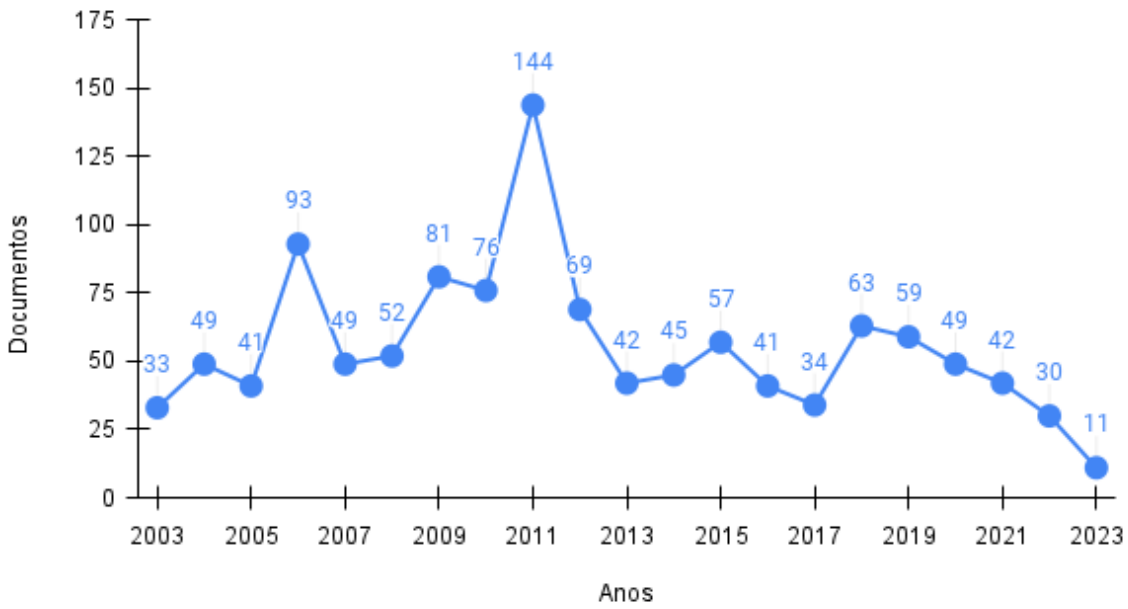


Figura 2. Evolução do Número de Publicações de pesquisas científicas sobre *Prunus dulcis* em 20 anos.

A primeira publicação na base de dados do periódico, no período selecionado de 20 anos, foi realizada por Channuntapipat et al. (2003), que trabalha na área de cultivo *in vitro* pela The University of Adelaide (Austrália). O documento, que tem como título “Changes in methylation and structure of DNA from almond tissues during *in vitro* culture and cryopreservation”, aborda a criopreservação como método de armazenamento a longo prazo de germoplasma de amêndoa, considerando que alterações na metilação e estrutura do DNA precisam ser monitoradas em plantas regeneradas.

O último documento foi publicado pelo autor Mirás-Avalos et al. (2023) do Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (Espanha), intitulado “Quantitative analysis of almond yield response to irrigation regimes in Mediterranean Spain”. O artigo analisa, quantitativamente, a resposta agronômica das plantações de amêndoas adultas cultivadas na Espanha sob diferentes níveis de stress hídrico, a partir de um banco de dados composto por estudos previamente realizados e publicados. A irrigação é amplamente estudada na Espanha, uma vez que a água é o principal fator limitante de produção em determinadas áreas. A maioria (92,2%) dos pomares espanhóis de amendoeiras não são irrigados, resultando em produtividades muito baixas (Gradziel et al., 2017).

Em 2011, comparado a outros anos, houve um notável aumento nas publicações científicas relacionadas à cultura da amendoeira, sendo um período marcado por uma diversidade de tópicos de pesquisa. Estudos investigaram a influência da matriz genética na caracterização morfológica de cultivares tradicionais de amêndoa, destacando a importância da diversidade genética na descoberta de materiais potenciais para o melhoramento da cultura e desenvolvimento de porta-enxertos. Nikoumanesh et al. (2011), por exemplo, investigaram a variabilidade de um programa de melhoramento genético de porta-enxertos, a diversidade genética e as relações entre 55 genótipos de amêndoas iranianas e sete espécies relacionadas de *Prunus,* por meio de análises morfológicas e moleculares. Os autores identificaram materiais vegetais importantes para o melhoramento de porta-enxertos de amendoeira na coleção estudada.

O estresse hídrico e o manejo do solo também foram amplamente abordados. Diversos estudos investigaram a resposta de diferentes genótipos de amêndoas ao estresse hídrico, buscando identificar variedades resistentes à seca para melhorar a produção em condições adversas. Simultaneamente, estudos sobre as respostas do solo a diferentes práticas de manejo foram conduzidos, a exemplo do trabalho de Ramos et al. (2011), que examina o efeito de diferentes sistemas de manejo nas propriedades físicas, químicas e bioquímicas do solo de pomares de amendoeiras de sequeiro no sudeste da Espanha.

A autoincompatibilidade, tema comum quando se trata de amendoeiras, também foi muito abordada nesse período. Sharafi et al. (2011) identificaram padrões de alelos S em 25 genótipos de amêndoas obtidos em diferentes regiões geográficas do Leste do Azarbaijão, Irã. Kodad et al. (2011), em estudo sobre a expressão de

autoincompatibilidade, afirma que a presença de cultivares possuindo um alelo Sf ativo indica que o gene Sf pode não ser a fonte exclusiva de autocompatibilidade em amêndoa e que, provavelmente, uma alteração a montante da sequência codificadora ou de alguns genes modificadores deve contribuir para sua expressão.

1.1.3.2 Colaboração e coautoria entre países

A Figura 3 mostra os 15 países ou territórios que mais publicaram entre os anos de 2003 a 2023, com destaque para Espanha (424 documentos), Estados Unidos (273 documentos), Irã (153 documentos), Itália (93 documentos) e Turquia (56 documentos).

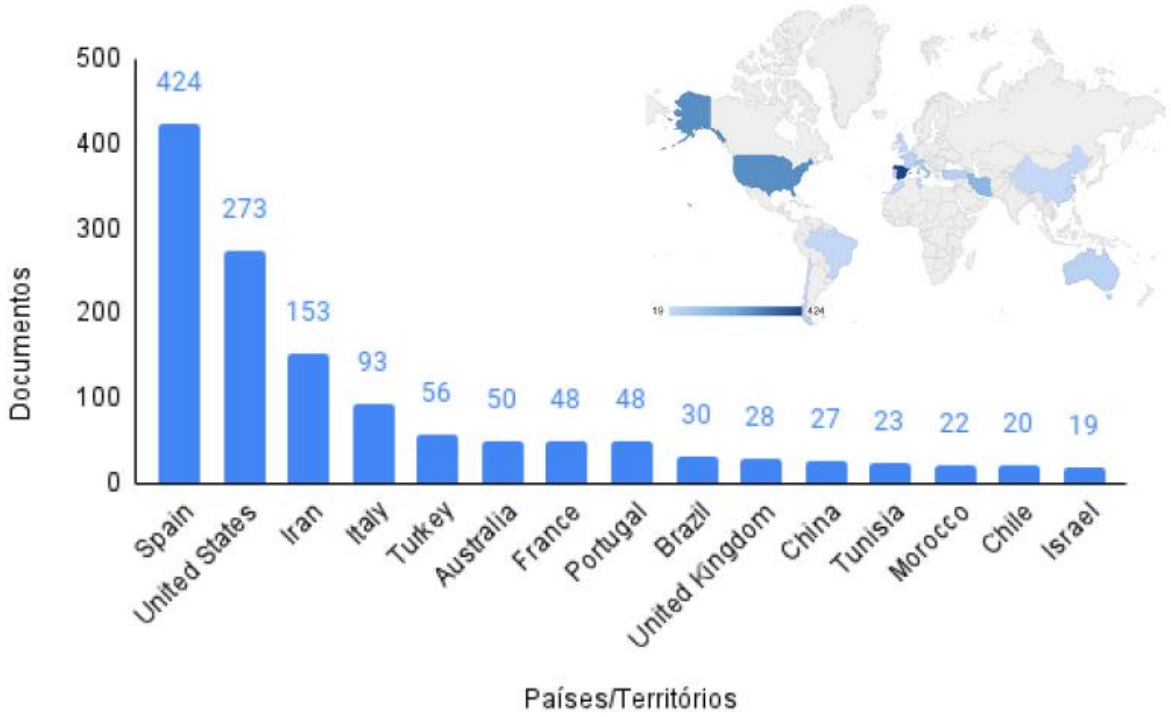


Figura 3. Ranking dos 15 países ou territórios que mais publicaram no período de 2003 a 2023.

A liderança desses países no *ranking* de produções científicas é justificável, uma vez que também têm importante contribuição na produção e área plantada. Segundo dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), durante a última década, registrou-se um aumento notável na produção mundial de amêndoas, atingindo 3.993.998 toneladas em 2021 (FAO, 2023).

Entre os anos de 2003 a 2021 os Estados Unidos e a Espanha foram os dois maiores produtores mundiais de amêndoas. Essa posição se mantém, segundo o

senso de 2021 da FAO, no qual os Estados Unidos ocupam o primeiro lugar em produção, seguido da Espanha, Austrália, Síria, Turquia e Marrocos.

No *ranking*, o Brasil aparece em 9º lugar, com 30 artigos publicados. Dentre os 30, não foram encontrados trabalhos que tratam estritamente do cultivo de amendoeiras no Brasil. Grande parte dos artigos fazem comparações entre algumas castanhas encontradas no país (como macadâmia [*Macadamia integrifolia*] e baru [*Dipteryx alata*]) e citam "*Prunus dulcis"*, enquanto outros são parcerias de autores brasileiros com autores de outras instituições.

A análise de coautoria entre países (Figura 4) revela que os países que se destacam são aqueles com uma produção significativa de amêndoas e, consequentemente, uma forte presença nas publicações científicas. Entre esses países estão a Espanha, Estados Unidos, Irã, Itália e Austrália. Dessa forma, percebe-se que a produção expressiva de amêndoas nesses países pode ser um estímulo para a realização de estudos científicos abrangentes e de alta qualidade nessa área.

Nascimento (2022), em análise bibliométrica sobre o setor cafeeiro, verificou que o Brasil, Estados Unidos e França se destacam em números de publicações e citações. Segundo os autores, o destaque para os dois primeiros países se deve ao fato de que o Brasil é o maior exportador de café do mundo e os Estados Unidos um dos maiores importadores mundiais do grão, enquanto a França pertence ao grupo de importadores da via de comércio mundial de café. Assim, verifica-se a tendência existente entre a produtividade e sua relação com número de publicações, bem como o interesse na realização de pesquisas na área.

Pesquisando o termo "*Oryza sativa*" na plataforma Scopus, limitando os resultados ao período de 2003 a 2023, verifica-se que a China e a Índia são destaques em produções científicas no período. Segundo a FAO (2021), a China e a Índia ocupam o primeiro e segundo lugar, respectivamente, em produção de arroz, de acordo com o censo de 2021. O que corrobora com o fato de que os maiores interessados nas pesquisas sobre determinada cultura são, de fato, os que mais consomem ou produzem.

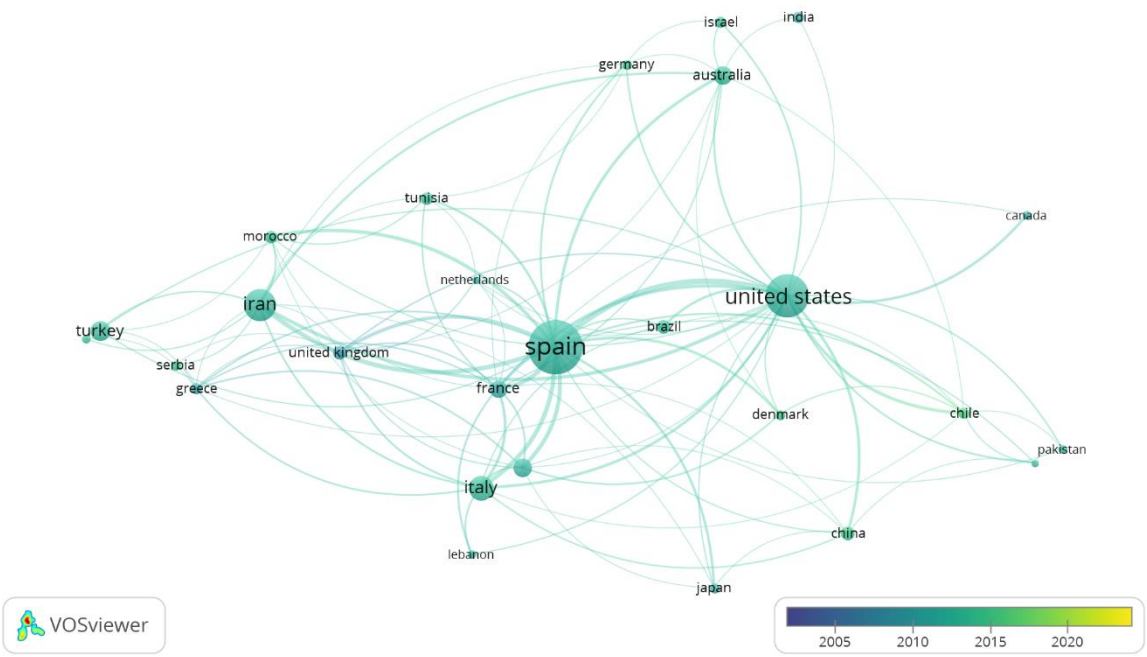


Figura 4. Rede de contribuição entre países durante os anos de 2003 a 2023.

Existem nos Estados Unidos, especialmente no estado da Califórnia, vários centros de pesquisa voltados à cultura da amêndoa, incluindo universidades e instituições agrícolas. Alguns exemplos incluem o University of California Cooperative Extension (UCCE), o Kearney Agricultural Research and Extension Center (KARE) e o Almond Board of California (ABC). Esses centros de pesquisa trabalham em estreita colaboração com os produtores para realizar estudos científicos e lidar com os desafios da cultura. De acordo com Chatterjee et al. (2019), no caso da UCCE, existem cerca de 1 mil conselheiros localizados em vários escritórios do condado e pesquisadores nos *campi* da Universidade da Califórnia em Berkeley, Davis e Riverside. Os orientadores e pesquisadores da instituição são envolvidos na criação de conhecimento na pesquisa básica e aplicada, bem como na divulgação para agricultores e pecuaristas.

O Conselho de Amêndoas da Califórnia (ABC) desempenha um papel crucial no mercado da amêndoa, com funções que incluem o financiamento da produção, pesquisa técnica e de mercado, publicidade e promoção de amêndoas, coleta e divulgação de dados, estimativas de safra e hectares plantados. Através do apoio da pesquisa de produção financiada pela ABC e do UCCE, os produtores têm obtido resultados positivos, aumentando os rendimentos e mantendo os preços atrativos para expandir as vendas (Socias i Company; Gradziel, 2017).

O ABC também teve participação na divulgação de informações de saúde apoiadas por pesquisas sobre amêndoas, fazendo com que houvesse um aumento da demanda impulsionado pelos benefícios para a saúde dessas nozes (Socias i Company; Gradziel, 2017).

Essa parceria entre o conselho e produtores tem sido fundamental para o avanço da cultura, permitindo que os produtores tenham acesso às melhores tecnologias e práticas agrícolas, resultando em um setor mais produtivo e competitivo.

1.1.3.3 Colaboração e coautoria entre instituições

A Figura 5 apresenta o *ranking* das dez instituições que mais publicaram durante o período de 2003 a 2023, totalizando 686 documentos. Essas instituições, listadas de A a J, contribuíram com 59,14% das publicações nesse período, enquanto outras 150 instituições não listadas foram responsáveis por 40,86% das publicações. Esses dados evidenciam o papel significativo das instituições listadas na produção científica sobre amendoeiras, destacando-as como líderes na área de pesquisa.

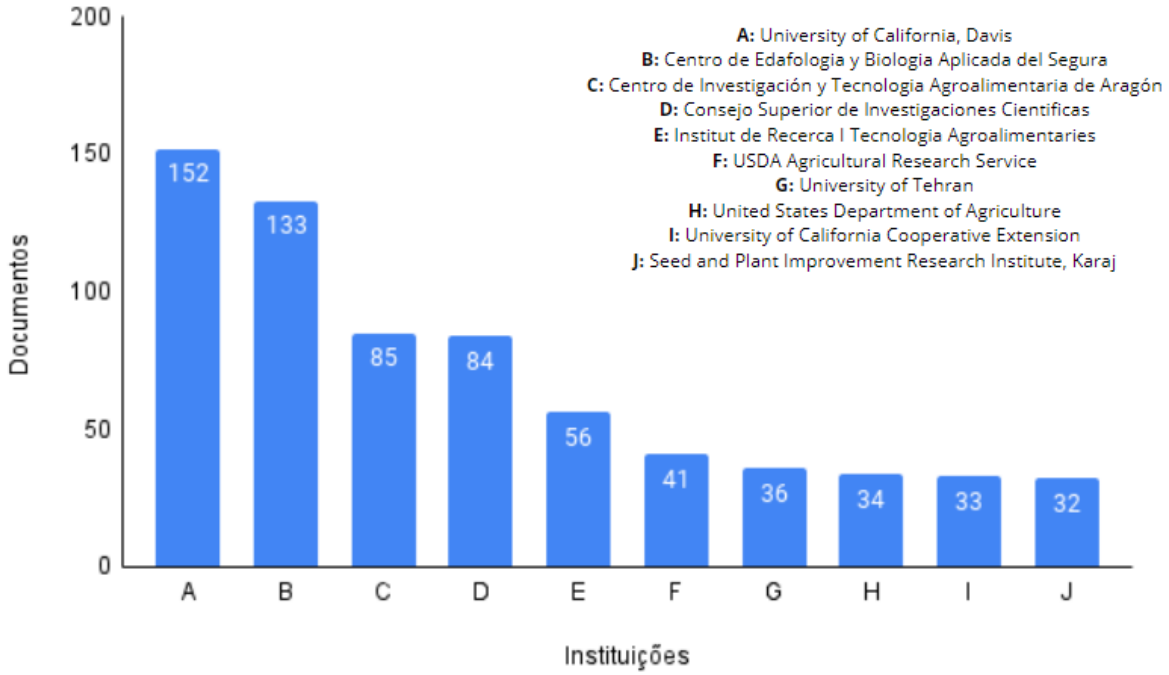


Figura 5. *Ranking* das 10 Instituições que mais publicaram no período de 2003 a 2023.

A presença no *ranking* indica que essas instituições possuem recursos, especialistas e infraestrutura adequados para impulsionar a pesquisa e contribuir com avanços significativos no conhecimento sobre a cultura da amêndoa. A liderança na produção científica sugere que essas instituições são referências e têm um impacto

significativo no campo, sendo reconhecidas pela comunidade acadêmica e pelos pesquisadores como fontes confiáveis de informações e contribuições relevantes no estudo das amendoeiras.

A University of California (Davis) é a primeira colocada no *ranking*, contando com 152 documentos publicados, o que representa cerca de 13% do total, seguida pelo Centro de Edafologia y Biologia Aplicada del Segura com 11,5% e Centro de Investigación y Tecnologia Agroalimentaria de Aragón com 7,3%.

A University of California, localizada nos Estados Unidos, abriga diversos departamentos e centros de pesquisa agrícola. O Departamento de Horticultura e o Departamento de Ciência dos Alimentos e Tecnologia de UC Davis têm programas e pesquisas relacionados à cultura da amêndoa. Segundo a base de dados da Scopus (2023), a Universidade conta com 42.836 documentos publicados na área de Ciências Agrárias e Biológicas, o que corresponde a 12,6% de suas contribuições totais na plataforma, ficando atrás apenas do número de publicações na área de Medicina (Scopus, 2023).

O Centro de Edafologia y Biologia Aplicada del Segura, localizado na Espanha, possui publicações em diversas áreas, sendo a área de Ciências Agrárias e Biológicas a principal. Na base de dados da Scopus (Scopus, 2023) conta com 3.521 documentos publicados, o que corresponde a 42,2% do número total de publicações. Também na Espanha, o Centro de Investigación y Tecnologia Agroalimentaria de Aragón possui o seu maior número de publicações na área de Ciências Agrárias e Biológicas, o que corresponde a 39,3%, com 1.673 documentos publicados (Scopus, 2023).

Dentre as instituições de pesquisa, o destaque dos Estados Unidos e da Espanha está associado a vários fatores. Ambos os países possuem uma produção significativa de amêndoas e uma longa tradição na cultura. Isso resultou na concentração de conhecimentos, recursos e experiência nessas regiões, o que, por sua vez, estimula o desenvolvimento de instituições de pesquisa líderes. Além disso, a colaboração ativa entre pesquisadores contribui para o avanço do conhecimento e a produção científica na área.

