



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS
VEGETAIS**

ANE CAROLINE SAMPAIO SOUZA COSTA

**ANÁLISE DE TRILHA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
GENÉTICOS PARA VITAMINA C E RELAÇÃO SÓLIDOS
SOLÚVEIS E ACIDEZ EM PROGÊNIES DE GOIABEIRA**

Feira de Santana - BA

2026

ANE CAROLINE SAMPAIO SOUZA COSTA

**ANÁLISE DE TRILHA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
GENÉTICOS PARA VITAMINA C E RELAÇÃO SÓLIDOS
SOLÚVEIS E ACIDEZ EM PROGÊNIES DE GOIABEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Fernandes Santos

Feira de Santana - BA

2026

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

C87

Costa, Ane Caroline Sampaio Souza

Análise de trilha e estimativas de parâmetros genéticos para vitamina C e relação sólidos solúveis e acidez em progênies de goiabeira / Ane Caroline Sampaio Souza Costa. – 2026.

70 f.: il.

Orientador: Carlos Antônio Fernandes Santos

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Feira de Santana, 2026.

1.Melhoramento genético. 2.Psidium guajava L. 3.Repetibilidade. 4.Herdabilidade. 5.Correlação fenotípica. I. Santos, Carlos Antônio Fernandes, orient. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU 634.42

Daniela Machado Sampaio Costa - Bibliotecária - CRB-5/2077

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
DANILLO OLEGARIO MATOS DA SILVA
Data: 17/03/2026 17:02:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Danilo Olegário Matos Da Silva
(Centro Universitário Maurício de Nassau -UNINASSAU)



Documento assinado digitalmente
RONALDO SIMAO DE OLIVEIRA
Data: 19/03/2026 11:16:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ronaldo Simão de Oliveira
(Instituto Federal Baiano - IF Baiano)



Documento assinado digitalmente
CARLOS ANTONIO FERNANDES SANTOS
Data: 17/03/2026 07:47:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Antônio Fernandes Santos
(Embrapa Semiárido/CPATSA)
Orientador e Presidente da Banca

Feira de Santana - BA

2026

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha gratidão por me fortalecer e iluminar cada passo desta caminhada.

À minha mãe, pelo amor incondicional, coragem e apoio diário, base de tudo o que sou. Aos meus avós Orlando e Uldete, meu porto seguro, agradeço por cada gesto de cuidado, por acreditarem em mim e sustentarem meus sonhos com tanto carinho. Aos meus avós *in memoriam*, Hildo e Osmira, registro minha profunda gratidão por terem me acolhido tão bem, por estenderem a mão sempre que precisei e por deixarem memórias que continuam me guiando. Agradeço também aos meus padrinhos Lândia e Hildemilson, às minhas tias Francineide, Patrícia e Vânia, e à minha prima Ludmila, que nunca deixaram de me apoiar, oferecendo amor, incentivo e dedicação em todos os momentos.

Ao meu orientador, agradeço imensamente pela oportunidade, confiança e disposição constante em ensinar. Obrigada pela orientação atenta, pelas correções, pelas discussões que ampliaram meu olhar científico e por sempre incentivar meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço ao grupo do Laboratório de Genética Vegetal da Embrapa Semiárido — Carlos Silva, Ana Luiza, Tiffany Ribeiro, Lucas Santos, Raira Carine, Tatiane Carvalho, Josuelma, Lorrana, Kauê e Bárbara Fernanda — pela colaboração essencial em todas as etapas experimentais. Cada contribuição, apoio técnico e companheirismo foram determinantes para a realização deste trabalho.

A todos os profissionais do Campo Experimental de Bebedouro, deixo meu sincero agradecimento pelo suporte imprescindível nas atividades de campo, cuja dedicação foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Por fim, registro que *“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Finance Code 001).”*

“Ele é como árvore plantada junto às águas, que dá o seu fruto no tempo certo.”
(Salmos 1:3)

RESUMO

Esta dissertação investigou estratégias de melhoramento genético da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultura de relevância econômica no Brasil, por meio da estimativa de parâmetros genéticos e da análise das interações entre caracteres físico-químicos e agrônômicos em progênies oriundas de três cruzamentos controlados. As avaliações foram realizadas ao longo de três e quatro ciclos produtivos, conforme o conjunto de dados analisado, utilizando análises de variância, modelos mistos e métodos baseados em componentes de variância para estimativas de herdabilidade e repetibilidade, além da análise de correlações fenotípicas com decomposição em efeitos diretos e indiretos via análise de trilha. Os resultados evidenciaram associação positiva entre vitamina C e sólidos solúveis, bem como com a relação sólidos solúveis/acidez, e associação negativa com caracteres produtivos e de tamanho de fruto. A análise de trilha indicou efeito direto da relação sólidos solúveis/acidez sobre o teor de vitamina C, sugerindo aumento simultâneo desses caracteres. Foram identificados segregantes transgressivos para vitamina C, com valores superiores aos parentais, atingindo até 486,1 mg/100 g. As estimativas de herdabilidade no sentido amplo foram moderadas nas populações PR (0,43) e PSR (0,51) e baixas na PSP (0,13), enquanto para a relação sólidos solúveis/acidez foi moderada apenas na PSR (0,42). Os coeficientes de repetibilidade atingiram até 0,46 para vitamina C e 0,39 para a relação sólidos solúveis/acidez. Conclui-se que há viabilidade de seleção para melhoria da qualidade nutricional dos frutos, com destaque para a população PSR.

Palavras-chave: *Psidium guajava* L; melhoramento genético; repetibilidade; herdabilidade; correlação fenotípica.

ABSTRACT

(PATH ANALYSIS AND ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR VITAMIN C AND SOLUBLE SOLIDS/ACIDITY RATIO IN GUAVA PROGENIES)

This dissertation investigated genetic improvement strategies for guava (*Psidium guajava* L.), a crop of economic relevance in Brazil, through the estimation of genetic parameters and the analysis of interactions among physicochemical and agronomic traits in progenies derived from three controlled crosses. Evaluations were conducted over three and four production cycles, according to the dataset analyzed, using analysis of variance, mixed models, and variance component-based methods to estimate heritability and repeatability, as well as phenotypic correlations with decomposition into direct and indirect effects through path analysis. The results revealed a positive association between vitamin C and soluble solids, as well as with the soluble solids/acidity ratio, and a negative association with yield-related and fruit size traits. Path analysis indicated a direct effect of the soluble solids/acidity ratio on vitamin C content, suggesting trade-offs in the simultaneous improvement of these traits. Transgressive segregants for vitamin C were identified, with values exceeding those of the parents, reaching up to 486.1 mg/100 g. Broad-sense heritability estimates were moderate in the PR (0.43) and PSR (0.51) populations and low in PSP (0.13), whereas for the soluble solids/acidity ratio, heritability was moderate only in PSR (0.42). Repeatability coefficients reached up to 0.46 for vitamin C and 0.39 for the soluble solids/acidity ratio. Overall, the results indicate the feasibility of selection for improving fruit nutritional quality, with emphasis on the PSR population.

Keywords: *Psidium guajava* L.; genetic improvement; repeatability; heritability; phenotypic correlation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERENCIAL TEÓRICO	11
A cultura da goiaba	11
Importância socioeconômica	12
Melhoramento genético da goiaba	12
Herdabilidade	13
Repetibilidade	16
Vitamina C: Estrutura, Importância e Presença em Frutos	19
Modelos mistos no melhoramento genético de frutíferas	21
Correlação e Análise de Trilha em Melhoramento de Plantas	22
Sólidos solúveis e acidez	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
 CAPÍTULO 1	 33
ANÁLISE DE TRILHA REVELA AUMENTO SIMULTÂNEO DE VITAMINA C E SÓLIDOS SOLÚVEIS EM PROGÊNIES DE GOIABEIRA	33
Introdução	36
Material e métodos	37
Resultados	39
Discussão	44
Conclusões	46
REFERÊNCIAS	49
 CAPÍTULO 2	 52
ESTIMATIVAS DE HERDABILIDADE E REPETIBILIDADE PARA RELAÇÃO SÓLIDOS SOLÚVEIS E ACIDEZ E VITAMINA C EM PROGÊNIES DE GOIABEIRA	52
Introdução	55
Material e Métodos	56
Resultados	58
Discussão	60
REFERÊNCIAS	68
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 70

INTRODUÇÃO GERAL

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) é a 11^a fruteira cultivada no Brasil, ocupando posição de destaque tanto pelo consumo *in natura* quanto pelo aproveitamento industrial. Em 2023, a produção de goiaba no país foi estimada em 583 mil toneladas, com valor de produção de R\$1,3 bilhão, distribuída em 22.487 hectares, indicando aumento de 19% em relação ao ano passado (IBGE, 2024).

Apesar da importância econômica da goiabeira, o número reduzido de programas de melhoramento está associado ao longo ciclo da cultura, à necessidade de avaliações em múltiplas safras e aos altos custos operacionais. Soma-se a isso a limitação de investimentos, infraestrutura e base genética caracterizada, além da menor priorização da cultura frente a grandes commodities agrícolas.

O estado de Pernambuco é o maior produtor nacional, com 206 mil toneladas, o que corresponde a aproximadamente 35% da produção brasileira. A goiabicultura também está fortemente presente em São Paulo, Paraná, Bahia e Ceará (AGROSUSTENTAR, 2024). No caso pernambucano, além da expressiva produção, a cultura gera aproximadamente 25 mil empregos diretos e indiretos, evidenciando sua importância socioeconômica regional.

Essa expressividade está atrelada à versatilidade da fruta, que abastece tanto o mercado de mesa, quanto a indústria de alimentos, incluindo produção de polpas, doces, sucos e geleias. A goiaba possui alto valor nutricional, com teor de vitamina C até seis vezes superior ao de frutas cítricas (BARBOSA; LIMA, 2010), além de elevados níveis de compostos fenólicos e carotenoides como o licopeno, sendo classificada como uma “super fruit” (CHANG et al., 2019).

Nesse contexto, o avanço do melhoramento genético da goiabeira exige estimativas confiáveis de parâmetros como herdabilidade, variâncias genética e ambiental, repetibilidade e correlações entre caracteres. Tais informações são essenciais para decisões estratégicas em seleção e melhoramento, sobretudo em espécies perenes, como a goiabeira. A geração de dados sobre a relação entre caracteres também possibilita a seleção indireta, contribuindo para maior eficiência e economia nos programas de melhoramento. Assim, este estudo justifica-se tanto pela carência de dados atualizados, bem como pelo seu potencial impacto, em estratégias de melhoramento e recomendação de novas cultivares para a goiabicultura brasileira.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de subsidiar programas de melhoramento da goiabeira e contribuir para o desenvolvimento de novas cultivares. A dissertação está organizada em dois capítulos: o Capítulo 1 aborda a análise de trilha, com estimativas de coeficientes de correlação fenotípica decompostos em efeitos diretos e indiretos, considerando vitamina C e sólidos solúveis como variáveis de interesse em progênies de goiabeira; e o Capítulo 2 apresenta estimativas de parâmetros genéticos, com ênfase na herdabilidade e repetibilidade para a relação sólidos solúveis/acidez e vitamina C em progênies de goiabeira.

