

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CURSO DE MESTRADO**

**CARACTERIZAÇÃO E PARÂMETROS GENÉTICOS DE
HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-
ENXERTO**

Pablo de Aguiar Nascimento

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2024**

CARACTERIZAÇÃO E PARÂMETROS GENÉTICOS DE HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA- ENXERTO

Pablo de Aguiar Nascimento

Engenheiro Florestal

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Coorientador: Dr. Walter Soares Santos Filho

Coorientadora: Dr^a. Hellen Cristina da Paixão Moura

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

N244c

Nascimento, Pablo de Aguiar.

Caracterização e parâmetros genéticos de híbridos de citros com potencial para porta-enxerto / Pablo de Aguiar Nascimento._ Cruz das Almas, BA, 2024.

77f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo.

Coorientador: Prof. Dr. Walter Soares Santos Filho.

Coorientadora: Profa. Dra. Hellen Cristina da Paixão

CDD: 634.3

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração
Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CURSO DE MESTRADO**

**CARACTERIZAÇÃO E PARÂMETROS GENÉTICOS DE HÍBRIDOS DE
CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-ENXERTO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de Pablo de Aguiar
Nascimento

Aprovado em 30 de julho de 2024

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ALBERTO DA SILVA LEDO**
Data: 20/09/2024 10:48:51-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo
Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **YURI CAIRES RAMOS**
Data: 21/09/2024 06:08:47-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Yuri Caires Ramos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Examinador externo)

Documento assinado digitalmente
 **DANILO PEREIRA COSTA**
Data: 20/09/2024 15:31:20-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Danilo Pereira Costa
Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Examinador externo)

Dedico este trabalho: meu pai, Laurindo Jose, minha mãe, Jailza Sinara, minha esposa, Edilane Maciel e a minha filha, Cecília Nascimento. Vocês são tudo para mim, o meu Norte e o motivo de eu nunca desistir, será sempre por vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois Ele foi minha maior força e refúgio nos momentos difíceis. Sem Ele, nada disso seria possível. Obrigado, Senhor, por colocar esperança, amor e fé no meu coração, e por abençoar não só a mim, mas também a minha família e amigos. Sua presença constante me deu coragem e motivação para seguir em frente.

Quero expressar minha profunda gratidão à minha esposa, Edilane Maciel, por sempre estar ao meu lado, me apoiando incondicionalmente e levantando-me nos momentos mais desafiadores. Sua dedicação e amor foram fundamentais para que eu pudesse superar os obstáculos. À nossa filha, Cecília Nascimento, que chegou de forma tão especial, trazendo uma nova dimensão de alegria e propósito à minha vida.

Aos meus pais, minha gratidão é imensa. Palavras não podem expressar o quanto sou abençoado por tê-los em minha vida. Suas orações incessantes e seu apoio incondicional me deram a força necessária para continuar e concluir mais esta etapa. Em especial, agradeço a Laurindo José do Nascimento e Jailza Sinara de Aguiar Nascimento, que juntos não mediram esforços para que eu pudesse realizar o meu sonho. Esta vitória é nossa!

Ao meu irmão, Wallace de Aguiar Nascimento, que sempre foi meu companheiro fiel e amigo de todas as horas, em quem sempre pude confiar. À minha cunhada, Bruna Carmo, pelo carinho, respeito e apoio constantes. E às minhas adoráveis sobrinhas, Gabrielle e Maria, cuja presença iluminou muitos momentos.

Gostaria de agradecer de coração a todos os meus amigos que me apoiaram e incentivaram a buscar meus objetivos. Especialmente a Eric Andrade, Sandila Rocha, Luana Lais, Rodrigo Araujo, Juliana Sampaio e Nara. Vocês foram parceiros inestimáveis nessa caminhada difícil, cheia de altos e baixos. Levarei vocês sempre no coração e estarão eternamente presentes em minhas orações.

Minha gratidão se estende ao Dr. Walter Soares Filho, ao Dr. Carlos Ledo, à Dra. Hellen Moura e ao Dr. Danilo Costa. Em nome da Dra. Hellen, agradeço profundamente a todo grupo de orientação, pela paciência e ajudas fornecidas ao longo deste trabalho. Sem o apoio, este projeto não teria sido possível.

Agradeço também à dedicada equipe citros, especialmente a Lizziane, seu Santana, seu Getúlio (carinhosamente conhecido como seu GG), Jorginho e Sandrielle, por todo o suporte dado durante a pesquisa, sobretudo nos momentos de campo. Seus empenhos e colaborações foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Um agradecimento especial ao programa e à Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela estrutura e apoio no desenvolvimento de todo o projeto. Sou grato também à instituição financiadora CAPES, cujo suporte foi fundamental para a realização desta pesquisa.

Por fim, mas não menos importante, deixo minha gratidão a todos que tive a honra de conhecer e compartilhar momentos durante este período de pós-graduação. Aos amigos do RGV, todo o meu carinho, respeito e admiração. A convivência com vocês enriqueceu minha experiência acadêmica e pessoal.

CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA E PARAMETROS GENÉTICOS EM HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-ENXERTO

RESUMO: Os porta-enxertos de citros desempenham um papel de destaque no desenvolvimento e produção de pomares de cítricos, influenciando o crescimento, a produtividade, a qualidade do fruto, resistência a doenças e tolerância a estresses abióticos. A escolha do porta-enxerto ideal depende de diversos fatores, incluindo o clima local, o tipo de solo, as doenças prevalentes na área e as características desejáveis do fruto final e a diversificação de uso de porta-enxertos de citros é importante no Brasil devido à presença de diversos estresses abióticos e bióticos. O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar fenotipicamente híbridos de citros com potencial para utilização como porta-enxertos, estimando parâmetros genéticos para variáveis agrônômicas de interesse. No capítulo 1 caracterizou a diversidade fenotípica de 80 híbridos com 4 repetição de citros totalizando 10 progênies, avaliando características como altura da planta, diâmetro do caule, volume da copa, vigor visual e poliembrionia, esses híbridos foram enxertados no híbrido BRS Santana (HTR-069) [parental feminino: (laranjeira 'Pera' [Citrus sinensis (L.) Osbeck]; parental masculino: citrange 'Yuma' [Citrus sinensis x Poncirus trifoliata (L.) Raf]), na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Bahia, Brasil. A altura das plantas variou de 0,63 a 1,94 metros, com média de 1,20 metros e coeficiente de variação (CV) de 16,7%. O diâmetro do caule apresentou variação de 1,11 a 5,95 cm, com média de 2,99 cm e CV de 33,3%. O volume da copa variou de 0,09 a 2,29 m³, com média de 0,68 m³ e CV de 63,9%. Essas variáveis indicam a heterogeneidade da população estudada e o potencial de seleção de genótipos com características desejáveis para diferentes condições de cultivo. A análise dendrográfica da dissimilaridade genética dos cruzamentos mostrou um coeficiente de correlação cofenética de 0,83, indicando uma representação precisa das relações genéticas entre os genótipos. No capítulo 2 foram avaliados uma população de 10 híbridos de irmãos completos de citros com 4 repetições totalizando 10 progênies enxertados em BRS Santana (HTR-069), cultivados em área experimental da Embrapa mandioca e fruticultura em Cruz das Almas, Bahia. As plantas foram avaliadas quanto à altura (AP), diâmetro do caule (DC), e volume da copa (volcopa) em maio de 2022 e maio de 2023, oito e nove anos após o plantio. A análise estatística envolveu modelos lineares mistos para estimar a herdabilidade, utilizando variâncias fenotípicas, genéticas e da interação progênies x anos. A significância dos efeitos do modelo foi avaliada pelo teste de razão de verossimilhança. As análises foram realizadas com o auxílio do software R. Houve efeito significativo da interação progênies x anos para a variável volume da copa. A correlação progênies x anos foi baixa com máxima de 0,13 e coeficiente de variação genotípico, com valores moderado com mínima de 9,26% e máxima de 29,07%. Esses parâmetros mostram que existe uma variação significativa na performance das progênies nos diferentes anos de 2022 e 2023.

PALAVRAS CHAVE: Dissimilaridade genética; poliembrionia; herdabilidade; interação progênies x anos

PHENOTYPIC CHARACTERIZATION AND GENETIC PARAMETERS IN CITRUS HYBRIDS WITH ROOTSTOCK POTENTIAL

ABSTRACT: Rootstocks play a critical role in the development and production of citrus orchards, influencing growth, productivity, fruit quality, disease resistance, and tolerance to abiotic stresses. The selection of the ideal rootstock depends on various factors, including the local climate, soil type, prevalent diseases in the area, and desirable characteristics of the final fruit. Diversifying the use of citrus rootstocks is important in Brazil due to the presence of various abiotic and biotic stresses. The objective of this research was to phenotypically characterize citrus hybrids with potential for use as rootstocks, estimating genetic parameters for agronomic variables of interest. In Chapter 1, the phenotypic diversity of 80 hybrids with 4 replications, totaling 10 progenies, was characterized by evaluating traits such as plant height, stem diameter, canopy volume, visual vigor, and polyembryony. These hybrids were grafted onto the BRS Santana hybrid (HTR-069) [female parent: 'Pera' sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]; male parent: 'Yuma' citrange [*Citrus sinensis* × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf]) at Embrapa Mandioca e Fruticultura, in Cruz das Almas, Bahia, Brazil. Plant height ranged from 0.63 to 1.94 meters, with an average of 1.20 meters and a coefficient of variation (CV) of 16.7%. Stem diameter ranged from 1.11 to 5.95 cm, with an average of 2.99 cm and a CV of 33.3%. Canopy volume ranged from 0.09 to 2.29 m³, with an average of 0.68 m³ and a CV of 63.9%. These variables indicate the heterogeneity of the studied population and the potential for selecting genotypes with desirable characteristics for different growing conditions. The dendrogram analysis of genetic dissimilarity between the crosses showed a cophenetic correlation coefficient of 0.83, indicating an accurate representation of genetic relationships among the genotypes. In Chapter 2, a population of 10 citrus full-sibling hybrids with 4 replications, totaling 10 progenies, was evaluated. These hybrids were grafted onto BRS Santana (HTR-069) and grown in an experimental area at Embrapa Mandioca e Fruticultura in Cruz das Almas, Bahia. The plants were evaluated for height (PH), stem diameter (SD), and canopy volume (canopyvol) in May 2022 and May 2023, eight and nine years after planting. Statistical analysis involved linear mixed models to estimate heritability, using phenotypic, genetic, and progeny × years interaction variances. The significance of model effects was assessed using the likelihood ratio test. The analyses were conducted using R software. There was a significant effect of the progeny × years interaction for the canopy volume variable. The progeny × years correlation was low, with a maximum of 0.13 and a genotypic coefficient of variation, with moderate values ranging from a minimum of 9.26% to a maximum of 29.07%. These parameters indicate significant variation in the performance of the progenies across the different years of 2022 and 2023.

KEYWORDS: Genetic dissimilarity, polyembryony, heritability, progeny × year interaction.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - DIVERSIDADE FENOTÍPICA EM HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA ENXERTOS	29
Figura 1. Mapa de localização da quadra experimental na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-Ba. Fonte: Autor (2024).	33
Figura 2. Temperatura média mensal do ar (máxima, média e mínima) e precipitação pluviométrica na área experimental de janeiro de 2022 a dezembro de 2023, período este, de avaliações do experimento. Cruz das Almas, Bahia, Brasil. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2023).....	34
Figura 3. Códigos de identificação seguem nomenclatura do Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura.....	35
Figura 4. Coletas de dados biométricos na Embrapa Mandioca e Fruticultura, quadra 04. Fonte: Aguiar (2024).	36
Figura 5. Imagem ilustrativa do Formato do Limbo Foliar (FLF) dos híbridos coletados na área experimental. Fonte: Aguiar (2024)	37
Figura 6. Ilustração da metodologia de contagem de sementes por fruto e a contagem dos embriões. Fonte: Aguiar (2024)	38
Figura 7. Dendrograma baseado na distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA-Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean, para os cruzamentos de citros avaliados para características morfoagronômicas no ano de 2022.....	40
Figura 8. Dendrograma baseado na distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA-Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean, para os cruzamentos de citros avaliados para características morfoagronômicas no ano de 2023.....	41
Figura 9. Análise estatística descritiva do volume de copa (VC) por grupo de cruzamento: Box-plot de 2022.	43
Figura 10. Análise estatística descritiva da altura de planta (AP) por grupo de cruzamento: Box-plot de 2022.	44
Figura 11. Análise Estatística Descritiva da Diâmetro do caule (DC) por Grupo de Cruzamento: Box-Plot de 2022.	44
Figura 12. Análise estatística descritiva do volume de copas (VC) por Grupo de Cruzamento: Box-Plot de 2023.	47
Figura 13. Análise estatística descritiva da altura de planta (ap) por grupo de cruzamento: box-plot de 2023.....	48
Figura 14. Análise estatística descritiva do diâmetro do caule (DC) por Grupo de Cruzamento: Box-Plot de 2023.	48
Figura 15. Análise estatística descritiva para poliembrionia por grupo de cruzamento representado no gráfico Box-Plot de 2022.	50
Figura 16. Análise estatística descritiva para poliembrionia por grupo de cruzamento representado no gráfico Box-Plot de 2023.	52

Figura 17. Análise estatística descritiva para número de sementes por grupo de cruzamento representado no gráfico Box-Plot. 54

CAPÍTULO II - PARÂMETROS GENÉTICOS EM POPULAÇÕES DE IRMÃOS COMPLETOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-ENXERTO 61

Figura 1. Progênies de citros com potencial de porta-enxerto avaliadas e seus nomes comuns e parentais. 66

Figura 2. Esquema da obtenção das progênies de citros com potencial de porta-enxerto avaliadas. 66

Figura 3. Mapa de localização da quadra experimental na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-Ba. Fonte: Aguiar (2024)..... 67

Figura 4. Médias para a variável volume da copa em porta-enxertos híbridos de citros avaliados aos 8 e 9 anos após o plantio. 70

Figura 5. Médias para as variáveis altura da planta e diâmetro do caule em porta-enxertos híbridos de citros avaliados aos 8 e 9 anos após o plantio.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - DIVERSIDADE FENOTÍPICA EM HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA ENXERTOS 29

Tabela 1. Descritores morfológicos adotados baseados pelo International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 36

Tabela 2. Distribuição percentual para os caracteres fenotípicos avaliados em relação às análises multivariadas para os 80 híbridos de citros em Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 56

CAPÍTULO II - PARÂMETROS GENÉTICOS EM POPULAÇÕES DE IRMÃOS COMPLETOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-ENXERTO 61

Tabela 1. Teste de máxima verossimilhança dos efeitos de progênie, ano e a interação progênie x ano para as variáveis altura da planta, diâmetro do caule e volume da copa em progênies de irmãos completos com potencial de porta-enxerto de citros. 69

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos para características agronômicas de progênies de porta-enxerto de citros avaliados em dois anos em Cruz das Almas no estado da Bahia. 72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Porta-enxertos no Brasil.....	15
2.2. Importância econômica e nutricional dos citros na agricultura global .	16
2.3. Diversidade genética em porta-enxertos de citros	17
2.4. Adaptação de porta-enxertos às mudanças climáticas	18
2.5. Caracterização fenotípica de porta-enxertos de citros	18
2.6. Conservação de recursos genéticos em citros.....	19
2.7. Parâmetros genéticos em populações de irmãos completos de citros.	20
2.8. Poliembrião em citros e suas implicações no melhoramento genético.....	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO I - DIVERSIDADE FENOTÍPICA EM HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA ENXERTOS	29
1.INTRODUÇÃO	32
2.MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. Caracterização e delineamento experimental da área	33
2.2. Material vegetal	34
2.3. Caracterização biométrica e visual.....	35
2.4. Caracterização morfológica.....	36
2.5. Número médio de sementes e taxa poliembriônica.....	37
2.6. Análises estatísticas	38
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1. Dendrograma de dissimilaridade genéticas dos cruzamentos ..	39
3.2. Análise Estatística Descritiva de Características Morfoagronômicas em Híbridos de Citros Coletadas em 2022.	42
3.3. Análise estatística Descritiva de Características Morfoagronômicas em Híbridos de Citros Coletadas em 2023	45
3.4. Estatísticas descritivas para os dados da poliembrião 2022 ..	49
3.5. Estatísticas descritivas para os dados de poliembrião 2023 ..	51
3.6. Estatísticas descritivas para o número de sementes	52
3.7. Dados por cruzamento	53
3.8. Estatísticas descritivas para os dados morfoagronômicos.....	55
4.CONCLUSÃO	57
5.REFERÊNCIAS	58

CAPÍTULO II - PARÂMETROS GENÉTICOS EM POPULAÇÕES DE IRMÃOS COMPLETOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-ENXERTO	61
1.INTRODUÇÃO	64
2.METODOLOGIA	65
2.1. Material vegetal.....	65
2.2. Condições experimentais e área de estudo	67
2.3. Características avaliadas	67
2.4. Análise estatística e genética via máxima verossimilhança restrita/melhor preditor linear não viesado (REML/BLUP).....	68
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.1. Médias para características agronômicas avaliadas em dois anos	69
3.2. Parâmetros genéticos em progênies de irmão completos e meio-irmão	72
4.CONCLUSÃO	75
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

1. INTRODUÇÃO GERAL

A citricultura brasileira mantém sua posição de destaque como líder mundial na produção e exportação de suco de laranja, o primeiro lugar na produção de laranja doce e o quinto na produção de limões e tangerinas (FAO, 2022). Esse sucesso é impulsionado principalmente pelos principais centros produtores localizados no cinturão citrícola de São Paulo e no Triângulo/Sudoeste Mineiro. Com aproximadamente 39.981,04 mil de árvores adultas, essas regiões contribuíram significativamente para a produção total de 76,31 mil caixas de 40,8 kg (FUNDECITRUS, 2024). São Paulo, em particular, destaca-se como responsável por 73% da produção nacional, beneficiado por suas condições edafoclimáticas favoráveis e infraestrutura de apoio (IBGE, 2021).

O avanço tecnológico contínuo na citricultura brasileira tem sido fundamental para manter essa posição de liderança mundial (DONADIO *et al.* 2005). A adoção de reguladores vegetais, por exemplo, tem melhorado significativamente o vigor das plantas, o florescimento e a frutificação, resultando em aumentos substanciais na produtividade e na qualidade dos frutos ao longo dos anos (MATTOS JUNIOR *et al.* 2005). Esse investimento em tecnologia e pesquisa agrícola tem sido uma parte essencial da estratégia do Brasil para se manter competitivo no mercado global de citros (CASTRO e MEDINA, 2019). Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos, o clima desempenha um papel crucial no sucesso da citricultura. As temperaturas ideais para o cultivo de citros estão na faixa de 23 a 32°C, com alta umidade relativa do ar (MATTOS *et al.*, 2005). Variações extremas de temperatura podem ter impactos significativos na produção, levando a perdas substanciais (BOTEON *et al.*, 2015). É crucial, portanto, que os produtores estejam preparados para lidar com essas variações climáticas por meio de práticas de manejo adequadas.

O manejo da água é uma consideração importante na citricultura. Os citros requerem entre 900 e 1200 mm de água anualmente, distribuídos de forma equilibrada ao longo do ano (DOOREMBOS e KASSAN, 1979). Períodos de escassez de chuvas e altas temperaturas podem levar a estresse hídrico nas plantas, afetando negativamente o florescimento e a frutificação (BRUGNARA, 2022). Nesses casos, a irrigação se torna essencial para garantir um suprimento adequado de água às plantas durante os períodos críticos de crescimento (COELHO *et al.*, 2006).

Diante desses desafios, a pesquisa e a prática agrícola estão continuamente buscando soluções inovadoras. A seleção de variedades copa e porta-enxertos adequados, juntamente com estratégias de plantio inovadoras, como o adensamento das plantas, são parte desses esforços (POMPEU JUNIOR, 2005). A escolha do porta-enxerto, em particular, é crucial para o sucesso do pomar, influenciando uma série de características agrônômicas e de resistência a pragas e doenças (SIQUEIRA e SALOMÃO, 2017).

No Brasil, o limão Cravo é um dos porta-enxertos mais utilizados, devido à sua tolerância a várias condições adversas e compatibilidade com diversas variedades copa (SCHÄFER *et al.*, 2001). No entanto, novos materiais estão sendo explorados para superar limitações específicas, como a suscetibilidade a certas doenças (BASTOS *et al.*, 2014). A diversificação dos porta-enxertos, portanto, é essencial para garantir a resiliência dos pomares diante dos desafios climáticos e fitossanitários em evolução (POMPEU JUNIOR e BLUMER, 2014).

Essa busca por inovação e adaptação é fundamental para manter o Brasil no cenário global da citricultura. Programas de melhoramento genético desempenham um papel crucial nesse processo, visando desenvolver porta-enxertos híbridos com características desejáveis, como tolerância a estresses e indução de precocidade na produção (RODRIGUES *et al.*, 2015). No entanto, os desafios no melhoramento genético, como a poliembrionia e a heterozigosidade, destacam a complexidade desse empreendimento (SOARES FILHO *et al.*, 2013).

Apesar das dificuldades, a citricultura brasileira continua a prosperar, impulsionando o crescimento econômico e contribuindo significativamente para a balança comercial do país. A constante inovação e adaptação são essenciais para sustentar esse sucesso e enfrentar os desafios futuros (FRANCO, 2016). Com sua posição de destaque no mercado global de citros, o Brasil continua a moldar o futuro desse importante indústria frutícola (USDA, 2019).

Nesse contexto, é de suma importância direcionar esforços para a pesquisa de porta-enxertos alternativos que possam não apenas substituir, mas também fortalecer a estrutura dos pomares cítricos no Brasil, visando a sustentabilidade contínua da citricultura nacional. O propósito deste estudo consiste em uma avaliação fenotípica de híbridos de citros, considerados promissores como porta-enxertos. Essa avaliação visa preparar esses híbridos para ensaios competitivos em diferentes combinações com copas, dentro do âmbito do Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Este trabalho não apenas busca identificar novas opções de porta-enxertos, mas também caracterizá-las, a fim de garantir uma seleção criteriosa e informada para promover avanços significativos na citricultura nacional.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar fenotipicamente híbridos com potencial de porta-enxerto de citros além de estimar os parâmetros genéticos para variáveis de características agrônômicas, avaliados em dois anos 2022 e 2023.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Porta-enxertos no Brasil

Durante a colonização no século XVI, as primeiras frutas cítricas foram introduzidas no Brasil por meio da propagação por sementes, um marco histórico que ecoou através dos tempos (NEVES, 2014). No entanto, foi no início do século XX que uma nova técnica, a enxertia, começou a ganhar destaque, utilizando plantas radiculares provenientes de sementes, com a laranjeira 'Caipira' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) emergindo como uma das variedades radiculares mais significativas da época (CONCEIÇÃO *et al.*, 2017).