1.1.3.4 Produções científicas de maior relevância

No Quadro 1 estão dispostos os 10 documentos mais citados no período de 2003 a 2023.

Quadro 1. Ranking dos 10 artigos mais citados no período de 2003 a 2023.

Título do documento	Autores	Ano	Fonte	NC[1]
Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production	Ververis, C., et al.	2004	Industrial Crops and Products	527
Genetic stability of micropropagate almond plantlets, as assessed by RAPD and ISSR markers	Martins, M., et al.	2004	Industrial Crops and Products	284
Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services	Brittain, C., et al.	2013	Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences	284
Determination of flavonoids and phenolics and their distribution in almonds	Milbury, P. E., et al.	2006	Journal of Agricultural and Food Chemistry	239
Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties	Lobell, D. B., et al.	2006	Agricultural and Forest Meteorology	229
A set of simple-sequence repeat (SSR) markers covering the *Prunus* genome	Aranzana, M. J., et al.	2003	Theoretical and Applied Genetics	217
Xylella fastidiosa subspecies: *X. Fastidiosa* subsp *piercei*, subsp. nov., X. *Fastidiosa* subsp. *multiplex* subsp. nov., and X. F*astidiosa* subsp. *pauca* subsp. nov.	Schaad, N. W., et al.	2004	Systematic and Applied Microbiology	215
An international outbreak of salmonellosis associated with raw almonds contaminated with a rare phage type of *Salmonella enteritidis*	Isaacs, S., et al.	2005	Journal of Foods Protection	213
A review of composition studies of cultivated almonds: Macronutrients and micronutrients	Yada, S. et al.	2011	Journal of Food Composition and Analysis	201
Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of Almond skin extracts	Harrison, K., Were, L. M.	2007	Food Chemistry	181

[1] NC: Número de citações.

O primeiro artigo em destaque é de Ververis et al. (2004), que aborda dimensões das fibras e o teor de lignina e celulose de várias plantas não lenhosas

altamente produtivas, bem como resíduos agrícolas examinados para avaliar sua adequação para a produção de papel. Verificou-se que a oliveira (*Olea europea* L.) e a amendoeira (*Prunus dulcis*) apresentaram fibras relativamente curtas e grossas, produzindo os piores valores derivados entre todas as espécies examinadas.

O segundo artigo, que tem autoria de Martins et al. (2004), estuda a estabilidade genética dos brotos de amendoeira produzidos por ramificação axilar, avaliada por análise de DNA polimórfico. Os resultados indicam que as condições de cultivo são apropriadas para a propagação clonal de amendoeiras.

A publicação mais recente dentre as dez é de Brittain et al. (2013), que explora a eficácia da polinização das abelhas melíferas em pomares com comunidades de abelhas simples (apenas abelhas melíferas) e diversas (abelhas não *Apis* presentes). Os experimentos de campo mostraram que o aumento da diversidade de polinizadores pode aumentar sinergicamente o serviço de polinização, através de interações de espécies que alteram o comportamento e a qualidade funcional resultante de uma espécie polinizadora dominante.

Milbury et al. (2006) determinaram fenóis totais, flavonoides e ácidos fenólicos em cascas e grãos de amêndoas da Califórnia entre as principais variedades. Esses dados podem levar a uma melhor compreensão dos mecanismos de ação subjacentes à relação entre o consumo de amêndoas e os resultados relacionados com a saúde, bem como fornecer valores para amêndoas inteiras e escaldadas adequados para inclusão em bases de dados de nutrientes (Milbury et al., 2006).

Lobell et al. (2006) avaliam o impacto das mudanças climáticas no rendimento de seis culturas perenes, incluindo amêndoas, na Califórnia. Os autores sugerem que as mudanças climáticas podem exercer pressão descendente sobre os rendimentos dessas culturas até o ano de 2050.

Aranzana et al. (2003) estudaram um conjunto de 109 pares de *primers* microssatélites desenvolvidos para pêssego e cereja, na progênie F2 de amêndoa x pêssego. Gerou-se um conjunto de genotipagem útil como referência para impressão digital, *pedigree* e análise genética da espécie.

Schaad et al. (2004) investigam a taxonomia de cepas de *Xylella fastidiosa*, uma bactéria que afeta várias plantas, incluindo amendoeiras, propondo a classificação de diferentes táxons dentro dessa espécie. *Xylella fastidiosa* causa doenças em mais de 100 espécies de plantas, é classificada como uma única espécie, embora estudos genéticos apoiem vários táxons (Schaad et al., 2004).

Isaacs et. al. (2005) relatam um surto de *Salmonella enteritidis* relacionado ao consumo de amêndoas cruas, descrevendo como as investigações foram conduzidas para identificar a fonte da infecção. A identificação de amêndoas como fonte de um surto de origem alimentar é uma descoberta anteriormente não documentada, levando a um *recall* desse produto na América do Norte e a uma revisão das práticas atuais da indústria.

Yada et al. (2011) analisam a investigação global dos últimos 50 anos, que contribuiu para o conhecimento sobre a composição e caracterização dos macro e micronutrientes da amêndoa, especificamente os lipídios e ácidos graxos, proteínas e aminoácidos, hidratos de carbono, minerais e vitaminas. Foi relatada uma variabilidade considerável no conteúdo lipídico dentro e entre variedades comerciais e seleções de melhoramento.

Harrison e Were (2007) avaliam como a irradiação gama afeta o conteúdo fenólico e a atividade antioxidante da casca de amêndoas, destacando os efeitos benéficos da irradiação na melhoria da atividade antioxidante.

Dentre os apresentados, encontram-se autores dos Estados Unidos, Alemanha, Portugal, Espanha, Canadá e Grécia. Não há, portanto, concentração dessas pesquisas em um único país, nem mesmo a concentração em um tema específico, apesar de todos citarem "*Prunus dulcis"*. Além disso, verifica-se que as publicações, em sua maioria, concentram-se na primeira década de estudo, o que permite inferir que o grande número de citações tem relação com o período em que foram publicadas, ou seja, são publicações mais antigas.

1.1.3.5 Contribuição científica e colaboração entre autores

A Figura 6 mostra a análise de cocitação através de uma rede de autores conectados com no mínimo 50 cocitações no período de 2003 a 2023, gerando 220 resultados. Observa-se que esses autores são unidos em três *clusters* principais, amarelo, verde e azul, que agrupam os principais pesquisadores sobre a cultura da amêndoa no mundo.

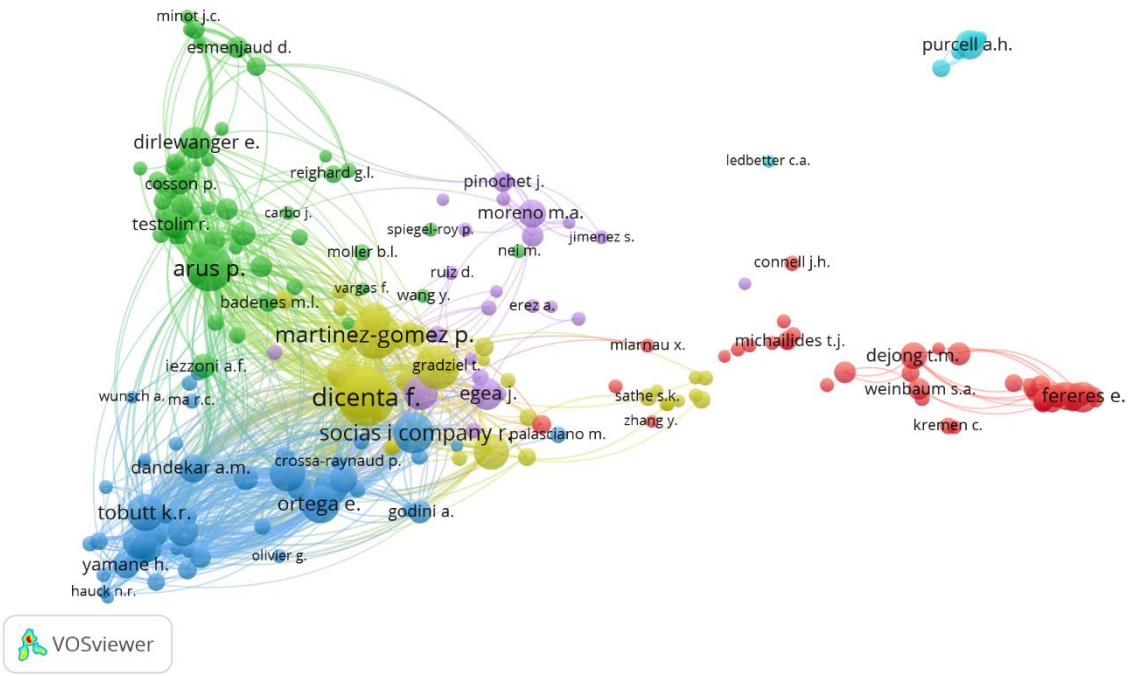


Figura 6. Rede de autores conectados com no mínimo nove documentos publicados e 40 cocitações de 2003 a 2023.

Estes *clusters* indicam a existência de grupos de pesquisadores que estão interconectados e possuem uma colaboração ativa entre si, podendo envolver a troca de informações, realização de estudos conjuntos e colaboração em projetos de pesquisa. Quanto maior a proximidade, maior a colaboração entre os autores.

Os pesquisadores que estão no centro desses *clusters* são considerados os principais no estudo da cultura da amêndoa, sendo altamente citados e com uma influência significativa na comunidade científica. Suas pesquisas abrangem diferentes aspectos do cultivo da amendoeira, desde genética e melhoramento de plantas até manejo de pragas, nutrição e tecnologias de produção.

Dicenta e Martínez-Gómez, por exemplo, estão no centro dos *clusters*, em amarelo. Ambos os autores estão vinculados ao Centro de Edafologia y Biología Aplicada del Segura (Espanha) e Consejo Superior de Investigaciones Científicas, com diversas publicações conjuntas. Dicenta já atuou na University of California (Estados Unidos), instituição onde o pesquisador Gradziel atua, o que pode explicar a rede de colaboração próxima entre esses autores. Dentre as instituições citadas, todas são instituições públicas da Espanha e dos Estados Unidos.

Na Figura 7 encontra-se o ranking dos dez autores que mais publicaram entre os anos de 2003 a 2023. O primeiro autor é Frederico Dicenta (Dicenta, F.), que tem

importantes contribuições nas áreas de Ciências Agrárias e Biológicas. Atualmente, faz parte da instituição que aparece em segundo lugar no ranking das dez instituições que mais publicaram no mesmo período (Figura 5). O segundo autor, Pedro Martínez-Gómez (Martínez-Gómez, P.), e o quarto autor, Encarnación Ortega (Ortega, E.), também atuam na mesma instituição.

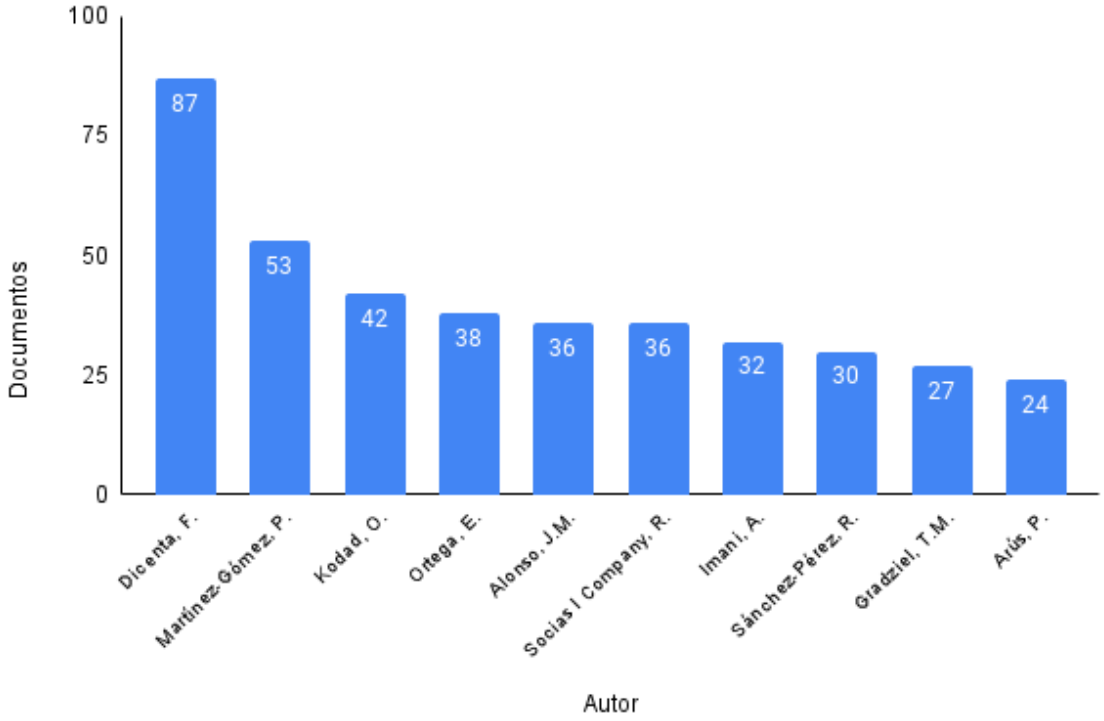


Figura 7. 10 autores que mais publicaram no período de 2003 a 2023.

A terceira posição é ocupada por Oussama Kodad (Kodad, O.), que faz parte Ecole Nationale d'Agriculture (Meknes, Morrocos), com publicações na área de Ciências Agrárias e Biológicas. Apesar da instituição não aparecer no *ranking* das dez que mais publicaram nos últimos 20 anos, é importante o interesse do Marrocos nas pesquisas, uma vez que o país é a quinta liderança na produção de amêndoas, com 169.255 toneladas produzidas no ano de 2021 (FAO, 2023).

A quinta posição é ocupada pelo José Manuel Alonso (Alonso, J. M.), que faz parte do Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. A instituição também faz parte do *ranking* das dez que mais produzem conhecimento científico sobre amêndoas (Figura 4).

1.1.3.6 Rede de conexão entre palavras

De acordo com Yu et al. (2017), os autores usam palavras-chave para indicar o tema e as ideias de seu estudo. A análise dessas palavras-chave pode ajudar a identificar e entender o desenvolvimento e as tendências de pesquisa em um campo ao longo do tempo.

Adicionalmente, segundo Moraes et al. (2023), as palavras-chave desempenham um papel fundamental na orientação dos principais temas abordados em um estudo, representando diretamente o conteúdo das publicações. Isso ressalta a importância de escolher e utilizar as palavras-chave de forma estratégica para comunicar eficazmente o escopo e os pontos-chave da pesquisa.

Na Figura 8 estão apresentadas as palavras-chave mais frequentes entre os anos de 2003 a 2023, com número mínimo de ocorrências limitado a 10, gerando 277 resultados. A proximidade e as ligações entre os círculos mostram a conexão dos termos-chave, revelando padrões e tendências na pesquisa científica.

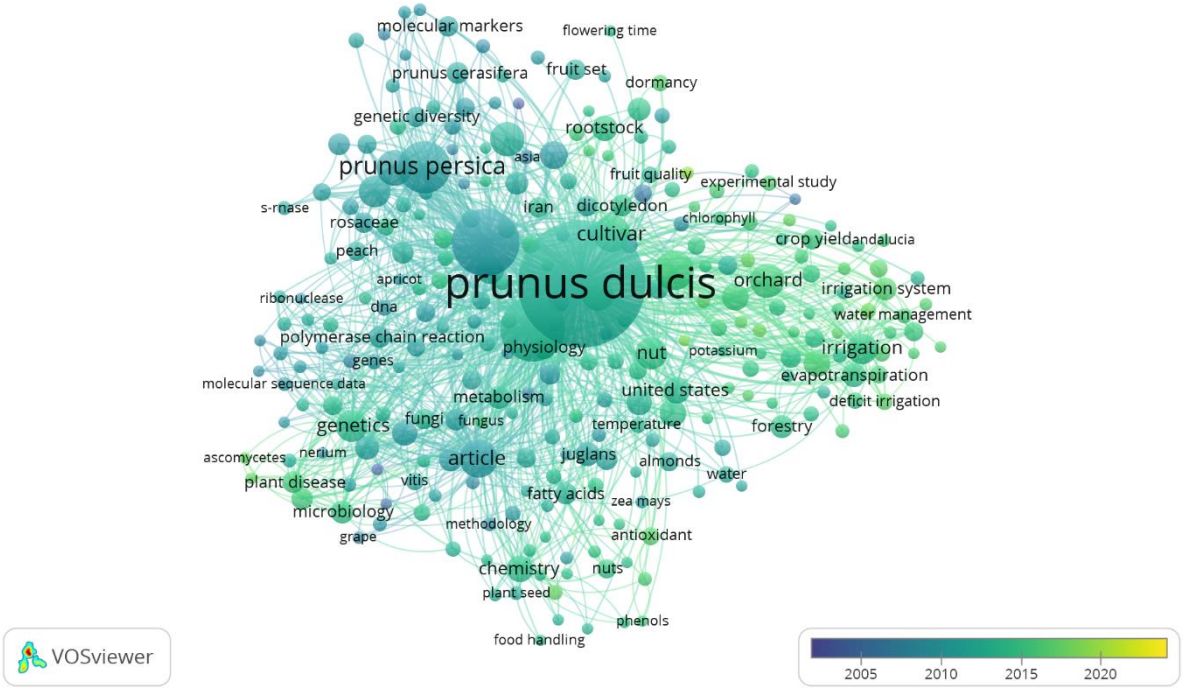


Figura 8. Palavras-chave que mais apareceram entre os anos de 2010 a 2016 com número mínimo de ocorrências limitado a 10, com 277 resultados.

Notavelmente, a palavra-chave "*Prunus dulcis*" ocupa uma posição central no cluster de termos, o que pode ser explicado pelo fato de ser o nome científico da amendoeira. De acordo com Gerbi et al. (2021), o gênero botânico *Prunus* abriga cerca de 200 espécies distintas.

Além de “*Prunus dulcis*”, destacam-se no cluster “*Prunus persica*”, o pessegueiro, e “*Prunus cerasifera*”, a ameixeira-europeia. É relevante observar que o círculo que representa “*Prunus persica*” é significativamente maior do que o que engloba “*Prunus cerasifera*”. Quanto maior o círculo, maior é a incidência da palavra-chave. Isso implica que o primeiro termo foi mais frequentemente utilizado como palavra-chave do que o segundo.

Algumas palavras-chave encontradas no cluster são comuns na área de genética e melhoramento, tais como “Plant breeding”, “DNA”, “Polymerase”, “Molecular markers” e “Genetic”. Além disso, é notável a relevância de “*Prunus persica*” e “*Rosaceae*”, que se encontram em proximidade com esses termos. Esse padrão evidencia que as pesquisas abrangendo a genética não envolvem apenas a amendoeira, mas outras culturas importantes dentro dessa família botânica.

O estudo de Martins et al. (2014) sobre estabilidade genética de plântulas de amêndoa, que está no *ranking* dos 5 artigos mais citados no período de 2003 a 2023, reforça a importância da genética e melhoramento. Segundo os autores, a amêndoa é de grande importância econômica e social, valorizada por sua amêndoa e óleo, o que exige inovações agrícolas para atender às futuras demandas. Sendo assim, a pesquisa na cultura da amendoeira se apresenta como essencial para melhorar a produção, qualidade e sustentabilidade.

De forma mais detalhada encontra-se, na Figura 9, estão os 25 resultados de palavras-chave que mais apareceram entre os anos de 2003 a 2023 com número mínimo de ocorrências da palavra limitado a 50. Percebe-se ocorrência de palavras relacionadas à área agronômica (*genetics*, *fruit*, cultivar, *breeding*, *water stress*, *irrigation*, *botany*, *nut*), outras espécies do gênero *Prunus* (*Prunus armeniaca, Prunus domestica, Prunus persica*), além de citar os países e estado que têm destaque no cultivo (United States, Spain e California).