REFERENCIAL TEÓRICO

A cultura da goiaba

A goiabeira (*Psidium guajava* L.), pertencente à família Myrtaceae, é encontrada em todo o território brasileiro, produzindo frutos com alto valor nutritivo e ampla aceitação no mercado (OLIVEIRA, 2015). Essa família possui mais de 70 gêneros e 2800 espécies (COLOMBO; CAVICHIOLI, 2019). Tem como centro de origem a América, sendo cultivada e apreciada em todas as regiões tropicais e subtropicais devido a sua alta adaptabilidade ao ambiente (ALENCAR et al., 2016), é titulada robusta, justamente por resistente a muitas pragas, doenças e prosperando em vários tipos de solo (YADAV, 2023).

Na América Tropical, existem 15 espécies nativas do gênero *Psidium*, a maioria delas é encontrada do sul do México até o Brasil. Dessas espécies, apenas a *P. guajava* L e algumas outras espécies têm relevância econômica, as demais são utilizadas como germoplasma em programas de melhoramento (CASTRO; RIBEIRO, 2020).

A planta é uma pequena árvore perene que pode atingir uma altura média de 3 a 4,5 metros, caracterizada por ramos predominantemente curvos. Suas folhas são opostas, de formato elíptico-oblongo, com pecíolos que variam de 3 a 16 cm de comprimento. O caule da planta tem coloração marrom quando maduro e marrom-esverdeado na juventude. As folhas são largas e verdes, enquanto as flores brancas, na maioria, surgem em ramos novos, com pétalas encurvadas, normalmente de quatro a seis pétalas e anteras amarelas que facilitam a polinização (NASEER et al., 2018; MOON et al., 2018). O tamanho, textura, cor e entre outras particularidades do fruto dependem do tipo da cultivar.

Caracterizada com uma cultura de regiões tropicais apresenta boa tolerância à seca e às altas temperaturas, consequentemente ela é bastante sensível ao frio e intolerável a geadas, sendo seu cultivo limitado em regiões com temperaturas baixas (EMBRAPA, 2010). Apesar de sua tolerância à estiagem, o pomar comercial de goiabeira demanda boa disponibilidade de água. Em cultivos sob condições de sequeiro, sua produção comercial é viável apenas em regiões onde a precipitação anual é bem distribuída, variando entre 800 mm e 1.000 mm.

A goiaba é uma fonte significativa de ácido ascórbico (vitamina C) e outros nutrientes essenciais como vitamina A (betacaroteno), tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina e ácido pantotênico. Além disso, é rica em minerais como fósforo, cálcio, ferro, potássio e sódio. A

presença elevada de antioxidantes, como carotenoides e polifenóis, contribui para o seu valor dietético (UPADHYAY et al., 2019).

Importância socioeconômica

A goiaba possui valor econômico substancial, como fruta fresca e produto processado, representando uma fonte de renda para numerosos agricultores, sejam eles pequenos ou grandes. O mercado global dessa fruta é avaliado em bilhões de dólares e continua a crescer de forma consistente. Países como Índia e Brasil são importantes exportadores, fornecendo goiaba para os mercados dos EUA, Europa e outras nações asiáticas (YADAV, 2023).

Os pomares de goiabeira estão presentes em todo o território brasileiro, colocando o país na posição de maior produtor de goiaba vermelha. As principais áreas de cultivo estão localizadas nas regiões Sudeste e Nordeste, sendo que 80% dos pomares estão concentrados em São Paulo, Rio de Janeiro e Pernambuco (CASTRO, 2020), sendo Pernambuco o maior produtor (IBGE, 2022).

De acordo com IBGE 2023, o estado de Pernambuco lidera o ranking de quantidade produzida com 205.960 toneladas, em seguida os estados de São Paulo e Bahia, respectivamente, 182.077 e 45.135 toneladas. Em São Paulo, a produção é direcionada para o mercado de fruta fresca e para a indústria, enquanto na Bahia e em Pernambuco, a maior parte da produção é destinada à indústria, especialmente para a fabricação de suco e polpa (MARTINS et al., 2020).

A goiabeira é uma das frutíferas mais importantes do Nordeste brasileiro. No Submédio do Vale do São Francisco, os pomares que usam alto nível tecnológico alcançam produtividade na ordem de 40–50 t/ha/ano em produção plena; a cultura figura entre as principais dos perímetros irrigados administrados pela CODEVASF, sustentando a oferta de fruta fresca para exportação em janelas de entressafra e gerando empregos diretos e indiretos na região (CASTRO; RIBEIRO, 2020; CODEVASF, 2019; GONZAGA NETO, 2007).

Melhoramento genético da goiaba

O melhoramento genético da goiabeira possibilita aumentar a oferta de cultivares mais adaptadas às diferentes condições ambientais, com aumento da produtividade, resistência a pragas, doenças e problemas fisiológicos, tamanho, coloração e formato do fruto desejável,

ausência de sementes, melhores características para industrialização, melhorias no paladar e no valor nutritivo, entre outros (QUINTAL, 2013).

Cultivares de destaque como Paluma e Rica foram desenvolvidas pela UNESP, a partir de sua coleção de germoplasma. Contudo, vários programas de melhoramento foram descontinuados, e diversas cultivares populares hoje, como Kumagai, Ogawa, Pedro Sato e Sassaoka, foram selecionadas por agricultores (POMMER et al., 2013). Além dessas cultivares lançadas, um grande sucesso foi o lançamento do porta-enxerto ‘BRS Guaraçá’, resistente ao nematoide, o que evidencia a importância de retomar e fortalecer o melhoramento genético da goiabeira, especialmente no Nordeste (FLORI; DALL; DEON, 2022). A Embrapa Semiárido, através do melhoramento genético, desenvolveu um híbrido denominado de BRS Guaraçá, proveniente do cruzamento interespecífico entre *P. guajava* × *P. guineense*, resistente ao nematoide *Meloidogyne enterolobii*, mais conhecido como nematoide-das-galhas, que era o principal desafio da goiabicultura em todo o Brasil (COSTA et al., 2016).

Um dos principais desafios no desenvolvimento de novas cultivares, destaca-se a necessidade de informações genéticas consistentes, sobretudo para caracteres de herança poligênica. Esse cenário é agravado, pois a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos é limitada devido ao seu ciclo perene, o longo período juvenil, a alta heterozigosidade e necessidade de áreas experimentais amplas (POMMER et al., 2013).

Os parâmetros genéticos possibilitam descrever a estrutura genética dos caracteres quantitativos e as estimativas obtidas permitem prever os ganhos na seleção, disponibilizando informações importantes para o melhoramento da população estudada (RAMALHO et al., 2005). As estimativas dos parâmetros genéticos, a exemplo da herdabilidade e correlações genéticas são necessárias para definir de forma eficiente, as estratégias de melhoramento (RESENDE, 2007).

Herdabilidade

A herdabilidade é um parâmetro central da genética quantitativa, amplamente utilizado em programas de melhoramento genético vegetal e animal. Representa a proporção da variação fenotípica que pode ser atribuída a diferenças genéticas entre indivíduos de uma população, estimando a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genético

total ou aditivo (FALCONER; MACKAY, 1996; RAMALHO et al., 2005). Ou seja, indica o quanto da superioridade observada em determinado caráter é de fato herdado e, portanto, pode ser transmitido para a progênie.

A variância fenotípica (V_p) pode ser decomposta em três componentes principais: a variância genética (V_g), a variância ambiental (V_e) e a variância da interação genótipo $\times$ ambiente (V_{ge}), conforme a expressão:

$$V_p = V_g + V_e + V_{ge}$$

A variância genética é composta pela soma da variância aditiva, de dominância e epistática, onde a variância aditiva decorre dos efeitos médios dos alelos, transmitidos de forma previsível de pais para filhos, sendo o principal componente de interesse no melhoramento genético, por responder diretamente à seleção. A variância de dominância representa os desvios resultantes da interação entre alelos de um mesmo *locus*, enquanto a variância epistática refere-se às interações entre alelos de genes localizados em diferentes *loci*, que podem ocorrer nas formas aditiva $\times$ aditiva, aditiva $\times$ dominância ou dominância $\times$ dominância (FALCONER; MACKAY, 1996; BORÉM; MIRANDA, 2013).

Com base na decomposição da variância genética, a herdabilidade pode ser estimada em dois sentidos distintos. No sentido amplo (h_a^2), considera-se toda a variância genética em relação à variância fenotípica total:

$$h_a^2 = V_g/V_p$$

Já no sentido restrito (h_r^2) considera-se apenas a variância genética aditiva (V_a), que é efetivamente transmitida à descendência, sendo, portanto, a mais utilizada em programas de melhoramento:

$$h_r^2 = V_a/V_p$$

Valores elevados de h^2 indicam que a seleção fenotípica tende a ser eficiente, pois a maior parte da variação observada está associada ao efeito aditivo dos genes. Em espécies vegetais, considera-se que valores acima de 70% refletem herdabilidade alta, favorecendo maior eficiência na seleção e maior previsibilidade da resposta genética. Por outro lado, valores baixos sugerem maior influência ambiental, demandando estratégias de seleção mais complexas ou maior número de ciclos de avaliação (CAZASSA, 2019). Nesse sentido,

diferentes estudos têm evidenciado a aplicabilidade prática desse parâmetro em diversas culturas agrícolas.

Em espécies frutíferas, a herdabilidade também se mostra determinante. Em morangueiro, verificou-se, que o tamanho da fruta apresenta valores variáveis de herdabilidade conforme a população estudada, influenciando diretamente a estratégia de seleção (MARCHI, 2020). Herdabilidades mais altas permitem ganhos mais rápidos com menor número de ciclos, enquanto valores baixos demandam maior intensidade seletiva ou o uso de técnicas complementares, como a seleção assistida por marcadores.

Estudo com o maracujazeiro-azedo demonstrou resultados semelhantes . que a seleção individual via REML/BLUP proporcionou ganhos consistentes em caracteres de qualidade de frutos, devido às estimativas moderadas a altas de herdabilidade (SILVA et al. (2019). Essa abordagem confirma que metodologias estatísticas robustas permitem obter estimativas mais precisas de parâmetros genéticos, mesmo em populações heterogêneas.