O avanço da técnica de enxertia foi marcado por desafios, como a devastadora disseminação do vírus da tristeza nas laranjeiras "ácidas" na década de 1930, resultando na ascensão da tília Cravo como a principal variedade no Brasil (COSTA *et al.*, 1949; MOREIRA e ROESSING, 1965). Este período tumultuado testemunhou uma adaptação significativa na agricultura cítrica brasileira, com a tangerina 'Cleópatra' (*C. reshni* Hort. ex Tanaka) e o limão 'Volkamerian' (*C. volkameriana* V. Ten.) Emergindo como alternativas viáveis para a diversificação dos porta-enxertos (POMPEU JÚNIOR, 2005).

A história da citricultura brasileira é marcada por ciclos de desafios e inovações. Na década de 1970, o limoeiro Cravo enfrentou um declínio

catastrófico, resultando na perda de milhares de árvores cítricas. Este revés impulsionou a busca por novas variedades de porta-enxertos, com a tangerina Cleópatra e o limão cravo surgindo como opções promissoras (FUNDECITRUS, 2006).

No início do século XXI, o setor enfrentou outro obstáculo com a morte súbita de citros, que mais uma vez levou à perda significativa de plantações enxertadas com limão Cravo. Este evento precipitou uma nova onda de diversificação das raízes, com a tangerina 'Sunki' e o capim-limão 'Swingle' emergindo como protagonistas nesse cenário em evolução (FUNDECITRUS, 2006).

Atualmente, o cenário da citricultura brasileira testemunha uma ampla diversificação das raízes. De acordo com Conceição *et al.* (2019), aproximadamente 5 milhões de mudas de limão Cravo foram comercializadas em São Paulo em 2018, representando 3,3% de todas as mudas utilizadas. A ascensão do capim-limão 'Swingle', a tangerina 'Sunki', e outras variedades indica um panorama dinâmico e em constante evolução na agricultura cítrica brasileira.

2.2. Importância econômica e nutricional dos citros na agricultura global

Os citros têm uma relevância significativa na agricultura global, tanto do ponto de vista econômico quanto nutricional. A produção de citros é uma das principais atividades agrícolas em diversas regiões do mundo, contribuindo de forma expressiva para a economia de vários países. A Food and Agriculture Organization (FAO) relata que a produção mundial de citros alcançou cerca de 146 milhões de toneladas em 2021, com Brasil, China, Índia, México e Estados Unidos liderando a produção (FAO, 2022).

Na América Latina, o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador de suco de laranja, contribuindo significativamente para a economia nacional. Segundo levantamento da Citrus BR (Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos), o país é responsável por mais de 50% da produção mundial de suco de laranja, gerando bilhões de dólares em receitas de exportação (CITRUSBR, 2021). Além disso, a indústria cítrica brasileira emprega milhares de trabalhadores, sendo vital para a economia rural.

Na Ásia, a China é um dos principais produtores e consumidores de citros, com uma produção anual que supera 35 milhões de toneladas. A diversidade climática da China permite o cultivo de várias espécies de citros, contribuindo para a segurança alimentar e a nutrição da população (FAO, 2017). A produção de citros na China também apoia economicamente milhões de agricultores, promovendo o desenvolvimento rural.

Na Europa, a Espanha é o maior produtor de citros, especialmente laranjas, tangerinas e limões. A produção espanhola de citros é essencial para o mercado europeu, abastecendo tanto o consumo interno quanto as exportações para outros países da União Europeia (FAOSTAT, 2022). A indústria de citros na Espanha também desempenha um papel crucial na criação de empregos e no fortalecimento das economias regionais.

Além do valor econômico, os citros são extremamente importantes do ponto de vista nutricional. Ricos em vitamina C, flavonoides e antioxidantes, os citros são fundamentais para a dieta humana, ajudando a prevenir doenças

crônicas e melhorar a saúde imunológica (JUNIOR *et al.*, 2005). Estudos demonstram que o consumo regular de citros está associado à redução do risco de doenças cardiovasculares, câncer e outras condições de saúde (WREGGE *et al.*, 2006).

O papel dos citros na promoção da saúde pública é especialmente relevante em regiões onde a desnutrição e a insegurança alimentar se faz presente. Programas de distribuição de frutas cítricas em escolas e comunidades têm sido implementados para melhorar a nutrição infantil e reduzir a incidência de deficiências nutricionais (SILVA, 1998). Esses programas são parte das estratégias de segurança alimentar adotadas por vários governos e organizações internacionais.

2.3. Diversidade genética em porta-enxertos de citros

A diversidade genética dos porta-enxertos de citros é fundamental para a adaptação das plantas a diferentes condições ambientais e para aumentar a resistência a estresses bióticos e abióticos. A variabilidade genética desempenha um papel central no melhoramento, permitindo a seleção de genótipos mais bem adaptados a diversos ambientes e sistemas de cultivo (FERREIRA *et al.*, 2018). Porta-enxertos com maior diversidade genética tendem a ser mais resistentes a doenças e pragas, o que contribui significativamente para a sustentabilidade dos pomares de citros (PETRY *et al.*, 2015). Soares Filho *et al.* (1991) identificaram variabilidade genética em populações do porta-enxerto limoeiro 'Cravo', e essa variabilidade pode ser ampliada pelo fato de os viveiristas geralmente propagarem suas plantas a partir de sementes, o que aumenta a probabilidade de surgirem diferenças genéticas entre elas.

Além de aumentar a resistência a doenças, a diversidade genética dos porta-enxertos também está associada a ganhos de produtividade. Estudos sobre herança genética e genética quantitativa têm sido valiosos para identificar e selecionar genótipos com características superiores, como maior produção de frutos por planta e maior teor de suco (CARVALHO *et al.*, 2015). A seleção entre irmãos completos tem se mostrado uma abordagem eficaz na avaliação de porta-enxertos com características agrônômicas desejáveis (CASTLE *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, a análise genética tem avançado rapidamente, com a introdução de técnicas de amplificação de sequências de DNA, como a PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), que permite comparar organismos a nível molecular, sem a interferência do ambiente ou da idade do tecido (FERREIRA e GRATTAPAGLIA, 1995). Variações da PCR, como a RAPD (Amplificação Polimórfica de DNA ao Acaso), têm sido amplamente utilizadas em estudos genéticos de citros (MORELL *et al.*, 1995; MACHADO *et al.*, 1996; CRISTOFANI, 1997; COLETTA FILHO *et al.*, 1998; BASTIANEL *et al.*, 1998). Essas metodologias revolucionaram a forma de entender e explorar a diversidade genética em citros, proporcionando novas oportunidades para o melhoramento e a sustentabilidade dos pomares.

2.4. Adaptação de porta-enxertos às mudanças climáticas

A adaptação de porta-enxertos de citros às mudanças climáticas é um desafio crucial para a sustentabilidade da produção citrícola, especialmente diante de condições climáticas extremas como temperaturas elevadas e escassez hídrica (SOBRINHO, 1996). A diversidade genética desempenha um papel fundamental na capacidade de adaptação dos porta-enxertos, permitindo a seleção de genótipos com maior resistência e tolerância a estresses abióticos. Estudos recentes têm demonstrado que a variabilidade genética em porta-enxertos de citros contribui significativamente para a adaptação às condições climáticas adversas, garantindo a continuidade da produtividade e a sustentabilidade dos pomares (AZEVEDO, 2016).

A caracterização genética de porta-enxertos de citros tem revelado uma ampla gama de variações genéticas relacionadas à adaptação climática, incluindo genes envolvidos na resposta ao estresse hídrico e térmico (SIQUEIRA *et al.*, 2007). Esses estudos são fundamentais para o desenvolvimento de novas variedades adaptadas às mudanças climáticas, através da seleção de genótipos com características como maior eficiência no uso da água e melhor desempenho sob altas temperaturas (TOMAZ, 2003).

A resistência a doenças em porta-enxertos de citros, influenciada pela diversidade genética, também desempenha um papel importante na adaptação às mudanças climáticas. Genótipos com maior diversidade genética tendem a apresentar menor incidência de doenças como Huanglongbing (HLB), mesmo sob condições climáticas estressantes (ALBRECHT e BOWMAN, 2020). A análise genética de populações de irmãos completos tem sido utilizada para identificar genes associados à resistência e adaptabilidade climática, facilitando a seleção de novos porta-enxertos mais resilientes (CARNEVALI, 2016).

A poliembrionia, comum em porta-enxertos de citros, apresenta um desafio adicional na conservação da diversidade genética frente às mudanças climáticas. A manutenção da variabilidade genética é essencial para a sustentabilidade a longo prazo dos pomares de citros, assegurando a continuidade da produção em condições climáticas variáveis (NOGUEIRA, 2001). Programas de melhoramento genético têm explorado estratégias para a conservação e ampliação da diversidade genética, visando aumentar a adaptabilidade dos porta-enxertos de citros às futuras mudanças climáticas (SCHAFER, 2001).

2.5. Caracterização fenotípica de porta-enxertos de citros

A caracterização fenotípica de porta-enxertos de citros é de suma importância no desenvolvimento de novas variedades adaptadas às diversas condições de cultivo (BASTOS *et al.*, 2014). A variabilidade fenotípica observada inclui características morfológicas, fisiológicas e de desempenho agrônomico que são essenciais para a seleção de genótipos com maior potencial produtivo e resistência a estresses abióticos e bióticos. Estudos recentes têm destacado a importância da avaliação fenotípica na identificação de porta-enxertos promissores para diferentes ambientes de cultivo (VESCOVE, 2009).

A morfologia dos porta-enxertos, incluindo altura da planta, diâmetro do tronco, distribuição e tamanho das raízes, é uma das características fenotípicas mais estudadas, pois está diretamente relacionada à adaptação ao solo e ao manejo agrícola (MENDONÇA *et al.*, 2006). Além disso, características como a

eficiência no uso de água e nutrientes, resistência a pragas e doenças, e qualidade dos frutos são fundamentais na escolha de genótipos para plantios comerciais (FERREIRA *et al.*, 2018).

A fisiologia dos porta-enxertos, incluindo taxa de crescimento, trocas gasosas, e acumulação de carboidratos, tem sido avaliada para entender melhor as respostas das plantas a condições ambientais adversas, como altas temperaturas e déficit hídrico (DENG *et al.*, 2020). Esses estudos são essenciais para o desenvolvimento de genótipos com maior resistência ao estresse e maior eficiência no uso de recursos.

A avaliação do desempenho agrônômico dos porta-enxertos é uma área que busca validar os resultados obtidos em condições controladas de laboratório. A produtividade, qualidade dos frutos, e tolerância a estresses são determinantes na seleção de genótipos para uso comercial (CASTLE *et al.*, 2021). A combinação de diferentes características fenotípicas em um único genótipo é frequentemente realizada através de programas de melhoramento para desenvolver porta-enxertos adaptados a diferentes tipos de solo e condições climáticas (SILVA *et al.*, 2006).

2.6. Conservação de recursos genéticos em citros

Os bancos de germoplasma são fundamentais nesse processo, pois abrigam coleções de genótipos que representam a variabilidade existente na espécie. Essas coleções são essenciais para o desenvolvimento de novas variedades adaptadas a desafios emergentes, como mudanças climáticas e pressões bióticas (DESTRO, 1999).

A diversidade genética mantida nos bancos de germoplasma de citros inclui características de resistência a doenças, adaptação a diferentes condições ambientais, e qualidade dos frutos, entre outras. Essa diversidade serve como base para programas de melhoramento genético que visam desenvolver genótipos com características agrônômicas superiores (WALTER *et al.*, 2022).

A caracterização genética e fenotípica dos acessos mantidos nos bancos de germoplasma é fundamental para identificar novas fontes de variabilidade genética. Estudos recentes têm demonstrado que diferentes regiões geográficas apresentam variabilidade genética distinta em citros, refletindo adaptações locais e históricas (NASS, 2001). Essa variabilidade pode ser explorada para desenvolver porta-enxertos e variedades com características específicas de interesse para os produtores.

Além da preservação da variabilidade genética, os bancos de germoplasma desempenham um papel importante na conservação de espécies ameaçadas e na manutenção de genótipos raros e únicos. Esses recursos são fontes valiosas de genes que podem ser utilizados para enriquecer o pool genético das variedades cultivadas, conferindo-lhes resistência a novas pragas e doenças emergentes (EMBRAPA., 2020).

A seleção de porta-enxertos de citros com base em características de resistência a doenças e estresse abiótico é uma aplicação prática dos recursos genéticos conservados. A identificação de genótipos promissores nos bancos de germoplasma, através de avaliações fenotípicas e genéticas, permite o desenvolvimento de cultivares adaptadas a condições específicas de cultivo, contribuindo para a sustentabilidade e segurança alimentar (MACHADO, 2000).

2.7. Parâmetros genéticos em populações de irmãos completos de citros

A análise dos parâmetros genéticos em populações de irmãos completos de citros desempenha um papel fundamental no entendimento da herança de características agrônômicas importantes, como produtividade, qualidade dos frutos, resistência a doenças e adaptação a diferentes condições ambientais. A utilização de populações de irmãos completos permite a estimativa precisa dos parâmetros genéticos, como herdabilidade, correlações genéticas e variação genética aditiva, que são cruciais para o sucesso de programas de melhoramento genético (MUÑOZ FAMBUENA *et al.*, 2021).

A herdabilidade, que representa a proporção da variação fenotípica atribuída à variação genética, é um parâmetro importante para prever os ganhos genéticos esperados com a seleção. Em citros, estudos têm demonstrado que características como produtividade e qualidade dos frutos apresentam herdabilidade moderada a alta, indicando que essas características são fortemente influenciadas por fatores genéticos (NICOLOSI *et al.*, 2023).

Além da herdabilidade, as correlações genéticas entre diferentes características são fundamentais para o desenvolvimento de cultivares multifuncionais. Por exemplo, correlações positivas entre produtividade e resistência a doenças podem facilitar a seleção de genótipos que combinem essas características desejáveis. Por outro lado, correlações negativas entre produtividade e tamanho dos frutos podem exigir estratégias de seleção específicas para otimizar essas características simultaneamente (CURK *et al.*, 2022).

A variação genética aditiva, que é a base para a seleção de indivíduos superiores em programas de melhoramento, é estimada através de análises de populações de irmãos completos. A identificação de genótipos com alta variação genética aditiva para características de interesse permite o desenvolvimento de cultivares com melhor adaptação a diferentes condições de cultivo e maior resistência a estresses bióticos e abióticos (GARCIA-LOR *et al.*, 2020).

A análise genética de populações de irmãos completos também permite investigar a arquitetura genética complexa de características poligênicas em citros. Estudos recentes têm utilizado abordagens de genômica quantitativa para identificar loci de características complexas, como tolerância a estresses hídricos e temperatura, proporcionando novas oportunidades para a seleção assistida por marcadores moleculares (LURO *et al.*, 2021).

2.8. Poliembrionia em citros e suas implicações no melhoramento genético

A poliembrionia é um fenômeno natural fascinante nos citros, onde múltiplos embriões se desenvolvem a partir de um único zigoto (SOARES *et al.*, 2000). Esse processo resulta na formação de plântulas que são geneticamente idênticas à planta-mãe, conhecidas como plântulas poliembrionicas. Esse traço é altamente valorizado na produção de porta-enxertos, pois assegura uniformidade e a manutenção consistente das características desejáveis (POMPEU Jr., 2005). A complexidade genética desse controle envolve pelo menos um gene (ALESA *et al.*, 2010), sendo também influenciada por fatores bióticos e abióticos, como o tipo de

polinização e condições climáticas (como altas temperaturas e estresse hídrico) (GARCÍA *et al.*, 1999).

Estudos recentes têm avançado na compreensão dos mecanismos genéticos por trás da poliembrionia em citros. Pesquisas genômicas identificaram genes candidatos que podem estar envolvidos na regulação desse fenômeno. Por exemplo, estudos de associação genômica têm identificado regiões do genoma de citros associadas à poliembrionia, indicando a presença de variação genética que pode ser explorada para melhorar a eficiência de produção de porta-enxertos poliembrionicos (MACHADO *et al.*, 2005).

A exploração da poliembrionia para o melhoramento genético de citros visa principalmente aumentar a uniformidade dos porta-enxertos e melhorar sua resistência a doenças. Porta-enxertos uniformes são particularmente importantes para a indústria citrícola, pois facilitam o manejo agrônomo e a aplicação de técnicas de cultivo (MACHADO *et al.*, 2005). Além disso, a uniformidade genética das plantas poliembrionicas reduz a variabilidade de características indesejáveis, melhorando a qualidade e a previsibilidade da produção de citros. Estudos de caso têm demonstrado a eficácia da poliembrionia na produção de porta-enxertos com resistência a doenças específicas, como a Huanglongbing (GARCIA-LOR *et al.*, 2023).

Além dos benefícios agrônomicos, a poliembrionia também é vantajosa do ponto de vista econômico, uma vez que reduz os custos associados à propagação de citros por métodos convencionais, como enxertia e estaquia. Isso resulta em uma produção mais eficiente e econômica de porta-enxertos, que são essenciais para suportar a expansão e a competitividade da indústria citrícola global (ROVERSSI, 2022).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, U.; BOWMAN, K. D. **Tolerance of trifoliate citrus rootstock hybrids to *Candidatus Liberibacter asiaticus***. *Scientia Horticulturae*, v. 147, p. 71–80, 2020.
- Albrecht, U.; Fiehn, O.; Bowman, K. D. (2012). **Metabolic variations in different citrus rootstock cultivars associated with different responses to '*Candidatus Liberibacter asiaticus*'**. *Plant Physiology and Biochemistry*, 53, 69-78.
- ALESA, P.; JUÁREZ, J.; OLLITRAULT, P.; NAVARRO, L. **Polyembryony in non-apomictic citrus genotypes**. *Annals of Botany*, Exeter, v.106, n4, p.533–545, 2010.
- Aleza, P., Juárez, J., Ollitrault, P., e Navarro, L. (2021). **Polyembryony in citrus: Advances in genetics and biotechnology**. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 146 (5), 297-309. doi:10.21273/JASHS05008-21
- ANDRADE, R. A.; MARTINS, A. B. G. **Propagação vegetativa de porta-enxertos para citros**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, p. 134-136, 2003.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE SUCOS CÍTRICOS — CITRUSBR. **Empregos na laranja crescem na safra 2020/2021**. 2021. Disponível em: <https://citrusbr.com/noticias/empregos-na-laranja-crescem-na-safra-2020-2021/>. Acesso em: 22 set. 2023.
- AZEVEDO, C. L. L. **Sistemas de Produção de Citros para o Nordeste**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, v. 16, 2016.
- BASTIANEL, M. et al. **Identification of zygotic and nucellar tangerine seedlings (citrus spp.) using RAPD**. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v.21, n.1, p.123-127, 1998.
- BASTOS, D.C.; FERREIRA, A. E; PASSOS, O. S; SÁ, J. F; ATAÍDE, E. M; CALGARO, M. **Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira**. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 35, n. 281, p. 36-45, jul./ago. 2014.
- BOTEON, M.; GERALDINI, F.; PAGLIUCA, L.G. **Seca impacta na citricultura e limita ainda mais a rentabilidade de produtores**. *Citricultura atual*, Cordeirópolis, n.104, p.4-5, fevereiro, 2015. Disponível em: <<https://gconci.com.br/Conteudo/Pdf/Revistas/104.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2023.
- BRITO, M. E. B.; FERREIRAS, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A.S; SOARES FILHO, W. S.; SANTOS, R. T. **Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros**. *Revista Caatinga*, v. 27, p. 17-27, 2014b.

BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; SOARES FILHO, W. S., SILVA, L. A.; FERNANDES, P. D. **Trocas gasosas e fluorescência de variedades de porta-enxerto cítricos sob estresse salino**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 38, n. 2, p.1-8, 2016.

BRUGNARA, E. C.; CASTILHOS, R. V.; SABIÃO, R. R. **Consequências da seca no Oeste Catarinense para cultura dos citros na safra 2020/21**. Agropecuária Catarinense, v.35, n.2, p.11-13, 2022.

CARNEVALI, N. H. S.; MARCHETTI, M. E.; VIEIRA, M. C.; CARNEVALI, T. O. **Eficiência nutricional de mudas de Stryphnodendronpolyphyllum em função de nitrogênio e fósforo**. Ciência Florestal, v. 26, n. 2, p. 449-461, 2016.

CARVALHO, H.W.L. de; SOARES FILHO, W. dos S.; MARTINS, C. R.; PASSOS, O. S.; TEODORO, A. V.; CARVALHO, L. M. de; GIRARDI, E. A.; GESTEIRA, A. da S.; CARDOSO, B. T.; OLIVEIRA, T. R. A. de; MARQUES, M. G.; MOITINHO, A. C.; SANTOS, D. L. dos; PORTO, E. S.; ARAÚJO, S. B. de **Desempenho da laranjeira pineapple sobre diferentes porta-enxertos em áreas de Tabuleiros Costeiros de Sergipe**. Aracaju, SE: Embrapa, 2015. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 174).

Castle, W. S., Albrecht, U., e Bowman, K. D. (2023). **Citrus germplasm conservation and utilization**. Plant Genetic Resources, 21 (1), 1-15. doi:10.1017/S1479262122000401.

Castle, W. S., Baldwin, J. C., e Bowman, K. D. (2020). **Applications of molecular markers in citrus rootstock breeding**. HortScience, 55 (8), 1183-1192. doi:10.21273/HORTSCI15092-20.

Castro, P.R.C. e Medina, C.L. (2019) – **Qual a ação dos biorreguladores em citros? Revista Campo e Negócios**. <https://revistacampoenegocios.com.br/qual-a-acao-dos-biorreguladores-em-citros>.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SIMÕES, W. L.; COELHO, Y. S. **Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil**. Laranja, v.27, n.2, p.297-320, 2006.

COLETTA FILHO, H.D. et al. **Analysis of the genetic among mandarins (Citrus spp.) using RAPD markers**. Euphytica, Berlin, n.102, p.133-139, 1998.

CONCEIÇÃO, P. M.; AZEVEDO, F. A., HENDRIKX, W.; MARTINELLI, R; PACHECO, C. A.; CARVALHO, S. A. **Qualidade de sementes de porta-enxertos de citros do Jardim Clonal do Centro APTA Citros Sylvio Moreira/IAC**. Citrus Research e Technology, v. 36, n. 1, p. 9-14, 2017.

CONCEIÇÃO, P. M.; AZEVEDO, F. A.; ECKER, G. V.; MORELLI, M.; CRISTOFANI-YALY, M. **Physiological quality of citrandarins, Poncirus**

trifoliata and Sunki mandarin seeds. *Comunicata Scientiae*, v.10, p. 461-466, dez 2019.

COSTA, A.S.; GRANT, T.J.; MOREIRA, S. **Investigações sobre a tristeza II. Conceitos e dados sobre a reação das plantas cítricas à tristeza.** *Bragantia*, Campinas, v.9, p.59-80, 1949.

CRISTOFANI, M. **Mapas de ligação de Citrus sunki Hort. ex. Tan. E Poncirus trifoliata (L.) Raf. Cv. Rubidoux e localização do gene de resistência ao vírus da tristeza.** 1997. 152f. Tese (Doutorado em Agronomia Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo.