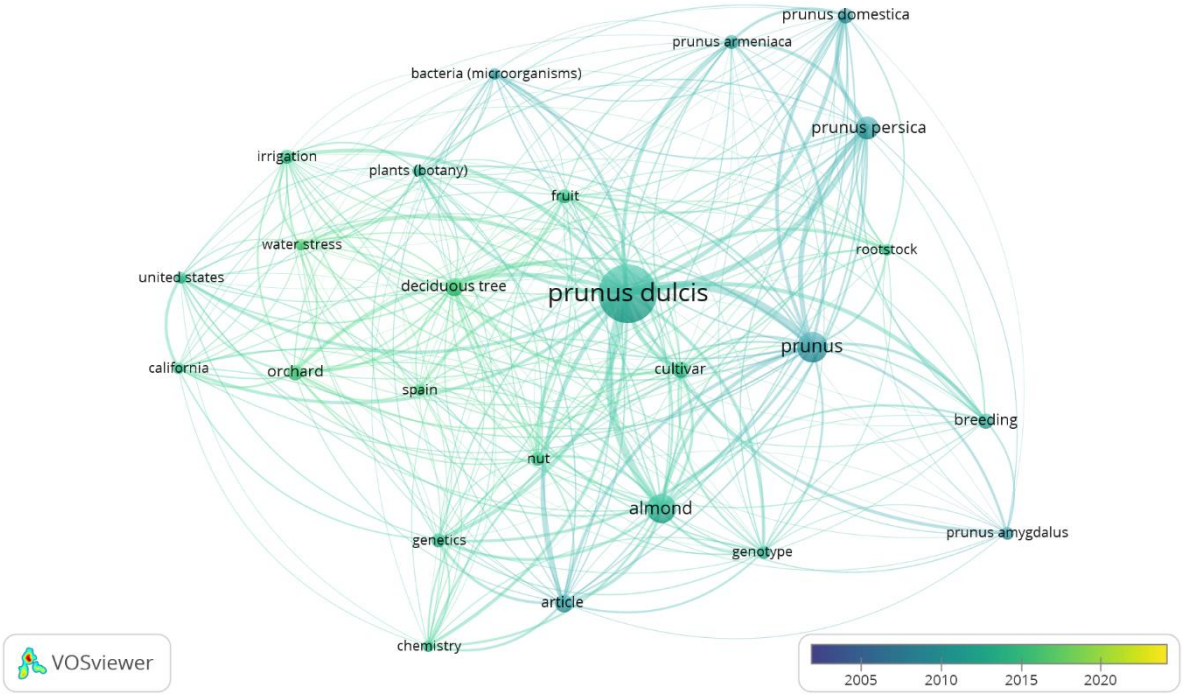


Figura 9. Palavras-chave que mais apareceram entre os anos de 2003 a 2023 com número mínimo de ocorrências de uma palavra chave limitado a 50, com 25 resultados.

Note na Figura 9 que o tamanho dos círculos representa a incidência da palavra-chave, ou seja, quanto maior o círculo, maior a frequência com que a palavra-chave ocorre nas publicações. Os termos "*almond*", "*Prunus*", "*Prunus dulcis*", "*article*" e "*Prunus persica*" estão fortemente ligados. Isso proporciona uma representação visual mais precisa da relevância de cada termo-chave no contexto da pesquisa sobre a cultura da amendoeira.

Quando limitamos as palavras-chave a 50, os 25 resultados são termos mais abrangentes, como os relacionados a estresse hídrico, "*water stress*" e "*irrigation*". A problemática do *déficit* hídrico tem sido amplamente abordada em todo mundo, conforme discutido por Rasera et al. (2023) em sua análise bibliométrica sobre mudanças climáticas e citros. Nesse estudo, os autores investigaram o desenvolvimento e as atuais tendências nesse campo de pesquisa, chegando à conclusão de que é necessário implementar soluções de gestão visando aprimorar a resiliência do sistema produtivo, levando em consideração os potenciais impactos das mudanças climáticas.

De acordo com Moraes et al. (2023) as palavras-chave são o cerne dos artigos científicos, pois representam uma forma altamente resumida do conteúdo. Note que,

palavras-chave com alta frequência nos anos iniciais, como “*almond*”, “*article*”, “*nut*”, “*fruit*”, que aparecem em azul, indicavam os tópicos de maior interesse naquela época (2003). Por outro lado, a diversidade de palavras-chave encontradas a partir de 2020, destacadas em amarelo, como “Spain”, “California”, “*breeding*”, “United States”, reflete as áreas de maior interesse mais recentes, demonstrando uma evolução nos enfoques de pesquisa ao longo do tempo.

O uso de *cluster* permite identificar de forma clara as áreas de pesquisa mais relevantes e as interconexões entre os termos-chave. Cada círculo no gráfico representa um termo utilizado como palavra-chave, sendo que o tamanho do círculo é proporcional ao número de vezes que o termo apareceu nos artigos.

1.1.4 Conclusões

A análise bibliométrica revelou 1.160 artigos sobre a cultura da amendoeira de 2003 ao primeiro semestre de 2023, com média de 87,6 publicações por período. Em 2022, houve apenas 30 publicações. Estudos variados incluíram temas como genética, estresse hídrico e autoincompatibilidade, evidenciando a diversidade das pesquisas.

Espanha (424 documentos), EUA (273), Irã (153), Itália (93) e Turquia (56) lideraram em publicações. A colaboração reflete a produção e área plantada desses países. O Brasil ficou em 9º lugar com 30 artigos, com trabalhos de parcerias internacionais ou artigos que se relacionam ao tema, mas não tratam especificamente dele.

O *ranking* dos artigos mais citados possui, em sua grande maioria, artigos publicados nos primeiros anos em estudo, sendo a publicação de 2013 a mais recente. A mais citada é do autor Varveris C. et al., que aborda a adequação de espécies como *Olea europaea* e *Prunus dulcis* à produção de papel. As demais tratam sobre estabilidade genética, polinização, compostos fenólicos e impactos climáticos.

Redes de coautoria revelaram *clusters* de pesquisadores ativos, indicando colaboração e troca de informações. Autores como Dicenta F., Martínez-Gómez e Kodad O. lideram a pesquisa, muitos vinculados a instituições dos EUA e Espanha.

A análise de palavras-chave revelou temas-chave, incluindo genética, melhoramento, estresse hídrico e colaborações internacionais. As palavras “Spain”,

“California”, “*breeding*” e “United States” indicam ligação entre esses territórios e evolução nas tendências de pesquisa ao longodo tempo.

A análise bibliométrica mostrou-se uma ferramenta quantitativa eficaz para compreender a situação da pesquisa científica relacionada à cultura da amendoeira, proporcionando conhecimentos e referências de pesquisas na área.

Referências

Canton, H. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations—FAO. Eur. Dir. Int. Organ. 2021, 297–305.

Channuntapipat, C., Sedgley, M., & Collins, G. (2003). Changes in Methylation and Structure of DNA from Almond Tissues during in vitro Culture and Cryopreservation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *128*(6), 890–897. https://doi.org/10.21273/JASHS.128.6.0890

Fachinello, J. C., Pasa, M. da S., Schmitz, J. D., & Betemps, D. L. (2011). Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, Volume Especial, p. 109-120. https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500014

FAO - Food and Agriculture Organization. *Culturas e produtos pecuários*: Quantidades de produção de Amêndoas com casca por país. 2021. Recuperado de https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize

Fernandes de Oliveira, A., Mameli, M. G., De Pau, L., & Satta, D. (2023). Almond tree adaptation to water stress: Differences in physiological performance and yield responses among four cultivars grown in Mediterranean environment. *Plants*, 12(5), 1131. doi:10.3390/plants12051131.

Gerbi, H., Paudel, I., Zisovich, A., Sapir, G., Ben-Dor, S. & Klein, T. (2022) Physiological drought resistance mechanisms in wild species vs rootstocks of almond and plum. Trees, 36, 669– 683. https://doi.org/10.1007/s00468-021-02238-0

Guimarães, N., Pádua, L., Sousa, J. J., Bento, A., & Couto, P. (2023). Almond cultivar identification using machine learning classifiers applied to UAV-based multispectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 44(5), 1533-1555. DOI:10.1080/01431161.2023.2185913

Hamadeh, B., Chalak, L., Coppens D'Eeckenbrugge, G., Benoit, L., & Joly, H. I. (2018). Evolution of almond genetic diversity and farmer practices in Lebanon: Impacts of the diffusion of a graft-propagated cultivar in a traditional system based on seed-propagation. *BMC Plant Biology*, 18(155). doi:10.1186/s12870-018-1372-8

Nascimento, T. S., Ferreira, W. A., Borges, A. M., Barbosa, A. K. M., Ramos, E. P., Fardim, V. M., & da Vitória, E. L. (2022). Pesquisa, desenvolvimento, inovação e

transferência de tecnologia no setor cafeeiro: Uma análise bibliométrica (2002-2022). *Ciências Rurais em Foco.* Volume 8, 73.

Mirás-Avalos, J. M., Gonzalez-Dugo, V., García-Tejero, I. F., López-Urrea, R., Intrigliolo, D. S., & Egea, G. (2023). Quantitative analysis of almond yield response to irrigation regimes in Mediterranean Spain. *Agricultural Water Management*, 279. doi:10.1016/j.agwat.2023.108208

Moraes, H. M. F., Furtado Júnior, M. R., Vitória, E. L. D., & Martins, R. N. (2023). Uma análise bibliométrica e cientométrica sobre o uso de VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura. Ciência Rural, 53. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220130

Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics. J. Doc., 25, 348.

Rasera, J. B., da Silva, R. F., Mourão Filho, F. D. A. A., Delbem, A. C. B., Saraiva, A. M., Sentelhas, P. C., & Marques, P. A. A. (2023). Climate change and citriculture: A bibliometric analysis. Agronomy, 13(3) doi:10.3390/agronomy13030723

Scopus - Affiliation details - *CEBAS- CSIC, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.* (2023). Recuperado de https://www.scopus.com/affil/profile.uri?afid=60002240&origin=resultslist

Scopus - Affiliation details - *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.* (2023). Recuperado de https://www.scopus.com/affil/profile.uri?afid=60096984&origin=resultslist

Scopus - Affiliation details - *University of California, Davis.* (2023). Recuperado de https://www.scopus.com/affil/profile.uri?afid=60014439&origin=resultslist

Socias I Company, R.; Gradziel, T. (EDS.). *Almonds: botany, production and uses*. Boston, MA: CABI, 2017.

Tirado-Kulieva, V. A., Gutiérrez-Valverde, K. S., Villegas-Yarlequé, M., Camacho-Orbegoso, E. W., & Villegas-Aguilar, G. F. (2022). Research trends on mango by-products: A literature review with bibliometric analysis. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(4), 2760-2771. doi:10.1007/s11694-022-01400-7

Villalobos, D. P., Figueroa-Rodríguez, K. A., & Escobar-Gutiérrez, A. J. (2023). Why do we need more research on pineapple (*Ananas comosus* L. merr.). A discussion based on a bibliometric review. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 45. doi:10.1590/0100-29452023090

Vivaldi, G. A., Camposeo, S., Romero-Trigueros, C., Pedrero, F., Caponio, G., Lopriore, G., & Álvarez, S. (2021). Physiological responses of almond trees under regulated deficit irrigation using saline and desalinated reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 258, 107172. ISSN 0378-3774. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107172.

VOSviewer – *Visualizing Scientific Landscapes*. (2023). Recuperado de https://www.vosviewer.com/

Yu, D., Xu, Z., Pedrycz, W., & Wang, W. (2017). Information sciences 1968–2016: A retrospective analysis with text mining and bibliometric. *Information Sciences*, 418, 619-634.

Zhang, H., et al. (2017). Bibliometric analysis of global remote sensing research during 2010–2015. ISPRS *International Journal of Geo-Information*, 6(11), 332. https://doi.org/10.3390/ijgi6110332

1.2 UTILIZAÇÃO DO ‘OKINAWA’ COMO PORTA-ENXERTO DE AMENDOEIRA NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

“Preparado com base nas normas do periódico Desarrollo Local Sostenible - DELOS”

Resumo

O cultivo da amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb.) é comum em regiões de clima mediterrâneo, como na Espanha, e tem seu cultivo expressivo também nos Estados Unidos. Na América do Sul, seu cultivo é relatado no Chile. No Brasil, apesar de não haver tradição no cultivo de amêndoas, outras espécies do gênero *Prunus*, como ameixa e pêssego, são cultivadas com sucesso em algumas regiões. Uma vez que não existem estudos sobre a adaptação da cultura e métodos de propagação adequados para as condições brasileiras, este estudo teve como objetivo explorar a eficiência do uso do porta-enxerto 'Okinawa' na propagação da amendoeira em clima tropical. O experimento foi realizado em Conceição da Barra, município localizado na região norte do Espírito Santo, Brasil. Foram utilizados três métodos de propagação, seminífera 1 (mudas obtidas por semente), seminífera 2 (mudas provenientes de semente fornecedoras de material clonal) e enxertia utilizando 'Okinawa' como porta-enxerto. As plantas foram avaliadas quanto à sobrevivência, altura e diâmetro do caule. Os resultados demonstraram que as plantas propagadas por enxertia apresentaram maior taxa de sobrevivência, altura e diâmetro do caule em comparação com as propagadas por sementes. O uso do porta-enxerto 'Okinawa' mostrou-se eficiente na propagação da amendoeira em condições tropicais do norte do Espírito Santo, oferecendo maior taxa de sobrevivência e desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: *Prunus dulcis*, propagação, enxertia, clima tropical, *Prunus persica.*

Abstract

The cultivation of the almond tree (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb.) is common in regions with a Mediterranean climate, such as Spain, and is also widely cultivated in the United States. In South America, its cultivation is reported in Chile. In Brazil, although there is no tradition in the cultivation of almonds, other species of the genus Prunus, such as plums and peaches, are successfully cultivated in some regions. Since there are no studies on the adaptation of the crop and suitable propagation methods for Brazilian conditions, this study aimed to explore the efficiency of using 'Okinawa' rootstock in the propagation of almond trees in tropical climates. The experiment was conducted in Conceição da Barra, a municipality in the northern region of Espírito Santo, Brazil. Three propagation methods were used, seedling 1 (seedlings obtained from seed), seedling 2 (seedlings from seed that provided clonal material) and grafting using 'Okinawa' as rootstock. Plants were evaluated for survival, height and stem diameter. The results showed that plants propagated by grafting had higher survival rate, height and stem diameter compared to those propagated by seeds. The use of 'Okinawa' rootstock proved to be efficient in the propagation of almond trees in tropical conditions in the north of Espírito Santo, offering greater survival and development of the plants.

Keywords: *Prunus dulcis*, propagation, grafting, tropical climate, *Prunus persica*.

1.2.1 Introdução

A amendoeira, árvore de clima mediterrâneo cientificamente designada por *Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb., é pertencente ao gênero *Prunus,* da família *Rosaceae*. O gênero inclui importantes espécies de árvores frutíferas e nogueiras, como pêssego (*Prunus persica*), damasco (*Prunus armeniaca*), ameixa europeia ou comum (*Prunus domestica*), cereja ácida (*Prunus cerasus*) e cereja doce (*Prunus aviurri*) (TAO et al., 1997). São nozes populares em todo o mundo, sendo tipicamente usados como salgadinhos e ingredientes em uma variedade de alimentos

processados, especialmente em produtos de panificação e confeitaria (ESFAHLAN et al., 2010).

O consumo regular de nozes tem sido relacionado a efeitos saudáveis contra diversas doenças. Estudos evidenciaram que o consumo diário de amêndoas aumenta a ingestão de ácidos graxos monoinsaturados com diminuição das calorias de carboidratos, diminui a resistência à insulina, melhora a sensibilidade à insulina e reduz o colesterol sérico (GAYATHRI et al., 2023). Além disso, as amêndoas são um excelente lanche saudável que podem substituir os petiscos comuns e desempenham um papel fundamental na estratégia alimentar para ajudar a prevenir o pré-diabetes, especialmente entre os jovens (MADAN et al., 2021).

Segundo dados da FAO (Food and Agriculture Organization, 2021), os Estados Unidos são o maior produtor de amêndoas do mundo, com área plantada de 534.191 ha e produção de 2.189.040 toneladas no ano de 2021, seguido da Espanha, Austrália, Turquia e Marrocos. Esses países possuem condições climáticas e áreas de cultivo propícias para o desenvolvimento da amendoeira, o que contribui para suas safras expressivas e alta qualidade das amêndoas.

No Brasil não existem áreas destinadas exclusivamente à produção comercial de amendoeiras, resultando na dependência de importação para suprir a demanda interna. No entanto, apesar de não haver tradição no cultivo de amêndoas, possui cultivo significativo de outras espécies do gênero *Prunus*, como ameixa e pêssego. As principais regiões produtoras de ameixa são o Sul do país, especialmente os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, enquanto a produção de pêssego está concentrada principalmente nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (IBGE, 2021).

Ao longo dos anos, algumas espécies de plantas comerciais originárias de climas temperados surpreendentemente encontraram sucesso e adaptação em ambientes tropicais. O melhoramento genético conseguiu produzir variedades de frutas de clima temperado, como maçã (*Malus domestica*), pera (*Pyrus communis*), pêssego e ameixa, originalmente não-adaptáveis às condições climáticas do Brasil (PATERNIANI, 2001). De modo semelhante, atualmente o cultivo comercial de espécies de clima mediterrâneo também é possível, como a oliveira (*Olea europaea*) na Serra da Mantiqueira, que envolve os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (CORDEIRO et al., 2022).

Assim, constata-se que pode ser possível a diversificação agrícola por meio da introdução do cultivo da amendoeira no Brasil. Para isso, é necessário o investimento em estudos voltados para a adaptação da cultura, uma vez que apresenta características que devem ser consideradas, como a suscetibilidade às doenças do solo, por exemplo. A utilização de porta-enxertos é uma estratégia comumente empregada para melhorar a adaptação de culturas em diferentes condições climáticas, sendo essenciais na determinação da eficiência do pomar, uma vez que auxiliam na absorção de água e minerais e fornecem ancoragem para a planta (NIMBOLKAR et al., 2016).

A enxertia consiste na união de tecido vegetal vivo de duas plantas de tal maneira que eles subsequentemente cresçam e se desenvolvam como uma planta composta (HARTMAN et al., 2002). Geralmente, porta-enxertos de amêndoa não são utilizados para a produção de mudas de amendoeira, uma vez que são muito suscetíveis a doenças fúngicas e asfixia em solos úmidos e mal drenados (ROM & CARLSON, 1985; BARBERA et al., 1994; GRADZIEL, 2009).

Em amendoeiras, a compatibilidade de enxertia é bem-sucedida com porta-enxertos de amendoeira e pessegueiro e seus híbridos, não havendo incompatibilidade relatada entre as duas espécies (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017). No Brasil, ‘Okinawa’ (*P. persica*) é o porta-enxerto mais utilizado na região Sudeste para prunoideas, apresentando elevada capacidade de germinação, além de resistência a *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Rufato et al., 2013).

Estudos já foram realizados utilizando ‘Okinawa’ como porta-enxerto para outras culturas de clima temperado, como pêssego (ALMEIDA et al., 2005). Todavia, não foram encontrados relatos de estudos utilizando o ‘Okinawa’ como porta-enxerto de amendoeira para o cultivo no Brasil. Desta forma, objetiva-se com esse estudo explorar a eficiência da utilização ‘Okinawa’ como porta-enxerto de amendoeira nas condições tropicais do norte do Espírito Santo.

1.2.2 Material e Métodos

O plantio de amendoeiras (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb.) foi realizado em área da Companhia de álcool de Conceição da Barra (Alcon), situada no município de Conceição da Barra, no estado do Espírito Santo (latitude 18°29'39.0"S e longitude

39°56'39.9"W) (Figura 1). O clima da região é do tipo Aw, quente e úmido, com estação seca no inverno e chuvosa no verão, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014). A média anual de precipitação no município é de 1.175,1 mm, com temperaturas médias anuais de 24,4°C (Incaper, 2020).

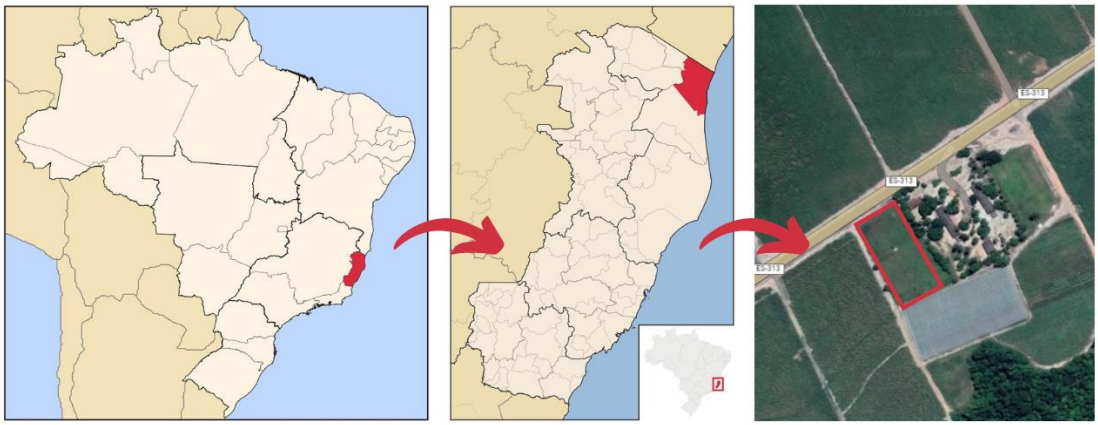


Figura 1. Mapa de localização da área de plantio de amendoeiras (*Prunus dulcis*).