De forma complementar, no maracujá-doce, Chavarría Pérez (2018) identificou que a herdabilidade foi essencial para discriminar quais características apresentavam maior potencial de avanço genético. Caracteres de qualidade pós-colheita, como teor de sólidos solúveis e acidez, apresentaram herdabilidade significativa, indicando viabilidade de ganhos consistentes para atender às exigências de mercado e de consumo *in natura*.

Além das culturas consolidadas, estudos com espécies nativas também reforçam a relevância do parâmetro. ao analisar mirtáceas da Floresta Atlântica, demonstraram que a herdabilidade de caracteres morfológicos e produtivos pode orientar estratégias de manejo e domesticação, ampliando tanto o potencial econômico quanto a conservação genética dessas espécies (MOREIRA et al.,2020),.

Estudos de herdabilidade em goiabeira demonstraram que a maioria dos caracteres agronômicos avaliados apresentaram valores elevados, indicando que a seleção fenotípica pode ser eficiente para a melhoria desses atributos (SANTOS et al., 2017). Entre os caracteres de maior relevância destacam-se: produção por planta ($h_a^2 = 0,84$), massa de polpa ($h_a^2 = 0,41$) e número de frutos ($h_a^2 = 0,90$), refletindo a possibilidade de resposta genética consistente à seleção.

As estimativas de herdabilidade em goiabeira variam entre os caracteres avaliados. Algumas características, como comprimento e largura do fruto, número de sementes e massa das sementes, apresentaram herdabilidade média, indicando influência equilibrada de fatores genéticos e ambientais. Massa do fruto, tamanho da sépala, comprimento do pedúnculo e espessura da polpa mostraram baixa herdabilidade, sugerindo predominância de efeitos ambientais (PELEA et al., 2013).

Genótipos de goiabeira avaliados apresentaram alta viabilidade polínica, com média geral de 93,46% ao longo de três safras. Entretanto, a herdabilidade desse caractere variou significativamente entre os anos: foi menor em 2013 ($h^2=0,479$) e 2014 ($h^2=0,126$) em comparação a 2015 ($h^2=0,583$), indicando que a predição de ganhos genéticos com base na viabilidade polínica depende fortemente do ano e das condições ambientais (SILVA et al., 2017). Esses resultados reforçam que, embora a viabilidade polínica seja elevada, sua resposta à seleção fenotípica pode variar, destacando a importância de considerar a herdabilidade ao identificar genótipos superiores para programas de melhoramento e produção comercial de goiaba (SILVA et al., 2017).

Assim, a herdabilidade, ao expressar a fração da variação fenotípica de natureza genética (RAMALHO et al., 2005; CRUZ et al., 2012), constitui-se em um dos parâmetros mais relevantes para o melhoramento. Seu valor, associado ao ganho de seleção, orienta a tomada de decisões em características de natureza quantitativa, frequentemente controladas por poligênes e influenciadas pelo ambiente, garantindo maior eficiência e direcionamento nos programas de melhoramento genético.

Repetibilidade

A repetibilidade é um parâmetro genético e estatístico amplamente utilizado em programas de melhoramento, especialmente em espécies perenes e de ciclo longo, nas quais é necessária a avaliação de um mesmo indivíduo em diferentes anos ou colheitas. Esse parâmetro mede a consistência da superioridade relativa dos genótipos ao longo de sucessivas observações, refletindo a proporção da variância fenotípica que pode ser explicada pela soma dos efeitos genéticos aditivos e permanentes do ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A relação entre herdabilidade (h^2) e repetibilidade é fundamental para compreender a previsibilidade da resposta à seleção. Nesse contexto, a repetibilidade estabelece o limite

superior da herdabilidade no sentido amplo, indicando o grau máximo de confiabilidade das medições fenotípicas na seleção de genótipos superiores.

Matematicamente, a repetibilidade (r) pode ser expressa pela razão entre a variância genotípica (V_g) mais a variância do ambiente permanente (V_{ep}) e a variância fenotípica total (V_p):

$$r = \frac{V_g + V_{ep}}{V_p}$$

Valores elevados (>70% de repetibilidade) indicam que poucas medições são necessárias para prever, com alta confiabilidade, o desempenho real de um indivíduo. Já valores baixos sugerem maior influência de efeitos transitórios do ambiente, demandando maior número de avaliações ou ciclos de medição para reduzir erros na seleção (RESENDE, 2002).

Em um estudo com progênies de *P. guajava*, o coeficiente de repetibilidade foi elevado: 0,71 para peso do fruto, 0,71 para número de frutos e 0,72 para produção total, indicando que poucas medições foram suficientes para prever o valor real dos genótipos (CORNACCHIA et al., 1995). Os valores observados, refletem alta consistência genética entre avaliações, permitindo que a fase de seleção seja realizada de forma eficiente, com mínima demanda de tempo e mão de obra, enquanto características com repetibilidade baixa exigem maior número de replicações para resultados confiáveis (RESENDE, 2009; FALCONER, 1987; SÁNCHEZ et al., 2017).

No morangueiro, os coeficientes de herdabilidade variaram de 0,03 para o número de frutos a 0,40 para a massa média de frutos, enquanto as repetibilidades apresentaram valores ligeiramente maiores, entre 0,9 e 0,42 (ANDRADE JÚNIOR et al., 2020). Esses resultados evidenciam que a repetibilidade, por incorporar efeitos genéticos e ambientais permanentes, tende a apresentar magnitude superior à herdabilidade para os mesmos caracteres, reforçando sua utilidade na avaliação da consistência fenotípica ao longo de medições sucessivas, sendo especialmente relevante para espécies perenes como a goiabeira.

Em estudo realizado com manga rosa, foram encontrados valores de repetibilidade de moderada a alta, para caracteres quantitativos dos frutos, ratificando que para essa cultivar, poucas colheitas já seriam suficientes para identificar seleções de elite (MAIA et al., 2017). Resultados recentes em mangueira reforçam essa tendência, com altos coeficientes de

repetibilidade observados para peso do fruto (0,83), sólidos solúveis totais – SST (0,91), acidez total titulável – ATT (0,93), relação SST/ATT (0,92) e peso da polpa (0,767), indicando forte controle genético e estabilidade média dessas características ao longo de ciclos sucessivos. Apenas a porcentagem de polpa apresentou repetibilidade baixa (0,05), evidenciando maior influência ambiental.

Estudos com o cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) também confirmaram a importância da repetibilidade, Watson et al. (2019) verificaram que caracteres morfoagronômicos (peso e rendimento de frutos), apresentaram valores consistentes, indicando que a seleção pode ser realizada com segurança a partir de um número reduzido de medições.

No caso da castanheira-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*), Souza et al. (2022) enfatizaram que a repetibilidade é decisiva para definir o número de colheitas necessárias antes da seleção definitiva. Os autores demonstraram que, em sistemas agroflorestais, três a quatro colheitas já são suficientes para selecionar genótipos com base em caracteres produtivos, otimizando tempo e recursos em programas de melhoramento dessa espécie perene.

Em goiabeira-serrana os coeficientes de repetibilidade variaram entre 0,39–0,41 para peso de frutos, considerados baixos e foram observados valores mais elevados para produtividade (RP), refletindo maior estabilidade genética (DEGENHARDT et al., 2002). Características como diâmetro do fruto, relação comprimento/diâmetro e sólidos solúveis totais apresentaram baixa repetibilidade, indicando maior influência ambiental. Para atingir 80% de precisão, foram necessárias de quatro a seis medições na maioria dos caracteres, exceto CF e SST, que exigiram 10 e 23 avaliações, respectivamente. Assim, fica evidente que a repetibilidade, ao fornecer um limite superior da herdabilidade, é fundamental para orientar a seleção e o melhoramento de espécies perenes.

Além da estimativa da estabilidade fenotípica, a repetibilidade também permite calcular a correlação intraclasse, que mede a associação entre diferentes avaliações de um mesmo indivíduo. Assim, quanto maior o valor do coeficiente, maior a confiabilidade de que o fenótipo expresso em uma observação se repetirá em outras condições semelhantes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Portanto, a repetibilidade é um parâmetro fundamental para caracterizar a estabilidade de desempenho de indivíduos ao longo do tempo. Sua aplicação prática possibilita aumentar a acurácia da seleção, reduzir o número de avaliações necessárias e garantir maior eficiência em programas de melhoramento.

Vitamina C: Estrutura, Importância e Presença em Frutos

A vitamina C, também denominada ácido ascórbico (Figura 1), é um composto hidrossolúvel de baixo peso molecular, pertencente ao grupo das lactonas derivadas da glicose. Estruturalmente, apresenta um anel lactônico e grupos enólicos capazes de doar elétrons, característica que a torna um potente agente redutor e antioxidante natural, capaz de neutralizar espécies reativas de oxigênio (EROs), prevenindo a oxidação de lipídios, proteínas e DNA, processos associados ao envelhecimento celular e ao desenvolvimento de doenças crônicas (BARROS; FERREIRA; GENOVESE, 2012; SANTOS et al., 2019; ANTUNES, 2019; MOREIRA et al., 2010).

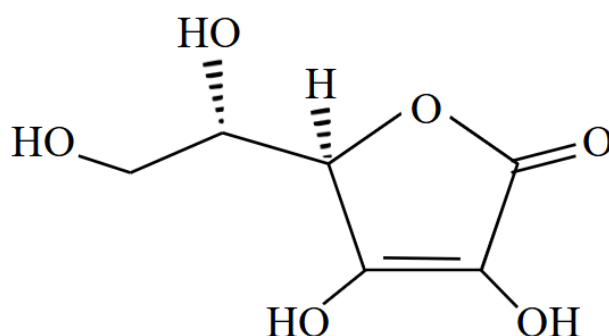


Figura 1. Estrutura química do ácido ascórbico (vitamina C). Elaborado pela autora.

Do ponto de vista fisiológico, a vitamina C é essencial para a síntese de colágeno, hormônios peptídicos, neurotransmissores, regeneração da vitamina E, absorção intestinal de ferro não-heme e modulação da resposta imune. Como os seres humanos não possuem a enzima L-gulonolactona oxidase, responsável pela síntese endógena, a vitamina deve ser obtida por meio da dieta, especialmente pelo consumo de frutas e hortaliças frescas (SILVA, 2017; ANTUNES, 2019; CERQUEIRA et al., 2020).

A ingestão diária de vitamina C depende da finalidade, idade, sexo e estado fisiológico do indivíduo. As recomendações variam entre 45 mg/dia, quantidade mínima necessária para prevenir a doença de deficiência da vitamina C, o escorbuto, até cerca de 200 mg/dia, considerada a ingestão ideal para maximizar os efeitos benéficos à saúde, incluindo ação antioxidante e manutenção do sistema imunológico (SANTOS et al., 2019).