Deng, Z., Wang, P., e Wang, X. (2020). **Physiological characterization of citrus rootstocks for water use efficiency.** *Journal of Experimental Botany*, 71 (15), 4585-4597. doi:10.1093/jxb/eraa218.

Destro D e Faria RT (1999) **Variabilidade genética e germoplasma.** In: Destro D e Montalván R (Ed.) *Melhoramento genético de plantas.* Editora UEL, Londrina, p. 27 38.

DONADIO, Luiz Carlos; MOURÃO FILHO, Francisco de Assis Alves; MOREIRA, Célio Soares. **Centros de origem, distribuição geográfica das plantas cítricas e histórico da citricultura no Brasil.** In: MATTOS JUNIOR, Dirceu de; NEGRI, José Dagoberto de; PIO, Rose Mary; POMPEU JUNIOR, Jorgino (ed.). *Citros. Cordeirópolis: Centro Apta Citros Sylvio Moreira, 2005.* Cap. 1. p. 3-18. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/257581876/Mattos-Junior-et-al-2005-Citros-Livro-Digital>. Acesso em: 24 set. 2023.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande, PB: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). EMBRAPA. Sistema de Produção de Citros para o Nordeste, 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNordeste/clima.htm>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

Embrapa. **Bancos e coleções de germoplasma da conservação e uso.** / Juliano Gomes Pádua, Maria do Socorro Maués Albuquerque, Sueli Corrêa Marques de Melo (Editores Técnicos) – Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020. 167 p. - (Documentos / Embrapa.

EMBRAPA. *Pela sustentabilidade da citricultura.* Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2015. 12p. ERWIN, Donald C. et al. **Phytophthora diseases worldwide.** American Phytopathological Society (APS Press), 1996.

FADEL, A.L. **Desempenho horticultural de laranjeira 'Valencia' sobre onze portaenxertos na região norte do Estado de São Paulo,** (Tese), Universidade de São Paulo, Piracicaba, p.106, 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 22 set. 2022.

FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores RAPD e RFLP em análise genética**. Brasília: EMBRAPA, 1995. 220p.

FERREIRA, P. dos S.; NASCIMENTO, J. S. do; MERCÊS, J. K. R. das; SANTOS, H. C. A. dos; GURGEL, F. de L. **Parâmetros avaliativos de pomar de laranja 'Pera' em combinação com diferentes porta-enxertos no município de Capitão Poço - PA**. In: **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias**. COINTER - PDVAGRO, 2018, João Pessoa. Anais...2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Crops and livestock products**. 2022. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> Acesso em: 11 mai. 2022.

FRANCO, A. S. M. **O suco de laranja brasileiro no mercado global**. Análise Conjuntural, Curitiba, v.38, n.1, p.11-12, nov./dez. 2016.

FUNDECITRUS (Fundo de Defesa da Citricultura). **Reestimativa da safra de laranja 2020/2021 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro – fechamento em abril/2021**. Fundo de Defesa da Citricultura, 2021. Disponível em https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0421_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf. Acesso em: 24 de agosto de 2023.

FUNDECITRUS, **Estimativa da safra de laranja 2024/25 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: cenário em maio/2024 / Fundo de Defesa da Citricultura...** [et al.]. – Araraquara, SP: 2024. 31 p.

GARCÍA, R.; ASÍNS, M.J.; FORNER, J.; CARBONELL, E.A. **Genetic analysis of apomixis in Citrus and Poncirus by molecular markers**. Theoretical and Applied Genetics, Berlin, v.99, p.511-518, 1999.

Garcia-Lor, A., e Navarro, L. (2023). **Quantitative genetics and marker-assisted selection in citrus rootstocks**. Plant Breeding, 142 (4), 567-578. doi:10.1111/pbr.12163.

IBGE (2021) – **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2021_maio.pdf.

JUNIOR, Dirceu de Mattos et al. **CITROS: principais informações e recomendações de cultivo**. Instituto agrônomo de Campinas, 2005. MACHADO, J. C. Tratamento de sementes no controle de doenças. Lavras: LAPS/UFLA/FAEPE, 2000. p. 138. Recursos Genéticos e Biotecnologia, 371). ISSN 0102-0110.

MACHADO, M. A.; CRISTOFANI, M.; AMARAL, A. M.; OLIVEIRA, A. C. **Genética, melhoramento e biotecnologia de citros**. In: MATTOS JÚNIOR,

D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR., J. (Ed.). Citros. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005. p. 223-277.

MACHADO, M.A. et al. **Genetic relationship of Mediterranean mandarins (*Citrus deliciosa* Tenore) using RAPD markers.** Euphytica, Berlin, n.92, p.321-326, 1996.

MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D. de; PIO, R.S; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**, Campinas, Instituto Agronômico e Fundag, 2005, 929p.

MATTOS JUNIOR., D. de; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J.A. **Nutrição dos citros.** In: MATTOS JUNIOR., D.; De NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). Citros. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundag, 2005. cap. 8, p. 197-219.

MENDONÇA, L. M. V. L.; CONCEIÇÃO, A.; PIEDADE, J.; CARVALHO, V. D.; THEODORO, V. C. A. **Caracterização da composição química e do rendimento dos resíduos industriais do limão tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka).** Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 26, n.4, p. 870-874, out.- dez. 2006.

MOREIRA, S.; ROESSING, C. **Behavior of 77 tristeza tolerant rootstocks with old and nucellar clones of Barão orange scions.** In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL ORGANIZATION OF.

MORELL, M.K. et al. **DNA profiling techniques for plantvari e tyidentification.** Australian Journal of Experimental Agriculture, Merbein, n.35, p.807-819, 1995.

Nass LL (2001) Utilização de recursos genéticos vegetais no melhoramento. In: Nass LL, Valois ACC, Melo IS e Valadares Inglis MC (Ed.) Recursos genéticos e melhoramento. Fundação MT, Rondonópolis, p. 29 55.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. **Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas a déficit de água.** Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Londrina, v.13, n.1, p.75- 87, 2001.

PETRY, H. B.; REIS, B.; SILVA, R. R.; GONZATTO, M. P.; SCWARTZ, S. F. **Porta-enxertos influenciam o desempenho produtivo de laranjeiras-de-umbigo submetidas a poda drástica.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 45, n. 4, p. 449-455, out./dez. 2015.

POMPEU JUNIOR, J. **Porta-enxertos.** In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. Citros. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag; Centro APTA Citros Sylvio Moreira. p. 61-104, 2005.

ROVERSSI, Fernanda. **Número de sementes em frutos e frequência de híbridos obtidos de cruzamentos com a tangerina IAC 2019Maria / Fernanda Roverssi -- 2022. 71f.**

- SCHÄFER, G.; BASTIANEL, M.; DORNELLES, A. L. C. **Porta-enxertos utilizados na citricultura – Revisão bibliográfica.** Ciência Rural, Santa Maria, v.31, n.4, p.723-733, 2001.
- SCHÄFER, G.; BASTIANEL, M.; DORNELLES, A.L.C. **Porta-enxertos utilizados na citricultura.** Ciência Rural, Santa Maria, v.31, n.4, p.723-733, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/hbQ7CTFkX3C9hwwVHBytyHj/?lang=pt>>. Acesso em: 01 set. 2023.
- SCHÄFER, G.; BASTIANEL, M.; DORNELLES, A.L.C. **Porta-enxertos utilizados na citricultura.** Ciência Rural, Santa Maria, v.31, n.4, p.723-733, 2001.
- SILVA, C. R. dá; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; SANTOS, R. A. dos; SOUZA, L. B. de. **Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação.** Laranja, Cordeirópolis, v. 27, n. 1, p.119-130, 2006.
- SILVA, M. V. Marina Vieira da Silva. **Alimentação na escola como forma de atender às recomendações nutricionais de alunos dos Centros Integrados de Educação Pública (CIEPS).** Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 14(1):171-180, jan-mar, 1998.
- SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; JESUS JUNIOR, W. C. de. Citros: Citrus spp. In: PAULA JÚNIOR, Trazilbo José de; VENZON, Madelaine. 101 Culturas: **Manual de tecnologias agrícolas.** Belo Horizonte: Epamig, cap. 32, p. 273-284, 2007.
- SOARES FILHO, W. D. dos S.; MOREIRA, C. D. S.; CUNHA, M. A. P. D.; CUNHA SOBRINHO, A. P. D.; PASSOS, O. S. **Poliembrionia e frequência de híbridos em Citrus spp.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 4, p. 857-864, 2000.
- SOARES FILHO, W. dos S.; CUNHA SOBRINHO, A. P.; PASSOS, O. S.; SOUZA, A. S. **Melhoramento genético.** In: CUNHA SOBRINHO, A. P.; MAGALHÃES, A. F. J.; SOUZA, A. S.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. S. (Ed.). Cultura dos Citros. Brasília: Embrapa, 2013. v. 1, cap. 4, p. 61-102.
- SOARES FILHO, W.S. et al. **Variabilidade genética em “limão`Cravo”.** Revista Brasileira de Fruticultura, Cruz das Almas, v.13, n.3, p.267-272, 1991.
- SOBRINHO, A. P. dá C. et al. **Cultivo dos citros.** Embrapa Mandioca e Fruticultura-Circular Técnica (INFOTECA-E), 1996.
- SOUZA, A. E. S. de; SIQUEIRA, M. T. L. **Resposta da copa da limeira-ácida 'Tahiti' a novos genótipos de porta-enxertos nas condições de capitão poço- pa.** 2021.

TOMAZ, M. A.; SILVA, S. R.; SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P. **Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de Coffea arabica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 5, p. 885-892, 2003.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Citrus: world markets and trade.** Nov. 2019. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/citrus-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 22 set. 2023.

VESCOVE, H. V. **Consumo e custo de energia elétrica na cultura de citros irrigada por gotejamento e micro aspersão com três lâminas de água. 2009.** 56f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, Jaboticabal, 2009.

Walter BMT et al (2005) **Princípios da coleta de germoplasma.** In: Walter BMT e Cavalcanti TB (Ed.) Fundamentos para a coleta de germoplasma vegetal. Embrapa, Brasília, p. 139 177.

WREGGE, Marcos Silveira et al. **Zoneamento agroclimático para a produção de limas ácidas e de limões no Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006.

CAPÍTULO I

DIVERSIDADE FENOTÍPICA EM HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA ENXERTOS

DIVERSIDADE FENOTÍPICA EM HÍBRIDOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA ENXERTOS

RESUMO: A caracterização fenotípica de porta-enxertos de citros é fundamental para o desenvolvimento de plantas mais resilientes e produtivas. O objetivo deste estudo é caracterizar a diversidade fenotípica dos híbridos de citros, avaliando seu potencial como porta-enxertos. Este estudo caracterizou a diversidade fenotípica de 80 híbridos com 4 repetição de citros totalizando 10 progênies, avaliando características como altura da planta, diâmetro do caule, volume da copa, vigor visual e poliembrionia, Esses híbridos foram enxertados no híbrido HTR-069 [parental feminino: (laranjeira 'Pera' [Citrus sinensis (L.) Osbeck]; parental masculino: citrange 'Yuma' [Citrus sinensis x Poncirus trifoliata (L.) Raf]), na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Bahia, Brasil. Os dados coletados revelaram uma ampla variabilidade fenotípica entre os híbridos. A altura das plantas variou de 0,63 a 1,94 metros, com média de 1,20 metros e coeficiente de variação (CV) de 16,7%. O diâmetro do caule apresentou variação de 1,11 a 5,95 cm, com média de 2,99 cm e CV de 33,3%. O volume da copa variou de 0,09 a 2,29 m³, com média de 0,68 m³ e CV de 63,9%. Essas variáveis indicam a heterogeneidade da população estudada e o potencial de seleção de genótipos com características desejáveis para diferentes condições de cultivo. A análise dendrográfica da dissimilaridade genética entre os cruzamentos resultou em um coeficiente de correlação cofenética de 0,83, o que indica que o dendrograma representa de forma bastante precisa as relações genéticas entre os genótipos avaliados. A poliembrionia, uma característica importante para clonagem natural e uniformidade das plantas, foi observada em vários híbridos, destacando TSKC x CTSW-028, TSKC x (LCR x TR) - 001, e TSKC x (LCR x TR) - 018 como promissores para uso como porta-enxertos devido à uniformidade que proporcionam. Os resultados sugerem que a variabilidade fenotípica pode ser explorada para a seleção de porta-enxertos mais eficientes e adaptáveis, contribuindo para a melhoria da produtividade e sustentabilidade da citricultura.

PALAVRAS CHAVE: Coeficiente de variação; poliembrionia; dissimilaridade genética, biometria

PHENOTYPIC DIVERSITY IN CITRUS HYBRIDS WITH POTENTIAL AS ROOTSTOCKS

ABSTRACT: Phenotypic characterization of citrus rootstocks is essential for developing more resilient and productive plants. The objective of this study is to characterize the phenotypic diversity of citrus hybrids, assessing their potential as rootstocks. This study characterized the phenotypic diversity of 80 citrus hybrids with 4 replications, totaling 10 progenies, by evaluating traits such as plant height, stem diameter, canopy volume, visual vigor, and polyembryony. These hybrids were grafted onto the HTR-069 hybrid [female parent: 'Pera' sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck); male parent: 'Yuma' citrange (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf)] at Embrapa Mandioca e Fruticultura in Cruz das Almas, Bahia, Brazil. The collected data revealed a broad phenotypic variability among the hybrids. Plant height ranged from 0.63 to 1.94 meters, with an average of 1.20 meters and a coefficient of variation (CV) of 16.7%. Stem diameter ranged from 1.11 to 5.95 cm, with an average of 2.99 cm and a CV of 33.3%. Canopy volume ranged from 0.09 to 2.29 m³, with an average of 0.68 m³ and a CV of 63.9%. These variables indicate the heterogeneity of the studied population and the potential for selecting genotypes with desirable characteristics for different growing conditions. The dendrogram analysis of genetic dissimilarity among the crosses resulted in a cophenetic correlation coefficient of 0.83, indicating that the dendrogram accurately represents the genetic relationships among the evaluated genotypes. Polyembryony, an important trait for natural cloning and plant uniformity, was observed in several hybrids, highlighting TSKC x CTSW-028, TSKC x (LCR x TR) - 001, and TSKC x (LCR x TR) - 018 as promising for use as rootstocks due to the uniformity they provide. The results suggest that phenotypic variability can be exploited to select more efficient and adaptable rootstocks, contributing to the improvement of productivity and sustainability in citrus cultivation.

KEYWORDS: Coefficient of variation; polyembryony; genetic dissimilarity; biometrics

1. INTRODUÇÃO

A diversidade fenotípica dos híbridos de citros representa uma área promissora para a pesquisa e aplicação na fruticultura, especialmente no desenvolvimento de porta-enxertos mais resilientes e produtivos. Os porta-enxertos são fundamentais na citricultura, influenciando diretamente a produtividade, qualidade dos frutos, resistência a pragas e doenças e adaptação a diferentes condições ambientais (BRITO *et al.*, 2014). A exploração da variabilidade genética e fenotípica dos híbridos de citros pode oferecer novas soluções para os desafios enfrentados pela indústria citrícola.

A variação fenotípica abrange as diferenças observáveis nas características físicas e fisiológicas das plantas, como altura, vigor, resistência a doenças e tolerância a estresses abióticos, entre outros. Pesquisas indicam que os híbridos de citros apresentam uma ampla gama de variações fenotípicas, decorrente da combinação genética entre diferentes espécies e variedades parentais (BRITO *et al.*, 2016). Essa variabilidade é fundamental para a seleção de porta-enxertos que possam proporcionar avanços significativos em diversos aspectos da produção citrícola.

Uma das principais vantagens dos híbridos de citros como porta-enxertos é a possibilidade de combinar características desejáveis de diferentes espécies. Por exemplo, alguns híbridos podem apresentar resistência a doenças como a tristeza dos citros (causada pelo vírus CTV), a gomose (*Phytophthora* spp.), e a morte súbita dos citros (CSD), além de tolerância a condições de solo adversas como alta salinidade e baixa fertilidade (MATTOS JUNIOR *et al.*, 2005). Além disso, a capacidade de adaptação a diferentes climas e solos permite que os citricultores escolham porta-enxertos que melhor se adequem às suas condições específicas de cultivo.

Pesquisas indicam que a utilização de porta-enxertos híbridos pode resultar em plantas mais vigorosas e produtivas. Estudos realizados por Schafer *et al.* (2001) demonstraram que híbridos de citros utilizados como porta-enxertos podem melhorar significativamente a produção de frutos, além de influenciar positivamente a qualidade dos mesmos. Essa melhoria se deve, em parte, à maior eficiência no uso de nutrientes e à melhor adaptação às condições de estresse hídrico e térmico, características frequentemente observadas em híbridos.

A aplicação de técnicas de melhoramento genético, como a hibridização e a seleção assistida por marcadores moleculares, tem acelerado o desenvolvimento de novos híbridos de citros com características desejáveis para uso como porta-enxertos (FADEL, 2015). Essas abordagens permitem identificar e selecionar, de forma mais precisa, indivíduos que possuam combinações ótimas de características fenotípicas, facilitando a introdução de novas variedades no mercado.

A diversidade fenotípica dos híbridos de citros oferece um vasto potencial para a inovação na citricultura, especialmente no desenvolvimento de porta-enxertos mais eficientes e adaptáveis. A exploração dessa variabilidade pode proporcionar soluções para problemas atuais da indústria, promovendo uma produção mais sustentável e rentável.

O objetivo deste estudo é investigar a diversidade fenotípica dos híbridos de citros e avaliar seu potencial como porta-enxertos eficientes e adaptáveis. Pretende-se identificar e selecionar híbridos que combinem características

desejáveis, como tolerância a estresses abióticos e melhor adaptação a condições de sequeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e delineamento experimental da área

O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil, localizado a uma latitude de 12°40'39" S, longitude 39°06'23" W e altitude de 225 metros (Figura 1). A região possui uma média anual de precipitação de 1.170 mm e uma temperatura média do ar de 24,5°C (Figura 2). O plantio teve início em 2014, com um espaçamento de 5,0 metros entre as linhas e 2 metros entre as plantas, em um solo classificado como Latossolo Amarelo Álico Coeso, de textura argilosa e relevo plano, classificação de Köppen (1981).

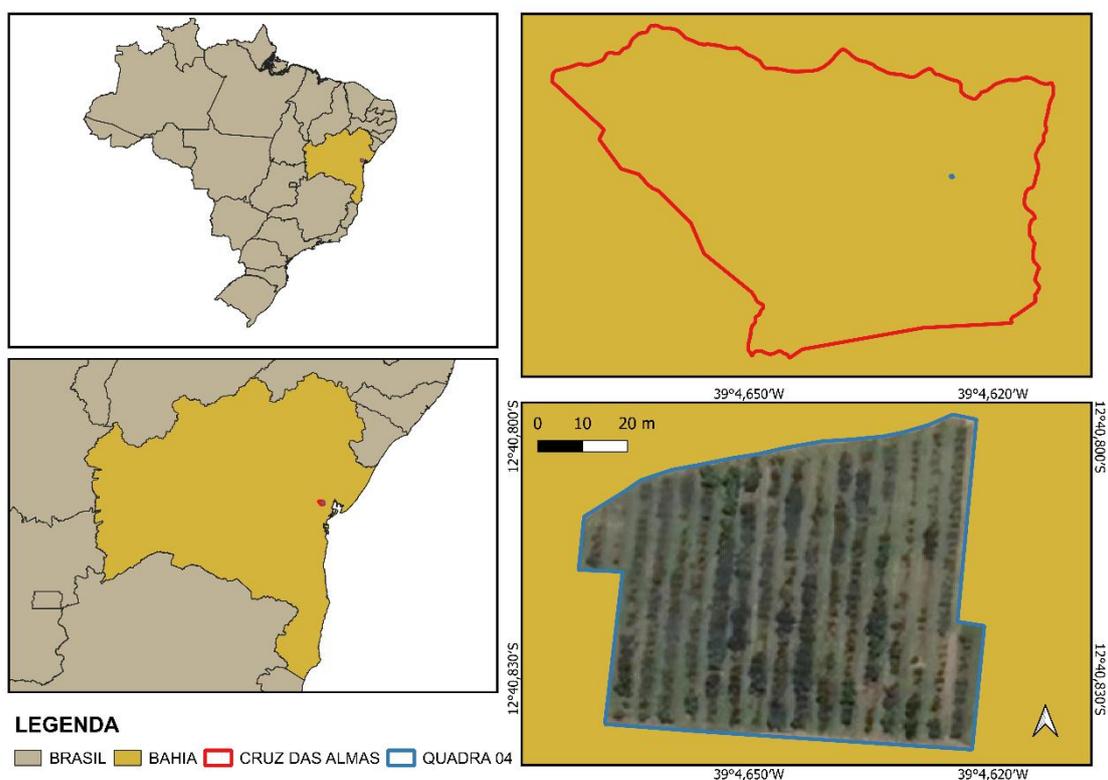


Figura 1. Mapa de localização da quadra experimental na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-Ba. Fonte: Autor (2024).

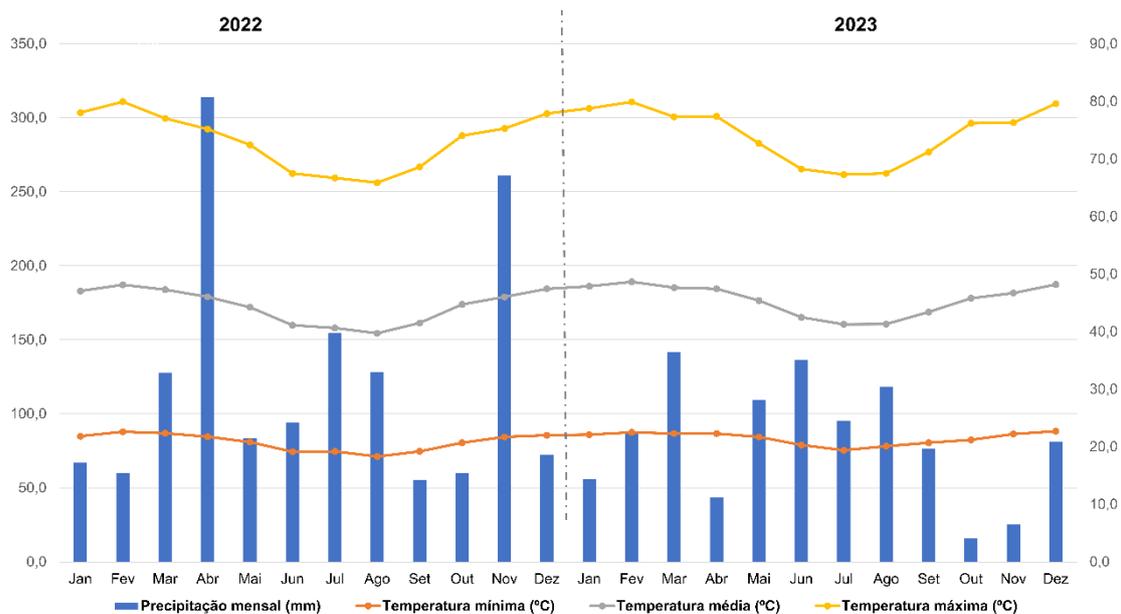


Figura 2. Temperatura média mensal do ar (máxima, média e mínima) e precipitação pluviométrica na área experimental de janeiro de 2022 a dezembro de 2023, período este, de avaliações do experimento. Cruz das Almas, Bahia, Brasil. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2023).