O espaçamento adotado para a implantação da lavoura foi de em 6 m entre fileiras e 5 m entre si. A adubação da cultura, na cova, foi feita com 600g de NPK 13-18-00 da Timak®. Os tratos fitossanitários e o controle de plantas daninhas foram realizados periodicamente, conforme a necessidade. O sistema de irrigação empregado no pomar foi irrigação por gotejo.

Para a instalação do experimento a campo, foram produzidas mudas de amendoeira propagadas por diferentes métodos, sendo: Seminífera 1- mudas de amêndoa obtidas através de semente; Seminífera 2- mudas obtidas por sementes, fornecedora de material clonal; e Enxertia- plantas obtidas através de enxerto de ramos da Seminífera 2 utilizando o ‘Okinawa’ como porta-enxerto.

As avaliações foram realizadas 18 meses após a instalação da lavoura, que conta com 237 plantas, sendo: 142 seminíferas 1; 34 seminíferas 2; e 61 mudas de enxertia. As variáveis analisadas em todas as plantas foram: sobrevivência (em %), altura de plantas, medida com mira topográfica (em cm) e diâmetro do caule, aferido com paquímetro digital Fowler® 20 cm acima do solo (em mm). Os dados foram tabulados com o uso do programa Microsoft Office Excel® (LEVINE et al., 2017).

Para a porcentagem de sobrevivência, apresentou-se o intervalo a 95% de confiança, segundo Pimentel-Gomes (2009). Para a altura de planta e diâmetro do caule, os valores obtidos foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis e, posteriormente, suas medianas comparadas pelo teste de Dunn ($p < 0,05$). Todas as

análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2022).

1.2.3 Resultados e Discussão

A Figura 2 exibe os resultados da sobrevivência das plantas de amendoeira avaliadas em relação aos diferentes métodos de propagação. Os dados obtidos revelam uma clara diferenciação entre os grupos estudados, em que as plantas propagadas por enxertia demonstraram uma sobrevivência significativamente maior em comparação com as plantas propagadas por sementes.

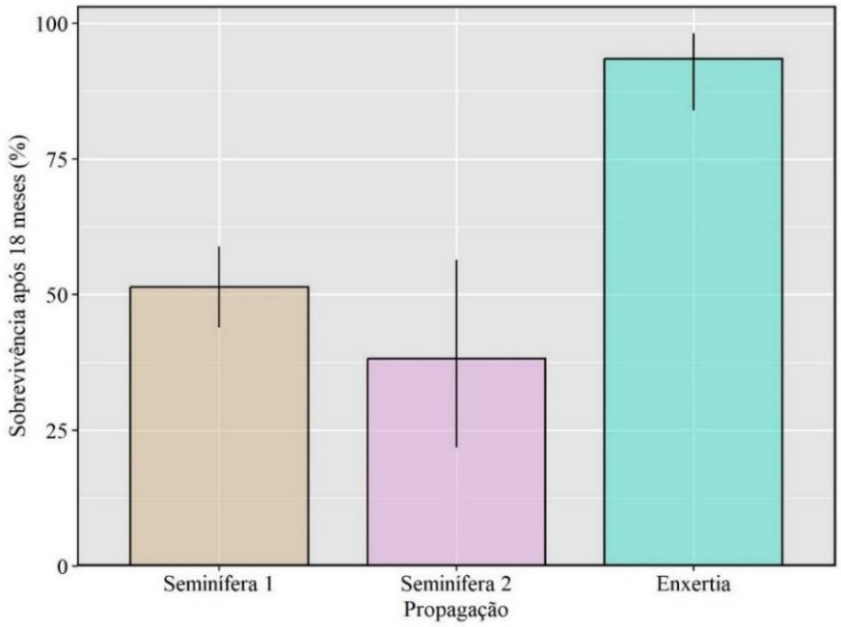


Figura 2. Sobrevivência (%) de amendoeiras (*Prunus dulcis*) após 18 meses de plantio em função dos modos de propagação. [(Propagação: seminífera 1 = 142 plantas; seminífera 2 = 34 plantas; e enxertia = 61 plantas)].

Os resultados indicam que as plantas de amendoeira propagadas por enxertia apresentaram taxa de sobrevivência de 93,44%. A propagação seminífera 1 apresentou resultado intermediário, com 51,41% de sobrevivência, enquanto a seminífera 2 apresentou 38,24%. A baixa sobrevivência das seminíferas em relação à enxertia pode ser justificada pela susceptibilidade do sistema radicular da amendoeira ao excesso de umidade, visto que é uma planta originária das regiões com clima árido da Ásia (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017).

Segundo Gradziel (2009), a razão para a maior sobrevivência das árvores de amendoeira sob porta-enxertos de pêssego pode ser uma maior tolerância a teores

mais altos de água no solo. As plantas de amendoeira cultivadas em porta-enxertos de pessegueiro crescem mais vigorosamente quando jovens, começam a produzir um pouco mais cedo e tendem a sobreviver melhor do que árvores comparáveis em porta-enxertos de amêndoa.

As combinações de copa e porta-enxerto mais compatíveis entre si são, claramente, entre amêndoa-amêndoa. Todavia, as combinações amêndoa-pêssego também apresentam boa compatibilidade (GRADZIEL, 2009). Pode ocorrer de haver um supercrescimento de pêssego na união do enxerto, que pode variar de acordo com a cultivar. Essa diferença não foi observada nos enxertos produzidos no experimento, que mostraram uma excelente ligação e cicatrização.

A Figura 3 mostra o comportamento da altura das plantas em relação aos diferentes métodos de propagação. Observa-se que as mudas propagadas por enxertia apresentaram resultados superiores para altura, com mediana 286,00 cm e maior altura de 407,00 cm, as plantas seminíferas 1 apresentaram 170,00 cm de mediana e maior altura de 358,00 cm, enquanto as seminíferas 2 apresentaram mediana de 163,50 cm maior altura de 290,00 cm.

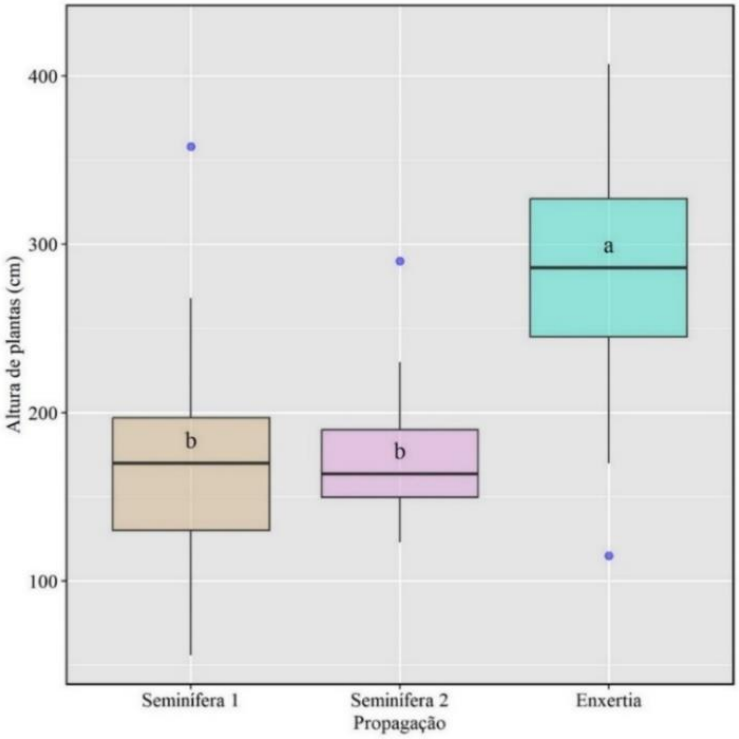


Figura 3. Altura das plantas (cm) de amendoeira (*Prunus dulcis*) após 18 meses de plantio em função dos modos de propagação. [(Propagação: seminífera 1 = 142 plantas; seminífera 2 = 34 plantas; e enxertia = 61 plantas)]; medianas seguidas da mesma letra não diferem pela análise de Kruskal-Wallis com pós-teste de Dunn a 5% (P > 0,05).

A análise estatística dos resultados não revelou diferença significativa no comportamento das plantas obtidas a partir de propagação por semente sem enxertia. Especificamente em relação à propagação seminífera 2, os resultados indicam que as mudas de amendoeira demonstraram uma boa capacidade de recuperação após a retirada de ápice e brotos, podendo se desenvolver eficientemente após a remoção de partes vegetativas.

Gainza et al. (2015) em relação à importância dos porta-enxertos na fruticultura moderna, evidencia que os porta-enxertos são capazes de adaptar uma determinada cultivar a diversas condições ambientais e práticas culturais, além de oferecer características ausentes no rebento. Os resultados encontrados no presente estudo comprovam as evidências apontadas pelo autor.

Conforme observado, as plantas propagadas por enxertia apresentaram um maior vigor em comparação com as plantas propagadas por sementes. Esse vigor superior pode ser atribuído às características proporcionadas pelo porta-enxerto 'Okinawa', em conferir tolerância das plantas a estresses abióticos. Essas características contribuem para um melhor desempenho das plantas enxertadas em termos de crescimento e desenvolvimento, o que pode ser refletido na maior altura observada nas plantas propagadas por enxertia em comparação com as provenientes de sementes.

A enxertia pode contribuir para um crescimento mais homogêneo das plantas, uma vez que mudas enxertadas têm uma menor variação genética em comparação com as plantas propagadas por sementes. Como a amendoeira é uma espécie alógama (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017) e seus genes encontram-se na maioria em heterozigose, a propagação por sementes resulta em uma descendência muito heterogênea. Consequentemente, a propagação por sementes não pode ser usada para propagação de cultivares, mas apenas em viveiros para obtenção de porta-enxertos de mudas ou em programas de melhoramento (LEDBETTER & SISTERSON, 2008) como no presente trabalho.

Quanto ao diâmetro das plantas, resultados semelhantes aos de altura foram encontrados. As plantas propagadas por enxertia apresentaram maior mediana, de 54,36 mm e maior diâmetro, de 68,08 mm. As plantas seminíferas não apresentaram diferenças significativas entre si, no qual a seminífera 1 apresentou mediana de 22,85 mm e maior diâmetro de 66,03 mm, e a seminífera 2 apresentou mediana de 24,01 e maior diâmetro de 55,93 mm (Figura 4).

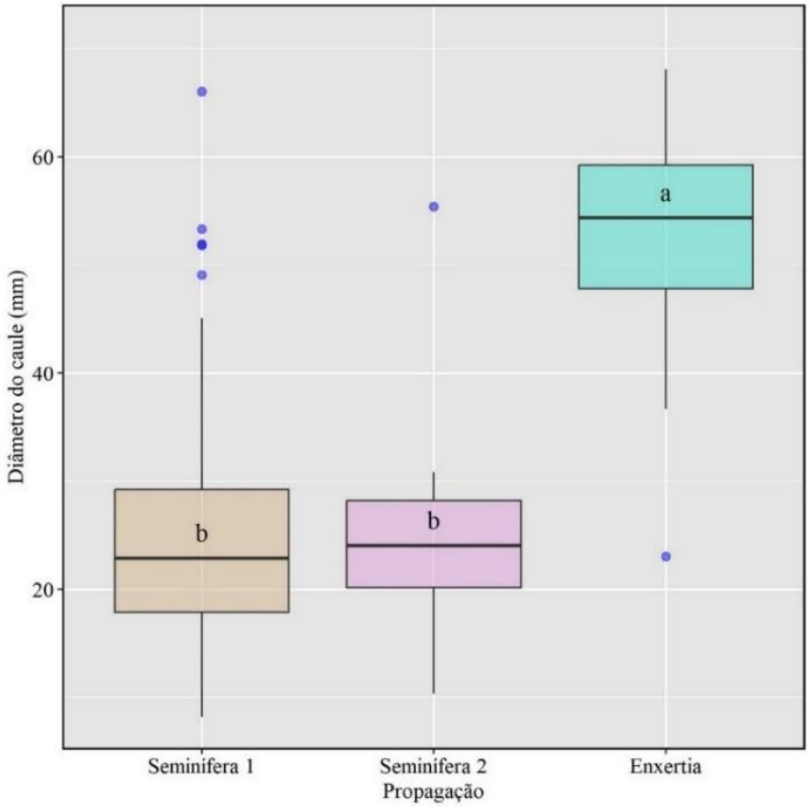


Figura 4. Diâmetro do caule (mm) de amendoeira (*Prunus dulcis*) após 18 meses de plantio em função dos modos de propagação. [(Propagação: seminífera 1 = 142 plantas; seminífera 2 = 34 plantas; e enxertia = 61 plantas)]; medianas seguidas da mesma letra não diferem pela análise de Kruskal-Wallis com pós-teste de Dunn a 5% (P > 0,05).

A maior contribuição do diâmetro das plantas propagadas por enxertia em comparação com as propagadas por sementes pode ser explicada pela adaptabilidade e melhor desenvolvimento do sistema radicular. Isso permite uma eficiente absorção e translocação de água e sais minerais, que culminam no suprimento adequado para o crescimento da planta e armazenamento nutrientes.

Segundo Socias i Company (2017) o porta-enxerto é a parte que controla o tamanho, adaptando-se às condições do solo, acelerando a maturidade reprodutiva e a taxa de crescimento da planta. Morelatto Neto et al. (2015), em estudos com pêssego, afirmam que o uso da enxertia é indispensável na produção do fruto, visto que a utilização dessa técnica proporciona benefícios como a resistência a nematoides, menor período de juvenilidade, redução do vigor da copa, melhor desenvolvimento radicular e produção e qualidade dos frutos.

Esses resultados reforçam a importância de selecionar adequadamente o método de propagação e o porta-enxerto para obter um melhor desempenho das mudas de amendoeira. A utilização do 'Okinawa' como porta-enxerto pode ser

recomendada para o cultivo de amendoeiras, especialmente no norte do Espírito Santo, considerando as vantagens em termos de crescimento, desenvolvimento e adaptação às condições locais.

1.2.4 Conclusões

A utilização do ‘Okinawa’ como porta-enxerto é uma alternativa viável para produção de amendoeira em condições tropicais de cultivo.

Referências

ALMEIDA, C. B.; SOUZA, A. G.; ARGENTA, J. C.; FACHINELLO, J. C.; BIANCHI, V. J. The effect of rootstocks on the vigor, yield, and fruit quality of ‘Maciel’ peach trees. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 3, p. 301-307, 2015.

ALVARES, C. A. et al. Koppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BARBERA, G. et al. Effect of rootstock on productive and qualitative response of two almond varieties. **Acta Horticulturae**, v. 373, p. 129-134, 1994.

CORDEIRO, C. A. M.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S.; SANCHES, A. G. **Ciência e tecnologia de alimentos: o avanço da ciência no Brasil**. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022.

ESFAHLAN, A. J.; JAMEI, R.; ESFAHLAN, R. J. The importance of almond (*Prunus amygdalus* L.) and its by-products. **Food Chemistry**, v. 120, n. 2, p. 349-360, 2010.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Culturas e produtos pecuários: quantidades de produção de amêndoas com casca por país**. 2021. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize.

GAINZA, F. et al. Rootstock breeding in Prunus species: ongoing efforts and new challenges. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 75, p. 6–16, 2015.

GAYATHRI, R. et al. Effect of almond consumption on insulin sensitivity and serum lipids among Asian Indian adults with overweight and obesity–a randomized controlled trial. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 2023.

GRADZIEL, T. M. Almond (Prunus dulcis) breeding. In: JANICK, J.; MASOOD, A. (ed.). **Breeding plantation tree crops: temperate species**. New York: Springer, 2009. p. 1-45.

HARTMAN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

IBGE. **Produção agrícola municipal**. 2021. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457.

INCAPER. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – PROATER 2020-2023: Município de Conceição da Barra**. Vitória: INCAPER, 2020. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Conceicao_da_Barra.pdf.

LEDBETTER, C. A.; SISTERSON, M. S. The development of seed-propagated peach-almond hybrids for use as almond rootstocks. In: GREMPA MEETING, 14., 2008, Athens. **Proceedings**. Athens, 2008.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; SZABAT, K. A. **Statistics for managers using Microsoft® Excel: global edition**. 8. ed. London: Pearson, 2017.

MADAN, J. et al. Effect of almond consumption on metabolic risk factors—glucose metabolism, hyperinsulinemia, selected markers of inflammation: a randomized controlled trial in adolescents and young adults. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, 2021.

MORELATTO NETO, R. et al. Características de frutos de pessegueiros BRS-Rubimel e Chimarrita sobre dois porta-enxertos. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 7., 2015. Anais [...]. Pelotas: UFPel, 2015. v. 2.

NIMBOLKAR, P. K. et al. Role of rootstocks in fruit production. **Journal of Agricultural Engineering and Food Technology**, v. 3, n. 3, p. 183-188, 2016.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, v. 15, p. 303–326, 2001.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: http://www.R-project.org/.

ROM, R. C.; CARLSON, R. F. **Rootstocks for fruit crops**. New York: John Wiley & Sons, 1985.

RUFATO, A. R.; RUFATO, L.; HIPÓLITO, J. S. **Porta enxertos para ameixeira**. [S.l.: s.n.], 2013.

SOCIAS I COMPANY, R.; GRADZIEL, T. **Almonds: botany, production and uses**. Wallingford: CABI, 2017.

TAO, R. et al. Identification of Stylar RNases associated with gametophytic self-incompatibility in almond (*Prunus dulcis*). **Plant and Cell Physiology**, v. 38, n. 3, p. 304–311, 1997.

1.3 MODELAGEM DE ÁREA FOLIAR DE AMENDOEIRA CLONE '70'

"Preparado com base nas normas do periódico Desarrollo Local Sostenible - DELOS"

Resumo

Com grande importância mundial, tanto no âmbito econômico quanto no âmbito alimentício, a amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) é uma espécie de relevante variabilidade fisiológica e morfológica. Compreender essas características, bem como a variabilidade genética da espécie, se faz importante para a realização do melhoramento genético, permitindo o reconhecimento, mensuração da natureza e magnitude dessas variáveis. Nesse sentido, um aspecto que se faz importante nesse processo é a área foliar, uma vez que possibilita a avaliação da eficiência fotossintética das plantas, a determinação de danos bióticos e abióticos, a análise de crescimento, relacionado com o acúmulo de matéria seca, metabolismo da planta, produção final, qualidade e maturação das culturas, assim como auxilia a prever as respostas fisiológicas a nível de planta. Para tanto, é essencial modelar a variação do tamanho da folha, e uma das formas mais vantajosas de mensurar a área foliar é por meio do ajuste de equações matemáticas, que não exigem a remoção das folhas, estimando a área a partir das dimensões foliares, como comprimento (C), largura (L) e o produto do comprimento pela largura (CL), sendo uma técnica precisa e que não requer equipamentos sofisticados. Neste estudo foram obtidas equações para os modelos linear, potência, quadrática e exponencial usando a área foliar observada (AFO) em função das variáveis C, L e CL através do Software R. Dentre as 12 equações estimadas, a equação quadrática em função de CL apresentou os melhores ajustes,

com os critérios de validação raiz do quadrado médio do erro (RQME) e erro absoluto médio (EAM) mais próximos de zero, e o índice de concordância de Willmott (d) mais próximo da unidade, sendo representada pela equação $\mathrm{AFE} = 0{,}0865 + 0{,}6517\mathrm{CL} + 0{,}0015\mathrm{CL}^2$.

Palavras-chave: *Prunus dulcis*; Métodos não destrutivos; Ajuste de equações; Análises estatísticas; Validação.

Abstract

Almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) is of great importance worldwide, both economically and in food terms. It is a species of relevant physiological and morphological variability. In this sense, understanding these characteristics, as well as the genetic variability of the species, is important for carrying out genetic improvement, allowing the recognition and measurement of their nature and magnitude. Thus, an aspect that becomes important in this process is the leaf area, since it allows the evaluation of the photosynthetic efficiency of the plants, the determination of biotic and abiotic damages, the analysis of growth, related to the accumulation of dry matter, plant metabolism, final production, quality and maturation of the cultures, as well as helping to predict the physiological responses at the plant level. Therefore, it is necessary to model the leaf size variation. That said, there are some ways to measure this leaf area, among them the use of mathematical equations adjustment has been proving to be advantageous as it does not require the leaves to be removed, since the leaf area is estimated through the leaf dimensions length (L), width (W) and the product of length by width (LW), and can be used accurately and without the need for sophisticated equipment. Therefore, equations were obtained for the linear, power, quadratic and exponential models using the observed leaf area (OLA) as a function of the variables L, W and LW through the R Software. Among the 12 estimated equations, the one that presented the best adjustments and was credible by the validation criteria (root mean square error (RMSE) and the mean absolute error (MAE) closest to zero, and the Willmott agreement index (d) closest to unity was the quadratic equation as a function of LW, given by $\mathrm{LAE} = 0.0865 + 0.6517\mathrm{LW} + 0.0015\mathrm{LW}^2$.