Durante a pandemia de COVID-19, a importância da vitamina C foi ainda mais enfatizada, devido à sua ação imunomoduladora e capacidade de reforçar as defesas do organismo contra infecções respiratórias. O consumo adequado de frutas ricas nesse nutriente contribui para a redução de processos inflamatórios e o fortalecimento do sistema imunológico (RADMANN BERGMANN, 2021).

Entre as frutas tropicais, a goiaba destaca-se como uma das maiores fontes naturais de vitamina C, com teores que variam de 200 a 400 mg/100 g de polpa, dependendo da cultivar, do estágio de maturação e das condições de cultivo (FRAGA, 2017; CERQUEIRA et al., 2020). Além disso, estudos mostram que parte do teor de vitamina C pode ser preservada mesmo após o congelamento e processamento da polpa, embora haja variações conforme a tecnologia aplicada (SARDINHA, 2017).

A estabilidade da vitamina C frente ao calor e ao oxigênio também é um aspecto relevante. Tratamentos térmicos, comuns no processamento de sucos e néctares, podem reduzir significativamente sua concentração e alterar o perfil de cor dos produtos, sendo recomendados métodos de conservação menos agressivos para preservar o valor nutricional das frutas e derivados (GILBERTO; MURILLO; LUIS, 2016).

Além de sua função nutricional, o ácido ascórbico é amplamente utilizado como padrão de referência em análises químicas. Modelos de calibração multivariada têm sido aplicados para quantificação da acidez e do teor de vitamina C em néctares de frutas e bebidas industrializadas, auxiliando no controle de qualidade e no desenvolvimento de novos produtos (SANTOS, 2015).

Dessa forma, a vitamina C pode ser considerada um composto-chave no contexto da alimentação saudável e do melhoramento genético de fruteiras, sendo sua concentração nos frutos um atributo de elevada importância nutricional e econômica, para o consumo *in natura* e a indústria de processamento (BARROS et al., 2012; CERQUEIRA et al., 2020).

Modelos mistos no melhoramento genético de frutíferas

Modelos mistos, também chamados de modelos lineares mistos (REML/BLUP), consideram simultaneamente efeitos fixos e aleatórios. Os efeitos fixos correspondem a fatores de interesse geral, como tratamentos e ambientes, enquanto os aleatórios referem-se a genótipos ou famílias de indivíduos, permitindo a predição dos valores genéticos por meio do *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP) (HENDERSON, 1984). A estimativa dos componentes de variância é realizada via *Restricted Maximum Likelihood* (REML), método que corrige os vieses presentes na análise da variância tradicional.

Dentre às metodologias disponíveis para estimar os componentes de variância, a mais utilizada é a REML/BLUP, na qual emprega o método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores genotípicos individuais, por meio do melhor preditor linear não-viesado (BLUP), abordagem amplamente recomendada para espécies perenes e frutíferas (COSTA et al., 2019; VIANA E RESENDE, 2014).

O uso de modelos mistos no melhoramento de plantas perenes é essencial para lidar com dados desbalanceados, ambientes múltiplos e avaliações repetidas ao longo do tempo, como ocorre com frequência em frutíferas. A abordagem REML/BLUP permite maior acurácia na seleção, além de proporcionar a predição de ganhos genéticos esperados com mais confiabilidade (RESENDE, 2002).

A aplicabilidade dos modelos mistos no melhoramento genético de frutíferas tem crescido nos últimos anos, especialmente pela sua capacidade de lidar com os desafios inerentes a essas culturas, como a longevidade dos ciclos de avaliação, heterogeneidade ambiental e desequilíbrio de dados. Em goiabeira (*P. guajava* L.), estudos têm mostrado que a metodologia BLUP é eficiente na predição do valor genético de progênies para caracteres de produção e qualidade de fruto (GONÇALVES et al., 2015).

Silva et al. (2016), ao avaliar progênies de maracujazeiro utilizando modelos mistos observaram maior acurácia seletiva e ganho genético comparado aos métodos tradicionais, além de permitir a identificação de materiais superiores com menor número de ciclos. Esse mesmo padrão foi observado por Barros et al. (2019) em videira, em que os modelos REML/BLUP possibilitaram a seleção precoce de clones com alto desempenho produtivo.

No contexto do manejo experimental, os modelos mistos ainda possibilitam incorporar covariáveis ambientais, como clima e solo, ajustando de maneira mais precisa os efeitos não genéticos sobre os caracteres de interesse (RESENDE, 2016). Isso é particularmente importante em frutíferas tropicais cultivadas em diferentes condições edafoclimáticas, como a goiabeira, o maracujazeiro e o mamoeiro, que apresentam grande sensibilidade às variações ambientais.

Correlação e Análise de Trilha em Melhoramento de Plantas

A análise de correlação é uma ferramenta estatística amplamente utilizada no melhoramento genético de plantas para identificar associações entre caracteres agrônômicos. Essa análise permite estimar o grau de associação linear entre pares de caracteres, fornecendo informações valiosas para a seleção indireta de genótipos superiores. No entanto, a correlação simples não distingue efeitos diretos e indiretos, o que pode levar a interpretações equivocadas no processo seletivo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014) e os coeficientes de correlação fenotípica entre pares de caracteres dos frutos são estimados com base nas variâncias e covariâncias, conforme a metodologia descrita por Cruz et al. (2012).

Para superar essa limitação, a análise de trilha, proposta por Wright (1921), decompõe os coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos de uma variável explicativa sobre uma variável resposta. Essa abordagem fornece uma compreensão mais precisa das relações causais entre os caracteres, permitindo identificar quais características exercem influência direta sobre a produtividade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Estudos recentes têm demonstrado a eficácia da análise de trilha na identificação de características determinantes da produtividade em diversas culturas. Em milho superdoce, Entringer et al. (2019) observaram que o volume de grãos e o volume de espiga apresentaram efeitos diretos significativos sobre a produtividade de espigas, sendo considerados critérios confiáveis de seleção.

Em feijão preto, observou-se que o peso de mil grãos, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem apresentaram os maiores efeitos diretos e alta correlação fenotípica com o rendimento de grãos (COIMBRA et al., 1998). Esses resultados evidenciam a importância da análise de trilha na identificação de caracteres que contribuem diretamente para a produtividade.

No maracujazeiro, Negreiros et al. (2006) verificaram que o número de frutos apresentou maior efeito direto sobre a produção, sendo o caráter mais importante na determinação da produtividade. A massa da polpa, como um caráter secundário, também apresentou relevância significativa na explicação das variações na produção.

Kherwar e Usha (2016) destacaram que, em goiaba, as correlações entre caracteres bioativos nem sempre refletem efeitos reais sobre a atividade antioxidante, sendo necessário o uso da análise de trilha para compor associações diretas e indiretas. O estudo mostrou ampla variabilidade genética e apontou que pectina, antocianinas, licopeno, TSS e açúcares não-redutores exercem efeitos diretos positivos sobre a atividade antioxidante, enquanto o ácido ascórbico, apesar da correlação positiva, apresentou efeito direto negativo. Dessa forma, os autores ressaltam que programas de melhoramento devem priorizar os caracteres com impacto direto da análise de trilha, como pectina, licopeno e antocianina, em vez de basear-se apenas em correlações simples.

Em estudo conduzido com as variedades Allahabad Safeda, Sau, Ghosh e Sarkar (2016) avaliaram o efeito da aplicação de micronutrientes sobre caracteres de crescimento e produção da goiabeira, destacando a importância das correlações e da análise de trilha. Os autores observaram que o rendimento de frutos apresentou correlações positivas e significativas com a maioria dos caracteres avaliados, especialmente com a porcentagem de retenção de frutos, número de frutos por árvore, comprimento dos brotos, peso fresco e seco das folhas, novas folhas por broto e área foliar. A análise de trilha revelou que os caracteres com maior efeito direto sobre o rendimento, foram: o número de frutos por árvore, a retenção de frutos e o peso fresco da folha, evidenciando que esses atributos constituem os principais determinantes do aumento produtivo em goiabeira.

A presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas pode comprometer a confiabilidade dos coeficientes estimados na análise de trilha. Para contornar esse problema, técnicas como a regressão em crista têm sido empregadas para estabilizar as estimativas e garantir resultados mais robustos (BORGES et al., 2011). A detecção e correção da multicolinearidade são passos essenciais para assegurar a validade das inferências obtidas por meio da análise de trilha

Diante disso, a aplicação de estimativas de correlação e análise de trilha em progênies de goiabeira mostra-se promissora, especialmente considerando a necessidade de selecionar

caracteres que contribuam de forma mais direta para a produtividade de frutos. Essa abordagem pode fornecer informações valiosas para programas de melhoramento genético da espécie, orientando a seleção de genótipos com maior potencial produtivo e adaptabilidade.

Sólidos solúveis e acidez

Os sólidos solúveis totais (SST) correspondem, em sua maior parte, aos açúcares simples dissolvidos na água do fruto e constituem um dos principais indicadores de doçura e qualidade sensorial. Esse parâmetro apresenta variações em função de fatores como condições de solo, cultivar, clima e estágio de maturação. Por outro lado, a acidez total titulável (ATT) expressa a quantidade de ácidos orgânicos presentes no fruto, sendo diretamente relacionada ao sabor ácido e à capacidade de conservação do produto. A relação entre os teores de sólidos solúveis e acidez — geralmente expressa como SST/ATT — é considerada um dos índices mais representativos da qualidade sensorial, pois reflete o equilíbrio entre doçura e acidez (CHITARRA; CHITARRA; CARVALHO, 1981).

Segundo Chitarra, Chitarra e Carvalho (1981), “uma das formas mais expressivas de avaliação do sabor do fruto é a relação sólidos solúveis/acidez”. Assim, à medida que o fruto amadurece, ocorre elevação dos SST e redução da acidez, resultando no aumento da relação SST/ATT, o que indica maior aceitação para o consumo *in natura*.

A relação entre os teores de sólidos solúveis totais (SST) e acidez titulável (ATT ou AT) constitui um importante indicador de maturação, sabor e qualidade do fruto. Quando os SST são elevados e a acidez relativamente baixa, a percepção de doçura e aceitabilidade sensorial tende a ser maior, especialmente em frutas para consumo *in natura* (LIMA et al., 2002). Por outro lado, para processamento industrial, uma acidez moderada pode ser desejável para conservação e sabor, desde que os SST sejam adequados (LIMA et al., 2002).

Estudos como o de Manica et al. (1998) mostram que mesmo quando não há diferença estatística entre cultivares em SST ou acidez, a relação SST/ATT pode ser usada para classificar genótipos ou estágios de maturação. Além disso, fatores ambientais e de manejo — como precipitação, temperatura, maturação e cultivar — afetam tanto os SST quanto a acidez, modificando a relação entre eles (OSHIRO, 2012).