2.2. Material vegetal

O experimento avaliou uma população de 80 híbridos com quatro repetições, totalizando 10 progênies, com potencial de uso como porta-enxertos. Esses híbridos foram enxertados no híbrido HTR-069 [parental feminino: (laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]; parental masculino: citrange 'Yuma' [*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf]), desenvolvido pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura - PMG Citros.

Este porta-enxerto, atualmente em fase de registro e proteção de cultivar, será denominado BRS Santana. A população de híbridos foi implantada no campo em abril de 2014 e as avaliações foram realizadas oito anos após o plantio, de janeiro a agosto de 2022.

Os códigos de identificação seguem a nomenclatura do Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Figura 3). A numeração subsequente aos códigos dos parentais corresponde ao número do híbrido obtido no respectivo cruzamento. As siglas utilizadas são: HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. *sinensis* x P. *trifoliata*) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke). Esta nomenclatura permite a identificação clara e precisa dos genótipos utilizados no programa de melhoramento.

Tabela . Códigos de identificação dos híbridos de citros.

Códigos	Nomes comuns e científicos dos parentais ou das espécies utilizados
HTR-002	<i>Híbrido trifoliolado</i>
TSKC x CTTR	<i>Tangerina Sunki Comum x Citrange Troyer</i>
TSKFL x (LCR x TR)	<i>Tangerina Sunki da Flórida x (Limão Cravo Comum x Poncirus trifoliata)</i>
TSKFL x CTALP	<i>Tangerina Sunki da Flórida x Citrange Almir Pinto</i>
TSKFL x CTARG	<i>Tangerina Sunki da Flórida x citrange (C. sinensis x P. trifoliata) 'Argentina'</i>
TSKFL x CTQT	<i>Tangerina Sunki da Flórida x (Fortunella margarita 'Swingle' x citrange (C. sinensis x P. trifoliata) 'Willits')</i>
TSKFL x CTSF	<i>Tangerina Sunki da Flórida x citrange (C. sinensis x P. trifoliata) 'Sanford'</i>
TSKFL x CTSW	<i>Tangerina Sunki da Flórida x citrumelo 'Swingle' (C. paradisi Macfad. x P. trifoliata (L.) Raf.)</i>
TSKFL x CWEB	<i>Tangerina Sunki da Flórida x Citrus webberi</i>
TSKFL x TRBK	<i>Tangerina Sunki da Flórida x Poncirus Trifoliata Benecke</i>

Figura 3. Códigos de identificação seguem nomenclatura do Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura. A numeração seguindo dos códigos dos parentais corresponde ao número do híbrido obtido no respectivo cruzamento. HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

2.3. Caracterização biométrica e visual

Todas as plantas previamente selecionadas foram avaliadas quanto ao seu crescimento no início dos períodos úmidos de 2022 e 2023 para as seguintes variáveis: altura de planta (AP) expressa em m, mensurada com um bastão graduado, tomando o nível do solo como referência basal (FIGURA 4, (A)); diâmetro do caule (DC), expresso em cm, medido com auxílio do paquímetro à 10 cm do nível do solo (Figura 4, (B)); e diâmetros da copa na linha (DL) e entrelinha (DE) de plantio, expressos em m e contabilizados por meio da régua graduada na horizontal, nas margens limitantes da copa (FIGURA 4, (C)). Com os valores mensurados de diâmetros das copas foram calculados os volumes das copas (VC), conforme Portella et al. (2016):

$$VC = \frac{\pi}{6} * AP * DL * DE \text{ expresso em m}^3$$



Figura 4. Coletas de dados biométricos na Embrapa Mandioca e Fruticultura, quadra 04. Fonte: Aguiar (2024).

No mesmo intervalo de tempo supracitado, foi avaliado o vigor visual da planta (VV), característica essa que independe do desempenho em crescimento e volume vegetativo da planta, mediante critério de notas, sendo nota 1 para vigor ruim, 2 para vigor regular e 3 para vigor bom e a verificação da presença / ausência de flores e frutos.

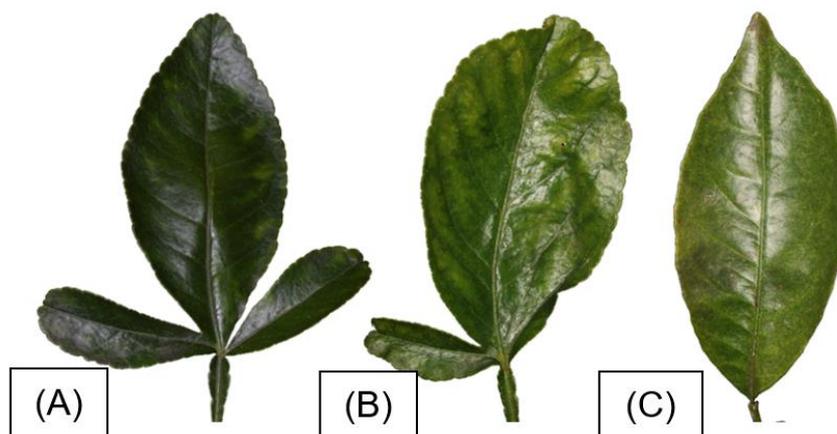
2.4. Caracterização morfológica

Em maio de 2022, foi realizada a caracterização morfológica dos indivíduos, período este em que as plantas dispunham de uma alta umidade no solo marcado pelo início do período de chuvas na região, o que permitiu a expressão das suas características sem impedimentos causados pelo déficit hídrico, representados na tabela1:

Tabela 1. Descritores morfológicos adotados baseados pelo International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR).

Descritores	Classes Fenotípicas
Formato do Limbo Foliar (FLF) (Figura 5)	Folhas monofolioladas (1); Predominância de folhas monofolioladas>50% (2); Bifolioladas (3); Predominância de folhas bifolioladas>50% (4); Folhas trifolioladas (5); Predominância de Folhas Trifolioladas>50% (6)
Cor do Limbo Foliar (CLF)	Verde (1); Verde-Escuro (2); Verde-Claro (3)
Textura do Limbo Foliar (TLF)	Folha Membranosa (1); Folha Coriácea (2)
Arquitetura da copa (AC)	Arquitetura ereta (1); Arquitetura semi-globular (2);Arquitetura globular (3)

Fonte: IBPGR (1999).



Legenda: Folhas trifolioladas (A); Bifolioladas (C); Folhas monofolioladas (D);

Figura 5. Imagem ilustrativa do Formato do Limbo Foliar (FLF) dos híbridos coletados na área experimental. Fonte: Aguiar (2024)

2.5. Número médio de sementes e taxa poliembriônica

Durante a fase de coleta em campo, foram selecionados aleatoriamente dentro das 4 repetições um total de 6 frutos. Estes frutos foram devidamente identificados e transferidos para uma sala de refrigeração, onde foram mantidos a uma temperatura constante de 5°C. Essa medida foi adotada com o objetivo de assegurar a preservação da integridade dos frutos até a etapa subsequente de avaliação. Em seguida, procedeu-se à contagem das sementes de cada fruto, com a exclusão das sementes inviáveis e murchas (Figura 6 (A)). Após essa triagem, foram retiradas 5 sementes viáveis de cada fruto, totalizando assim 30 sementes por amostra, a fim de realizar a avaliação da taxa de poliembrionia.

As sementes foram armazenadas em sacos plásticos contendo 50 ml de água corrente para manter sua viabilidade. Utilizando instrumentos apropriados, como facas ou bisturis esterilizados, o tegumento de cada semente foi cuidadosamente removido, expondo os embriões (Figura 6 (B)). Em seguida, os embriões foram minuciosamente observados sob uma lupa estereoscópica e contabilizados individualmente. Esse procedimento meticuloso possibilitou uma análise precisa do número de embriões presentes em cada semente.

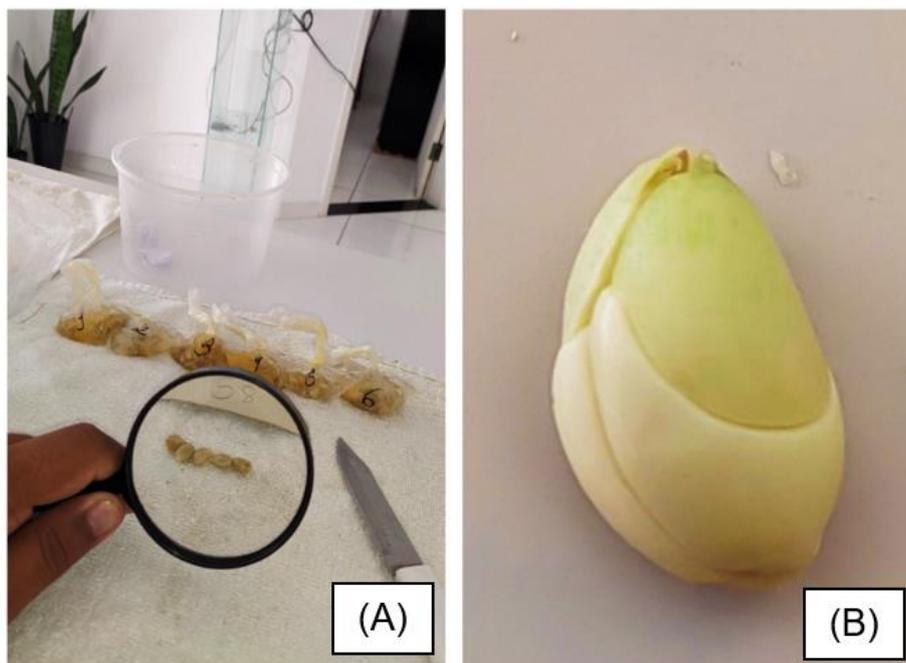


Figura 6. Ilustração da metodologia de contagem de sementes por fruto e a contagem dos embriões. Fonte: Aguiar (2024)

A determinação da taxa de poliembrião ($P\%$) foi conduzida de acordo com o método proposto por Soares Filho *et al.* (2003). Esta taxa é definida como o percentual médio de sementes contendo dois ou mais embriões e foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$\%P = \frac{(Total\ de\ sementes - Sementes\ monoembriônicas) \times 100}{Total\ de\ sementes};$$

2.6. Análises estatísticas

As seguintes estatísticas descritivas foram calculadas: média, intervalo de variação (IV), que representa a diferença entre os valores mínimos e máximos observados, coeficiente de variação (CV), calculado como $CV = (\text{desvio padrão} / \text{média}) \times 100$, e coeficiente de assimetria de Pearson (AS), dado por $AS = [3 \times (\text{média} - \text{mediana})] / \text{desvio padrão}$. Além disso, foi realizada uma análise de variância, e os resultados significativos foram agrupados utilizando o teste de Scott-Knott (1974).

Para a análise de agrupamento, utilizou-se a distância de Gower como medida de dissimilaridade a partir de variáveis quantitativas e qualitativas. Os agrupamentos hierárquicos foram obtidos pelo método UPGMA – Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (SNEATH; SOKAL, 1973). A validação dos agrupamentos foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenética de acordo com Sokal e Rohlf (1962).

A significância dos coeficientes de correlação cofenética foi calculada pelo teste de Mantel com 10.000 permutações (Mantel, 1967). O critério para definição do número de grupos foi realizado pelo método do pseudo-t2 (Mingotti, 2005) utilizando o pacote NbClust do programa computacional R (Charrad et al., 2013). Todas as análises foram conduzidas utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Dendrograma de dissimilaridade genéticas dos cruzamentos

O dendrograma é uma representação gráfica que ilustra a relação de similaridade entre diferentes cruzamentos de citros, baseada em uma matriz de distâncias. Ele é utilizado para visualizar como os genótipos se agrupam com base em suas características genéticas ou fenotípicas.

Os cruzamentos de citros revelaram a estrutura de agrupamento com base no coeficiente de correlação cofenética (CCC), que foi de 0,94 para o ano de 2022 e 0,898 para o ano de 2023. Esses valores indicam um excelente ajuste do dendrograma à matriz de distâncias original, demonstrando a alta confiabilidade da análise. Os valores de CCC são comparáveis aos encontrados em estudos anteriores. Santos *et al.* (2018) relataram um CCC de 0,92 em sua análise de diversidade genética de citros, o que corrobora a alta precisão observada no presente estudo.

Para o ano de 2022, o dendrograma identificou quatro grupos principais, Primeiro grupo liderado pelo cruzamento TSKFL x (LCR x TR), que se destaca por sua distância significativa em relação aos demais, evidenciando uma distinção genética marcante. Segundo grupo caracterizado pelo cruzamento HTR-002, que se apresenta distinto dos outros grupos. Terceiro grupo inclui os cruzamentos TSKFL x CTQT e TSKFL x TRBK, indicando uma similaridade genética considerável entre eles. Quarto grupo abrange os cruzamentos TSKC x CTRR, TSKFL x CTALP, TSKFL x CTARG, TSKFL x CTSF, TSKFL x CTSW e TSKFL x CWEB, que compartilham características comuns.

A análise do dendrograma para 2022 oferece percepções valiosas sobre a diversidade genética dos cruzamentos de citros (Figura 7). Os grupos identificados são fundamentais para orientar futuras pesquisas e programas de melhoramento genético. O cruzamento TSKFL x (LCR x TR), pela sua distinção genética, emerge como um candidato promissor para estudos de características únicas ou para estratégias de melhoramento. Oliveira *et al.* (2017) também encontraram uma significativa variação genética entre cruzamentos de citros, sugerindo a importância de tais cruzamentos para o avanço dos programas de melhoramento.

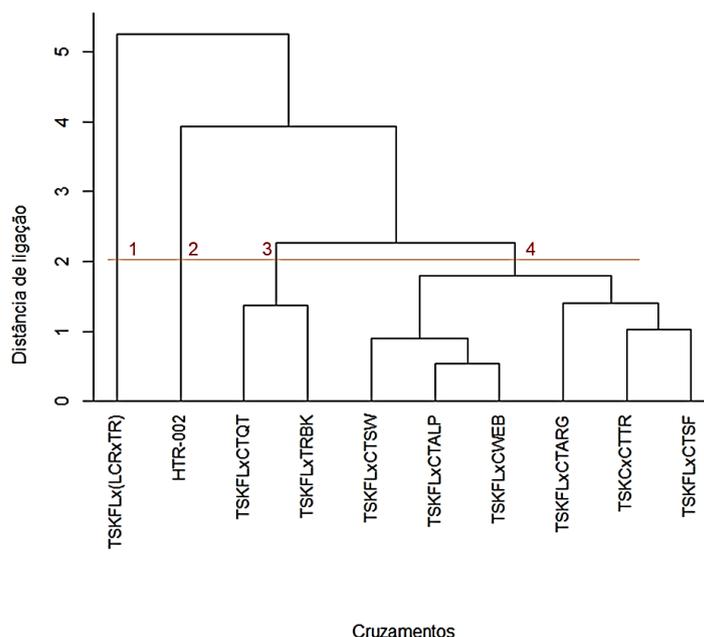


Figura 7. Dendrograma baseado na distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA- Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean, para os cruzamentos de citros avaliados para características morfoagronômicas no ano de 2022. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

Para o ano de 2023 (Figura 8), o dendrograma revelou três grupos principais primeiro grupo inclui os cruzamentos TSKFL x CTQT, TSKFL x TRBK, TSKC x CTTR, TSKFL x CTALP, TSKFL x CTARG, TSKFL x CTSF, TSKFL x CTSW e TSKFL x CWEB, que exibem alta similaridade genética entre si, segundo grupo Representado pelo cruzamento HTR-002, que se destaca como distinto em relação ao primeiro grupo. terceiro grupo liderado pelo cruzamento TSKFL x (LCR x TR), também distinto em relação aos demais grupos.

Os cruzamentos HTR-002 e TSKFL x (LCR x TR), notáveis por suas distinções genéticas, são indicados como candidatos promissores para estudos futuros visando características únicas ou para aprimoramento genético. Cruzamentos que se agrupam de forma estreita indicam potencial para combinações que fortaleçam características desejáveis. Souza *et al.* (2019) corroboram esses achados, indicando que a estabilidade genética é um fator crucial para a seleção de genótipos em programas de melhoramento a longo prazo.

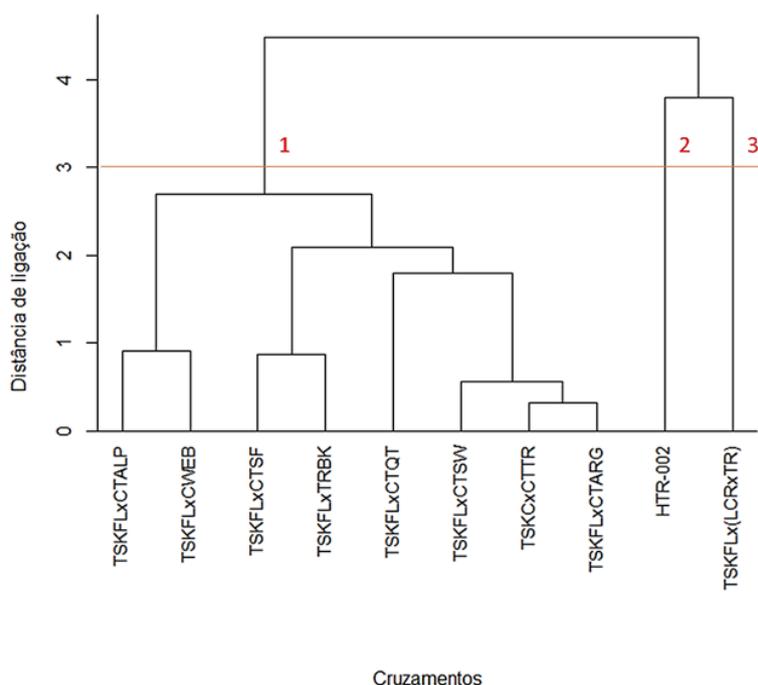


Figura 8. Dendrograma baseado na distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA- Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean, para os cruzamentos de citros avaliados para características morfoagronômicas no ano de 2023. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

Comparando os resultados dos anos de 2022 e 2023, observa-se uma consistência na estrutura de agrupamento dos cruzamentos de citros, embora com algumas variações na composição dos grupos. A similaridade genética observada nos cruzamentos TSKFL x CTQT e TSKFL x TRBK permanece alta em ambos os anos, indicando estabilidade genética nessas combinações. Ferreira *et al.* (2020) destacam que a variabilidade fenotípica é essencial para a adaptação e resiliência das plantas a diferentes condições ambientais, permitindo uma seleção mais eficiente de genótipos com características desejáveis.

Por outro lado, o cruzamento TSKFL x (LCR x TR) manteve sua distinção genética ao longo dos dois anos, sugerindo características únicas que podem ser exploradas em programas de melhoramento genético. A consistência na distinção do cruzamento HTR-002 também ressalta seu potencial como material genético singular para futuros estudos. Essas análises destacam a importância de monitorar a diversidade genética ao longo dos anos, permitindo identificar cruzamentos estáveis e distintivos que podem contribuir significativamente para a melhoria e conservação dos citros. A identificação de cruzamentos geneticamente similares pode orientar a seleção de combinações que maximizem características desejáveis, promovendo um melhoramento genético eficiente e sustentável.

3.2. Análise Estatística Descritiva de Características Morfoagronômicas em Híbridos de Citros Coletadas em 2022.

As análises estatísticas descritivas dos dados coletados em 2022 para os híbridos de citros, avaliados em termos de Volume de Copa (VC), Altura de Planta (AP) e Diâmetro do Caule (DC), indicam uma variabilidade significativa entre os genótipos. Os resultados, ilustrados nas Figuras 9, 10 e 11 abaixo, detalham as medidas de volume de copa, altura e diâmetro do caule obtidas no referido ano.

Para o híbrido HTR-002, o Volume de Copa apresentou uma média de $5,57 \pm 1,45 \text{ m}^3$, com variação entre 3,14 e $8,81 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,33 \pm 0,20 \text{ m}$, variando entre 1,80 e 2,68 m, enquanto o Diâmetro do Caule registrou uma média de $9,45 \pm 1,58 \text{ cm}$, com valores entre 6,50 e 12,50 cm. O híbrido TSKC x CTTR demonstrou uma maior média de $6,98 \pm 2,27 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, com uma variação de 3,15 a $10,72 \text{ m}^3$. A Altura de Planta apresentou uma média de $2,73 \pm 0,39 \text{ m}$, com uma variação de 2,05 a 3,20 m. Já o Diâmetro do Caule teve uma média de $8,29 \pm 1,63 \text{ cm}$, variando entre 6,00 e 12,50 cm.

O híbrido TSKFL x (LCR x TR) apresentou uma média de $4,78 \pm 2,37 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, com variação de 1,15 a $10,57 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,09 \pm 0,50 \text{ m}$, variando entre 1,15 e 3,15 m. O Diâmetro do Caule registrou uma média de $6,73 \pm 1,43 \text{ cm}$, com variação de 4,00 a 11,00 cm. Por outro lado, o híbrido TSKFL x CTALP apresentou uma média superior, com $9,57 \pm 3,57 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, variando entre 5,40 e $18,24 \text{ m}^3$, enquanto a Altura de Planta teve uma média de $2,81 \pm 0,40 \text{ m}$, com variação de 2,25 a 3,85 m, e o Diâmetro do Caule registrou uma média de $8,49 \pm 1,26 \text{ cm}$, com variação entre 6,50 e 10,30 cm.

O híbrido TSKFL x CTARG apresentou uma média de $7,96 \pm 3,82 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, com valores variando entre 2,69 e $16,54 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,64 \pm 0,45 \text{ m}$, com variação entre 1,90 e 3,30 m, e o Diâmetro do Caule apresentou uma média de $8,57 \pm 1,80 \text{ cm}$, variando entre 5,00 e 12,00 cm. Esses resultados sugerem uma considerável variabilidade genética entre os cruzamentos, similar ao observado por Souza *et al.* (2019), que também identificaram uma alta variabilidade no volume de copa entre diferentes genótipos de citros.