Keywords: *Prunus dulcis* L. Non-destructive methods; Fitting equations; Statistical analysis; Modeling; Validation.

1.3.1 Introdução

A amêndoa (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) é uma das castanhas mais importantes do mundo, destacando-se por sua ampla variabilidade fisiológica e morfológica (KESTER e GRADZIEL, 1996). Essa diversidade permitiu que a amêndoa fosse mencionada em diversos aspectos da civilização humana, incluindo a literatura, a medicina e a alimentação. Como resultado, sua disseminação como cultura cultivada é amplamente notável nos dias de hoje (MARTÍNEZ-GARCÍA et al., 2019).

No âmbito econômico, os Estados Unidos lideram o ranking de maior produtor e de maior exportador de amêndoa. De acordo com o Relatório Anual (ABC, 2022) da *Almond Board of California* a safra de 2020/21 bateu recordes, desde o número de quilos colhidos à quantidade de produtos enviados ao redor do mundo e mostrou que as amêndoas continuam a crescer como um ingrediente-chave em produtos de consumo, com mais de 12.000 novos produtos introduzidos em 2020, sendo a castanha mais popular para lançamentos de novos produtos na Europa, Ásia-Pacífico e América do Norte.

No que se refere ao seu consumo, a amêndoa é uma importante cultura alimentar que tem um alto valor nutricional. Pode ser consumida crua, cozida, balanceada, combinada ou misturada com outras nozes, e ainda ser transformada em outros produtos ou usada para produzir pratos típicos. No entanto, diferentes usos das amêndoas requerem a presença de amêndoas com composições específicas dependendo de cada commodity (KODAD e SOCIAS i COMPANY, 2008). Tal relevância nutricional também influencia em questões de saúde, visto que, o consumo diário de amêndoas (56g/2oz (28,349g)) durante 12 semanas reduziu a HbA1c (um marcador clínico de açúcar no sangue), os níveis de colesterol ruim e os níveis de colesterol total (ABC, 2022).

Dito isso, qualquer nova cultivar deve atender a todos os requisitos hortícolas e comerciais para ser valiosa para o produtor e para a indústria (KODAD e SOCIAS i COMPANY, 2008). A importância da diversidade genética no melhoramento genético é essencial e o reconhecimento e a mensuração dessa diversidade, sua natureza e magnitude são cruciais para um programa de melhoramento. Características morfológicas são úteis para avaliação preliminar porque são rápidas e simples e podem ser usadas como um método comum para avaliar a variação genética (KHADIVI-KHUB e ANJAM, 2014).

Dessa maneira, visando a compreensão e avaliação das características morfológicas, um aspecto que se faz interessante é a avaliação da área foliar, visto que essa característica é importante na avaliação da eficiência fotossintética das plantas, na determinação de danos bióticos e abióticos, na análise de crescimento, relacionado com o acúmulo de matéria seca, metabolismo da planta, produção final, qualidade e maturação das culturas (BUSATO et al., 2009), bem como prever as respostas fisiológicas a nível de planta. Assim, é necessário modelar a variação de tamanho de folha dentro da parte aérea (KOYAMA, SMITH, 2022).

Entre as formas comumente encontradas na literatura para determinar a área foliar de espécies vegetais, parte consiste em técnicas destrutivas, que exigem que as folhas sejam removidas para medição. A remoção foliar impede medidas repetidas e interrompe a assimilação e translocação de carboidratos, que é outro parâmetro de interesse frequente, por isso numerosos métodos têm sido desenvolvidos para estimar a área foliar de folhas individuais (KOYAMA, SMITH, 2022). Nesse sentido, o uso de ajuste de equações matemáticas vem sendo adotado. Sua metodologia visa estimar a área das folhas da espécie desejada através de suas dimensões foliares, podendo ser utilizada com precisão, de maneira ágil, sem a necessidade de equipamentos sofisticados (OLIVEIRA et al., 2019).

Na literatura existem alguns trabalhos que adotaram tal método, como estudos feitos com *Hevea brasiliensis* (SCHMILDT et al., 2017), *Allagoptera arenaria* (OLIVEIRA et al., 2020), *Eugenia uniflora* L. (OLIVEIRA et al., 2019), *Passiflora mucronata* (SCHMILDT, et al., 2017), *Coffea arabica* (SCHMILDT, et al., 2014) e *Bauhinia monandra Kurz* (SCHMILDT, et al., 2016), por exemplo. Já em relação aos estudos envolvendo a amêndoa, a maioria dos trabalhos encontrados foi realizada com espécies do gênero *Prunus*. Um exemplo é o estudo de Koyama et al. (2022), que modelou a área foliar dos brotos de cinco espécies diferentes, incluindo a amendoeira. Da mesma forma, Spanna e Heerema (2010) desenvolveram modelos para três culturas frutíferas. Assim, ressalta-se a necessidade de pesquisas voltadas especificamente para a amendoeira, especialmente no caso de cultivares com potencial para melhoramento.

Considerando toda a relevância da cultura da amendoeira e seu potencial de variabilidade genética relatada, torna-se interessante estudar o melhoramento de cultivares de amêndoa visando sua adaptabilidade a climas tropicais, como o do Brasil. O processo de melhoramento da cultura já foi iniciado e tem sido realizado por

pesquisadores brasileiros, algumas cultivares têm apresentado potencial para adaptar-se ao clima do país, dentre elas, o clone ‘70’ tem se mostrado promissor, onde é possível observar o vigor de suas folhas e caule. Nesse sentido, buscou-se realizar, no presente estudo, a modelagem da área foliar da amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) clone ‘70’, que vem sendo desenvolvida, tendo em vista a importância que aspectos morfológicos possuem no processo de melhoramento de cultivares.

1.3.2 Material e Métodos

O experimento com amendoeiras foi implantado em área da Companhia de álcool de Conceição da Barra (Alcon), situada no município de Conceição da Barra, no estado do Espírito Santo (latitude 18°29'39.0"S e longitude 39°56'39.9"W), cujo clima é do tipo Aw, quente e úmido, com estação seca no inverno e chuvosa no verão, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), e a média anual de precipitação no município é de 1.175,1 mm, com temperaturas médias anuais de 24,4°C (INCAPER, 2020).

O clone ‘70’ foi escolhido por aspectos visuais promissores, como número de folhas, vigor das folhas e caule, e resistência à doença fúngica “furo de bala” (*Wilsonomyces carpophilus* (Lév.) Adaskaveg, Ogawa & Butler). A coleta de seus ramos teve como critério a numerosidade e vigor das folhas, que foram levados para o Laboratório de Melhoramento de Plantas do Centro Universitário norte do Espírito Santo (CEUNES/UFES) para realização das demais atividades.

A partir de então, foram separadas 99 folhas com tamanhos diferenciados afim de abranger maior variabilidade dos mesmos. Por meio do Software ImageJ® de domínio público (SCHINDELIN, 2015), as folhas foram escaneadas, obtendo-se imagens digitais com 75dpi de resolução e no formato tif, através das quais foi feita a medição das variáveis necessárias para a realização da modelagem da área foliar, comprimento (C), largura (L) e produto entre o comprimento e a largura (CL) em cm, de acordo com a Figura 1 a seguir.

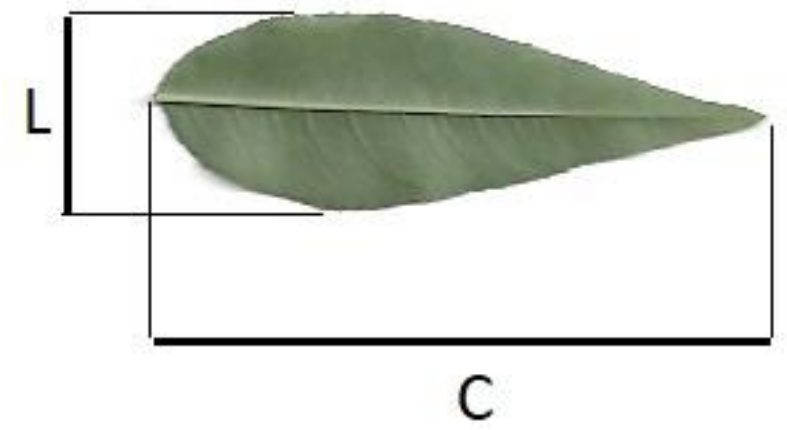


Figura 1. Representação da área do limbo foliar de amêndoa clone “70” destacando as medidas lineares de comprimento (C) e largura (L).

Após a obtenção dos valores das variáveis foi realizada a modelagem estatística da área foliar. Para modelar a AFO em função de C, L e de CL, obtiveram-se equações para os modelos linear, potência, quadrática e exponencial através do Software R (R CORE TEAM, 2023). Também foi avaliada a representatividade amostral, onde foi estimado o tamanho amostral mínimo (n_{eq}) a 5%, segundo Schmildt et al. (2014), através da equação 1, sugerida por Schmildt et al. (2023) no livro “Modelagem da área foliar individual”.

$$n_{eq} = \frac{t^2_{\alpha/2} RMSE^2}{e^2 \overline{AFO}^2} \qquad \text{(equação 1)}$$

Para a realização da validação dos resultados, adotou-se as estatísticas da raiz do quadrado médio do erro (RQME, equação 2), erro absoluto médio (EAM, equação 3) e índice de acordo (d, equação 4) segundo Willmott (1981) na relação entre a área foliar observada e a área foliar estimada pelos diferentes modelos usando as dimensões lineares de C, L e CL.

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(AFE - AFO)^2}{n}} \qquad \text{(equação 2)}$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^{n}|AFE - AFO|}{n} \qquad \text{(equação 3)}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(AFE - AFO)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|AFE - \overline{AFO}| + |AFO - \overline{AFO}|)^2}\right] \qquad \text{(equação 4)}$$

Onde: AFE é a área foliar estimada; AFO é a área foliar observada; e n é o número de folhas usadas na validação, que no caso é n = 99.

Para a seleção do modelo para estimar a área foliar da amêndoa clone ‘70’ admitiu-se como critério o RQME e o EAM mais próximos de zero, e índice de acordo de Willmott (d) mais próximo da unidade.

A validação foi feita no mesmo conjunto de amostras usado para a geração das equações e, quanto as análises, todas foram realizadas por meio do Software R (R TEAM CORE, 2023).

1.3.3 Resultados e Discussão

Estatísticas descritivas dos valores de mínimo, máximo, média, e coeficiente de variação foram apresentadas para as medidas de AFO, C, L e CL estão apresentadas na Tabela 1. É possível observar uma grande variação entre os valores de mínimo, máximo e média, bem como valores altos de coeficiente de variação (CV). Esse último é um indicativo de que a equação a ser ajustada é capaz de abranger plantas com variados tamanhos de limbo foliar, sendo um resultado interessante para um estudo de modelagem, visto que segundo Demirsoy (2009), amostras compostas por folhas de diferentes tamanhos devem ser usadas para produzir uma equação precisa de estimativa da área foliar.

Tabela 1. Valor mínimo, máximo, médio e de coeficiente de variação (CV) das variáveis: comprimento (C), largura (L), produto do comprimento com a largura (CL) e área foliar observada (AFO) de 99 folhas de amendoeira clone ‘70’.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)
C	2,20	8,77	5,35	29,59
L	0,43	2,75	1,52	35,34
CL	0,95	23,68	8,90	61,41
AFO	0,59	17,18	6,04	62,26

Foi realizado o cálculo do tamanho amostral mínimo (n_{eq}) a 5%, com o objetivo de assegurar a credibilidade da modelagem. De acordo com Schmildt et al. (2023) no livro “Modelagem da área foliar individual”, deve ser adotado o maior valor de n_{eq} como

o número mínimo amostral. Portanto, considerando o que o maior valor encontrado para n_{eq} foi 55 (Tabela 2) e o número total de amostras foram 99 folhas, a amostragem possui credibilidade.

Foram estimadas 12 equações nos modelos linear simples, quadrático, potência e exponencial, como disposto na Tabela 2. Os ajustes que podem ser considerados de melhor qualidade, de acordo com o coeficiente de determinação referem-se as equações que admitem CL como variável explicativa. O mesmo também foi constatado por Ozturk et al. (2019) para cultivares de pera e por Koyama e Smith (2022) que admitiram apenas CL como variável explicativa para várias espécies de frutas, incluindo a cereja, de mesmo gênero da amendoeira, onde todas as equações indicaram ótimos ajustes com a variável.

Tabela 2. Equações para a área foliar estimada (AFE) e respectivos coeficientes de determinação na relação entre a área foliar observada e os valores das dimensões lineares de comprimento (C), largura (L), produto do comprimento com a largura (CL) de folhas de amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) clone '70'.

Modelo	Equação	R^2	n_{eq}
Linear	$\mathrm{AFE} = -6{,}0760 + 2{,}2660(\mathrm{C})$	0,9094	55
Linear	$\mathrm{AFE} = -4{,}1666 + 6{,}7223(\mathrm{L})$	0,9204	48
Linear	$\mathrm{AFE} = -0{,}0499 + 0{,}6847(\mathrm{CL})$	0,9892	7
Quadrático	$\mathrm{AFE} = 1{,}6334 - 0{,}8101\mathrm{C} + 0{,}2813\mathrm{C}^2$	0,9565	27
Quadrático	$\mathrm{AFE} = -0{,}1765 + 1{,}1184 + 1{,}7444\mathrm{L}^2$	0,9485	31
Quadrático	$\mathrm{AFE} = 0{,}0865 + 0{,}6517\mathrm{CL} + 0{,}0015\mathrm{CL}^2$	0,9894	7
Potencial	$\mathrm{AFE} = 0{,}8010\mathrm{e}^{0{,}3506\mathrm{C}}$	0,9517	26
Potencial	$\mathrm{AFE} = 1{,}2612\mathrm{e}^{0{,}9511\mathrm{L}}$	0,9291	31
Potencial	$\mathrm{AFE} = 2{,}6832\mathrm{e}^{0{,}0809\mathrm{CL}}$	0,9233	7
Exponencial	$\mathrm{AFE} = 0{,}1333(\mathrm{C})^{2{,}20688}$	0,9562	30
Exponencial	$\mathrm{AFE} = 2{,}6413(\mathrm{L})^{1{,}7808}$	0,9484	44
Exponencial	$\mathrm{AFE} = 0{,}6567(\mathrm{CL})^{1{,}0136}$	0,9893	49

Segundo os critérios admitidos para validação, o melhor ajuste ocorre com o modelo quadrático $\mathrm{AFE} = 0{,}0865 + 0{,}6517\mathrm{CL} + 0{,}0015\mathrm{CL}^2$, visto que apresentou valores de RQME e EAM mais próximos de zero e o valor do índice de acordo de Willmott (WILLMOTT, 1981) (d) mais próximo da unidade (Tabela 3). O mesmo

resultado foi encontrado em modelagens com cherimoya (*Annona cherimola* Mill. cv. Fino de Jete) por Schmildt et al. (2017), com girassol por Alquino et al. (2011), com feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por Toebe et al. (2012) e com videira cultivar BRS-Violeta por Magali et al. (2010).

Tabela 3. Valores da raiz do quadrado médio do erro (RQME), erro absoluto médio (EAM) e índice d de acordo de Willmott na relação entre a área foliar observada e a área foliar estimada por diferentes modelos usando as dimensões lineares de comprimento (C), largura (L), produto do comprimento com a largura (CL) de 99 folhas de amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.).

Modelo	**Variável**	**RQME**	**EAM**	**d**
Linear	C	1,1253	1,2662	0,9758
Linear	L	1,0555	1,1141	0,9788
Linear	CL	0,3895	0,1517	0,9972
Quadrática	C	0,7801	0,6086	0,9888
Quadrática	L	0,8490	0,7208	0.9866
Quadrática	CL	0,3858	0,1488	0,9973
Potencial	C	0,7843	0,615	0,9888
Potencial	L	0,8496	0,7219	0,9866
Potencial	CL	0,3879	0,1504	0,9973
Exponencial	C	0,8280	0,6856	0,9870
Exponencial	L	1,0081	1,0163	0,9801
Exponencial	CL	1,0618	1,1275	0,9774

A Figura 2 ilustra o comportamento da área foliar observada (AFO) em função da variável explicativa CL (produto do comprimento pela largura).

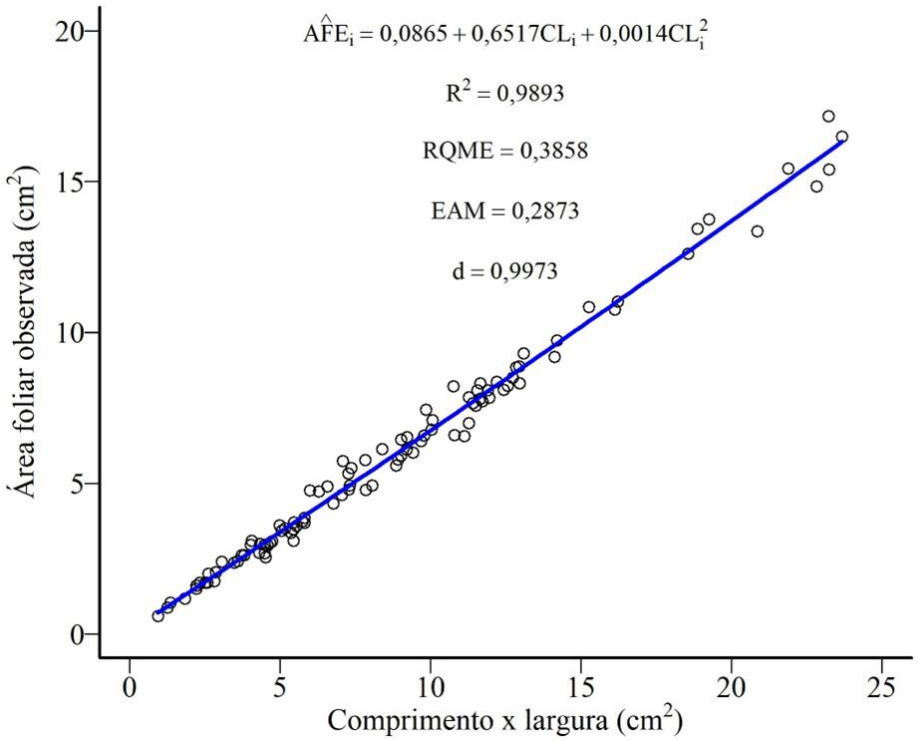


Figura 2. Relação entre a área foliar observada em função do produto entre comprimento e largura (CL) do limbo obtido de 99 folhas de amendoeira clone '70' destacando a curva ajustada pelo modelo quadrático, juntamente com a equação estimada e o coeficiente de determinação.

1.3.4 Conclusões

A área foliar de amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) clone '70' é melhor representada com uso do produto do comprimento pela máxima largura (CL) das folhas como variável independente, medidas em cm. A equação indicada é $\mathrm{AFE} =$ $0{,}0865 + 0{,}6517CL + 0{,}0015CL^2$.

Referências

ABC Almond Board of California (2021) Annual report. Modesto, California, USA.

AQUINO, L. A.; SANTOS JÚNIOR, V. S.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 4, p. 832-836, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711- 728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

BUSATO, C.; FONTES, P. C. R.; BRAUN, H.; COELHO, F. S.; SILVA, C. C. S.; OLIVEIRA, L. S. Estimativa da área foliar da cultivar de batata cupido. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v. 27, n. 2, p. 570-573, 2009.

INCAPER. Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural - PROATER 2020-2023. Conceição da Barra. 42p. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Conceicao_da_Barra.pdf. Acesso em 14 de julho de 2023.

KVALSETH, T.O. Cautionary note about R^2. **The American Statistician**, v. 39, n. 4, p. 279- 285, 1985.

KESTER, D.E.; GRADZIEL, T.M.; GRASSELLY, C. Almonds (*Prunus*). *Acta Hortic*, v. 209, p.701–758, 1991.

KHADIVI-KHUB, A; ANJAM, K. Morphological characterization of *Prunus scoparia* using multivariate analysis. *Plant Syst E*., vol 300, p. 1361–1372, 2014.

KODAD, O.; SOCIAS I COMPANY, R. (2008). Fruit Quality in Almond as Related to the Type of Pollination in Self-compatible Genotypes. ***Journal of the American Society for Horticultural Science J. Amer. Soc. Hort. Sci.***, *133*(3), 320-326. Retrieved Jul 13, 2023, from https://doi.org/10.21273/JASHS.133.3.320.

KOYAMA, K., SMITH, D. D.. Scaling the leaf length-times-width equation to predict total leaf area of shots. **Annals of Botany**, v. 130, p. 215–230, 2022 https://doi.org/10.1093/aob/mcac043.

MALAGI, G.; CITADIN, I.; SCARIOT S.; REIS, L. Método não destrutivo para determinação da área foliar da videira, cultivar BRS-Violeta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1250-1254, 2010.