Em estudo conduzido por Lima et al. (2002), diferentes genótipos de goiabeira foram avaliados quanto aos teores de SST e ATT. Os autores observaram valores de SST entre 7,2 e 10,9 °Brix e ATT variando de 0,40% a 1,04% de ácido cítrico, destacando que altos teores de SST são desejáveis tanto para frutos destinados ao consumo *in natura* quanto para a indústria.

Ressaltaram ainda que a avaliação isolada dos teores de SST ou ATT pode fornecer interpretações equivocadas sobre o sabor, sendo a relação SST/ATT uma das formas mais práticas e confiáveis, reforçando a utilidade dessa relação para determinar a aptidão dos frutos ao consumo *in natura* ou ao processamento (LIMA et al., 2002).

Em estudo realizado com três cultivares de goiabeira cultivadas no Norte de Minas Gerais, verificou-se que os teores de sólidos solúveis totais (SST) variaram de 7,56 a 11,50 °Brix, enquanto a acidez titulável oscilou entre 0,37 g e 0,48 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa. Como resultado, a relação SST/ATT apresentou ampla amplitude, variando de 15,88 a 31,00, destacando-se a cultivar ‘Paluma’, com maior relação entre os teores de açúcares e acidez (31,00), indicando sabor mais adocicado e equilibrado. Já a cultivar ‘Kumagai’ apresentou valores inferiores de sólidos solúveis e maior acidez, resultando em menor relação SST/ATT (15,88), característica associada a frutos de menor doçura e maior acidez perceptível (AGUIAR et al., 2023).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSUSTENTAR. **Maiores produtores de goiaba do Brasil**. 2024. Disponível em: <https://agrosustentar.com.br/agronegocio/maiores-produtores-goiaba/>. Acesso em: 02 maio 2025.

AGUIAR, F. S. *et al.* Caracterização físico-química de frutos de goiabeira. **Contribuciones a las ciencias sociales**, [S. l.], v. 16, n. 10, p. 21684–21696, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.10-178. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/2586>. Acesso em: 05 nov. 2025.

ALENCAR, R. D. *et al.* Potassium fertilization influencing the production and postharvest quality of 'Paluma' guava grown under semiarid conditions at rio grande do norte, brazil. **Comunicata Scientiae**, [Piauí], v. 7, n. 1, p. 139-149, 2016. DOI: 10.14295/CS.v7i1.1332.

ANDRADE JÚNIOR, V. C. de. *et al.* Repeatability and heritability of production characters in strawberry fruits. **Horticultura Brasileira**, [Brasília], v. 38, n. 1, p. 89–93, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200114>.

ANTUNES, F. C. Determinação de vitamina C e atividade antioxidante de frutas nativas do Brasil. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa – Congrega Urcamp**, [Bagé], 2019.

BARBOSA, F. R.; LIMA, M. F. **A cultura da goiaba**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2010.

BARROS, H. R. de M.; FERREIRA, T. A. P. de C.; GENOVESE, M. I. Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 134, n. 4, p. 1892–1898, out. 2012.

BARROS, M. A. *et al.* **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de uva de mesa no Vale do Submédio do São Francisco**. Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1175412/1/Adaptabilidade-e-estabilidade-de-hibridos-de-uva-de-mesa-no-vale-do-Submedio-do-Sao-Francisco..pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BARROS, V. M. *et al.* Determinação de vitamina C e atividade antioxidante de frutas nativas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1135–1143, 2012.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013.

BORGES, V. *et al.* Correlações genotípicas e análise de trilha em famílias de meios-irmãos de couve de folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1207–1213, 2011.

CASTRO, J. M. C. e; RIBEIRO, J. M. **Pesquisa e desenvolvimento para a cultura da goiabeira: a contribuição da Embrapa Semiárido**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2020. (Documentos, 297). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1128050>. Acesso em: 08 set. 2025.

CAZASSA, R. S. *et al.* Heritability as economic weight in the application of selection indexes in rice breeding. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 5, n. 9, p. 14644–14651, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n9-069. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/3140>. Acesso em: 8 set. 2025.

CERQUEIRA, A. P. *et al.* Os efeitos da vitamina C: metabolismo, biodisponibilidade e potencial terapêutico. **Revista Saúde & Ciência**, [Campina Grande], v. 9, n. 1, p. 45–54, 2020.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Superfruits: phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects – a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, p. 1580–1604, 2019. DOI: 10.1080/10408398.2017.1422111.

CHAVARRÍA PÉREZ, L. M. **Estudos genéticos em uma população segregante de maracujá-doce selecionada para qualidade de frutos**. 2018. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-22062018-170012/>. Acesso em: 18 ago. 2025.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; CARVALHO, V. D. Algumas características dos frutos de duas cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em fase de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., 1981, Recife. **Anais [...]** Recife: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1981. v. 2, p. 771–780.

CODEVASF. **A produção agropecuária nos projetos públicos de irrigação da Codevasf: BIP – Boletim de Informações dos Perímetros**. 20. ed.. Brasília, DF: Codevasf, 2019. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/assuntos/agricultura-irrigada/projetos-de-irrigacao/bip/20a-edicao/bip-20-maio-2019.pdf>. Acesso em: 8 set. 2025.

COIMBRA, J. L. M. *et al.* Coeficientes de trilha, correlações canônicas e divergência genética: I. Entre caracteres primários e secundários do rendimento de grãos em genótipos de feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 189–194, 1998.

COLOMBO, R. H.; CAVICHIOLI, F. A. Custo de produção na cultura da goiaba. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 16, p. 470–479, 2019.

CORNACCHIA, G.; PEREIRA, F. M.; NACHTIGAL, J. C. Repetibilidade de características do fruto em progênies de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 1, p. 35–44, 1995.

COSTA, C. dos S. R. *et al.* Repeatability coefficient for fruit quality and selection of mango hybrids using REML/BLUP analysis. **Euphytica**, [S. l.], v. 219, n. 2, p. 1–11, 2022. DOI: 10.1007/s10681-022-02945-3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-022-02945-3>. Acesso em: 22 ago. 2025.

COSTA, S. R. *et al.* Inheritance of resistance to *Meloidogyne enterolobii* in *Psidium guajava* x *P. guineense* hybrid. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 146, p. 1–7, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1098-0>.

CRUZ, C. D. *et al.* **Modelos biométricos relativos ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Análise multivariada. In: CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. (Eds.). **Análise multivariada**. Viçosa: Editora UFV, p. 123–145. 2012.

DEGENHARDT, J. *et al.* Efeito de anos e determinação do coeficiente de repetibilidade de características de frutos de goiabeira-serrana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1285–1294, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000900012. Acesso em: 22 ago. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **PLANTAR – Goiaba**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128279/1/PLANTAR-Goiaba-ed02-2010.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ENTRINGER, G. C. *et al.* Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 3, p. 356–361, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300009>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1987.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Essex: Longman, 1996.

FLORI, J.; DALL, M.; DEON, I. **BRS Guaraçá: novo porta-enxerto para o enfrentamento do nematoide-das-galhas da goiabeira**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150314/1/BRS-Guaraca-porta-enxerto-nematoide-das-galhas.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FRAGA, L. N. *et al.* Teor de vitamina C e atividade antioxidante da goiaba oriunda de Canindé do São Francisco–SE. **Congresso Internacional de Atividade Física, Nutrição e Saúde**, Aracaju, v. 1, n. 1, 2017.

GILBERTO, A.; MURILLO, V.; LUIS, S. Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. **Revista Lasallista de Investigación**, [Caldas], v. 13, n. 1, p. 85–93, 2016.

GONÇALVES, L. S. A. *et al.* Genetic parameter estimation and prediction of genetic values for guava progenies using mixed model methodology. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 6, p. 477–484, 2015. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0100. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/4jxvQsnpByXpdRGhzFDPPHh/?lang=en>. Acesso em: 22 ago. 2025.

GONZAGA NETO, L. **Produção de goiaba**. Fortaleza: Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – FRUTAL, 2007. Disponível em: <https://frutvasf.univasf.edu.br/wp-content/uploads/2022/06/goiaba.pdf>. Acesso em: 8 set. 2025.

HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding**. University of Guelph, 1984. Disponível em: https://learnanimalbreeding.com/files/Henderson_1984.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

IBGE. **Banco de dados agregados: produção agrícola municipal (2022)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11954?localidade1=26>. Acesso em: 24 nov. 2023.

IBGE. **Produção agrícola - lavoura permanente, 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 24 jun. 2025.

KHERWAR, D., USHA, K. Genetic variations, character association and path analysis studies in guava (*Psidium guajava* L.) for bioactive and antioxidant attributes. **Indian Journal of Plant Physiology**, [New Delhi], 21, 355–361 (2016). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40502-016-0230-7>. Acesso em: 22 ago. 2025.

LIMA, M. A. C. de *et al.* Qualidade pós-colheita de goiabas ‘Paluma’ e ‘Pedro Sato’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654–657, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100061>

MAIA, M. C. C. *et al.* Repetibilidade de características quantitativas de frutos em seleções elite de manga rosa. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 1, p. 56-62, jan/mar. 2017. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1068964>. Acesso em: 08 set. 2025.

MANICA, I. *et al.* Competição entre quatro cultivares e duas seleções de goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 8, p. 1305-1313, 1998.

MARCHI, R. Herdabilidade do tamanho da fruta de morangueiro. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa – Congrega Urcamp**, Bagé, 2020.

MARTINS, A. N. *et al.* Desempenho de cultivares de goiabeiras em ambientes irrigados e sequeiros. **Colloquium Agrariae**, [Presidente Prudente], v. 16, n. 2, p. 82–89, 2020. DOI: 10.5747/ca.2020.v16.n2.a361

MOON, P. *et al.* Assessment of fruit aroma for twenty-seven guava (*Psidium guajava*) accessions through three fruit developmental stages. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam], v. 238, p. 375–383, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.067>.

MOREIRA, A. V. B. *et al.* Quantificação de ácido ascórbico e avaliação da atividade antioxidante em frutas nativas do Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 245–250, 2010.

MOREIRA, S. O. *et al.* Caracterização fenotípica e parâmetros genéticos de mirtáceas nativas da Floresta Atlântica. **Scientia Plena**, [Aracaju], v. 19, n. 10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.100203>. Acesso em: 08 set. 2025.

NASEER, S. *et al.* The phytochemical and medicinal value of *Psidium guajava* (guava). **Fitociência Clínica**, v. 4, p. 1–8, 2018.

NEGREIROS, J. R. S. *et al.* Seleção combinada, massal e entre e dentro, análise de trilha e repetibilidade em progênies de meios-irmãos de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 546–549, 2007.

OLIVEIRA, D. A. *et al.* Caracterização físico-química de frutos de goiabeira em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 83–91, 2015.

OSHIRO, A. M.; DRESCH, D. M.; SCALON, S. P. Q. Preservação de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas sob atmosfera modificada em refrigeração. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 213-221, 2012. DOI: 10.19084/rca.16176.