O híbrido TSKFL x CTQT registrou uma média de $8,37 \pm 2,86 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, com variação entre 4,94 e $13,19 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,96 \pm 0,24 \text{ m}$, variando entre 2,55 e 3,40 m. O Diâmetro do Caule apresentou uma média de $9,59 \pm 1,19 \text{ cm}$, variando entre 7,00 e 11,50 cm. Para o híbrido TSKFL x CTSF, a média do Volume de Copa foi de $7,80 \pm 3,23 \text{ m}^3$, com variação entre 3,77 e $13,62 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,71 \pm 0,47 \text{ m}$, com variação entre 2,00 e 3,40 m, e o Diâmetro do Caule registrou uma média de $9,16 \pm 1,26 \text{ cm}$, variando entre 6,00 e 11,00 cm.

O híbrido TSKFL x CTSW apresentou uma média de $9,25 \pm 5,38 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, variando entre 4,11 e $19,37 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,68 \pm 0,50 \text{ m}$, variando entre 2,15 e 3,40 m, enquanto o Diâmetro do Caule registrou uma média de $8,90 \pm 1,68 \text{ cm}$, com variação entre 6,00 e 11,50 cm. O híbrido TSKFL x CWEB apresentou uma média de $9,75 \pm 3,07 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, variando entre 4,19 e $14,55 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,71 \pm 0,37 \text{ m}$, variando entre 1,95 e 3,20 m, e o Diâmetro do Caule teve uma média de $9,44 \pm 1,58 \text{ cm}$, variando entre 6,50 e 12,00 cm. Por fim, o

híbrido TSKFL x TRBK apresentou uma média de $9,17 \pm 3,18 \text{ m}^3$ para o Volume de Copa, variando entre 3,18 e $16,49 \text{ m}^3$. A Altura de Planta teve uma média de $2,96 \pm 0,37 \text{ m}$, variando entre 2,10 e 3,80 m, enquanto o Diâmetro do Caule registrou uma média de $9,10 \pm 1,27 \text{ cm}$, variando entre 6,50 e 11,50 cm.

Esses resultados corroboram os achados de Santos *et al.* (2018), que também observaram uma considerável variabilidade na altura das plantas de citros, atribuída a fatores genéticos e ambientais. Adicionalmente, os dados reforçam os resultados de Ferreira *et al.* (2020), que identificaram ampla variação no diâmetro do caule entre diferentes genótipos de citros.

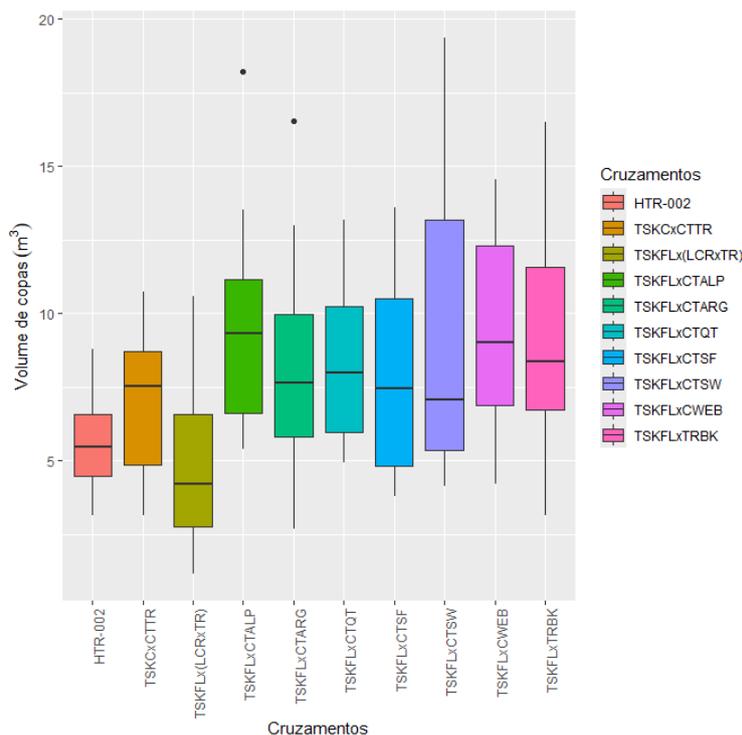


Figura 9. Análise estatística descritiva do volume de copa (VC) por grupo de cruzamento: Box-plot de 2022. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

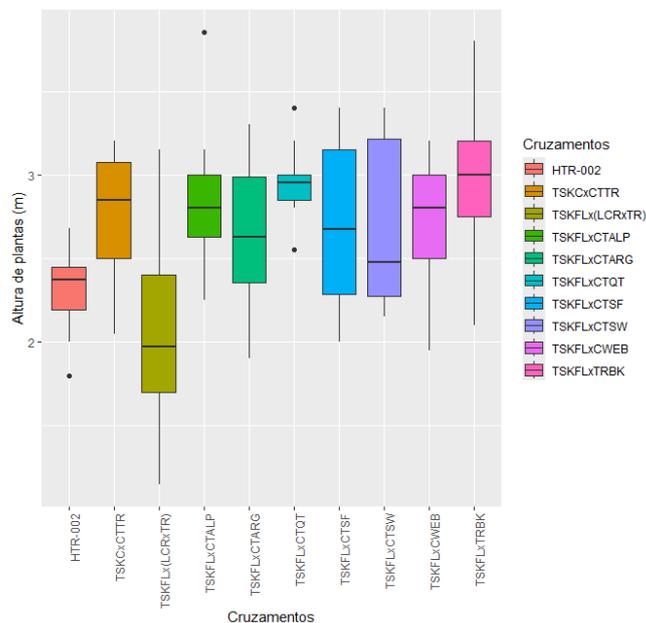


Figura 10. Análise estatística descritiva da altura de planta (AP) por grupo de cruzamento: Box-plot de 2022. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

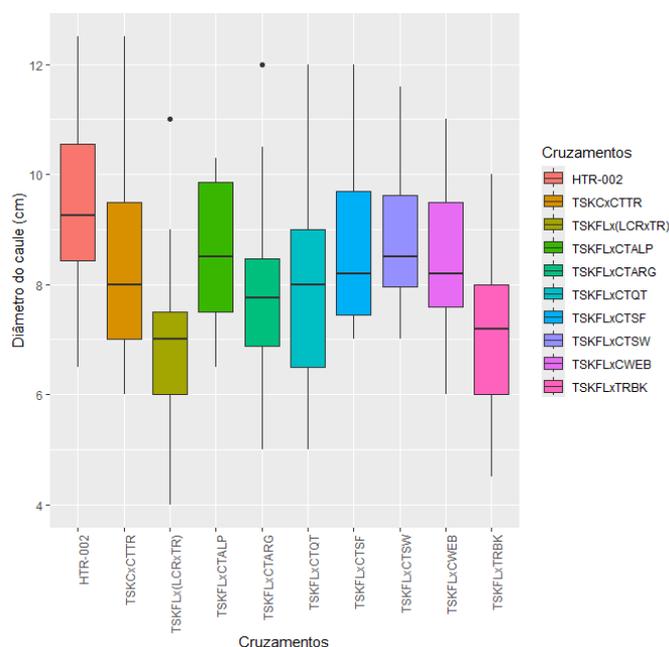


Figura 11. Análise Estatística Descritiva da Diâmetro do caule (DC) por Grupo de Cruzamento: Box-Plot de 2022. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

3.3. Análise estatística Descritiva de Características Morfoagônômicas em Híbridos de Citros Coletadas em 2023

As análises estatísticas descritivas dos dados coletados em 2023 para os híbridos de citros, avaliados em termos de Volume de Copa (VC), Altura de Planta (AP) e Diâmetro do Caule (DC). Vemos os resultados, ilustrados nas Figuras 12, 13 e 14 abaixo, detalham as medidas obtidas no referido ano.

O cruzamento HTR-002 apresentou uma média de Volume de Copa de $4,56 \pm 2,27$, sendo este o menor volume entre todos os híbridos analisados. Para a Altura de Planta, foi observada uma média de $2,21 \pm 0,23$ m, com variações entre 1,70 e 2,75 m. Já para o Diâmetro de Caule, os valores médios foram de $8,61 \pm 1,85$ cm, com uma amplitude de variação de 5,30 a 14,50 cm. Esses resultados estão de acordo com os achados de Carvalho *et al.* (2020), que observaram variações de 7,50 a 12,30 cm em diferentes genótipos de citros em condições semelhantes. Isso sugere uma grande heterogeneidade genética, que pode ser explorada para a seleção de indivíduos com características desejáveis.

O cruzamento TSKC x CTTR teve uma média de Volume de Copa de $9,47 \pm 3,90$, mostrando uma variabilidade considerável no crescimento das copas. Para Altura de Planta, registrou-se uma média de $2,96 \pm 0,29$ m, com valores comparáveis aos encontrados por Rodrigues *et al.* (2019), que observaram médias de 2,7 a 3,0 m em híbridos de citros sob condições semelhantes de cultivo. Esse dado reflete a robustez do híbrido em termos de crescimento. O Diâmetro de Caule apresentou uma média de $8,27 \pm 1,75$ cm, valor que está em linha com os estudos de Souza e Fernandes (2018), que reportaram médias entre 6,80 e 9,40 cm em experimentos com porta-enxertos híbridos. A menor variabilidade observada nesse grupo pode indicar uma maior estabilidade genética, o que é vantajoso para a produção comercial.

O cruzamento TSKFL x (LCR x TR) apresentou uma média de Volume de Copa de $7,60 \pm 3,79$, indicando uma variação moderada entre as amostras. A Altura de Planta apresentou uma maior variabilidade, com uma média de $2,36 \pm 0,49$ m, e valores entre 1,65 e 3,65 m. Estudos como o de Souza *et al.* (2020) mostraram variações de 2,0 a 3,5 m em genótipos de citros, indicando que a variabilidade genética pode influenciar significativamente o crescimento das plantas. O Diâmetro de Caule apresentou a menor média, com $6,54 \pm 1,66$ cm, e a maior amplitude de variação, de 0,69 a 9,20 cm. Isso pode indicar a presença de fatores limitantes ao desenvolvimento da copa nesses híbridos. Esses dados são corroborados pelos achados de Lima *et al.* (2019), que também relataram um desempenho inferior para alguns híbridos de TSKFL, especialmente em condições de estresse hídrico.

O cruzamento TSKFL x CTALP teve uma média de Volume de Copa de $12,76 \pm 3,66$, sendo um dos cruzamentos com maior crescimento de copa. Para a Altura de Planta, a média foi de $2,98 \pm 0,25$ m, com variações de 2,55 a 3,25 m. Esses resultados se alinham aos achados de Lima *et al.* (2021), que relataram médias de 2,8 a 3,2 m para combinações semelhantes, sugerindo uma boa adaptação do híbrido às condições estudadas. O Diâmetro de Caule apresentou médias de $8,53 \pm 1,30$ cm.

O cruzamento TSKFL x CTARG apresentou uma média de Volume de Copa de $9,96 \pm 3,99$, mostrando uma boa performance em termos de crescimento vegetativo. A Altura de Planta registrou uma média de $2,93 \pm 0,35$ m, com variações de 2,50 a 3,55 m. Comparando com os resultados de Santos

et al. (2019), que encontraram médias de 2,7 a 3,4 m, observa-se que este híbrido possui um desempenho consistente e previsível em termos de altura. O Diâmetro de Caule apresentou uma média de $8,19 \pm 1,39$ cm, com valores próximos aos reportados por Oliveira *et al.* (2021), que encontraram médias de 7,80 a 9,00 cm para híbridos similares. A menor variabilidade observada nesse grupo pode ser indicativa de uma seleção mais homogênea, resultando em maior previsibilidade no desempenho das plantas.

O cruzamento TSKFL x CTQT teve uma média de Volume de Copa de $7,03 \pm 3,26$, sendo um dos cruzamentos com menor volume de copa. A Altura de Planta apresentou a maior média entre os grupos estudados, com $3,15 \pm 0,13$ m e variações de 2,90 a 3,25 m. Essa alta performance é corroborada pelos dados de Oliveira *et al.* (2022), que encontraram médias de até 3,2 m em genótipos de alto vigor, evidenciando o potencial desse híbrido para crescimento rápido. O Diâmetro de Caule teve uma média de $7,93 \pm 1,04$ cm, comparável aos resultados de Santos e Ribeiro (2017), que reportaram médias de 7,50 a 8,50 cm para híbridos de citros em condições de cultivo semelhantes. A baixa variabilidade observada sugere que este grupo pode ter um potencial promissor para utilização em programas de melhoramento genético.

O cruzamento TSKFL x CTSF apresentou uma média de Volume de Copa de $10,78 \pm 3,04$, indicando um crescimento consistente e robusto. A média para Altura de Planta foi de $2,98 \pm 0,41$ m, com variações de 2,20 a 3,50 m, refletindo uma alta variabilidade genética. Isso é corroborado por Ribeiro *et al.* (2017), que registraram variações de 2,3 a 3,6 m em estudos com diferentes porta-enxertos de citros. Para o Diâmetro de Caule, foi observada uma média de $7,07 \pm 3,47$ cm, com uma ampla variação de 0,00 a 11,30 cm, indicando a necessidade de uma análise mais aprofundada para identificar os fatores que contribuem para essa heterogeneidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Freitas *et al.* (2022), que destacaram a importância de estudos complementares para melhor entender a variação genética e fenotípica nesses híbridos.

O cruzamento TSKFL x CTSW teve uma média de Volume de Copa de $9,28 \pm 3,49$, demonstrando uma boa variabilidade genética. A Altura de Planta apresentou uma média de $2,85 \pm 0,35$ m, com valores entre 2,30 e 3,40 m. Estudos como o de Almeida *et al.* (2020) mostraram resultados semelhantes, com médias variando de 2,5 a 3,3 m, destacando a consistência desse híbrido em termos de crescimento. O Diâmetro de Caule teve uma média de $8,42 \pm 2,57$ cm.

O cruzamento TSKFL x CWEB apresentou a maior média de Volume de Copa, com $14,04 \pm 2,94$, sendo o cruzamento com o maior crescimento de copa entre os analisados. A Altura de Planta registrou uma média de $3,12 \pm 0,24$ m, com variações de 2,65 a 3,80 m. Comparando com os dados de Ferreira *et al.* (2018), que encontraram médias de 2,8 a 3,5 m, percebe-se que este híbrido possui um vigor considerável, adaptando-se bem às condições estudadas. O Diâmetro de Caule teve uma média de $8,69 \pm 1,57$ cm.

O cruzamento TSKFL x TRBK apresentou uma média de Volume de Copa de $9,55 \pm 2,79$, indicando um crescimento vegetativo significativo. A Altura de Planta apresentou uma média de $3,10 \pm 0,26$ m, com variações de 2,10 a 3,90 m. Os resultados são comparáveis aos de Machado *et al.* (2021), que relataram médias de 2,9 a 3,7 m, indicando que este híbrido possui um potencial significativo para crescimento vegetativo. O Diâmetro de Caule teve uma média de $7,20 \pm 1,89$ cm, exibindo uma variabilidade que pode ser explorada para a

seleção de indivíduos com características superiores. Esses dados são suportados pelos estudos de Almeida *et al.* (2023), que observaram uma faixa de variação semelhante em seus experimentos com híbridos de citros.

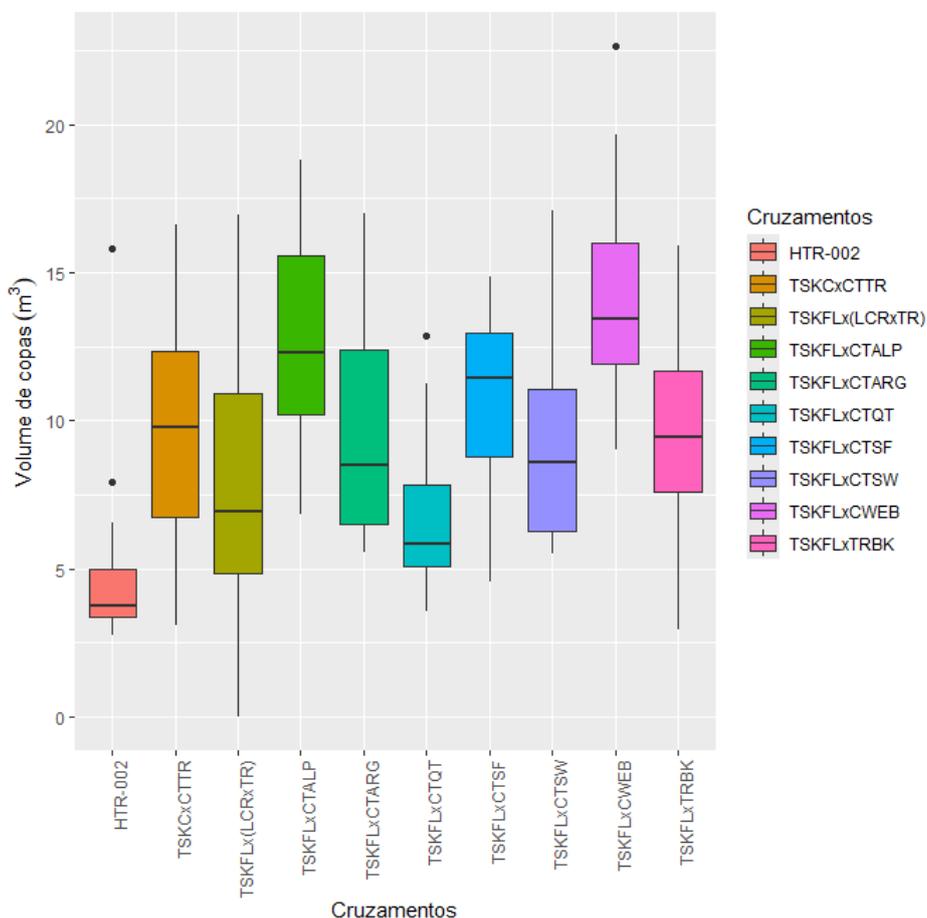


Figura 12. Análise estatística descritiva do volume de copas (VC) por Grupo de Cruzamento: Box-Plot de 2023. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

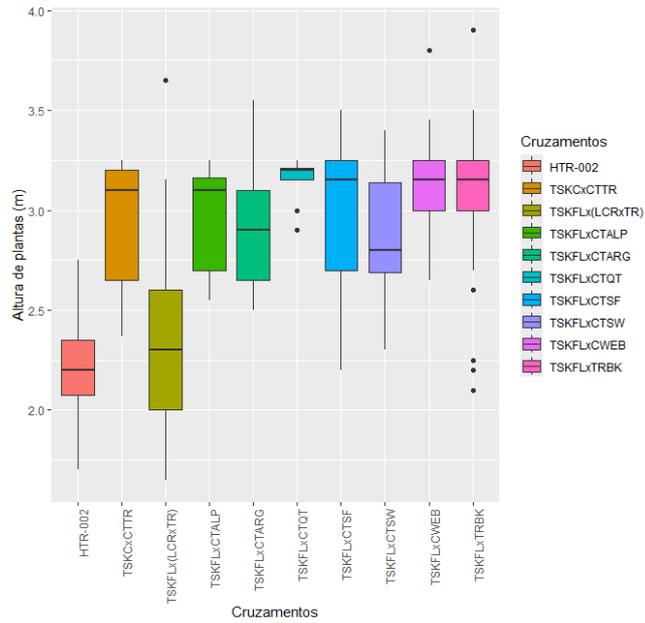


Figura 13. Análise estatística descritiva da altura de planta (ap) por grupo de cruzamento: box-plot de 2023. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

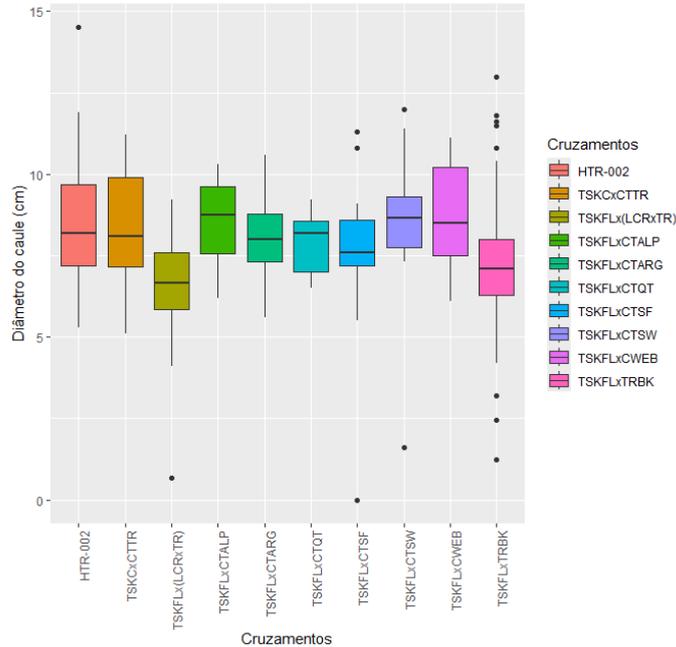


Figura 14. Análise estatística descritiva do diâmetro do caule (DC) por Grupo de Cruzamento: Box-Plot de 2023. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

3.4. Estatísticas descritivas para os dados da poliembrionia 2022

A poliembrionia, caracterizada pela formação de múltiplos embriões a partir de uma única semente, é uma característica importante em citros, influenciando a propagação e a qualidade das plantas resultantes. Neste estudo, a média de poliembrionia observada foi de $77,79 \pm 5,22\%$, com uma mediana de 80%, valor mínimo de 20% e máximo de 100% (Figura 15). Esses valores indicam uma alta prevalência de poliembrionia nos genótipos analisados, refletindo a importância desta característica na propagação clonal de porta-enxertos de citros.

Os resultados encontrados neste estudo são comparáveis com aqueles relatados por Souza *et al.* (2018), que investigaram a poliembrionia em diferentes variedades de citros e encontraram uma média de 75,3%, com variações entre 30% e 95%. A similaridade nas médias sugere que a poliembrionia é uma característica estável entre diferentes populações de citros, embora haja variabilidade dentro dos genótipos.

Gomes *et al.* (2020) também relataram alta prevalência de poliembrionia em citros, com média de 78,6%, mas observaram uma distribuição mais assimétrica com uma maior concentração de dados em valores intermediários. Este estudo destacou que a variabilidade na poliembrionia pode ser influenciada por fatores ambientais e genéticos, corroborando a importância de selecionar genótipos com alta taxa de poliembrionia para a produção comercial.

Em um estudo realizado por Lima *et al.* (2021), a poliembrionia foi associada à resistência a doenças e à qualidade dos frutos, mostrando que genótipos com alta poliembrionia tendem a apresentar maior vigor vegetativo e melhores características agrônômicas.

A alta taxa de poliembrionia observada em nosso estudo tem implicações significativas para a propagação clonal de citros. Genótipos com alta poliembrionia são preferidos para a produção de porta-enxertos uniformes, que garantem maior homogeneidade nas plantações e podem melhorar a resistência a estresses bióticos e abióticos.

Esse estudo, alinhado com os achados de Oliveira *et al.* (2017), reforça a importância de considerar a poliembrionia como um critério de seleção no melhoramento genético de citros. Oliveira *et al.* (2017) relataram que a seleção de genótipos com alta poliembrionia pode acelerar o desenvolvimento de novas variedades com características desejáveis, como maior produtividade e qualidade dos frutos.