OLIVEIRA V. S.; PINHEIRO, A. P. B.; SILVA, J. V. G.; JARDIM, A. S.; FERNANDES, A. A.; SCHMILDT, O.; ARANTES, S. D.; POSSE, R. P.; SCHMILDT, E. R. Uso de imagens digitalizadas para elaboração de equações que estime a área foliar de mudas de *Eugenia uniflora* L. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 11, p. 31062-31064, novembro, 2019.

OLIVEIRA, V. S.; SILVA, J. V. G.; JARDIM, A. S.; LONGUE, L. L.; AZEVEDO, A. L. R.; FERNANDES, A. A.; SANTOS, G. P.; SCHMILDT, O.; POSSE, R. P.; SCHMILDT, E. R. Ajuste de equações matemáticas para determinar a área foliar de mudas de *Allagoptera arenaria* de forma não destrutiva. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 3, p. 34399-34402, março, 2020.

R CORE TEAM (2023). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: https://www.r-project.org/.

SCHINDELIN, J.; RUEDEN, C. T.; HINER, M. C.; ELICEIRI, K. W. The ImageJ Ecosystem: an open platform for biomedical image analysis. **Molecular Reproduction and Development.** v.82, p. 518–529, 2015. DOI: 10.1002/mrd.22489.

SCHMILDT, E. R.; AMARAL, J. A. T.; SCHMILDT, O.; SANTOS, J.S. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 155-167, abril-junho, 2014.

SCHMILDT, E. R.; OLIARI, L. S.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R. S.; PIRES, F. R. Determinação da área foliar de *Passiflora mucronata* a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 351-357, outubro-dezembro, 2016.

SCHMILDT, E. R.; SCHMILDT, O.; FERNANDES, A. A.; CZEPAK, M. P. Modelos alométricos na determinação da área foliar de *Bauhinia monandra* Kurz. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 3, p. 415-419, agosto-outubro, 2016.

SCHMILDT, E.R., HUESO, J.J., CUEVAS. Allometric models for determining leaf área of vine 'Sugraone'. **Ciênc. Tec. Vitiviníc.** 29, 61–81, 2014.

SHMILDT, E. R.; OLIVEIRA, V. S.; DOUSSEAU-ARANTES, S. Modelagem da área foliar individual. **Brazilian Journals Editora**, v.1, 2023.

SCHMILDT, E. R.; FELNER, B. P.; TENIS, L. H. O.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R. S. Equações para estimar área foliar de folíolos de seringueira. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 29, n. 1, fev., 2017. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/ff52CbuqDXSQx14_2017-9-15-14-41-49.pdf>. Acesso em: julho, 2022.

SCHMILDT, E.R.; HUESO, J.J.; PINILLOS, V.; STELLFELDT, A.; CUEVAS, J. Allometric models for determining leaf area of 'Fino de Jete' cherimoya grown in green house and in the open field. **Fruits**, v.72, n.1, p.24-30, 2017.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LOOSE, L. H.; HELDWEIN, A. B.; ZANON, A. J. Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2491-2500, 2012. Suplemento.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Norwich, v. 2, p. 184- 194, 1981

1.4 DIVERSIDADE GENÉTICA EM AMENDOEIRA (*Prunus dulcis*) NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

A produção e comercialização de amendoeiras desempenham um papel significativo no mercado global e os métodos de propagação dessas plantas têm evoluído ao longo do tempo, impactando consideravelmente na diversidade genética dessa espécie. Este estudo teve como objetivo avaliar a diversidade genética de amendoeiras no norte do Espírito Santo, analisando os efeitos da propagação vegetativa por clonagem e da propagação por sementes no desenvolvimento das plantas e sua resistência a doenças. A pesquisa foi realizada no município de Conceição da Barra - ES, onde foram avaliados 226 indivíduos, sendo 64 clonados e 162 originados de sementes. As variáveis analisadas incluíram número de brotos por planta, número de brotos acima de 100 cm de altura, incidência e severidade de doença, altura e diâmetro do caule. Foram estimados parâmetros como variância ambiental, coeficiente de variação experimental, variância fenotípica, variância genética, herdabilidade no sentido amplo, coeficiente de variação genético e índice de variação. Para explorar as correlações entre as características avaliadas, foi realizada uma análise gráfica por meio de componentes principais (PCA). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R e os pacotes *ggplot2*, *factoextra* e *FactoMineR*. As características estruturais das plantas, como altura e diâmetro do caule, juntamente com a incidência e severidade das doenças, exibiram altos coeficientes de variação genética e índice de variação, o que sugere boas condições para a seleção de genótipos. A análise permitiu identificar genótipos com maior porte e menor suscetibilidade a doenças,

evidenciando seu potencial para propagação e utilização em programas de melhoramento da cultura.

Palavras-chave: Seleção de genótipos, Propagação, Caracteres morfoagronômicas, Melhoramento genético, Variância genética.

Abstract

The production and commercialization of almond trees play a significant role in the global market, and the methods of propagating these plants have evolved over time, considerably impacting the genetic diversity of almond trees. This study aimed to assess the genetic diversity of almond trees in the north of Espírito Santo, analyzing the effects of vegetative propagation by cloning and seed propagation on plant development and disease resistance. The research was conducted in the municipality of Conceição da Barra - ES, where 226 individuals were evaluated, including 64 clones and 162 seed-originated plants. The variables analyzed included the number of shoots per plant, the number of shoots above 100 cm in height, incidence and severity of the disease, plant height, and stem diameter. Parameters such as environmental variance, experimental variation coefficient, phenotypic variance, genetic variance, broad-sense heritability, genetic variation coefficient, and variation index were estimated. To explore the correlations among the evaluated characteristics, a principal component analysis (PCA) was performed. Statistical analyses were conducted using the R software and the *ggplot2*, *factoextra*, and *FactoMineR* packages. The structural characteristics of the plants, such as height and stem diameter, along with the incidence and severity of diseases, exhibited high genetic variation coefficients and variation index, suggesting favorable conditions for genotype selection. The analysis allowed the identification of genotypes with greater size and lower susceptibility to diseases, demonstrating their potential for propagation and use in crop improvement programs.

Keywords: Selection of genotypes, Propagation, Morphological and agronomic traits, Genetic improvement, Genetic variance.

1.4.1 Introdução

A amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) é amplamente cultivada devido à demanda por suas amêndoas, que são consumidas *in natura* e utilizadas como ingredientes em diversos produtos alimentícios, especialmente na panificação e confeitaria (ESFAHLAN et al., 2010). Além do consumo tradicional, seus derivados vêm se destacando como alternativas nutricionais para pessoas com restrições alimentares, como celíacos e intolerantes à lactose (TOMISHIMA et al., 2022).

A farinha de amêndoas, naturalmente isenta de glúten, é uma excelente substituta das farinhas tradicionais, enriquecendo o valor nutricional dos alimentos com nutrientes essenciais e compostos bioativos (BARRECA et al., 2020). Já o leite de amêndoas, por não conter lactose nem proteínas do leite, é uma alternativa nutritiva ao leite de origem animal e se destaca por suas qualidades sensoriais superiores em comparação com outras bebidas vegetais, como o leite de soja (YETUNDE; UDOFIA, 2014).

O cultivo de amendoeiras é expressivo em áreas com clima mediterrâneo, incluindo regiões dos países mediterrâneos, e também no Vale Central da Califórnia, Ásia Central, encostas do Himalaia e algumas áreas no Hemisfério Sul (CIMÒ; GERMANÀ, 2018). No Brasil, embora ainda não haja registros de cultivo em escala comercial, algumas áreas podem oferecer condições climáticas favoráveis, desde que sejam utilizados materiais de propagação adequados (BONELÁ et al., 2023).

Quase todas as espécies frutíferas do gênero *Prunus* são propagadas por enxertia na fruticultura comercial devido ao longo período de geração. Nesse contexto, o desenvolvimento de porta-enxertos adaptados às condições ecológicas e compatíveis com o enxerto é de grande importância (UĞUR; PAYDAŞ; SARİDAS, 2023). Atualmente, alguns porta-enxertos para prunoideas foram introduzidos ou selecionados no Brasil, podendo ser propagados tanto por sementes quanto por estaquia. Entre eles está ‘Okinawa’ (*Prunus persica*), o porta-enxerto mais utilizado no estado de São Paulo (MAYER et al., 2017) para a produção de pessegueiro, ameixeira japonesa e nectarina, frutas de caroço com importância comercial.

A diversidade genética desempenha um papel fundamental na adaptação das culturas agrícolas a diferentes condições ambientais e no aumento da resistência a pragas e doenças (DEVIN; GHARAGHANI; ESHGHI, 2021). No caso da amendoeira, compreender a variabilidade genética das populações cultivadas é essencial para

orientar programas de melhoramento genético e estratégias de manejo. Na avaliação de *seedlings* se busca precocidade, produtividade, resistência a doenças e insetos (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017), no caso das amendoeiras, outra característica de interesse é a auto-compatibilidade (KODAD et al., 2023) visto que a cultura apresenta autoincompatibilidade gametofítica (GOUTA et al., 2021).

A caracterização morfológica, combinada com métodos estatísticos multivariados, como a análise de componentes principais (PCA) é uma ferramenta valiosa para a triagem de genótipos (SORKHEH et al., 2009; ANSARI; GHARAGHANI, 2019; DEVIN; GHARAGHANI; ESHGHI, 2021). Esses métodos permitem identificar padrões significativos de variabilidade genética, facilitando a triagem de plantas com características desejáveis.

Diversos estudos foram realizados com o propósito de selecionar genótipos de amendoeira. Khadivi et al. (2019) avaliaram 187 plantas obtidas por propagação de sementes de amendoeira e selecionaram 24 genótipos que foram superiores e puderam ser usados como genitores em programas de melhoramento e também puderam ser escolhidos diretamente para cultivo nos pomares. Trabalhos semelhantes foram realizados por Devin et al. (2021) e por Pérez et al. (2021).

Objetivou-se, através deste estudo, avaliar a diversidade genética de amendoeiras (*Prunus dulcis*) cultivadas no norte do Espírito Santo, por meio da análise de caracteres morfoagronômicos e da estimativa de parâmetros genéticos, com o intuito de identificar genótipos promissores para o cultivo na região.

1.4.2 Material e Métodos

O experimento de plantio de amendoeiras (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb.) foi realizadoem uma área pertencente à Companhia de Álcool de Conceição da Barra (Alcon), localizada no município de Conceição da Barra, Espírito Santo, com coordenadas geográficas de 18°29'39.0"S de latitude e 39°56'39.9"W de longitude (Figura 1). O clima da região é classificado como Aw, caracterizado por ser quente e úmido, com estação seca no inverno e chuvosa no verão, conforme a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2014).

Foram plantadas 226 mudas em setembro de 2021, todas as mudas obtidas de sementes, com a mesma idade. Destas, utilizou-se 31 para a retirada dos ramos para

clonagem, formando 64 plantas clonais, restando 162 mudas de sementes. As características avaliadas nas plantas oriundas dessas mudas foram: Número de brotos por planta aos 66 dias após o plantio (Brotos); Número de brotos acima de 100 cm de altura da planta, medido aos 92 dias após o plantio (BA 100 cm); Incidência (Inc), como média de avaliações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio (0 = ausência de folhas doentes, ..., 5 = 100% das folhas com doença); Severidade (Sev), como média de avaliações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio (0 = ausência de sintoma de doença na folha, ..., 5 = 100% da folha com sintoma de doença); Altura de planta (AP), avaliada aos 717 dias após o plantio; Diâmetro de caule da planta (DC), medido a 20 cm do solo, avaliada aos 717 dias após o plantio.

A incidência e severidade foram analisadas em relação ao patógeno identificado *Wilsonomyces carpophilus*, conhecido como furo de bala, que causa os sintomas nas folhas.

A clonagem foi a estratégia experimental necessária para se estimar a variância ambiental ($\widehat{\sigma}_e^2$). Cada clone foi representado por duas mudas e a $\widehat{\sigma}_e^2$ foi obtida como média das variâncias obtidas pelos diferentes clones cujas plantas chegaram vivas até os 717 dias após o plantio (dap), qual seja, 58 mudas clonais. A partir dessas 58 mudas também se estimou a média dos clones ($\widehat{m}_{clones}$) e o coeficiente de variação experimental (CV_e) como representado na equação 1.

$$CV_e = \frac{\sqrt{\widehat{\sigma}_e^2}}{\widehat{m}_{clones}} \qquad \text{Equação 1}$$

A estimativa de parâmetros genéticos foi realizada a fim de direcionar os trabalhos de seleção de genótipos para propagação vegetativa e futuros cruzamentos. Das 162 mudas alvos do trabalho, após 717 dap, restaram 65 plantas. A variância contida nas 65 plantas foi a variância fenotípica ($\widehat{\sigma}_f^2$) e a média dessa 65 plantas foi representada por $\widehat{m}_{seminífera}$. A partir das estimativas de $\widehat{\sigma}_e^2$ e de $\widehat{\sigma}_f^2$ estimou-se a variância genética ($\widehat{\sigma}_g^2$) conforme equação 2.

$$\sigma_g^2 = \widehat{\sigma}_f^2 - \widehat{\sigma}_e^2 \qquad \text{Equação 2}$$

Outros parâmetros genéticos de interesse (IMANI; CHAMILI, 2018; IMANI et al., 2021; VENCOVSKY, 1987) foram estimados sendo representados na equação 3

a herdabilidade no sentido amplo (h^2), na equação 4 o coeficiente de variação genético (CV_g) e na equação 5 o índice de variação (IV).

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2} \qquad \text{Equação 3}$$

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\hat{m}_{seminífera}} \qquad \text{Equação 4}$$

$$IV = \frac{CV_g}{CV_e} \qquad \text{Equação 5}$$

A análise gráfica por meio de componentes principais (PCA) foi realizada como auxiliar no entendimento das correlações e da diversidade existentes entre as características estudadas nos 65 genótipos. Com base nas seis características morfoagronômicas estudadas nas plantas, atendendo a critérios de estrutura de árvores e resistência a doenças (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017), fez-se a indicação dos melhores genótipos para as condições de crescimento no norte do estado do Espírito Santo.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2024) e dos pacotes *ggplot2* (WICKHAM, 2016), *factoextra* (KASSAMBARA; MUNDT, 2022) e *FactoMineR* (LE et al., 2008).

1.4.3 Resultados e Discussão

A altura das plantas de amendoeira aos 717 dias após o plantio diferiu significativamente ($p < 0,01$ pelo tsete t) entre os genótipos oriundos de propagação seminífera e aqueles obtidos por clonagem (Figura 1). A média de altura das plantas provenientes de sementes foi de 180,22 cm, enquanto as plantas clonais apresentaram uma média consideravelmente superior, de 275,17 cm.

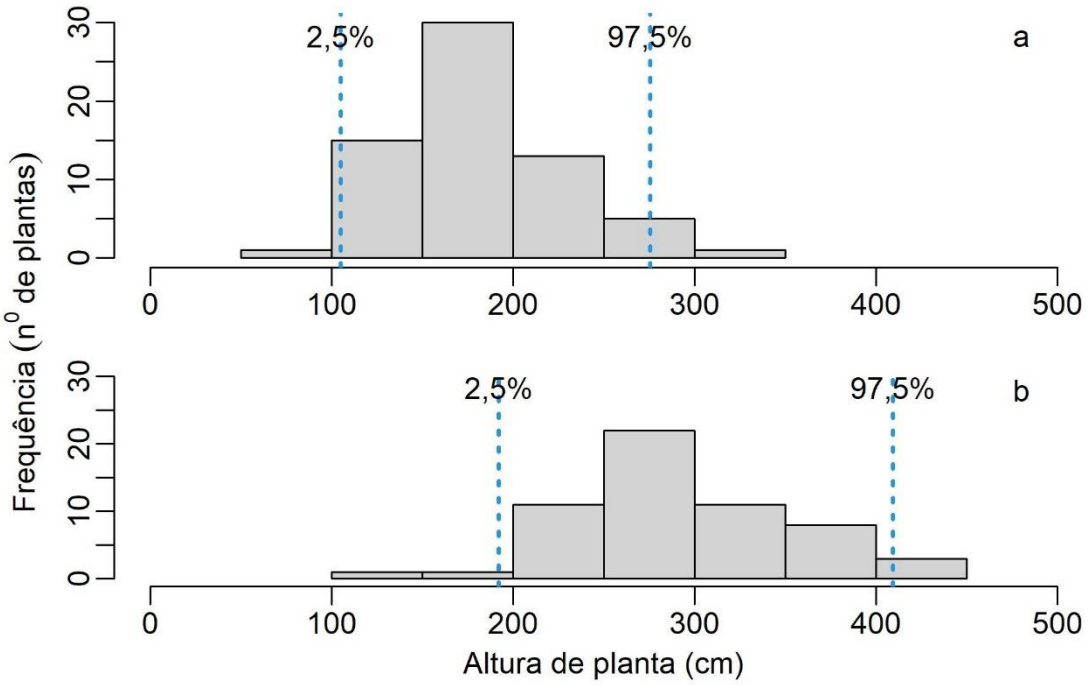


Figura 1. Altura de plantas de amendoeira (*Prunus dulcis*), obtidas por propagação seminífera (a) e por clonagem (b) avaliadas aos 717 dias após o plantio.

Essa diferença na altura das plantas sugere um efeito do porta-enxerto na determinação do crescimento, no qual a clonagem pode ter permitido um maior vigor inicial. A propagação clonal, embora mais cara do que a produção de sementes, oferece a vantagem de que o comportamento do material produzido é muito homogêneo, com características de crescimento mais consistentes e melhor conhecidas (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017).

Segundo Khadivi-Khub e Anjam (2016), em estudo com o objetivo de introduzir *Prunus scoparia* como porta-enxerto adequado para amêndoa em condição de seca, afirmam que a escolha do porta-enxerto representa uma das considerações mais importantes para um pomar de amendoeiras produtivo. O uso de porta-enxertos é direcionado principalmente para superar problemas de solo e doenças aos quais as mudas têm resistência limitada ou nenhuma resistência (TROMP, 1996; KHADIVI-KHUB; ANJAM, 2016).

Assim como observado para a altura das plantas, o diâmetro do caule, medido a 20 cm do solo, apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,01$ pelo teste t) entre as plantas propagadas por sementes e as clonais (Figura 2). As plantas clonais registraram um diâmetro médio de 58,01 mm, enquanto as plantas de propagação seminífera apresentaram um diâmetro médio consideravelmente menor, de 23,84 mm.

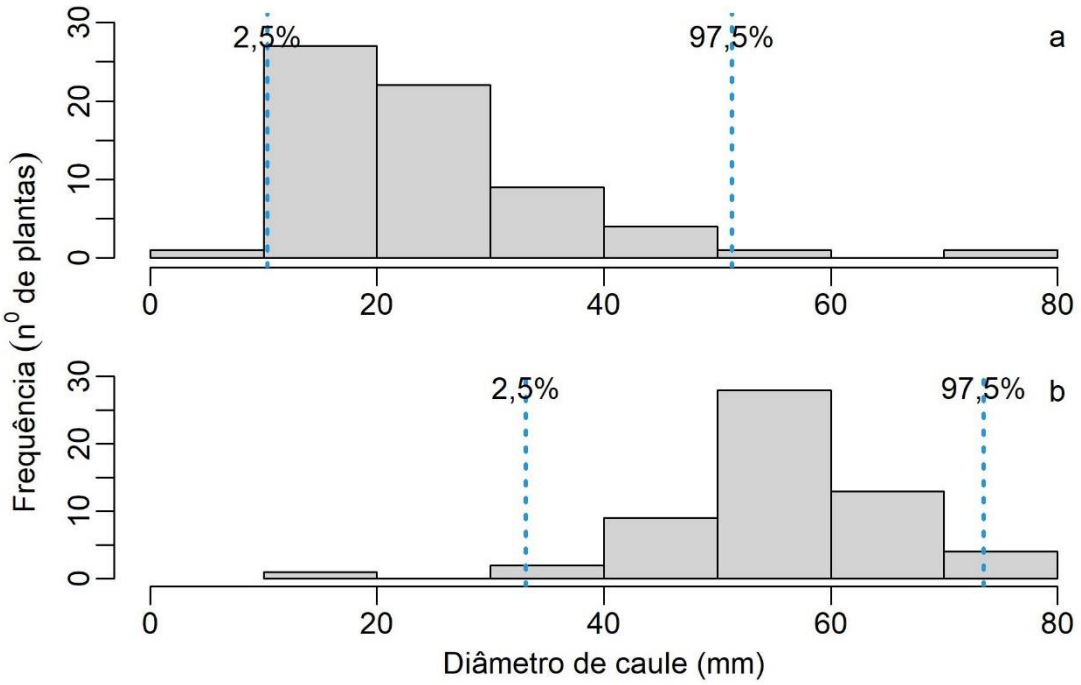


Figura 2. Diâmetro de caule, medido a 20 cm do solo, de plantas de amendoeira (*Prunus dulcis*), obtidas por propagação seminífera (a) e por clonagem (b) avaliadas aos 717 dias após o plantio.