PELEA, L. *et al.* Estimación de la heredabilidad en sentido ancho a caracteres de importancia agrícola evaluados en una población de guayabo (*Psidium guajava* L.). **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 34, n. 1, p. 66–73, 2013. Disponível em: http://scielo.sld/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000100010&lng=en&nr=m=iso&tlng=es. Acesso em: 1 set. 2025.

POMMER, C. V.; OLIVEIRA, O. F.; SANTOS, C. A. F. **Goiaba: recursos genéticos e melhoramento**. 1. ed. Mossoró: UFERSA, 2013.

QUINTAL, S. R. **Melhoramento da goiabeira *Psidium guajava* via metodologia de modelos mistos**. 2013. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013.

RADMANN BERGMANN, A. Benefícios do consumo de frutas fontes de vitamina C para o fortalecimento do sistema imunológico, associado ao COVID-19: uma revisão de literatura. **Revista Thema**, Pelotas - RS, v. 20, p. 102–111, 2021.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

RESENDE, M. D. V. DE. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [Viçosa], v. 16, n. 4, p. 330–339, dez. 2016.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

SÁNCHEZ, M. V.; PEREIRA, F. M.; NACHTIGAL, J. C. Estimativas de repetibilidade em caracteres de produção de goiabeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, e-123, 2017.

SANTOS, D. A. **Desenvolvimento de modelo de calibração multivariada multiproduto para quantificação de acidez e vitamina C em néctar de frutas e bebidas industrializadas à base de soja**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

SANTOS, J. T. *et al.* Os efeitos da suplementação com vitamina c. **Revista Conhecimento Online**, Novo Hamburgo, v. 1, p. 139–163, 2019. DOI: 10.25112/rco.v1i0.1187. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistaconhecimentoonline/article/view/1187>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SANTOS, P. R. *et al.* Associações entre características vegetativas e de produção em progênies de irmãos completos de goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 5, p. 303–310, 2017. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2017.v52.23725. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/pab/article/view/23725>.

SARDINHA, M. de N. da S. **Estudo Avaliativo de Vitamina C em Polpas Congeladas de Goiaba (*Psidium guajava* L.) Comercializadas em Santa Quitéria do Maranhão – MA**. 2017. Monografia (Graduação em Ciências Naturais com habilitação em Química) –

Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo – MA, 2017. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/1337>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SAU, S.; GHOSH, B.; SARKAR, S. Correlation and path analysis studies for growth and yield contributing traits in guava as affected by micronutrients. **Annals of Plant and Soil Research**, [India], v. 18, n. 4, p. 370-374, 2016.

SILVA, D. B. Análise de trilha em características morfoagronômicas do mamoeiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 1, p. 45–52, 2016.

SILVA, F. F. *et al.* **Seleção individual de plantas de maracujazeiro-azedo quanto à qualidade de frutos via REML/BLUP.** *Revista Redalyc*, 2019.

SILVA, S. N. da *et al.* Genetic parameters of pollen viability in guava (*Psidium guajava* L.). **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 11, n. 1, p. 1–8, jan. 2017.

SOUZA, F. F. de *et al.* Repeatability and number of harvests for selection of Amazon nut genotypes in an agroforestry cultivation system. **Scientia Agricola**, v. 79, n. 6, p. e20220049, 2022.

UPADHYAY R. J. *et al.* Guava enriched functional foods: therapeutic potentials and technological challenges. *In: The Role of Functional Food Security in Global Health. Academic Press*, 2019. p. 365–378. ISBN 9780128131480. DOI: 10.1016/B978-0-12-813148-0.00021-9.

VIANA, A. P., & RESENDE, M.D.V. **Genética Quantitativa do Melhoramento de Fruteiras.** Rio de Janeiro: Interciência. 2014.

WATSON, T. *et al.* Repeatability of morpho-agronomic characters of *Theobroma grandiflorum* fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, 1 jan. 2019. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019142>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, [Washington, DC], v. 20, p. 557–585, 1921.

YADAV, S. *et al.* A review on crop regulation in guava fruit. **International Journal of Environment and Climate Change**, [S. l.] v. 13, n. 10, p. 4444–4452, 2023. DOI: 10.9734/ijecc/2023/v13i103122. Disponível em: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/3122>. Acesso em: 25 maio 2024.

CAPÍTULO 1¹

ANÁLISE DE TRILHA REVELA AUMENTO SIMULTÂNEO DE VITAMINA C E SÓLIDOS SOLÚVEIS EM PROGÊNIES DE GOIABEIRA

¹ Este capítulo corresponde a um artigo submetido ao periódico *Brazilian Journal of Biology (BJB)*.

Análise de trilha revela aumento simultâneo de vitamina C e sólidos solúveis em progênies de goiabeira

Ane Caroline Sampaio Souza Costa, Carlos Antônio Fernandes Santos, Tiffany da Silva Ribeiro

Resumo

O aumento simultâneo da vitamina C, importante antioxidante, e da relação sólidos solúveis/acidez (SST_ACI), responsável pela doçura, pode aumentar o consumo da goiaba. O objetivo do presente estudo foi estimar correlações fenotípicas (r) e realizar análise de trilha em diagrama causal para vitamina C e SST_ACI (variáveis dependentes) e outras 11 variáveis independentes, em progênies dos cruzamentos ‘Pedro Sato’ $\times$ ‘Goiabeira Roxa’, ‘Pedro Sato’ $\times$ ‘Paluma’ e ‘Paluma’ $\times$ ‘Goiabeira Roxa’, para orientar na seleção e desenvolvimento de novas cultivares de goiabeira. Duzentas e noventa e cinco progênies dos três cruzamentos foram avaliadas por quatro ciclos de produção para 13 caracteres físico-químicos. Vitamina C $\times$ SST_ACI apresentaram correlações significativas e positivas variando de 0,140 a 0,227 nos três cruzamentos e na análise conjunta das progênies. As estimativas de r e efeitos diretos apresentaram limitada coincidência, indicando as limitações de r para análises de causa e efeito. As estimativas de efeitos diretos do presente estudo indicam que é possível o aumento simultâneo de sólidos solúveis e vitamina C e na relação SST/ACI, mas que pode resultar na diminuição da produção total e peso médio do fruto, principalmente. A seleção indireta para aumento da vitamina C pode ser efetuada para teores elevados de sólidos solúveis ou vice-versa.

Palavras-chave: *Psidium guajava*, correlação fenotípica, Proc Calis

Path Analysis Reveals Simultaneous Increase in Vitamin C and Soluble Solids in Guava Progenies

Ane Caroline Sampaio Souza Costa, Carlos Antônio Fernandes Santos, Tiffany da Silva Ribeiro

Abstract

A simultaneous increase in vitamin C (VITC) — an important antioxidant—and in the soluble solids/acidity ratio (SST/ACI) — which determines sweetness—may enhance guava consumption. This study aimed to estimate phenotypic correlations (r) and perform path analysis using a causal diagram for VITC and SST/ACI (dependent variables) and 11 other independent variables in progenies from the crosses ‘Pedro Sato’ $\times$ ‘Purple Guava’, ‘Pedro Sato’ $\times$ ‘Paluma’, and ‘Paluma’ $\times$ ‘Purple Guava’, to guide selection and breeding of new guava cultivars. A total of 295 progenies from the three crosses were evaluated over four production cycles for 13 physicochemical traits. Significant positive correlations between vitamin C and SST/ACI were found, ranging from 0.140 to 0.227 across individual and combined analyses of progenies. The correlation coefficients (r) and direct effects showed limited agreement, highlighting the limitations of r in explaining cause–effect relationships. The direct effect estimates indicate that a simultaneous increase in vitamin C and SST/ACI is possible, though it may lead to reduced total yield and mean fruit weight. Indirect selection for increased VITC can be achieved through selection for high SST, or vice versa.

Keyword: *Psidium guajava*; Phenotypic correlation; Proc Calis.

Introdução

A goiabeira (*Psidium guajava* L.), pertencente à família Myrtaceae, é uma frutífera tropical de grande importância econômica e nutricional, amplamente cultivada no Brasil e em diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Na família das Myrtaceae, com quase 2.800 espécies, a goiabeira se destaca por sua ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas, rusticidade e tolerância relativa a pragas e doenças (Colombo & Cavichioli, 2019). Os frutos da goiabeira apresentam ampla variabilidade em forma, coloração e textura, de acordo com a cultivar, e se destacam pelo elevado valor nutricional e funcional, como vitaminas, minerais e compostos antioxidantes, como carotenóides, polifenóis e flavonoides (Upadhyay et al., 2019).

Dentre os compostos da goiaba, destaca-se a vitamina C, cujos teores variam de 200 a 400 mg/100 gramas de polpa, dependendo do genótipo, do estágio de maturação e das condições de cultivo (Fraga, 2017; Cerqueira et al., 2020). O ácido ascórbico desempenha diversas funções fisiológicas essenciais, incluindo a síntese de colágeno, a absorção de ferro não-heme, a regeneração da vitamina E e a modulação da resposta imune (Antunes, 2019; Silva, 2017). Os teores de ácido ascórbico (vitamina C) na goiaba podem ser de até 6x quando comparado com os teores da laranja (Youssef & Ibrahim, 2016). Humanos não sintetizam vitamina C e a dose diária recomendada é de 95 e 110 mg dia⁻¹ para mulheres e homens, respectivamente (Nielsen et al, 2021).

Os sólidos solúveis totais (SST), que representam principalmente os açúcares nos frutos, e a acidez titulável (AT), que reflete os ácidos orgânicos, são indicadores importantes da qualidade e do sabor da goiaba (*P. guajava*). A relação SST/AT é usada como índice de maturação e qualidade sensorial, sendo que valores mais altos indicam maior doçura em relação à acidez. No Submédio São Francisco, Lima et al. (2002) observaram variações de SST entre 9,2 e 10,9 °Brix e de AT entre 0,40 e 1,04%, resultando em relações SST/AT entre aproximadamente 10 e 25, dependendo do genótipo e das condições de cultivo. Esses dados reforçam a utilidade da relação SST/AT para determinar a aptidão dos frutos ao consumo in natura ou ao processamento.

A análise de correlação é amplamente utilizada para investigar as associações entre características de interesse, permitindo inferências sobre possíveis relações entre elas. No entanto, esse tipo de análise não permite distinguir entre efeitos diretos e indiretos, o que pode comprometer a precisão da seleção (Cruz et al. 2014). Para superar essa limitação, a análise de trilha, proposta por Wright (1921), tem sido empregada com sucesso em diversas culturas

agrícolas. Essa técnica estatística permite decompor os coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos, possibilitando uma compreensão mais precisa das relações causais entre os caracteres (Cruz et al. 2014)

Na goiabeira, Kherwar e Usha (2016) demonstraram que as correlações entre compostos bioativos e a atividade antioxidante nem sempre refletem relações causais verdadeiras, sendo necessário o uso da análise de trilha para identificar os efeitos reais. Seus resultados revelaram que compostos como pectina, licopeno e antocianinas exercem efeito direto e positivo sobre a atividade antioxidante, enquanto o ácido ascórbico, embora correlacionado positivamente, apresentou efeito direto negativo.