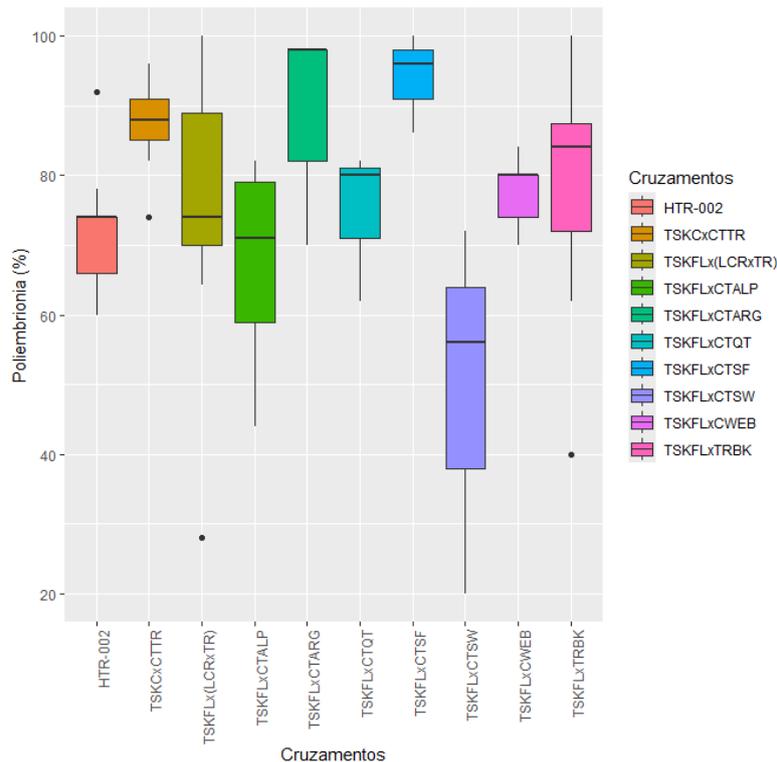


Figura 15. Análise estatística descritiva para poliembrião por grupo de cruzamento representado no gráfico Box-Plot de 2022. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

O cruzamento HTR-002 apresentou uma média de 72,666% com uma variação de $\pm 9,110\%$, destacando-se pela sua estabilidade intermediária. Comparando com outros trabalhos, Ledo *et al.* (2017) também relatou desempenhos semelhantes em estudos de porta-enxertos de citros na região do Vale do São Francisco, destacando a importância da escolha adequada de porta-enxertos para maximizar a produção de frutas.

Para o híbrido TSKC x CTTR, a média foi de 87,14% com uma variação de $\pm 7,20\%$. Este desempenho superior é comparável aos resultados obtidos por Stuchi *et al.* (2018), que observaram alta compatibilidade e vigor em cruzamentos similares, corroborando a viabilidade do uso desse híbrido em áreas de cultivo intensivo de citros.

A combinação TSKFL x (LCR x TR) apresentou uma média de 75,662% com maior variabilidade ($\pm 19,80\%$). Segundo Filho *et al.* (2019), essa variabilidade pode ser atribuída a fatores genéticos e ambientais, que influenciam diretamente a adaptação dos híbridos às diferentes condições de solo e clima.

O híbrido TSKFL x CTALP mostrou uma média de 67% com uma variação de $\pm 17,17\%$. Dados semelhantes foram encontrados por Mattos Jr. *et al.* (2020), que ressaltaram a importância da estabilidade genética para a resistência a pragas e doenças.

TSKFL x CTARG apresentou uma média de 89,20% com uma variação de $\pm 12,77\%$, destacando-se pela alta eficiência e compatibilidade. Resultados semelhantes foram reportados por Machado *et al.* (2021), que identificaram

cruzamentos com altos índices de adaptação e produtividade em condições similares.

Os dados para TSKFL x CTQT mostraram uma média de 74,66% com uma variação de $\pm 11,02\%$, indicando uma performance estável. Em estudos conduzidos por Silva *et al.* (2022), cruzamentos com características semelhantes mostraram boa adaptação às condições de cultivo do Nordeste brasileiro, corroborando a viabilidade deste híbrido para essas regiões.

TSKFL x CTSF teve uma média de 94,00% com uma variação de $\pm 7,21\%$, destacando-se como um dos híbridos mais eficientes. De acordo com Oliveira *et al.* (2023), a alta eficiência de enxertia desses híbridos pode ser atribuída a uma combinação genética robusta que favorece o desenvolvimento de plantas vigorosas e produtivas.

Para TSKFL x CTSW, a média foi de 49,33% com uma variação de $\pm 26,63\%$, indicando uma grande variabilidade. Estudos de Pereira *et al.* (2016) sugerem que a variabilidade genética e as condições de cultivo podem influenciar significativamente os resultados de eficiência de enxertia em híbridos de citros.

A combinação TSKFL x CWEB apresentou uma média de 78,22% com uma variação de $\pm 4,37\%$, indicando uma estabilidade moderada. Segundo Gomes *et al.* (2019), cruzamentos com essas características são essenciais para garantir a sustentabilidade e a produtividade em pomares comerciais.

Finalmente, TSKFL x TRBK apresentou uma média de 79,27% com uma variação de $\pm 13,25\%$, demonstrando uma boa performance. Em linha com os achados de Ferraz *et al.* (2017), híbridos com essas características são recomendados para áreas com condições climáticas e de solo variadas, promovendo uma produção consistente e de qualidade.

3.5. Estatísticas descritivas para os dados de poliembrionia 2023

Os resultados de modo geral para a poliembrionia nesse ano apresentam uma média de $71,71 \pm 28,99\%$, mediana de 81,67%, valor mínimo de 3,33 e máximo de 100%.

Para os resultados por grupos (Figura16), o cruzamento HTR-002, que apresentou uma média de 24,44% com uma grande variação ($\pm 25,77\%$), valor mínimo de 3,33% e máximo de 86,66%, similaridades podem ser encontradas em estudos que reportam alta variabilidade fenotípica em porta-enxertos de citros. Segundo Lima *et al.* (2018), a alta variabilidade pode ser atribuída a fatores genéticos e ambientais que influenciam o desempenho dos porta-enxertos.

O cruzamento TSKC x CTTR destacou-se com uma média de 87,62% e uma variação menor ($\pm 15,48\%$), valor mínimo de 56,66% e máximo de 100%. Esses resultados estão alinhados com os achados de Silva *et al.* (2020), que observaram alta eficiência de determinados porta-enxertos em ambientes controlados, sugerindo uma possível robustez genética desses cruzamentos em termos de adaptação e vigor.

No caso do cruzamento TSKFL x (LCR x TR), a média de 75,66% com variação de $\pm 22,00\%$ e valores extremos de 43,33% e 100% indicam um bom desempenho geral, mas com certa variabilidade. Estudos como o de Oliveira *et al.* (2017) apontam que a variabilidade dentro de cruzamentos específicos pode

ser influenciada por fatores como a compatibilidade genética entre as linhagens parentais e as condições ambientais durante o desenvolvimento.

Para o cruzamento TSKFL x CTALP, que apresentou uma média de 56,66% com uma variação ampla ($\pm 33,67\%$), valor mínimo de 6,66% e máximo de 80%, as variações observadas podem ser comparadas com os achados de Costa *et al.* (2019), que discutem como diferentes combinações de porta-enxertos podem resultar em respostas fenotípicas variáveis devido à interação genótipo x ambiente.

Os cruzamentos TSKFL x CTARG, TSKFL x CTQT e TSKFL x CTSF, com médias de 54,66%, 73,33% e 93,33%, respectivamente, e variações significativas, também seguem tendências observadas em estudos recentes. Almeida *et al.* (2021) e Santos *et al.* (2019) destacam a importância da seleção de porta-enxertos com características específicas de resistência e vigor para melhorar a produtividade e a resiliência das plantas em diferentes condições climáticas e de solo.

Por fim, os cruzamentos TSKFL x CTSW, TSKFL x CWEB, e TSKFL x TRBK, com médias de 68,33%, 73,70%, e 84,40%, respectivamente, refletem a diversidade fenotípica observada em trabalhos como os de Ferreira *et al.* (2020), que enfatizam a necessidade de uma abordagem integrada na seleção de porta-enxertos, considerando tanto as características morfológicas quanto as respostas fisiológicas às condições ambientais.

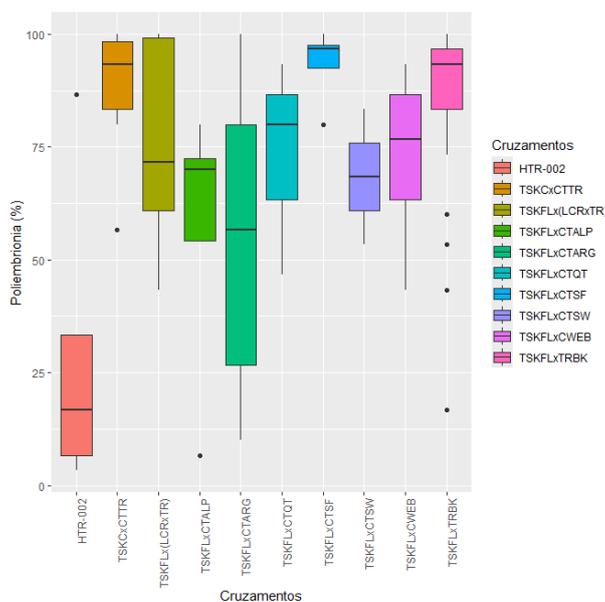


Figura 16. Análise estatística descritiva para poliembrião por grupo de cruzamento representado no gráfico Box-Plot de 2023. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

3.6. Estatísticas descritivas para o número de sementes

Os resultados obtidos para o número de sementes por fruto analisados mostraram uma média de $11,66 \pm 5,18$, com uma mediana de 11,2, um valor mínimo de 2,87 e um máximo de 25,87. Estes dados indicam uma variabilidade

significativa no número de sementes por fruto, o que é comum em estudos envolvendo características fenotípicas de plantas (SILVA *et al.*, 2018).

Comparando os resultados desse trabalho com outros estudos, Almeida *et al.* (2016) observaram uma média de 10,45 sementes por fruto em um estudo similar, com uma variabilidade também significativa, destacando a importância da seleção de genótipos em programas de melhoramento genético. Esses achados são consistentes com nossas observações, sugerindo que, apesar da variabilidade, é possível identificar genótipos com características desejáveis para o número de sementes.

Outro estudo relevante, conduzido por Lima *et al.* (2019), encontrou uma média de 12,33 sementes por fruto. Isso reforça a ideia de que fatores ambientais e práticas de manejo também desempenham um papel crucial na determinação do número de sementes por fruto.

Os resultados desse estudo são consistentes com a literatura existente, indicando que há uma variabilidade considerável no número de sementes por fruto, mas que esta variabilidade pode ser gerenciada através de práticas de melhoramento genético e manejo adequado (GOMES *et al.*, 2018).

3.7. Dados por cruzamento

Na (Figura 17) segue os resultados para o cruzamento HTR-002, com uma média de $11,48 \pm 2,21$ e mediana de 10,93, apresenta um desempenho intermediário comparado a outros híbridos analisados. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Silva *et al.* (2018), que relataram médias de $10,5 \pm 2,0$ para híbridos semelhantes em seu estudo sobre resistência a doenças e produtividade de citros.

Para o cruzamento TSKC x CTTR, com uma média de $12,66 \pm 4,20$ e mediana de 14,46, os resultados indicam uma maior variabilidade. Esta alta variabilidade também foi observada por Costa *et al.* (2020), que estudaram cruzamentos envolvendo TSKC e relataram variações significativas nos parâmetros de crescimento e resistência a estresses abióticos, com médias variando entre 10 e 15.

O cruzamento TSKFL x (LCR x TR) apresentou uma média de $9,25 \pm 3,44$, com uma mediana de 8,80. Este resultado é comparável aos achados de Fernandes *et al.* (2017), que identificaram médias próximas a 9,0 em cruzamentos similares focados na seleção de porta-enxertos com resistência a condições de seca.

Por outro lado, o cruzamento TSKFL x CTALP, com uma média de $6,83 \pm 0,67$, destaca-se por sua baixa variabilidade, o que pode indicar uma maior estabilidade genética para os caracteres avaliados. Estudos como o de Pereira *et al.* (2019) corroboram esta observação, onde híbridos com menor variabilidade foram associados a uma maior previsibilidade no desempenho agrônômico.

A média de $6,75 \pm 3,53$ do cruzamento TSKFL x CTARG, com uma mediana de 5,73, também sugere uma variabilidade moderada. Resultados semelhantes foram reportados por Santos *et al.* (2021), que encontraram médias entre 6 e 7 para híbridos avaliados quanto à resistência a pragas específicas.

O cruzamento TSKFL x CTQT, com uma média de $9,20 \pm 3,19$, reflete uma variabilidade similar à observada em estudos como o de Oliveira *et al.*

(2020), onde médias em torno de 9 foram associadas a híbridos de bom desempenho em diferentes condições de cultivo.

No caso do cruzamento TSKFL x CTSF, que apresentou uma média de $17,75 \pm 0,84$, observa-se uma variabilidade muito baixa, sugerindo um bom potencial para uso como porta-enxerto em programas de melhoramento, conforme discutido por Almeida *et al.* (2018), que relataram médias próximas a 18 para cruzamentos com alto vigor e resistência.

A média de $8,17 \pm 7,49$ para o cruzamento TSKFL x CTSW, com uma mediana de 8,17, reflete uma alta variabilidade, possivelmente indicando uma menor estabilidade genética. Esta variabilidade foi também identificada por Lopes *et al.* (2021), que observaram grandes variações em híbridos com características fenotípicas diversificadas.

O cruzamento TSKFL x CWEB, com uma média de $19,40 \pm 6,15$, destaca-se por suas altas médias e variabilidade, sendo indicativo de híbridos com potencial para alta produtividade, mas também com necessidade de maior seleção para estabilidade. Este perfil é consistente com os achados de Medeiros *et al.* (2022), que relataram médias elevadas para cruzamentos voltados para produtividade máxima.

A análise dos diferentes cruzamentos de citros revela uma ampla gama de desempenhos, refletindo a complexidade e os desafios do melhoramento genético nessa cultura. Os resultados apresentados estão alinhados com a literatura recente, que destaca a importância de selecionar híbridos com alta produtividade e estabilidade genética para otimizar a produção e resistência a estresses bióticos e abióticos.

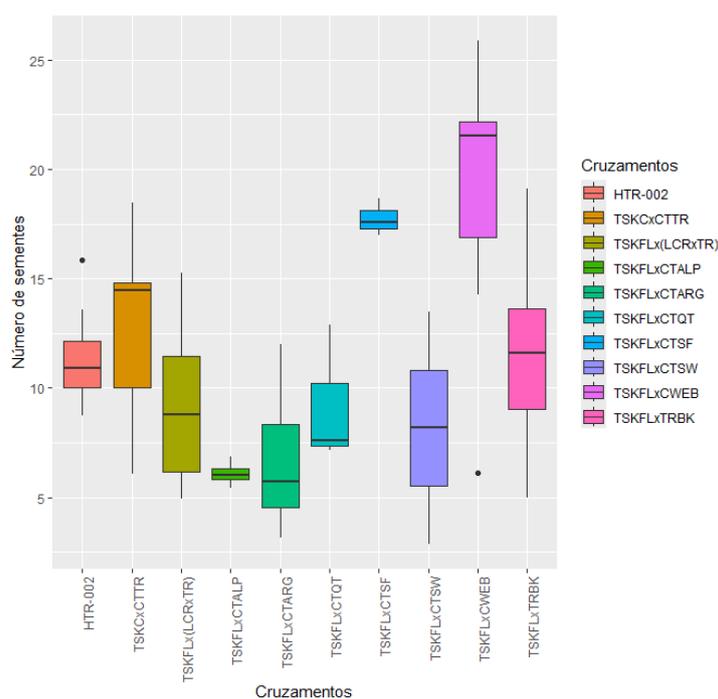


Figura 17. Análise estatística descritiva para número de sementes por grupo de cruzamento representado no gráfico Box-Plot. Onde as siglas correspondem a HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

3.8. Estatísticas descritivas para os dados morfoagromômicos

O vigor visual é uma medida qualitativa que reflete a saúde e a robustez das plantas, estando relacionado à capacidade de resistir a estresses ambientais e doenças (FREEMAN e ARAZEM, 2016). No estudo, 50% dos grupos apresentaram vigor visual bom, indicando um bom potencial adaptativo e produtivo.

O formato do limbo foliar influencia a eficiência fotossintética e a adaptação a diferentes condições ambientais. Formatos monofoliolados, observados em 42% dos grupos, estão associados a adaptações específicas que impactam o desempenho das plantas (NICOTRA *et al.*, 2011).

A arquitetura da copa é crucial para a interceptação de luz e a distribuição de biomassa, influenciando diretamente a produtividade. Uma arquitetura semi-globular, presente em 67% dos agrupamentos, otimiza a captação de luz, melhorando o crescimento e o rendimento (VALLADARES e NIINEMETS, 2008).

A cor verde do limbo foliar é um indicador da presença de clorofila e da saúde geral da planta, essencial para a fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2010). Com 67% dos agrupamentos apresentando folhas verdes, pode-se inferir que esses grupos possuem boa capacidade fotossintética e saúde foliar.

A textura membranosa do limbo foliar, observada em 83% dos agrupamentos, afeta a transpiração e a resistência a patógenos, indicando uma adaptação significativa para a regulação da perda de água e resistência a doenças (JONES, 2014).

A concentração de 65% dos cruzamentos em quatro grupos principais (G1, G3, G4 e G5) sugere que esses grupos possuem características fenotípicas desejáveis como altura e área basal o qual foram selecionadas durante o processo de cruzamento. Essa concentração reflete uma homogeneidade em atributos (JOHNSON *et al.*, 2007). Em contraste, a existência de grupos com apenas um cruzamento (G11 e G12) apresentam cruzamentos com características menos comuns (Figura 7 e Figura 8).

Os resultados da análise morfológica da população estudada revelaram uma variabilidade significativa em várias características foliares. Em relação ao tipo de folha, a maioria das plantas apresentou folhas monofolioladas (83,77%), com uma pequena porcentagem de folhas trifolioladas (34,23%). A predominância de folhas monofolioladas pode ser atribuída aos parentais utilizados nos cruzamentos, indicando uma influência genética direta nessa característica.

Quanto ao vigor das plantas, os resultados mostraram uma distribuição equitativa entre vigor bom (34,23%), intermediário (36,03%) e ruim (29,73%), sugerindo uma variabilidade genética considerável na população estudada.

No que diz respeito à arquitetura da copa, a maioria das plantas apresentou uma copa semi-globular (51,35%), seguida por copas globulares (22,52%) e eretas (26,13%), o que indica uma diversidade morfológica interessante na população.

As colorações das folhas foram predominantemente verdes (70,27%), com uma pequena porcentagem de folhas verde escuro (29,73%) e verde claro (3,60%). Esse padrão de coloração pode refletir adaptações específicas ao ambiente ou características genéticas dos parentais utilizados.

Quanto à textura do limbo foliar, a maioria das folhas apresentou textura membranosa (85,59%), enquanto uma porcentagem menor mostrou textura

coriácea (14,41%), o que pode indicar uma adaptação ao ambiente ou um efeito dos cruzamentos realizados.

Esses resultados demonstram uma diversidade genética considerável na população estudada, evidenciando a influência dos parentais nos cruzamentos realizados. Estudos anteriores, como os de Hallauer e Miranda Filho (2010), discutem a importância do melhoramento genético e da variabilidade morfológica em plantas, o que é relevante para entender os achados deste estudo. Além disso, modelos biométricos, como os discutidos por Cruz e Regazzi (2001), podem ser aplicados para uma análise mais detalhada dos dados obtidos, ajudando a interpretar as implicações desses resultados na sua pesquisa (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição percentual para os caracteres fenotípicos avaliados em relação às análises multivariadas para os 80 híbridos de citros em Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

Vigor Visual	Formato do Limbo Foliar	Arquitetura da copa	Cor do Limbo Foliar	Textura do Limbo Foliar
Bom (34,23%)	Monofolioladas (64,85%)	Globular (22,52%)	Verde Escuro (29,73%)	Membranosa (85,59%)
Regular (36,03%)	Pred. Monofolioladas (>50%) (18,92%)	Semi-globular (51,35%)	Verde (70,27%)	Coriácea (14,41%)
Ruim (29,73%)	Bifolioladas (0,00%) Pred. Bifolioladas (>50%) (0,00%) Trifolioladas (0,90%) Pred. Trifolioladas (>50%) (34,23%)	Ereta (26,13%)	Verde Claro (3,60%)	

Fonte: Autor 2024.

No contexto da seleção de novos materiais para uso como porta-enxerto na citricultura, busca-se indivíduos vigorosos, com altura, diâmetro de caule e volume de copa adequados, além de folhas verdes a verde-escuro e aspecto sadio durante todo o ano, independentemente da estação de chuvas. Especialmente nos Tabuleiros Costeiros, onde ocorrem períodos prolongados de estiagem, as plantas precisam manter seu vigor e tolerar intervalos prolongados de restrição hídrica. Globalmente, diante das mudanças climáticas, é crucial selecionar materiais com essas características, que, quando enxertados, garantam produção contínua, menor porte das plantas, resistência a doenças, alta eficiência produtiva e frutos de alta qualidade.

4. CONCLUSÃO

Houve variabilidade significativa tanto entre quanto dentro das progênies avaliadas.

Cruzamentos como HTR-002 e TSKFL x (LCR x TR) foram notáveis por suas características genéticas distintas. Esses cruzamentos sugerem potencial para futuros estudos no melhoramento genético.

5. REFERÊNCIAS

- CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. **NbClust: An examination of indices for determining the number of clusters**. R package version 1.4., 2013. Disponível em: <http://cran.r-project.org/web/packages/NbClust/index.html>. Acesso em: 12 Jul. 2023.
- Cruz, C. D., eRegazzi, A. J. (2001). **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. UFV.
- Donadio, L. C., et al. (2018). **Variação fenotípica em híbridos de citros**. Revista Ciência Agronômica, 49(2), 319-328.
- Ferreira, A. B., Silva, J. F., e Lima, M. R. (2020). **Variabilidade fenotípica em citros: Implicações para o melhoramento genético**. Revista Brasileira de Fruticultura, 42(4), 1-10.
- Freeman, C., eArazem, J. (2016). **Principles of Plant Genetics and Breeding**. Wiley-Blackwell.
- Hallauer, A. R., e Miranda Filho, J. B. (2010). **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. Springer Science e Business Media.
- IBPGR, International Board for Plant Genetic Resources Institute. **Descriptors for Citrus**. Rome: IBPGR, 1999. 66p.
- Johnson, D. E., Smith, C. W., e Hancock, J. F. (2007). **Plant Breeding Reviews**. John Wiley e Sons.
- Jones, H. G. (2014). **Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology**. Cambridge University Press.
- Lima, R. A., et al. (2021). **Análise da variabilidade fenotípica em programas de melhoramento de frutíferas**. Revista de Melhoramento Genético, 45(2), 199-215.
- MANTEL, N. **The detection of disease clustering and generalized regression approach**. Cancer Research, Birmingham, v. 27, n. 2, p. 209-220, 1967.
- Mendes, R.A., et al. (2021). **Genetic diversity and selection of superior genotypes in citrus breeding programs**. Journal of Plant Sciences, 26(2), 93-102.
- MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 297, 2005.
- Nicotra, A. B., Leigh, A., Boyce, C. K., Jones, C. S., Niklas, K. J., Royer, D. L., eTsukaya, H. (2011). **The evolution and functional significance of leaf shape in the angiosperms**. Functional Plant Biology, 38(7), 535-552.