De acordo com Socias i Company & Gradziel (2017) ao longo dos anos as sementes de pêssego foram selecionadas para a produção de amendoeiras irrigadas devido ao fato de crescerem rapidamente nos primeiros anos após o plantio e serem menos sensíveis a problemas que afetam as sementes de amendoeira, apresentando uma excelente compatibilidade. Como o pêssego é uma espécie autocompatível com um alto nível de autopolinização, as plantas geradas são geralmente mais homogêneas (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017).

Uma desvantagem da formação de mudas por meio das sementes de amendoeira é que elas não são homogêneas no desenvolvimento e no comportamento, além de serem sensíveis ao manejo e ao transplante, muitas vezes com baixa taxa de sobrevivência após o plantio (SOCIAS i COMPANY & GRADZIEL, 2017). Isso ressalta a importância de utilizar um porta-enxerto adequado, que possa conferir maior vigor, uniformidade e resistência às mudas, reduzindo os impactos negativos do transplante e aumentando a taxa de sobrevivência após o plantio (BONELÁ et al, 2023).

A incidência de doenças nas plantas de amendoeira, avaliada como a média das observações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio, apresentou valores próximos entre os dois métodos de propagação (Figura 3). As plantas clonais tiveram uma incidência média de 1,88, enquanto as plantas originadas por sementes apresentaram uma média de 1,86, indicando que a propagação vegetativa não resultou em diferenças substanciais na suscetibilidade às doenças avaliadas ($p > 0,05$ pelo teste t).

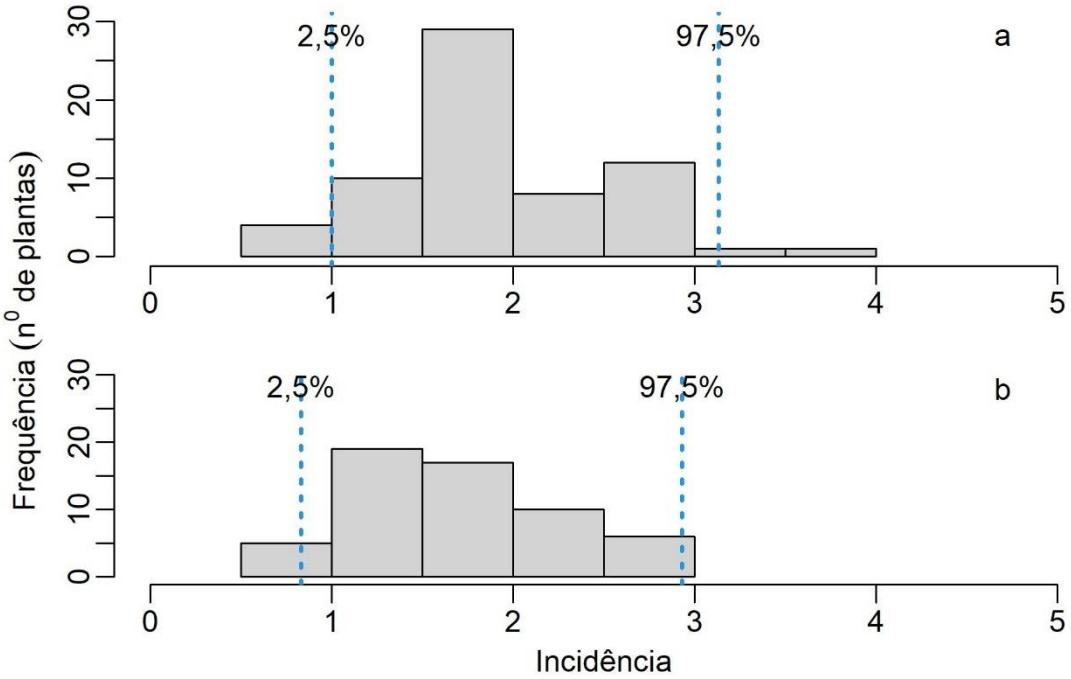


Figura 3. Incidência de doenças em plantas de amendoeira (*Prunus dulcis*), obtidas por propagação seminífera (a) e por clonagem (b) apresentadas como média de avaliações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio (0 = ausência de folhas doentes, ..., 5 = 100% das folhas com doença).

Os valores médios relativamente baixos da incidência de doenças em ambos os grupos sugerem que os genótipos estudados apresentam certo nível de resistência ao patógeno *Wilsonomyces carpophilus*, causador do furo de bala, doença detectada neste estudo. Segundo Socias i Company & Gradziel (2017), o furo de bala está entre as doenças fúngicas mais comuns encontradas na amendoeira. Nos países cujo plantio da amendoeira é comum, a doença é monitorada e controlada através do uso de fungicidas.

De acordo com Nabi et al. (2022), *Wilsonomyces carpophilus* é um fungo fitopatogênico necrotrófico que causa danos significativos à maioria das espécies do gênero *Prunus*, como *P. persica* (pessegueiro), *P. domestica* (ameixeira), *P. armeniaca*

(damasqueiro), *P. avium* (cerejeira) e *P. dulcis* (amendoeira). Nas folhas, formam-se lesões avermelhadas a arroxeadas que, ao caírem, geram perfurações conhecidas como “shot holes”, dando às folhas uma aparência irregular devido à produção da camada de abscisão.

A severidade das doenças nas plantas de amendoeira, medida como a média das avaliações realizadas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio, apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,01$ pelo teste t) entre os dois métodos de propagação (Figura 4). As plantas clonais registraram um índice médio de severidade de 1,24, enquanto as plantas originadas por sementes apresentaram um valor superior, de 1,84. Esses resultados indicam que, embora a incidência geral da doença tenha sido semelhante entre os grupos (Figura 3), a severidade foi menor nas plantas clonais.

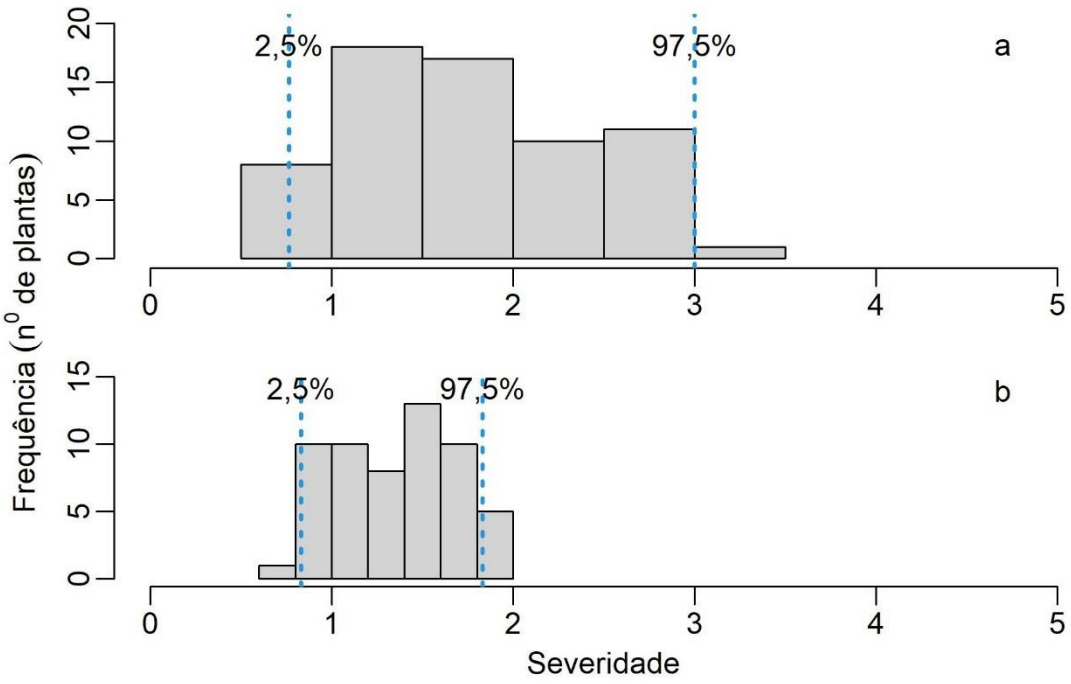


Figura 4. Severidade de doenças em plantas de amendoeira (*Prunus dulcis*), obtidas por propagação seminífera (a) e por clonagem (b) apresentadas como média de avaliações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio (0 = ausência de sintoma de doença na folha, ..., 5 = 100% da folha com sintoma de doença).

A incidência é a porcentagem de plantas doentes ou partes de plantas doentes em uma amostra ou população, e severidade é a porcentagem da área ou do volume de tecido coberto por sintomas (MICHEREFF, 2001). Logo, verifica-se que, apesar de haver baixo nível de incidência da doença em ambos os grupos, a severidade foi superior nas plantas propagadas por sementes. Ou seja, as plantas provenientes de

sementes atacadas pelo fungo *Wilsonomyces carpophilus* apresentaram maior porcentagem de área foliar com danos.

A menor severidade observada nos clones pode estar relacionada a uma maior capacidade de resposta dessas plantas aos sintomas da doença, possivelmente devido a características morfológicas ou fisiológicas que reduzem o impacto da infecção, como maior vigor vegetativo e melhor arquitetura da copa. Em contraste, plantas propagadas por sementes podem ser mais suscetíveis a doenças devido à ausência de características específicas de resistência (GUAN et al., 2012).

O número de brotos por planta, avaliado aos 66 dias após o plantio, apresentou diferenças expressivas entre os métodos de propagação (Figura 5). As plantas clonais registraram uma média de 6,75 brotos por planta, enquanto as plantas provenientes de sementes tiveram um número médio de brotos significativamente menor, de 3,80 ($p < 0,01$ pelo teste t).

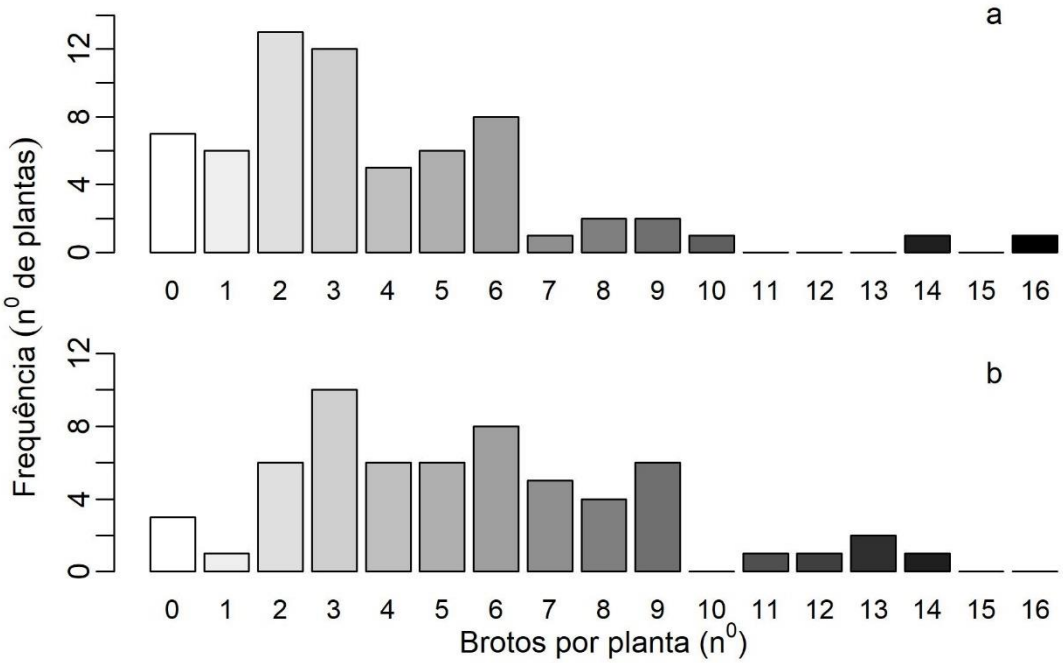


Figura 5. Número de brotos por planta de amendoeira (*Prunus dulcis*), obtidas por propagação seminífera (a) e por clonagem (b), 66 dias após o plantio.

Assim como a maior altura e diâmetro do caule observados em plantas clonadas, a maior emissão de brotações nos clones pode estar relacionada a um sistema radicular bem desenvolvido, que melhora a eficiência na absorção de nutrientes e sustenta o crescimento geral da planta. Em estudo de caracterização de

porta-enxertos de pessegueiro, verificou-se que a escolha do porta-enxerto influencia significativamente a dinâmica de absorção e translocação de nutrientes, impactando diretamente o estado nutricional e fisiológico da cultivar de copa (SANTOS et al., 2023).

O número de brotos localizados acima de 100 cm de altura, avaliado aos 92 dias após o plantio, também demonstrou diferença estatística significativa ($p < 0,01$ pelo tsete t) entre os métodos de propagação (Figura 6). As plantas clonais apresentaram uma média de 6,83 brotos acima dessa altura, enquanto as plantas provenientes de sementes tiveram um número significativamente menor, de 1,86.

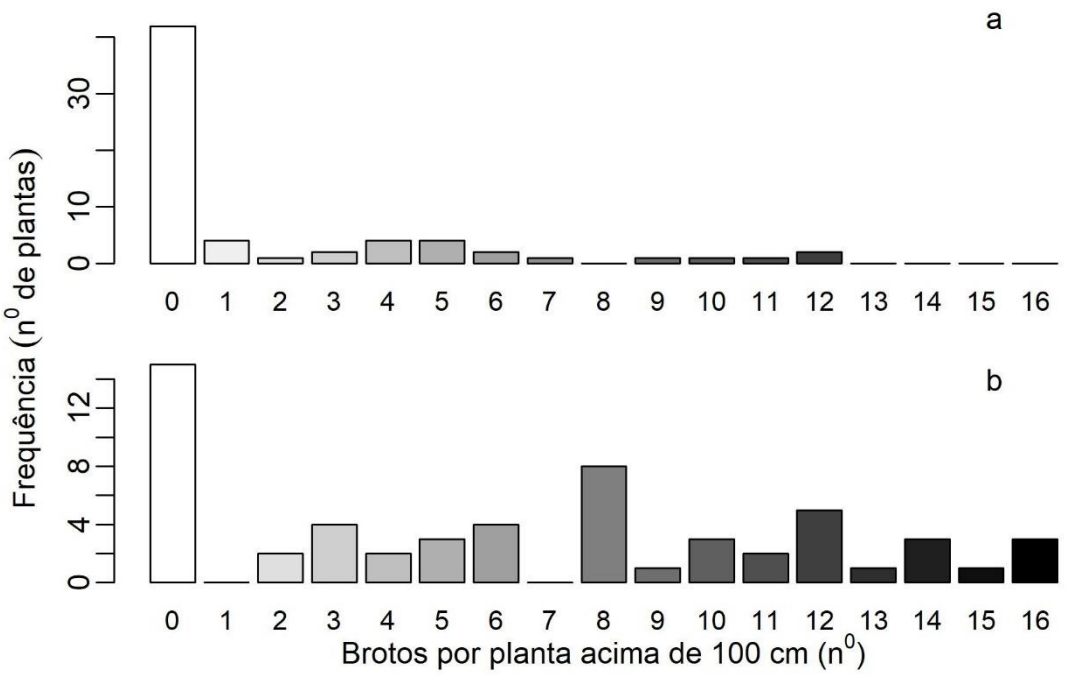


Figura 6. Número de brotos por planta de amendoeira (*Prunus dulcis*), obtidas por propagação seminífera (a) e por clonagem (b), avaliados acima de 100 cm de altura da planta, aos 92 dias após o plantio.

Essa diferença sugere que as plantas clonais não apenas emitiram mais brotações gerais (Figura 5), mas também direcionaram esse crescimento para a parte superior da planta de forma mais eficiente. Do ponto de vista produtivo, uma boa ramificação é preferível, o que resulta em uma contínua renovação da copa, desde que não seja excessiva e requeira muita poda (SOCIAS i COMPANY, 1998).

Os porta-enxertos de árvores frutíferas influenciam significativamente a distribuição da biomassa entre raízes, brotos, tronco e frutos (KHADIVI-KHUB; ANJAM, 2016), o que pode justificar as diferenças observadas na emissão de brotos

acima de 100 cm de altura. Além disso, os carboidratos armazenados nas raízes desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e crescimento das brotações, impactando diretamente a arquitetura da planta e seu potencial produtivo (KHADIVI-KHUB; ANJAM, 2016).

Na análise dos parâmetros genéticos (Tabela 1) percebe-se que é possível a seleção pelo fenótipo dos genótipos com base nas características incidência, severidade de doenças, altura e diâmetro de caule das plantas, que apresentaram herdabilidade acima de 0,7, coeficiente de variação genético acima de 25% (exceto AP, com valor próximo, de 23,90%) e índice de variação, IV > 1,0, condições propícias para a seleção (VENCOVSKY, 1987).

Tabela 1. Resumo da estimativa de parâmetros genéticos para seis características morfoagronômicas avaliadas em 65 genótipos de amendoeira (*Prunus dulcis*) ao longo de 717 dias

Parâmetros genéticos [1/]	Características [2/]					
	Brotos	BA100 cm	Inc	Sev	AP	DC
Estimativas a partir de clones estabelecidos na área experimental						
Média	6,75	6,83	1,88	1,24	275,17	58,01
VE	8,08	12,01	0,1132	0,0211	459,17	19,87
CVe	42,12	50,69	17,95	11,75	7,78	7,68
Estimativas a partir de plantas propagadas sexuadamente						
Mínimo	0,00	0,00	0,83	0,67	73,00	3,82
Máximo	16,00	12,00	4,00	3,17	334,00	71,88
Média	3,80	1,86	2,03	1,84	180,22	23,84
VF	9,94	10,56	0,3875	0,4112	2314,45	141,40
VG	1,86	[3/]	0,2743	0,3901	1855,29	121,57
h^2	0,1871	[3/]	0,7078	0,9486	0,8016	0,8597
CVg	35,89	[3/]	25,76	33,93	23,90	46,25
IV	0,85	[3/]	1,44	2,89	3,07	6,02

[1/] Parâmetro genético: VE = variância ambiental; Cve = coeficiente de variação experimental; VF = variância fenotípica; VG = variância genética; h^2 = herdabilidade no sentido amplo; CVg = coeficiente de variação genético; IV = índice de variação.
[2/] Característica: Brotos = número de brotos por planta aos 66 dias após o plantio; BA 100 cm = número de brotos acima de 100 cm de altura da planta, medido aos 92 dias após o plantio; Inc = incidência, como média de avaliações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio (0 = ausência de folhas doentes, ..., 5 = 100% das folhas com doença); Sev = severidade, como média de avaliações feitas aos 135, 261 e 548 dias após o plantio (0 = ausência de sintoma de doença na folha, ..., 5 = 100% da folha com com sintoma de doença); AP = altura de planta, avaliada aos 717 dias após o plantio; DC = diâmetro de caule da planta, medido a 20 cm do solo, avaliada aos 717 dias após o plantio.
[3/] Parâmetros genéticos não estimados devido à variância ambiental de valor elevado para a característica.

Entre as características analisadas, incidência de doenças (h^2 = 0,7078; IV = 1,44), severidade de doenças (h^2 = 0,9486; IV = 2,89), altura de planta (h^2 = 0,8016; IV = 3,07) e diâmetro de caule (h^2 = 0,8597; IV = 6,02) atenderam a esses critérios, indicando que essas variáveis possuem forte controle genético e são adequadas para seleção. A elevada herdabilidade sugere que grande parte da variação observada nesses caracteres se deve a fatores genéticos e não ambientais, o que aumenta a eficiência da seleção para melhoramento genético.

Considera-se que, se a herança de uma característica for superior a 50%, a característica tem alta herdabilidade, se a herdabilidade no sentido amplo estiver entre 20% e 50%, a herança é moderada, e se a herdabilidade no sentido amplo da característica considerada for inferior a 20%, a herança é baixa (STANSFIELD, 1991; IMANI; GARCÍA, 2021). De acordo com essa teoria, as características Inc, Sev, AP e DC apresentaram alta herdabilidade (70,78% a 94,86%).

A altura da planta e o diâmetro do caule, além de apresentarem alta herdabilidade, tiveram os maiores índices de variação (3,07 e 6,02, respectivamente), o que indica um amplo potencial para ganhos genéticos por meio da seleção (AZEVEDO et al., 2012). Essas duascaracterísticas estão diretamente relacionados ao vigor da planta e são essenciais para a adaptação ao campo e a produtividade da cultura.