Estudos para aumentar vitamina C e a relação sólidos solúveis/acidez titulável simultaneamente em uma única planta são bastante limitados em fruteiras e inexistentes em goiabeira. Adicionalmente, essas duas ferramentas estatísticas podem facilitar o processo de seleção indireta, ou seja, selecionando para um caráter de mais fácil mensuração e menor custo, para aumentar teores em outra variável (Cruz et al. 2014).

O objetivo deste estudo foi estimar as correlações fenotípicas entre caracteres físico-químicos em progênies de goiabeira, com decomposição em efeitos diretos e indiretos, considerando vitamina C e a relação sólidos solúveis/acidez como variáveis principais, visando orientar a seleção para qualidade de frutos.

Material e métodos

Material vegetal e análises físico-químicas

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, localizado em Petrolina, PE. Foram avaliadas três populações de goiabeira (*Psidium guajava* L.), obtidas a partir de cruzamentos manuais entre cultivares comerciais: ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR) (n = 110), ‘Pedro Sato’ × ‘Paluma’ (PSP) (n = 95) e ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR) (n = 90). As hibridações foram confirmadas por meio de marcadores fenotípicos, assegurando a autenticidade dos cruzamentos. As plantas segregantes foram enxertadas no campo no porta-enxerto ‘BRS Guaraçá’, resistente ao nematoide-das-galhas, com plantio adicional dos parentais, como controle. O espaçamento entre plantas foi de 4,0 m x 2,5 m, com irrigação por gotejamento e manejo adotado para plantios comerciais na região, incluído podas de formação e frutificação.

As avaliações foram realizadas ao longo de quatro ciclos produtivos consecutivos, nos anos de 2023 a 2025. A colheita dos frutos ocorreu de acordo com o estágio de maturação em

cada planta, sendo coletados de cinco a oito frutos maduros por indivíduo. Após a coleta, os frutos foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados e transportados ao laboratório de genética vegetal da Embrapa Semiárido para as análises físicas e químicas.

Foram mensuradas características morfoagronômicas e físico-químicas dos frutos: 1) produção por planta (PTO) = estimada pela multiplicação do número total de frutos pelo peso médio (PMF); 2) PMF = média de cinco a oito frutos/planta, em balança semi-analítica; 3) número de frutos por planta (NFP) = contabilizado durante as colheitas; 4 e 5) comprimento (COF) e o diâmetro (DIF) = determinados com auxílio de paquímetro digital na amostra de até oito frutos; 6) firmeza = avaliada com o uso de penetrômetro, realizando duas leituras em lados opostos do fruto (quilograma-força -kgf); 7) peso das sementes (Pseed) = obtido após lavagem, secagem e pesagem em balança analítica; 8) peso da polpa e casca (C+P) = estimado pela diferença entre o peso médio do fruto e o das sementes.

As análises químicas incluíram: 9) sólidos solúveis totais (SST) = determinados em refratômetro manual e expressos em °Brix; 10) acidez titulável (ACI) = por titulação com NaOH 0,1 N e expressa em porcentagem de ácido cítrico (Correa et al., 2011); 11) relação SST_ACI = dividindo sólidos solúveis/acidez titulável; 12) vitamina C (VIT) = determinado pelo método de Tillmans, com resultados expressos em mg/100 g de polpa fresca (Correa et al., 2011); 13 e 14) β -caroteno (beta) e licopeno (lico) foram estimadas em espectrofotômetro, utilizando equações específicas para cada pigmento (Nagata & Yamashita, 1992); 15) antocianina (anto) = por espectrofotometria a 535 nm após extração alcoólica ácida (Tan et al. (2022).

Análises estatísticas

As 15 variáveis foram pareadas em todas as combinações de posições para estimativas de correlações simples ou fenotípicas nas progênies dos três cruzamentos, PR, PSR e PSP, e numa análise combinando todas as progênies. As estimativas foram avaliadas para significância de 5% de probabilidade pelo teste 't', sendo todas as análises efetuadas no Proc Corr do Sas University (SAS, 2025).

O diagrama para análise de trilha considerou as variáveis vitamina C (vitC) e a relação sólidos solúveis/acidez (SST_ACI) como variável dependente (endógena) e as demais variáveis como variáveis independentes (exógenas) (Figuras 1). As análises de trilhas foram conduzidas separadamente para cada cruzamento, bem como para os três cruzamentos combinados. A matriz de correlações estimadas no proc Corr foi adotada para as análises de trilha, considerando que essa matriz estimada por 'maximum likelihood' do proc Calis reduz significativamente os dados analisados, conduzindo a valores ligeiramente diferentes. As

variáveis número total de frutos, peso de sementes, sólidos solúveis e acidez não foram incluídos na análise de trilha devido à multicolinearidade, pois contribuem para estimar outras variáveis, como peso médio de fruto.

Estimativas dos efeitos diretos e testes do modelo, ‘modeling info’ foram efetuados no proc calis do Sas University (SAS, 2025), enquanto os valores do coeficiente de determinação (R^2) foram estimados utilizando o software Genes (Cruz, 1998). Os testes t de Student para efeitos diretos foram realizados utilizando o PROC CALIS (SAS, 2025), considerando que o programa genes não apresenta essa estimativa. Efeitos indiretos nas variáveis dependentes não foram enfatizados, pois o interesse maior na análise de trilha é no efeito direto.

Resultados

Os tamanhos amostrais para estimativas dos coeficientes de correlações foram de 215 (antocianina) a 295 (SST/Acidez) na população PR, de 316 (antocianina) a 440 (SST/Acidez), na população PSR, de 312 (licopeno) a 320 (SST/Acidez) na população PSP e de 531 (antocianina) a 1055 (Acidez) na análise conjunta das três populações. Foram consideradas nas análises as estimativas das correlações fenotípicas pela fórmula clássica da correlação simples de Pearson, que foram ligeiramente diferentes das estimadas por ‘maximum likelihood (ML)’ (dados não apresentados) do proc Calis SAS, que é adequada na presença de dados perdidos, mas que reduz o tamanho amostral. Os tamanhos amostrais do presente estudo são superiores ao sugerido por Gnambs (2023), que baseado em simulações, recomenda pelo menos 40 indivíduos para estimativas não enviesadas do coeficiente da correlação de Pearson.

Análises de correlações em três populações segregantes de goiabeira

Na população ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR) as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas para vitamina C × sólidos solúveis (0,285) e vitamina C × SST_ACI (0,223), significativas e negativas para vitamina C × produção total (-0,234), vitamina C × peso médio do fruto (-0,121), vitamina C × diâmetro do fruto (-0,237), vitamina C × betacaroteno (-0,234) e vitamina C × licopeno (-0,155) e não significativas para as correlações de vitamina C com as demais variáveis (Tabela 1, acima da diagonal principal). Na população ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR) as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas entre vitamina C × sólidos solúveis (0,297), vitamina C × SST_ACI (0,225) e vitamina C × firmeza (0,103), significativas e negativas entre vitamina C × produção total (-0,151), vitamina C × peso médio médio do fruto (-0,164),

vitamina C $\times$ diâmetro do fruto (-0,171), vitamina C $\times$ casca+polpa (-0,139) e vitamina C $\times$ betacaroteno (-0,098) e não significativas para as correlações de vitamina C com as demais variáveis (Tabela 1, abaixo da diagonal principal).

Na população ‘Pedro Sato’ $\times$ ‘Paluma’ (PSP) as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas apenas para vitamina C $\times$ sólidos solúveis (0,149) e vitamina C $\times$ SST_ACI (0,140), significativas e negativas para vitamina C $\times$ peso médio do fruto (-0,114), vitamina C $\times$ diâmetro do fruto (-0,154), vitamina C $\times$ betacaroteno (-0,143) e vitamina C $\times$ licopeno (-0,210) e não significativas para as correlações de vitamina C com as demais variáveis (Tabela 2, acima da diagonal principal). Na análise conjunta das três populações, PR, PSR e PSP as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas apenas para vitamina C $\times$ sólidos solúveis (0,261) e vitamina C $\times$ SST_ACI (0,227), significativas e negativas para vitamina C $\times$ produção total (-0,109), vitamina C $\times$ peso médio do fruto (-0,135), vitamina C $\times$ comprimento do fruto (-0,071), vitamina C $\times$ diâmetro do fruto (-0,170), vitamina C $\times$ casca+polpa (-0,111), vitamina C $\times$ licopeno (-0,108) e vitamina C $\times$ betacaroteno (-0,122) e não significativas para as correlações de vitamina C com as demais variáveis (Tabela 2, abaixo da diagonal principal).

Na população PR as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas para sólidos solúveis/acidez (SST_ACI) $\times$ sólidos solúveis (0,437) e SST_ACI $\times$ vitamina C (0,223), significativas e negativas para SST_ACI $\times$ produção total (-0,245), SST_ACI $\times$ acidez (-0,788) e SST_ACI $\times$ licopeno (-0,198), e não significativas para as correlações de SST_ACI com as demais variáveis (Tabela 1, acima da diagonal principal). Na população PSR as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas para sólidos solúveis/acidez (SST_ACI) $\times$ sólidos solúveis (0,554) e SST_ACI $\times$ vitamina C (0,225), significativas e negativas para SST_ACI $\times$ produção total (-0,174) e SST_ACI $\times$ acidez (-0,500), e não significativas para as correlações de SST_ACI com as demais variáveis (Tabela 1, abaixo da diagonal principal).

Na população PSP as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas para sólidos solúveis/acidez SST_ACI $\times$ sólidos solúveis (0,318) e SST_ACI $\times$ vitamina C (0,140), significativas e negativas para SST_ACI $\times$ acidez (-0,752) e SST_ACI $\times$ produção total (-0,120), e não significativas para as correlações de SST_ACI com as demais variáveis (Tabela 2, acima da diagonal principal). Na análise conjunta das três populações, as estimativas dos coeficientes de correlações foram significativas e positivas para SST_ACI $\times$ sólidos solúveis (0,461) e SST_ACI $\times$ vitamina C (0,227), significativas e negativas para SST_ACI $\times$ produção total (-0,071), SST_ACI $\times$ acidez (-0,558) e SST_ACI $\times$ licopeno

(-0,082), e não significativas para as correlações de SST_ACI com as demais variáveis (Tabela 2, abaixo da diagonal principal).