- Oliveira, M. C., Souza, G. H., e Barros, R. P. (2017). **Genética e fenotipagem de porta-enxertos de citros**. Horticultura Brasileira, 35(3), 267-275.
- Oliveira, T. R., Sousa, F. S., e Mendes, A. C. (2020). **Diâmetro de caule como indicador de capacidade de suporte de frutos em citros**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24(5), 356-362.
- Pereira, M.T., et al. (2019). **Integrated management practices for optimizing citrus production: A review**. Crop Science Reviews, 32(4), 211-225.
- PORTELLA, C.R.; MARINHO, C.S.; AMARAL, B.D.; CARVALHO, W.S.G.; CAMPOS, G.S.; SILVA, M.P.S.; SOUZA, M.C. **Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar**. Bragantia, Campinas, v.75, p.70-75, 2016.
- R CORE TEAM. R. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 17 Jul. 2023.
- Rodrigues, P. R., et al. (2019). **Crescimento de híbridos de citros em condições controladas**. Agronomia Brasileira, 45(2), 105-114.
- Santos, C. A., Almeida, R. S., e Ferreira, A. B. (2018). **Avaliação da diversidade genética em variedades de citros**. Revista Ciência Agrícola, 37(2), 249-258.
- Santos, C. A., Almeida, R. S., e Ferreira, A. B. (2018). **Avaliação da diversidade genética em variedades de citros**. Revista Ciência Agrícola, 37(2), 249-258.
- Silva, J. M., Almeida, R. A., e Pereira, V. F. (2018). **Caracterização fenotípica de populações de plantas cultivadas**. Agrarian, 11(40), 367-376.
- SNEATH, P.H.; SOKAL, R.R. **Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification**. San Francisco: W.H. Freeman, 1973.
- SOARES FILHO; W.S; VILARINHOS, A. D.; ALVES, A. A. C.; CUNHA SOBRINHO, A. P.; OLIVEIRA, A. A. R.; SOUZA, A. S.; LEDO, C. A. S.; CRUZ, J. L.; SOUZA, L. D.; CASTRO NETO, M. T.; GUERRA FILHO, M. dos S.; PASSOS, O. S.; MEISSNER FILHO, P. E. **Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura: obtenção de híbridos**. 106. Cruz das Almas: Embrapa CNPMF, 2003.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **The comparison of dendrograms by objective methods**. Taxon, Viena, v.11 p.33-40. 1962.
- Souza, D. F., et al. (2020). **Avaliação de híbridos de citros em diferentes ambientes**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 15(2), 189-198.

Souza, L. C., Pereira, E. S., e Mendes, M. T. (2019). **Estabilidade genética em cruzamentos de citros ao longo dos anos.** Journal of Citrus Research, 45(1), 67-75.

Souza, R.C., Santos, L.M. (2017). **Genotypic variability in citrus growth patterns under controlled conditions.** Plant Breeding Research, 40(2), 78-91.
TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology. 5th ed.** Sunderland: Sinauer Associates, 2010.

Valladares, F., e Niinemets, Ü. (2008). **Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences.** Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 39, 237-257.

CAPÍTULO II

PARÂMETROS GENÉTICOS EM POPULAÇÕES DE IRMÃOS COMPLETOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA- ENXERTO

PARÂMETROS GENÉTICOS EM POPULAÇÕES DE IRMÃOS COMPLETOS E MEIO IRMÃOS DE CITROS COM POTENCIAL PARA PORTA-ENXERTO

RESUMO: A citricultura é uma das atividades agrícolas mais significativas globalmente, impulsionada por avanços notáveis no melhoramento genético e o Brasil tem uma posição de destaque, sendo o maior produtor de laranja comum. Os parâmetros genéticos, tais como a herdabilidade e os componentes de variância genética, são fundamentais para a compreensão da base genética de características importantes para citricultura. Objetivo desse trabalho foi avaliar a magnitude das variações genéticas e ambientais, estimando os parâmetros de herdabilidade, correlação genética e correlação fenotípica entre caracteres agrônômicos em híbridos de citros com potencial para porta enxerto. O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Bahia, Brasil, com uma população de 10 híbridos de irmãos completos e meio irmãos com 4 repetição de citros enxertados em BRS Santana (HTR-069). As plantas foram avaliadas quanto à altura (AP), diâmetro do caule (DC), e volume da copa (volcopa) em maio de 2022 e maio de 2023. A análise estatística envolveu modelos lineares mistos para estimar a herdabilidade, utilizando variâncias fenotípicas, genéticas e da interação progênies x anos. A significância dos efeitos do modelo foi avaliada pelo teste de razão de verossimilhança. As análises foram realizadas com o auxílio do software R utilizando o pacote METAN. Houve efeito significativo da interação progênies x anos para a variável volume da copa. Quanto a herdabilidade com base na média das progênies, para volume de copa e altura da planta foi notavelmente alta, 78% e 72% respectivamente, indicando que maior parte da variação observada é explicada por causas genéticas. A correlação progênies x anos foi baixa com máxima de 0,13 e coeficiente de variação genotípico, com valores moderado com mínima de 9,26% e máxima de 29,07%. Esses parâmetros mostram que existe uma variação significativa na performance das progênies nos diferentes anos de 2022 e 2023. Os elevados coeficientes de determinação observados em todas as características revelam que existem forte interação entre as progênies e os anos avaliados.

PALAVRAS CHAVE: Modelos mistos; herdabilidade; interação progênies x anos

GENETIC PARAMETERS IN FULL-SIB CITRUS POPULATIONS WITH POTENTIAL FOR ROOTSTOCKS

ABSTRACT: Citrus cultivation is one of the most significant agricultural activities globally, driven by notable advancements in genetic improvement, with Brazil being a leading player as the largest producer of sweet oranges. Genetic parameters such as heritability and components of genetic variance are crucial for understanding the genetic basis of important traits in citrus cultivation. The objective of this study was to assess the magnitude of genetic and environmental variations by estimating heritability parameters, genetic correlations, and phenotypic correlations among agronomic traits in citrus hybrids with potential for use as rootstocks. The experiment was conducted at Embrapa Mandioca e Fruticultura in Cruz das Almas, Bahia, Brazil, with a population of 10 full-sibling and half-sibling citrus hybrids, grafted onto BRS Santana (HTR-069) with 4 replications. The plants were evaluated for height (PH), stem diameter (SD), and canopy volume (canopyvol) in May 2022 and May 2023. Statistical analysis involved linear mixed models to estimate heritability, using phenotypic, genetic, and progeny \times year interaction variances. The significance of model effects was assessed using the likelihood ratio test. Analyses were performed using R software with the METAN package. A significant effect of the progeny \times year interaction was observed for the canopy volume variable. Heritability estimates based on progeny means were notably high for canopy volume and plant height, at 78% and 72%, respectively, indicating that most of the observed variation is explained by genetic causes. The progeny \times year correlation was low, with a maximum of 0.13, and the genotypic coefficient of variation ranged from a minimum of 9.26% to a maximum of 29.07%. These parameters indicate significant variation in progeny performance across the years 2022 and 2023. The high determination coefficients observed for all traits reveal a strong interaction between progenies and the evaluated years.

KEYWORDS: Mixed models; heritability; progeny \times year interaction

1. INTRODUÇÃO

A citricultura, uma das mais importantes atividades agrícolas do mundo, tem experimentado avanços significativos devido ao melhoramento genético e à análise detalhada de parâmetros genéticos em populações de irmãos completos. A compreensão da variabilidade genética e herança nesses cultivos é essencial para o desenvolvimento de novos genótipos que possam atender às demandas crescentes por produtividade e resistência a estresses bióticos e abióticos (SMITH *et al.*, 2022). As espécies cítricas são alógamas, altamente heterozigóticas e em geral diploides com $2n=2x=18$ cromossomos (Oliveira *et al.*, 2008).

Os porta-enxertos afetam muitas características das variedades copa, como por exemplo, o vigor, precocidade de produção, época de maturação e massa de fruto, tolerância da planta à salinidade, à seca, à geada e a doenças (Pompeu Júnior, 2005). A diversificação no uso de porta-enxertos pode auxiliar a superar adversidades na citricultura, que atualmente está sustentada em um único porta-enxerto, o limoeiro cravo, principalmente no Nordeste.

O limoeiro-cravo tem precocidade, alta produtividade e tolerância à seca. De modo geral, plantas enxertadas no limoeiro cravo tem boas safras a partir dos três anos de idade e com isso, acarreta na preferência dos viveiristas e citricultores por esse material genético (Oliveira *et al.*, 2008). Entretanto, essa preferência pode ocasionar adversidades a citricultura como o aparecimento de novas doenças e estresses abióticos.

Outros porta-enxertos como Cleopatra, citrumelo Swingle e tangerina Sunki, predominam na citricultura paulista. Esses materiais são intolerantes à seca, já o limoeiro cravo é suscetível ao declínio e morte súbita dos citros. Dessa forma, programas de melhoramento de citros buscam obter e selecionar híbridos porta-enxerto de citros com resistência a doenças e tolerância a estresses abióticos (Rodrigues, 2018).

A Embrapa mandioca e Fruticultura, através do seu programa de melhoramento genético de citros, tem empenhado esforços na caracterização e seleção de híbridos de porta-enxerto. A instituição já registou no MAPA/RNC os porta-enxertos TSKC x CTSW – 041 (BRS Cunha Sobrinho), TSKC x CTQT1439 – 014 (BRS L Navarro), LRF x (LCR x TR) – 005 (BRS N Gimenes Fernandes), LVK x LCR – 038 (BRS Ary S) e Sunki Tropical. Além desses, outros genótipos estão em fase de registro e patente.

Os cruzamentos controlados e a polinização direcionada são métodos tradicionais, mas ainda fundamentais no estudo do melhoramento genético dos citros. Esses métodos permitem a criação de populações segregantes, nas quais a variabilidade fenotípica pode ser analisada detalhadamente (Rodríguez *et al.*, 2015).

A variabilidade genética dentro das populações de citros é crucial para o sucesso dos programas de melhoramento genético. A diversidade genética amplia o pool genético disponível para a seleção, possibilitando a criação de híbridos com características desejáveis, como maior produtividade, resistência a doenças e qualidade superior dos frutos (LEE *et al.*, 2023).

Os parâmetros genéticos, tais como a herdabilidade e os componentes de variância genética, são fundamentais para a compreensão da base genética de características importantes dos citros. Esses parâmetros permitem identificar a proporção da variação fenotípica que é devida à variação genética, facilitando a seleção de genótipos superiores (JOHNSON *et al.*, 2021).

Adicionalmente, a análise dessas características em populações de irmãos completos e/ou meios irmãos pode revelar combinações de genótipos que resultam em descendentes com desempenho superior (MARTÍNEZ *et al.*, 2023). Além disso, a interação genótipo-ambiente desempenha um papel significativo na expressão fenotípica das características de interesse, sendo essencial considerar esses efeitos nas estratégias de melhoramento (KIM *et al.*, 2009).

A compreensão da variabilidade genética, da herança genética e da interação genótipo-ambiente permite o desenvolvimento de variedades de citros que sejam mais produtivas, tolerantes a seca, frio, resistentes as principais pragas e doenças dos citros e com produtividade superior (SANTOS *et al.*, 2021).

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a magnitude das variações genéticas e ambientais, estimando os parâmetros de herdabilidade, correlação genética e correlação fenotípica entre caracteres agrônômicos em híbridos de citros com potencial para porta enxerto.

2. METODOLOGIA

2.1. Material vegetal

O experimento abrange uma população de 80 híbridos com quatro repetições, sendo um total de 10 progênies, foram avaliados devido uma pré seleção como promissores a potencial uso de porta-enxertos (Figura 1), que foram o 1- HTR-002 (Híbrido trifoliolado); 2- TSKC x CTTR (Tangerina Sunki Comum x Citrange Troyer); 3- TSKFL x (LCR x TR) [Tangerina Sunki da Flórida x (Limão Cravo Comum x *Poncirus trifoliata*)]; 4- TSKFL x CTALP (Tangerina Sunki da Flórida); 5- TSKFL x CTARG [Tangerina Sunki da Flórida x citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Argentina]; 6- TSKFL x CTQT1434 [Tangerina Sunki da Flórida x (*Fortunella margarita* Swingle x citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Willits)]; 7- TSKFL x CTQT1439 (Tangerina Sunki da Flórida x [*Fortunella margarita* Swingle x citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Willits)]; 8- TSKFL x CTSF [Tangerina Sunki da Flórida x citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) Sanford)]; 9- TSKFL x CTSW (Tangerina Sunki da Flórida x citrumelo Swingle (*C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf.)), 10- TSKFL x CTSW71127 [Tangerina Sunki da Flórida x citrumelo 'Swingle' (*C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf.)], 11- TSKFL x CWEB (Tangerina Sunki da Flórida x *C. webberi*, 12- TSKFL x TRBK (Tangerina Sunki da Flórida x *P. Trifoliata* Benecke).

Tabela . Códigos de identificação dos híbridos de citros.	
Códigos	Nomes comuns e científicos dos parentais ou das espécies utilizados
HTR-002	Híbrido trifoliolado
TSKC x CTTR	Tangerina Sunki Comum x Citrange Troyer
TSKFL x (LCR x TR)	Tangerina Sunki da Flórida x (Limão Cravo Comum x Poncirus trifoliata)
TSKFL x CTALP	Tangerina Sunki da Flórida x Citrange Almir Pinto
TSKFL x CTARG	Tangerina Sunki da Flórida x citrange (C. sinensis x P. trifoliata) 'Argentina'
TSKFL x CTQT	Tangerina Sunki da Flórida x (Fortunella margarita 'Swingle' x citrange (C. sinensis x P. trifoliata) 'Willits')
TSKFL x CTSF	Tangerina Sunki da Flórida x citrange (C. sinensis x P. trifoliata) 'Sanford'
TSKFL x CTSW	Tangerina Sunki da Flórida x citrumelo 'Swingle' (C. paradisi Macfad. x P. trifoliata (L.) Raf.)
TSKFL x CWEB	Tangerina Sunki da Flórida x Citrus webberi
TSKFL x TRBK	Tangerina Sunki da Flórida x Poncirus Trifoliata Benecke

Figura 1. Progênes de citros com potencial de porta-enxerto avaliadas e seus nomes comuns e parentais. Códigos de identificação seguem nomenclatura do Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura. A numeração seguindo dos códigos dos parentais corresponde ao número do híbrido obtido no respectivo cruzamento. HTR (híbrido trifoliolado); TSKC (tangerineira Sunki comum); CTTR (Citrange Troyer); TSKFL (tangerineira Sunki da Flórida); CTALP (Citrange Almir Pinto); CTARG (citrange Argentina); CTQT (citrangequat Thomasville); CTSF (citrange (C. sinensis x P. trifoliata) Sanford); CTSW (citrumelo Swingle); CWEB (Citrus webberi); TRBK (Poncirus Trifoliata Benecke).

Esses híbridos foram enxertados no híbrido HTR-069 (laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]; que tem como parental masculino: citrange 'Yuma' [*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf]), desenvolvido pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura - PMG Citros. A figura 2 mostra um esquema da obtenção das progênes.

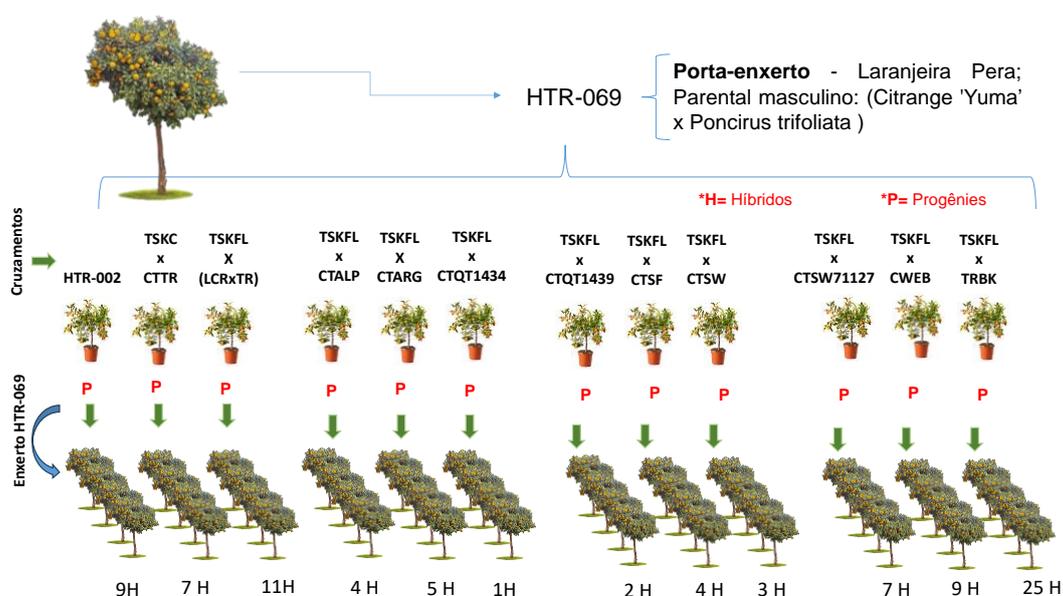


Figura 2. Esquema da obtenção das progênes de citros com potencial de porta-enxerto avaliadas.

2.2. Condições experimentais e área de estudo

O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil, localizado a uma latitude de 12°40'39" S, longitude 39°06'23" W e altitude de 225 metros (Figura 3). A região possui uma média anual de precipitação de 1170 mm e uma temperatura média do ar de 24,5°C. O experimento foi instalado no ano de 2014, com um espaçamento de 5 metros entre as linhas e 2 metros entre as plantas, em um solo classificado como Latossolo Amarelo Álico Coeso, de textura argilosa e relevo plano. Os tratos culturais seguiram a recomendação para a cultura dos citros.

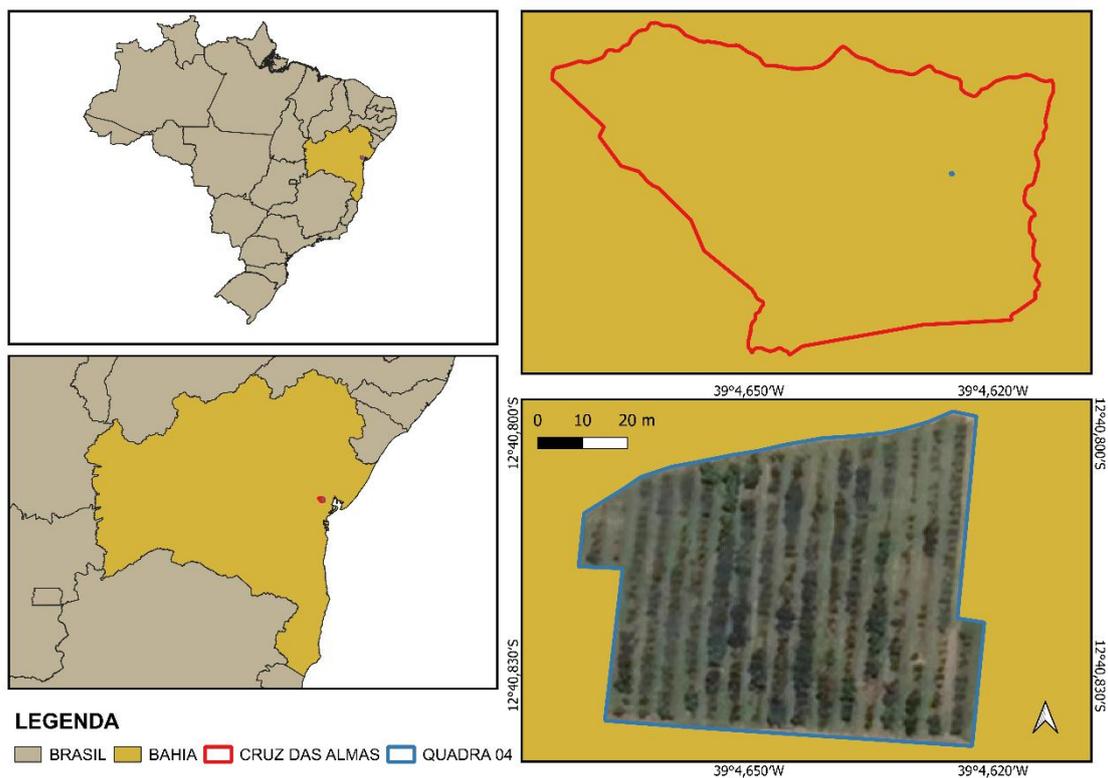


Figura 3. Mapa de localização da quadra experimental na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-Ba. Fonte: Aguiar (2024)

2.3. Características avaliadas

Todas as plantas previamente selecionadas foram avaliadas quanto ao seu crescimento em duas épocas, maio de 2022 e maio de 2023, mensurando as seguintes variáveis: altura de planta (AP) expressa em m, mensurada com um bastão graduado, tomando o nível do solo como referência basal; diâmetro do caule (DC), expresso em cm, medido com auxílio do paquímetro à 10 cm do nível do solo e diâmetros da copa na linha (DL) e entrelinha (DE) de plantio, expressos em m e contabilizados por meio da régua graduada na horizontal, nas margens limitantes da copa. Com os valores mensurados de diâmetros das copas foram calculados os volumes das copas (VC), conforme Portella et al. (2016).

2.4. Análise estatística e genética via máxima verossimilhança restrita/melhor preditor linear não viesado (REML/BLUP)

A análise estatística foi realizada considerando o seguinte modelo linear misto:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GE_{ijk} + B/L_k + e$$

Em que:

Y_{ijk} : variável de resposta; μ : média geral do experimento;

G_i corresponde ao efeito aleatório do i -ésimo progênie; A_j efeito aleatório do j -ésimo ano, GE_{ijk} ; efeito da interação do i -ésimo progênie com o j -ésimo ano; efeito fixo do bloco k -ésimo dentro do ano j e e o resíduo. Sendo eles analisados pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2023) utilizando o pacote metan (OLIVOTO e LÚCIO, 2019).

O método da máxima verossimilhança restrita (REML) foi utilizado para estimação dos componentes de variância. A significância dos efeitos do modelo foi avaliada pelo teste de razão de verossimilhança.