Já as características incidência e severidade de doenças também demonstraram herdabilidade alta (0,7078 e 0,9486, respectivamente), sugerindo que a resistência a doenças pode ser eficazmente melhorada via seleção de genótipos mais tolerantes. Esse achado é relevante, pois a severidade da doença apresentou o maior índice de herdabilidade do estudo (0,9486), o que indica que quase toda a variação observada nessa característica é de origem genética. Socias i Company & Gradziel (2017) destacam que a seleção de genótipos com resistência a doenças, além da seleção de genótipos autocompatíveis, é um dos principais objetivos no melhoramento da amendoeira, visando reduzir a necessidade de controle químico e aumentar a longevidade das plantas em campo.

A característica número de brotos por planta (Brotos) apresentou variância genética estimável (VG = 1,86), mas com baixa herdabilidade (h^2 = 0,1871, menor que 0,7), indicando que grande parte da variação observada decorreu de fatores ambientais. Embora o coeficiente de variação genética (CVg = 35,89%) tenha sido

relativamente elevado, o índice de variação (IV = 0,85) abaixo de 1,0 sugere que a influência ambiental foi predominante.

Por outro lado, a característica número de brotos acima de 100 cm de altura (BA100 cm) não teve parâmetros genéticos estimados, devido à elevada variância ambiental (VE), que impediu a separação da variância fenotípica em seus componentes genético e ambiental. Isso sugere que a variação do número de brotos acima de 100 cm foi amplamente determinada por fatores não genéticos, dificultando sua utilização como critério de seleção.

Assim, Broto e BA 100 cm apresentam limitações para a seleção direta, sendo mais adequado analisar suas correlações com características de maior controle genético, como altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC), que exibiram h² superiores a 0,7 e IV acima de 1,0, tornando-se opções mais promissoras para a seleção genética.

Na análise de componentes principais (Figura 7) percebe-se que as características que mais contribuiram para a diversidade genética foram altura de plantas, diâmetro de caule e brotos acima de 100 cm. Destas características, no entanto, a última não se mostrou adequada para seleção, como relatado na Tabela 1.

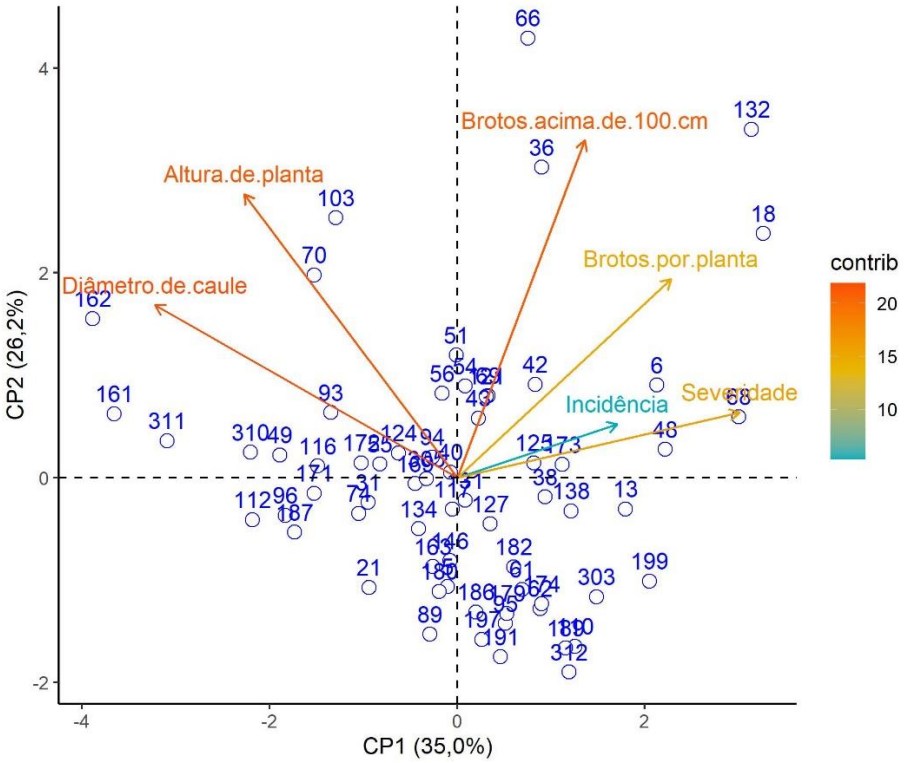


Figura 7. Análise de componentes principais das características morfoagronômicas de amendoeira (*Prunus dulcis*).

Além disso, observou-se uma relação inversa entre diâmetro de caule e incidência e severidade de doenças, indicando que plantas mais vigorosas tendem a apresentar maior resistência a patógenos (Figura 7). Assim, com base na visualização gráfica e considerando os valores *per si*, podem ser identificados os genótipos 112, 161, 162, 310 e 311 como os mais promissores para seleção.

A análise de componentes principais (PCA) tem como objetivo principal identificar os fatores responsáveis pela variabilidade genética, reduzindo o número de parâmetros necessários para discriminar os genótipos (DEVIN; GHARAGHANI; ESHGHI, 2021). A morfologia vegetal, nesse contexto, continua sendo um método amplamente utilizado para a identificação e caracterização do germoplasma de amendoeira. Os achados deste estudo estão em consonância com Devin et al. (2021), que também observaram que a altura da muda, a altura do primeiro ramo lateral, o diâmetro do caule e o número de ramos laterais foram as características com maior peso na análise de componentes principais em amendoeira.

Adicionalmente, considera-se que a enxertia pode reduzir a diversidade genética, uma vez que se baseia em um *pool* genético mais restrito, o que pode aumentar a vulnerabilidade das plantas a longo prazo (HAMADEH et al., 2018). Em contrapartida, a propagação por sementes promove uma maior diversidade genética. No entanto, neste estudo, a utilização da enxertia com diferentes genótipos contribuiu para mitigar essa limitação.

Por fim, em programas de melhoramento de árvores frutíferas, um dos principais desafios é a capacidade de avaliar as árvores no campo, devido ao longo período necessário para que as progênies completem seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, além da grande demanda por espaço para o cultivo das seleções (MORENO, 2004). Considerando a existência de marcadores moleculares para os alelos de incompatibilidade em amendoeiras (LÓPEZ et al., 2006; GOMEZ et al., 2019; GOUTA et al., 2021), sugere-se a realização da análise molecular dos genótipos selecionados, a fim de identificar aqueles que possuem alelos de autoincompatibilidade distintos. Dessa forma, será possível reconhecer possíveis genótipos autocompatíveis, viabilizando a propagação clonal e o direcionamento de materiais que possam cruzar entre si para garantir a produção e permitir avaliações da produtividade.

1.4.4 Conclusões

As características estruturais das plantas, como altura e diâmetro do caule, além das avaliações de incidência e severidade de doenças, apresentaram altos coeficientes de variação genética, evidenciando um cenário favorável para a seleção de genótipos. Entre os avaliados, os genótipos 112, 161, 162, 310 e 311 destacaram-se como os mais promissores para seleção.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2014). Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANSARI, A.; GHARAGHANI, A.; (2019) A comparative study of genetic diversity, heritability and interrelationships of tree and nut attributes between *Prunus scoparia* and *P. elaeagnifolia* using multivariate statistical analysis**. International Journal of Horticultural Science and Technology**. 6(1), 137-50.

AZEVEDO, A. M. et al. Desempenho agronômico e variabilidade genética em genótipos de couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1751–1758, dez. 2012.

BARRECA, D.; NABAVI, S. M.; SUREDA, A.; RASEKHIAN, M.; RACITI, R.; SILVA, A. S.; ANNUNZIATA, G.; ARNONE, A.; TENORE, G. C.; SÜNTAR, I.; MANDALARI, G. **Almonds (*Prunus dulcis* Mill. D. A. Webb): A source of nutrients and health-promoting compounds**. *Nutrients*, v. 12, n. 3, p. 672, 2020. DOI: 10.3390/nu12030672.

BONELÁ, E.S.; MORAIS, G.S.; MORAIS, L.G.; CARRAFA, M.P.; FACCO, A.G.; CZEPAK, M.P.; SCHMILDT, E.R. Efficiency of 'Okinawa' as an almond tree rootstock in northern Espírito Santo. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v.16, n.46, p.2331-2343, 2023.

DEVIN, S.R.; GHARAGHANI, A.; ESHGHI, S. Diversity of nut and seedling characteristics and its relationship to habitat climate in some almond species. **Journal of Nuts**, v.12, n.2, p.113-136, 2021.
DOI: http://doi.org /10.22034/jon.2021.1923860.1107.

ESFAHLAN, A. J.; JAMEI, R.; ESFAHLAN, R. J. The importance of almond (*Prunus amygdalus* L.) and its by-products. **Food Chemistry**, v.120, n.2, p.349–360, 2010.

GOMEZ, E.M., DICENTA, F., BATLLE, I., ROMERO, A., & ORTEGA, E. Cross-incompatibility in the cultivated almond (*Prunus dulcis*): updating, revision and correction. **Scientia Horticulturae**, v.245, p.218–223, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.054.

GOUTA, H.; KSIA, E.; LAARIBI, I.; BENNICI, S.; LA MALFA, S.; GENTILE, A.; DISTEFANO, G. Efficiency of *S*-genotyping for diversity screening and self-incompatible group identification of almond cultivars within the Mediterranean Basin. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.96, n.3, p.1-6, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1850214.

GUAN, W. et al. Defense mechanisms involved in disease resistance of grafted vegetables. **HortScience**, v. 47, n. 2, p. 164–170, fev. 2012.

HAMADEH, B.; CHALAK, L.; COPPENS D'EECKENBRUGGE, G.; BENOIT, L.; JOLY, H. I. Evolution of almond genetic diversity and farmer practices in Lebanon: impacts of the diffusion of a graft-propagated cultivar in a traditional system based on seed-propagation. **BMC Plant Biology**, v. 18, p. 155, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s12870-018-1372-8.

IMANI, A.; AMANI, G.; SHAMILI, M.; MOUSAVI, A.; REZAI, H.; RASOULI, M.; MARTÍNEZ- GARCÍA, P.J. Diversity and broad sense heritability of phenotypic characteristic in almond cultivars and genotypes. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v.8, n.3, p.281-289, 2021. DOI: https://doi.org/10.22059/IJHST.2020.284452.303.

IMANI, A.; SHAMILI, M. Phenology and pomology of almond's cultivars and genotypes using multivariate analysis. **Adv. Hort. Sci**., v.32, n.1, p.27-32, 2018. DOI: https://doi.org/10.13128/ahs-21157.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. (2022). **Package 'factoextra'**: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package version 1.0.7 (2022-10-13). https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/factoextra.pdf.

KHADIVI-KHUB, A.; ANJAM, K. *Prunus scoparia*, a suitable rootstock for almond (*Prunus dulcis*) under drought condition based on vegetative and fruit characteristics. **Scientia Horticulturae**, v. 210, p. 220–226, 10 out. 2016.

KHADIVI, A.; SAFDARI, L.; HAJIAN, M.H.; SAFARI, F. Selection of the promising almond (*Prunus amygdalus* L.) genotypes among seedling origin trees. **Scientia Horticulturae**, v.256, p.108587, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108587.

KODAD, S.; MUELLER, C.; JAWARNEH, M. et al. The relevance of selecting promising local almond genotypes from Eastern Morocco by means of phenotypic and molecular markers. **Authorea**. October 25, 2023. DOI: 10.22541/au.169823550.03905063/v1.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LÓPEZ, M.; VARGAS, F.J.; BATLLE, I. Self-(in)compatibility almond genotypes: A review. **Euphytica**, v.150, p.1–16, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-005-9009-z.

MICHEREFF, S. J. Epidemiologia de doenças de plantas. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de agronomia - Fitossanidade, 2001.

MORENO, M. A. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the aula del experimental station, Zaragoza, Spain. **Acta Horticulturae**, n. 658, p. 519–528, out. 2004.

NABI, A.; SEHLA, K.; PADDER, B. A.; SO, T. A.; MASOODI, K. Z.; SHAH, M. D. Whole genome sequence of *Wilsonomyces carpophilus*, the causal agent of shot hole disease of stone fruits: insights into secreted proteins of a necrotrophic fungal repository. **Research Article**, 2022. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2194224/v1.

PÉREZ, F.; MARTÍNEZ-GARCÍA, P. J.; ROMERO, A. et al. Pedigree analysis of 220 almond genotypes reveals two world mainstream breeding lines based on only three different cultivars. **Horticulture Research**, v. 8, n. 11, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-020-00444-4.

R CORE TEAM (2024). R: **A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**, R version 4.4.1 (2024-06-14), Vienna, Austria. URL: https://www.R-project.org/.

SANTOS, M. V.; SANTANA, A. S.; PRADO, J.; GIACOBBO, C. L.; FERREIRA, L. O.; UBERTI, A.; MATTIAS, J. L.; GALON, L. Selection of *Prunus* clonal rootstocks based on nutritional efficiency state. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 14, e3836, 2023. DOI: https://doi.org/10.14295/CS.v14.3836.

SOCIAS i COMPANY, R.; GRADZIEL, T.M. (eds). **Almonds**: botany, production and uses. Boston: CABI, 2017. 494p.

SOCIAS i COMPANY, R. La taxonomie de l'amandier. **Cahiers Options Méditerranéennes**, v. 33, p. 91-93, 1998.

SORKHEH, K.; SHIRAN, B.; ROUHI, V.; ASADI, E.; JAHANBAZI, H.; MORADI, H.; GRADZIEL T. M.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, P. (2009) Phenotypic diversity within native Iranian almond (*Prunus* spp.) species and their breeding potential. **Genetic Resources and Crop Evolution**. 56(7), 947-961.

STANSFIELD, W. D. Theory and Problems in Genetics. New York: McGraw-Hill, 1991.

TOMISHIMA, H.; LUO, K.; MITCHELL, A. E. The almond (*Prunus dulcis*): chemical properties, utilization, and valorization of coproducts. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 13, p. 145-166, Mar. 2022. Available at: https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-111942.

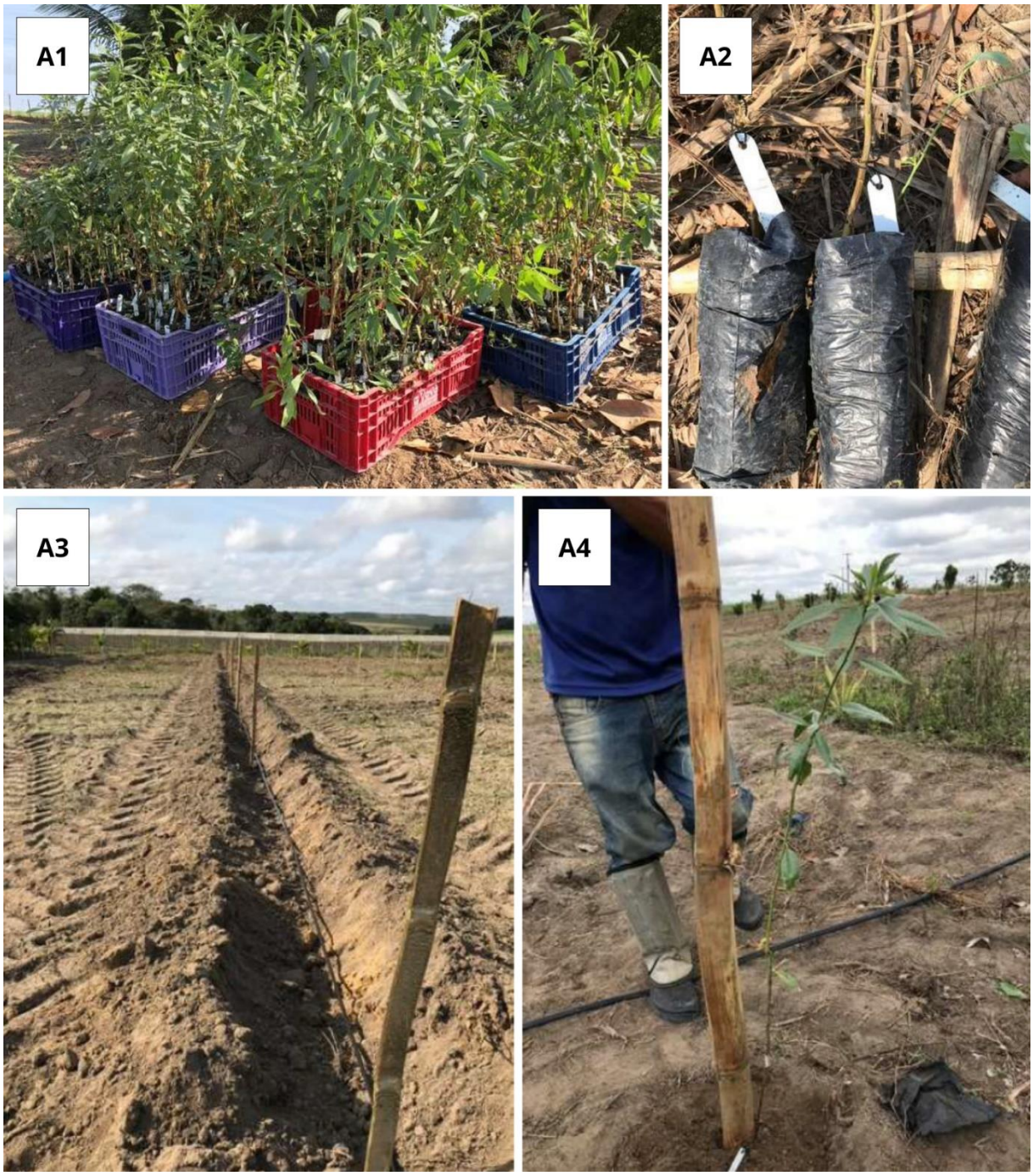
TROMP, J. Sylleptic shoot formation in young apple trees exposed to various soil temperature and air humidity regimes in three successive periods of the growing season. **Annals of Botany**, v. 77, n. 1, p. 63–70, 1 jan. 1996.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento e a produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1987. p.137-214.

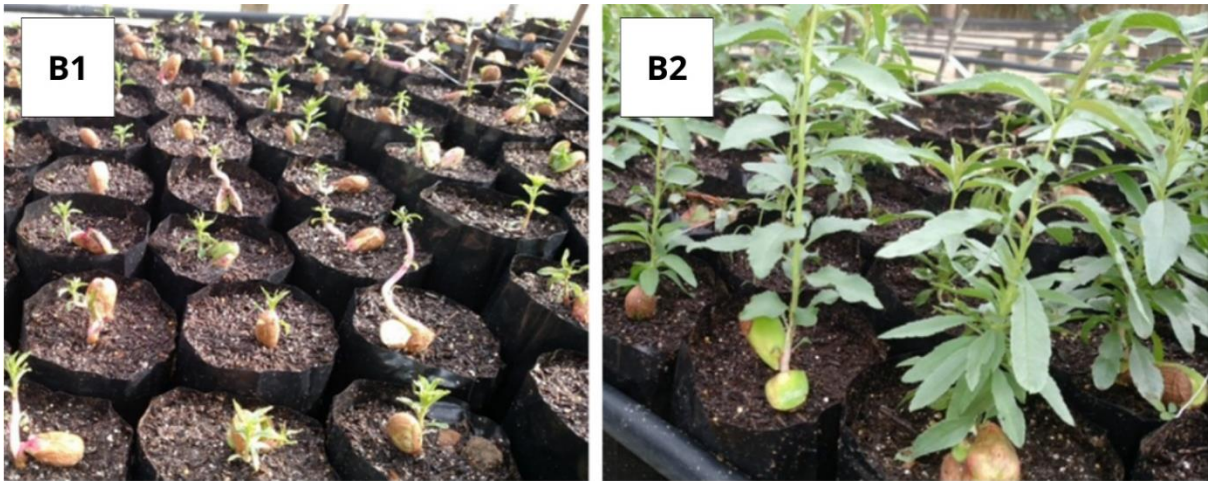
WICKHAM, H. **ggplot2**: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

YETUNDE. E. A.; UDOFIA, U. S. Nutritional and sensory properties of almond (*Prunus amygdalus* var. *dulcis*) seed milk. **World Journal of Dairy & Food Sciences**. v. 10, n. 2, 2015. DOI:10.5829/idosi.wjdfs.2015.10.2.9622.

Apêndices



Apêndice A. Imagens registradas no dia do plantio, em 14 de setembro de 2021. A1: Mudas obtidas por sementes de amendoeira (*Prunus dulcis*) e outras clonadas sobre o porta-enxerto 'Okinawa'; A2: Detalhe da identificação das mudas; A3: Área preparada para o plantio; A4: Muda recém-plantada.



Apêndice B. B1:Fase de emergência das sementes de amendoeira (*Prunus dulcis*); B2: mudas de amendoeira 30 dias após semeio.

Apêndice C. Plantas durante as avaliações de altura e número total de brotações, realizadas em 18 de novembro de 2021 (66 dias após o plantio). C1: Plantas com ausência de brotações; C2: Planta com múltiplas brotações.