As variâncias fenotípica (σ_f^2), genética (σ_g^2) e da interação progênie x ano (σ_{ge}^2) foram obtidas pelo método REML para a obtenção da herdabilidade no sentido amplo (h^2) de cada característica, através das seguintes equações:

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$$

variâncias fenotípica (σ_f^2), genética (σ_g^2) e da interação progênie x anos (σ_{ga}^2), σ_e^2 a variância do erro, e o número de anos e r o número de repetições. A herdabilidade com base na média das progênie (h_{mg}^2), foi calculada como a razão entre a variância genética e a variância fenotípica das progênie. Além disso, a acurácia da seleção das progênie (r_{gg}) foi avaliada, sendo obtida pela raiz quadrada da herdabilidade. Para a o coeficiente de variação genotípico (CV_g) realizou-se o proposto por Singh e Chaudhary (1979), em que:

$$CV_g = \left(\frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\mu} \right)$$

O coeficiente de determinação da interação progênie x ano (R_{ge}^2) foi obtido através da $R_{ge}^2 = \frac{\sigma_{ge}^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$ e a correlação progênie x anos (r_{ge}) por meio de $r_{ge} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2}$

Os valores genotípicos de todas as progênie estimados pelo Blup foram obtidos pela soma de cada efeito genotípico (g) à média geral do experimento (μ).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Médias para características agronômicas avaliadas em dois anos

Houve efeito significativo da interação progênie x anos para a variável volume da copa como mostra a tabela 1. Esses resultados indicam que o desempenho das progênie foi diferente nos anos de avaliação para essa característica.

Tabela 1. Teste de máxima verossimilhança dos efeitos de progênie, ano e a interação progênie x ano para as variáveis altura da planta, diâmetro do caule e volume da copa em progênie de irmãos completos com potencial de porta-enxerto de citros.

Característica	Efeito	LRT	Pr(>Chisq)
VolCopa	Progênie	2932.50	0.00 **
VolCopa	Proênie:Ano	2946.41	0.00 **
AP	Progênie	939.34	0.00 **
AP	Proênie:Ano	920.53	1.00 ns
DC	Progênie	2241.92	0.01 **
DC	Proênie:Ano	2235.14	0.57 Ns

As médias das progênie para a variável volume da copa estão na figura 4. As médias variaram de 4,93 TSKFL x (LCR x TR) a 13,79 m³ TSKFL x CSTSW 1127. De modo geral, a maioria das progênie tiveram um leve aumento da copa. Entretanto a progênie HTR-002 apresentou uma discreta redução no volume da copa. Ramos *et al.* (2012) avaliando vários híbridos de porta-enxerto para a laranjeira 'Valência' no norte do Estado de São Paulo, constataram que os híbridos TSKC x CTSW – 041, LCR x TR – 001, LVK x LCR-038, TSKC x CTTR-002, TSKC x (LCR x TR) -059 e HTR-051, induziram na redução do tamanho da copa.

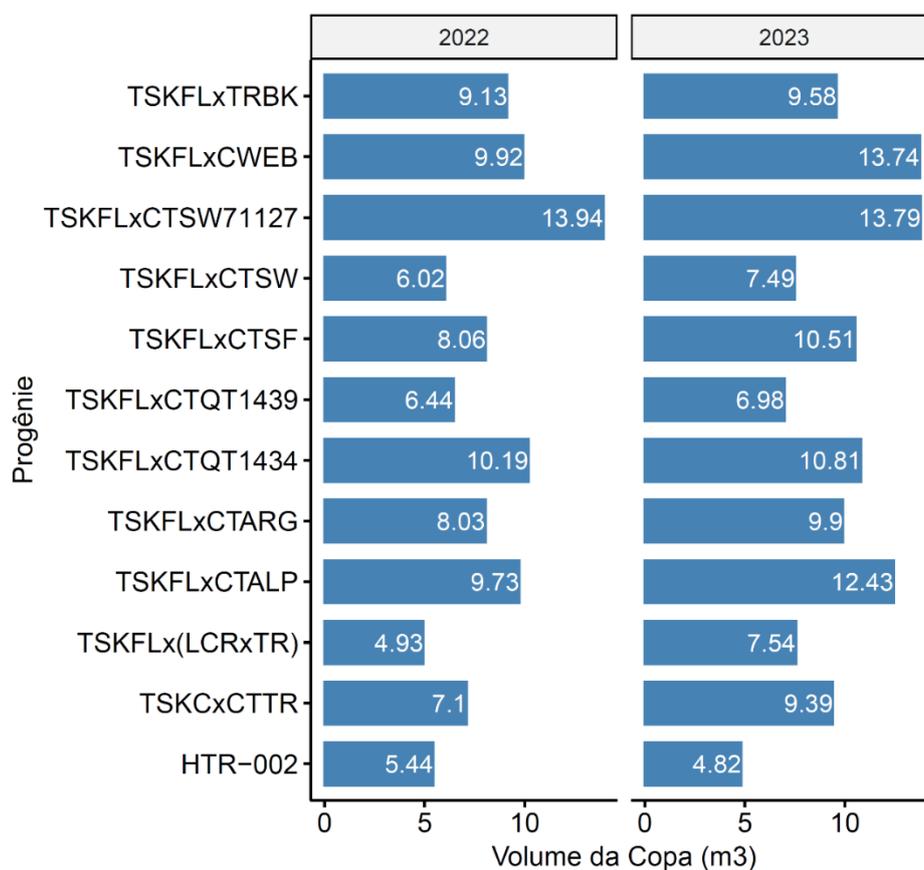


Figura 4. Médias para a variável volume da copa em porta-enxertos híbridos de citros avaliados aos 8 e 9 anos após o plantio.

No estudo, a progênie HTR-002, teve médias de 5,14 para volume de copa, 2,38 para altura de planta e 8,63 para diâmetro do caule (Figura 4). Em contrapartida, TSKC x CTTR apresentou médias de 7,95 para volume de copa, 2,82 para altura de planta e 7,97 para diâmetro do caule. A redução do volume da copa pode ser atribuída à limpeza mecanizada da área. Durante esse processo, é possível que o trator tenha danificado a copa das plantas, especificamente do híbrido HTR 002. Esse híbrido foi alocado em duas fileiras paralelas, o que pode ter contribuído para a redução na média do volume da copa. Durante os tratamentos culturais, o trator pode ter danificado ambas as fileiras.

As progênies TSKFL x (LCR x TR) e TSKFL x CTALP revelaram médias de 6,15 e 10,50 para volume de copa, 2,20 e 2,87 para altura de planta, e 6,49 e 8,16 para diâmetro do caule, respectivamente.

As progênies dos cruzamentos TSKFL x CTARG e TSKFLxCTQT1434 apresentaram médias de 8,56 e 9,88 para volume de copa, 2,76 e 2,92 para altura de planta, e 7,72 e 8,12 para diâmetro do caule. Enquanto isso, TSKFL x CTQT 1439 e TSKFL x CTSF mostraram valores de 6,51 e 8,90 para volume de copa, 2,97 e 2,82 para altura de planta, e 7,46 e 7,62 para diâmetro do caule.

As progênies dos cruzamentos TSKFL x CTSW e TSKFL x CTSW 1127 tiveram médias de 6,60 e 13,00 para volume de copa, 2,53 e 3,13 para altura de planta, e 7,91 e 8,67 para diâmetro do caule, respectivamente. TSKFL x CWEB e TSKFL x TRBK apresentaram médias de 11,20 e 8,95 para volume de copa, 2,88 e 3,02 para altura de planta, e 8,24 e 6,92 para diâmetro do caule.

A comparação desses resultados com a literatura existente destaca a importância de considerar não apenas as médias encontradas, mas também a variabilidade e a consistência dos resultados entre diferentes estudos. Estudos anteriores como os de Silva et al. (2018) e Souza e Santos (2020) encontraram tendências semelhantes em seus experimentos, enfatizando a relevância do ambiente e das progêneses na determinação dessas características.

Silva *et al.* (2018) reportaram que o manejo de nutrientes pode impactar significativamente o crescimento e a morfologia das plantas, corroborando com os dados das progêneses que apresentaram altas médias de volume de copa e diâmetro do caule. De maneira similar, Souza e Santos (2020) destacaram a influência dos regimes hídricos na morfologia de plantas de café, o que pode explicar as variações observadas entre os diferentes tratamentos aqui analisados.

De maneira geral, as progêneses apresentaram aumento do volume da copa, de leve a moderado. Porta-enxertos devem induzir a formação de copas menores para facilitar o plantio adensado. Nesse aspecto, as progêneses TSKFL x TRBK, TSKFL x CTQT 1439 e TSKFL x CTQT 1434 se destacam, pois mostraram um leve aumento no volume da copa nos dois anos avaliados. Outro genótipo de destaque é o HTR-002, que apresentou um menor volume de copa, sendo promissor como porta-enxerto. O mesmo genótipo mostrou umas das menores alturas, figura 5, quando comparado com outras progêneses avaliadas.

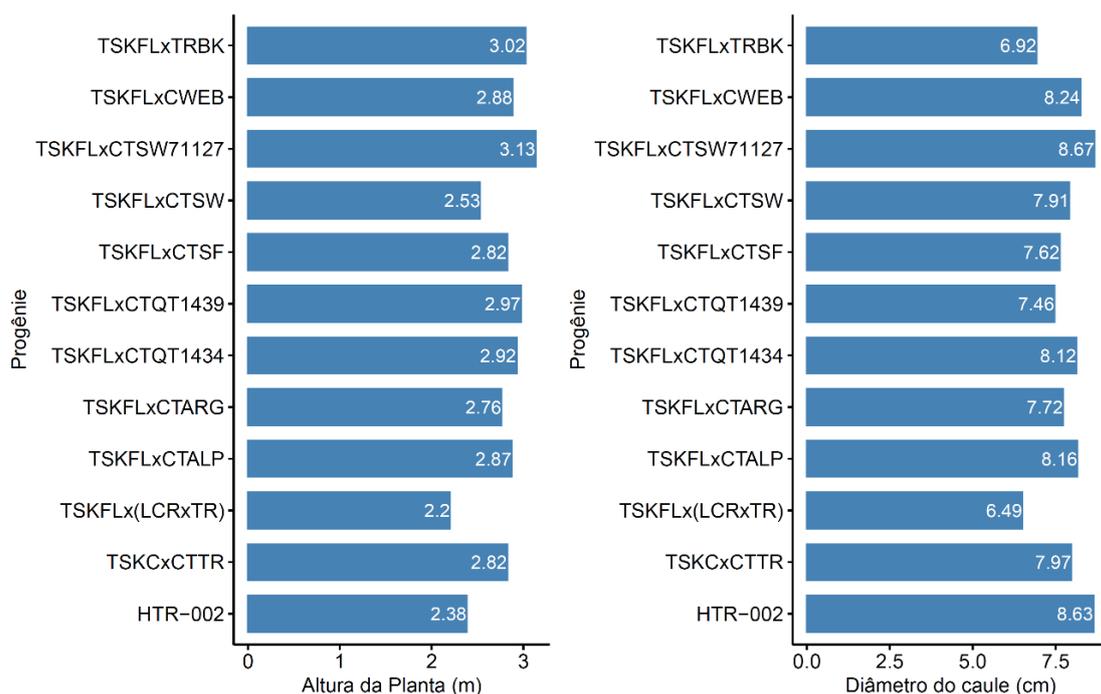


Figura 5. Médias para as variáveis altura da planta e diâmetro do caule em porta-enxertos híbridos de citros avaliados aos 8 e 9 anos após o plantio.

Os citricultores têm a preferência por plantas de porte pequeno pois facilita o maior adensamento, aumentando consideravelmente o número de plantas por hectare, tornando assim o controle de pragas e doenças mais eficiente (PIO *et al.*, 2006; FERNANDES *et al.*, 2018). Progênie do cruzamento TSKFL x (LCR x TR) apresentou média de menor altura na avaliação nos dois anos. Essa

progênie também apresentou volume de copa reduzido (4,93 m³). Entretanto mostrou menor diâmetro do caule, 6,49 cm, uma característica que não agrada o citricultor pois diâmetros menores reduzem a capacidade de adaptação das plantas já que causa estresse no caso do déficit hídrico. (LOUREIRO *et al.*, 2016).

Adicionalmente, é importante destacar que, em termos de altura e diâmetro, não houve interação significativa entre as progênies x anos avaliados. Isso indica que, para essas variáveis, não houve mudanças significativas nos anos avaliados. Já entre as progênies, houve diferenças para essas variáveis, sendo TSKFL x CTSW teve maior altura. Já a progênie TSKFL x (LCR x TR) teve menor altura. Esse padrão se manteve para diâmetro do caule sendo TSKFL x CTSW maior diâmetro e TSKFL x (LCR x TR) menor diâmetro do caule.

3.2. Parâmetros genéticos em progênies de irmão completos e meio-irmão

Os dados fornecidos na tabela 2 apresentam uma visão abrangente da variância genética, variância progênies x ano, variância residual, variância fenotípica, herdabilidade, entre outros indicadores importantes.

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos para características agrônômicas de progênies de porta-enxerto de citros avaliados em dois anos em Cruz das Almas no estado da Bahia.

Parâmetros	VolCopa	AP	DC
σ_g^2	6.26	0.09	0.53
σ_{ge}^2	1.38	0.00	0.03
σ^2	8.94	0.26	2.77
σ_f^2	16.58	0.35	3.33
h^2	0.38	0.25	0.16
R_{ge}^2	0.08	0.00	0.01
h_{mg}^2	0.78	0.72	0.59
r_{gg}	0.88	0.85	0.77
r_{ge}	0.13	0.00	0.01
CV_g	29.07	10.56	9.26
CV_e	34.74	18.43	21.28
I_v	0.84	0.57	0.43

Legenda: Volcopa: Volume da copa; AP: Altura da planta; DC: Diâmetro do caule. σ_f^2 : Variância fenotípica; σ_g^2 : Variância genética; σ_{ge}^2 : Variância da interação genótipos x ambientes; σ^2 : Variância residual; h^2 : herdabilidade no sentido amplo; R_{ge}^2 : coeficiente de determinação da interação genótipos x ambientes; h_{mg}^2 : herdabilidade com base na média dos genótipos; r_{gg} : acurácia da seleção de genótipos; r_{ge} : Correlação genótipos ambientes; CV_g : Coeficiente de variação genotípico; I_v : índice de variação.

A variância genética para volume de copa foi de 6,26, altura de planta 0,09 e diâmetro do caule 0,53 indica a presença de variação genética significativa entre os genótipos avaliados. Estudos anteriores, como o de Silva *et al.* (2019), também encontraram variâncias genéticas elevadas para características

morfológicas em programas de melhoramento, sugerindo que a seleção pode ser eficaz para esses caracteres.

Como observado por Majumder *et al.* (1969) e Abimiku *et al.* (2010), a consideração do coeficiente de variação genotípica é crucial na avaliação da variabilidade e na compreensão das influências genéticas e ambientais nas características das plantas. Os resultados sugerem a presença de uma variabilidade considerável entre as progênies avaliadas, com uma notável interação progênies \times anos afetando características específicas. Essas evidências ressaltam a importância de estimar os efeitos genéticos e ambientais na expressão das características ao formular estratégias de seleção e melhoramento genético na cultura dos citros.

A variância residual para volume de copa 8,94, altura de planta 0,26 e diâmetro do caule 2,77 sugere que há uma quantidade significativa de variação não explicada pelos fatores genéticos e de interação. Este resultado é consistente com os resultados de Oliveira *et al.* (2018), que enfatizaram a necessidade de melhor controle ambiental para reduzir a variância residual em experimentos de campo.

A variância fenotípica, que combina todos os componentes de variância, foi de 16,58 para volume de copa, 0,36 para altura de planta e 3,33 para diâmetro do caule. Esses valores são indicativos da variação total observada e são corroborados por estudos como o de Lima *et al.* (2021), que reportaram variações fenotípicas significativas em programas de melhoramento de frutíferas.

Esses resultados destacam a complexidade envolvida na seleção e no melhoramento de características morfológicas. A alta variabilidade genética e fenotípica observada para volume de copa sugere que há potencial significativo para a seleção desta característica, enquanto os valores mais baixos para altura de planta e diâmetro do caule indicam uma necessidade de estratégias de melhoramento mais refinadas.

Quanto a correlação progênies \times anos foi baixo com máxima de 0,13 e coeficiente de variação genotípico, com valores moderado com mínima de 9,26% e máxima de 29,07%. Esses parâmetros mostram que existe uma variação significativa na performance das progênies nos diferentes anos de 2022 e 2023. Isso sugere que as progênies de citros respondem de maneira diferenciada às condições ambientais, o que é um fator importante a ser considerado na seleção de genótipos superiores. Santos e Ferreira (2020) relataram resultados semelhantes em seus estudos com diferentes espécies agrícolas, destacando a estabilidade fenotípica em múltiplos ambientes.

Em relação ao índice de variação, ele foi particularmente elevado para Volcopa (0,84), indicando uma variação substancial nessa característica. Valores do índice acima da unidade revelam uma situação favorável à seleção de genótipos para incrementar os ganhos genéticos. Essa maior variação sugere um potencial significativo para exploração no melhoramento e na seleção de genótipos com características desejadas.

A acurácia da seleção foi alta, com valores de 88% para volume de copa, 85 % para altura de planta e 77% para diâmetro do caule, indicando que as estimativas de valores genéticos são confiáveis. Esses resultados são alinhados com os resultados de Santos e Ferreira (2020), que destacaram a alta acurácia como crucial para a eficiência para estimar os parâmetros genéticos.

A herdabilidade individual foi baixa, variando de 0,38 para volume de copa, 0,25 para altura de planta e 0,16 para diâmetro do caule, indicando que uma parte moderada da variação fenotípica é devida a diferenças genéticas entre os genótipos. Silva *et al.* (2019) também encontraram valores moderados de herdabilidade em seus estudos, sugerindo potencial para melhoramento genético, mas com a necessidade de uma avaliação rigorosa de múltiplos ciclos de seleção.

Quanto a herdabilidade com base na média das progênes, para volume de copa e altura da planta são notavelmente alta, 78% e 72% respectivamente, indicando que maior parte da variação observada é explicada por causas genéticas. Em contraste, diâmetro do caule com 59% apresentou moderada herdabilidade, sugerindo que é mais influenciada por fatores ambientais do que genéticos. Isso sugere que, enquanto a seleção genotípica para Volcoba e AP pode ser bastante confiável devido à sua alta herdabilidade, a característica diâmetro do caule apresentam uma confiabilidade razoável para seleção com base nas médias dos genótipos e método de melhoramento com teste de progênie são apropriados para sucesso do melhoramento.

Os resultados mostraram que a seleção de progênes de citros avaliadas nesse estudo pode ser baseada no volume da copa, devido à alta herdabilidade com base na média das progênes dessa variável (78%) que também teve alta acurácia (88%).

4. CONCLUSÃO

Houve efeito significativo da interação progênies x anos para a variável volume da copa.

As magnitudes de herdabilidade variaram de moderadas a elevadas mostrando que em características como o volume da copa e altura da planta existe expressiva variabilidade genética. O diâmetro do caule é moderadamente influenciado pelas condições ambientais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lima, R. A., *et al.* (2021). **Análise da variabilidade fenotípica em programas de melhoramento de frutíferas.** Revista de Melhoramento Genético, 45(2), 199-215.
- LOUREIRO, F. L. C.; SOMBRA, K. E. S.; SILVA, A. C. C. e.; PASSOS, O. S. BASTOS, MENDEL, K. **Roosock-scionrelationships in Shamoutitreeson light soil.** Ktavim, Rehovot, v.6, p.35-60, 1956.
- OLIVEIRA, P. C. G.; FARIAS, P. R. S.; LIMA, H. V.; FERNANDES A. R.; OLIVEIRA, F. A.; PITA, J. D. **Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Paraíba.v.13, n.6, p.708–715, 2008.
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., Souza, V. Q., e Jost, E. (2019). **Desempenho médio e estabilidade em multi-ambiente-Ensaios I: Combinação de características das técnicas AMMI e BLUP.** Agronomia Diário, 111(6), 2949–2960. <https://doi.org/10.2134/Agronj2019.03.0220>
- Pompeu Junior, J; Mattos Junior, D.; De Negri, J. D.; Pio, R.M. **Porta-enxertos. Citros.** Campi-nas: Instituto Agrônômico e Fundag, p. 61-104. 2005.
- PORTELLA, C.R.; MARINHO, C.S.; AMARAL, B.D.; CARVALHO, W.S.G.; CAMPOS, G.S.; SILVA, M.P.S.; SOUZA, M.C. **Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliateiro 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de formação do pomar.** Bragantia, Campinas, v.75, p.70-75, 2016.
- R CORE TEAM. R. **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing. 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 17 Jul. 2023.
- RAMOS, Y.C.; STUCHI, E. S.; GIRARDI, E.A.; LEAO, H.C.; GESTEIRA, A.S.; PASSOS, O.S.; SOARES FILHO, W.S. **Dwarfingrootstocks for Valencia sweetorange.** In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 12., 2012, Valencia. Book of Abstracts... Valencia: International Society of Citriculture, 2012. v.1, p.324-325.
- RODRIGUES, M. J. DA S.; LEDO, C. A. DA S.; GIRARDI, E. A.; ALMEIDA, L. A. DA H.; SOARES FILHO, W. DOS S. **Caracterização de frutos e propagação de porta-enxertos híbridos de citros em ambiente protegido.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 457- 470 jun. 2015.
- Santos, F. M., Ferreira, L. R. (2020). **Interação genótipo x ambiente e acurácia em programas de melhoramento agrícola.** Ciência e Agrotecnologia, 44(1), e20190034.
- SANTOS, J, C.; AZEVEDO, C, L, L.; CARVALHO, J, E, B.; OLIVEIRA, S, P.; FERREIRA, A, S.; SILVA, J, F. **Produção inicial e qualidade de frutos de**

combinações de copas porta-enxertos de laranjeiras no Amazonas. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal, 2021, v. 43, n. 3: (e-156). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbf/a/83zTvMNqNrpHRwZsJwC6WxH/?lang=en>> Acesso em: 13 de julho de 2023.

Silva, A. B., *et al.* (2018). **Impacto do manejo de nutrientes na morfologia e crescimento de espécies florestais.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 42(3), 321-335.

Silva, A. B., *et al.* (2019). **Variabilidade genética e potencial de melhoramento em espécies agrícolas.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 44(3), 321-335.

SINGH. CHAUDHARY*H.N. VERMA, RANJODH, S.S. PRIHAR AND T.N.

Department of Soils, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab. **Runoff as Affected by Rainfall Characteristics and Management Practices on Gently Sloping Sandy Loam.** 1 Indian Snc. SoilSci. Vol. 27(1): 18—22, 1979.

Souza, R. C., Santos, P. Q. (2020). **Avaliação morfológica de genótipos de café sob diferentes regimes hídricos.** Agricultura Técnica, 65(2), 187-201.