Análises de trilha em três populações segregantes de goiabeira

As estimativas dos coeficientes dos efeitos diretos das variáveis independentes sobre as variáveis vitamina C e relação sólidos solúveis totais/acidez foram semelhantes, com raras exceções, tanto no proc Calis como no software Genes, indicando que ambos empregam a solução pelo sistema matricial $X'X\beta=X'Y$.

Na população PR efeitos diretos em vitamina C foram significativos positivos apenas para a relação SST/Acidez (0,160) e significativos negativos para produção total de frutos (-0,185), diâmetro do fruto (-0,548) e betacaroteno (-0,195) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p<0,001$), com 55 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,22. Na população PSR efeitos diretos em vitamina C foram significativos positivos para comprimento do fruto (0,237), a relação SST/Acidez (0,195) e casca+polpa (0,771) e significativos negativos para peso médio do fruto (-1,00) e betacaroteno (-0,122) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p<0,001$), com 78 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,15.

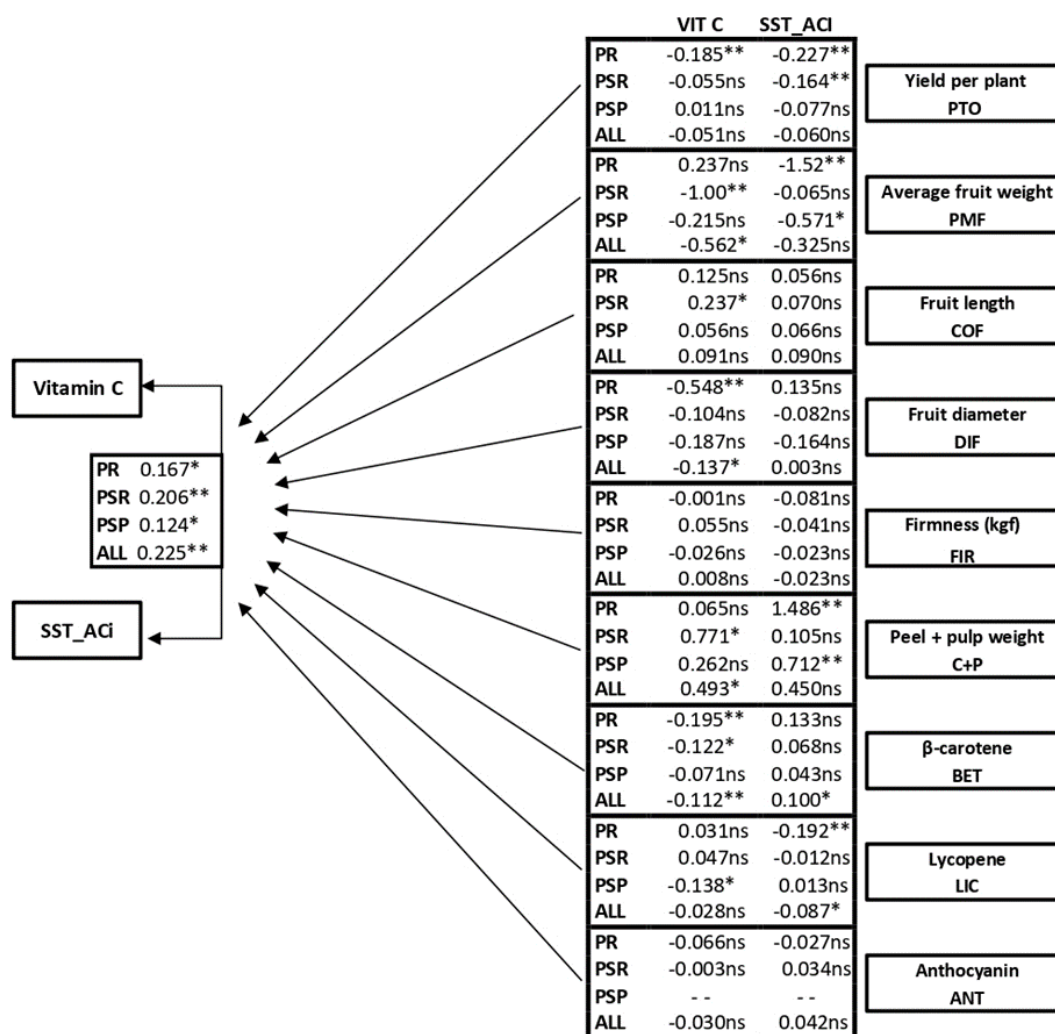


Figura 1. Diagrama causal mostrando as estimativas dos efeitos diretos de 11 variáveis independentes/exógenas sobre a variável dependente/endógena vitamina C (VIT C) e a relação sólidos solúveis/acidez (SST_ACI) em progênies oriundas dos cruzamentos de goiabeira ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR), ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR), ‘Pedro Sato’ × ‘Paluma’ (PSP) e no conjunto de todas as progênies (PR, PSR e PSP). **, *, ns = significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste t (n-2 graus de liberdade).

Na população PSP efeitos diretos em vitamina C foram significativos positivos apenas para a relação sólidos solúveis/acidez (0,121) e significativos negativos para licopeno (-0,138) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p < 0,001$), com 45 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,10. Na análise conjunta das três populações efeitos diretos em vitamina C foram significativos positivos apenas para a relação sólidos solúveis/acidez (0,217) e casca+polpa (0,493) e significativos negativos para peso médio do fruto (-0,562), diâmetro do fruto (-0,137) e betacaroteno (-0,112) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p < 0,001$), com 78 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,15.

Na população PR efeitos diretos na relação sólidos solúveis/acidez (SST_ACI) foram significativos positivos apenas vitamina C (0,167) e significativos negativos para produção total de frutos (-0,227), peso médio do fruto (-1,517), casca+polpa (-1,485) e licopeno (-0,197) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p < 0,001$), com 55 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,17. Na população PSR efeitos diretos na relação sólidos solúveis/acidez (SST_ACI) foram significativos positivos apenas vitamina C (0,205) e significativos negativos apenas para produção total de frutos (-0,163) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p < 0,001$), com 78 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,10.

Na população PSP efeitos diretos na relação sólidos solúveis/acidez foram significativos positivos para vitamina C (0,124) e casca+polpa (0,712) e significativos negativos apenas para peso médio do fruto (-0,571) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p < 0,001$), com 45 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,10. Na análise conjunta das três populações efeitos diretos na relação sólidos solúveis/acidez foram significativos positivos para vitamina C (0,224) e betacaroteno (0,100) (Figura 1). O ‘modeling info’ teste chi-quadrado significativo ($p < 0,001$), com 78 graus de liberdade e coeficiente de determinação de 0,10.

Na população PR, foram identificadas progênies com aumentos simultâneos em vitamina C (mg/100 g) e sólidos solúveis totais (°Brix): a) ciclo 3, progênies PR102 (290,18; 11,6) e PR41 (312,50; 11,8); b) ciclo 4, progênies PR102 (462,96; 11,9), PR17 (462,96; 12,5) e PR46 (416,67; 13,2); c) ciclo 5, progênies PR22 (279,72; 10,7), PR79 (262,24; 11,1) e PR94 (262,24; 10,5). Na população PSR, foram identificadas progênies com aumentos simultâneos em vitamina C (mg/100 g) e sólidos solúveis totais (°Brix): a) ciclo 3, progênie PSR78 (290,18; 11,3); b) ciclo 4, progênies PSR10 (416,67; 12,8), PSR118 (416,67; 14,8) e PSR57 (462,96; 13,6); c) ciclo 5, progênies PSR11 (262,24; 10,7) e PSR123 (384,62; 13,5); d) ciclo 6, progênies PSR118 (450,00; 13,1), PSR20 (390,63; 11,3), PSR43 (300,00; 12,1) e PSR98 (359,38; 11,8).

Na população PSP, foram identificadas progênies com aumentos simultâneos em vitamina C (mg/100 g) e sólidos solúveis totais (°Brix): a) ciclo 3, progênies PSP62 (267,86; 11,4) e PSP74 (312,50; 11,4); b) ciclo 4, progênie PSP05 (393,52; 13,50); c) ciclo 5, progênies PSP108 (297,20; 10,4), PSP11 (411,76; 10,1), PSP111 (297,20; 9,2), PSP75

(297,20; 10,7) e PSP91 (297,20; 11,1); d) ciclo 6, progênies PSP110 (325,00; 11,8), PSP118 (265,63; 11,2) e PSP34 (325,00; 11,5).

Discussão

A goiaba é uma importante fonte de vitamina C, sendo demandada pelo corpo humano diariamente, enquanto a relação SST/Acidez é indicadora da doçura da fruta, um atributo para o consumo *in natura*. Estudos para aumentar, por seleção genética, esses dois compostos simultaneamente em uma única planta, são bastante limitados em fruteiras e, especialmente, em goiabeira, sendo a aplicação de correlações e, principalmente, análise de trilha pioneira no presente estudo. Adicionalmente, essas duas ferramentas estatísticas podem facilitar o processo de seleção indireta, ou seja, selecionando para um caráter de mais fácil mensuração e menor custo, para aumentar teores de vitamina C e/ou SST/Acidez.

Nas progênies dos três cruzamentos analisados, vitamina C apresentou correlações fenotípicas positivas e significativas com sólidos solúveis e a relação sólidos solúveis/acidez, variando de 0,149 a 0,297 e correlações negativas e significativas com produção total de frutos (PTO), peso médio de fruto (PMF) e diâmetro do fruto (DIF), variando de -0,114 a -0,285. Essas estimativas de correlações indicam que é possível o aumento simultâneo de vitamina C e sólidos solúveis e que o aumento de vitamina C pode resultar na diminuição do PTO, PMF e DIF.

Lakade et al. (2011), em estudo com 10 genótipos e único ciclo, estimaram correlações fenotípicas positivas e significativas entre ácido ascórbico (vitamina C) × sólidos solúveis (0,905), ácido ascórbico (vitamina C) × produção total de frutos (0,844), ácido ascórbico (vitamina C) × PMF (0,650), corroborando apenas com a estimativa de vitamina C × SST do presente estudo. Meena et al. (2020) estimaram correlações fenotípicas entre vitamina C x SST (0,838) e vitamina C x PMF (0,836), corroborando parcialmente com o presente estudo. Kherwar & Usha (2017) estimaram correlações significativas entre vitamina C x SST/ACI (-0,870) não corroborando com o presente estudo e Lakade et al. (2011) e Meena et al. (2020).

Nas progênies dos três cruzamentos analisados, a relação sólido solúveis/acidez (SST/ACI) apresentou correlações fenotípicas positivas e significativas com sólidos solúveis e a vitamina C, variando de 0,140 a 0,460 e correlações negativas e significativas com produção total de frutos (PTO) e acidez, variando de -0,752 a -0,174. Essas estimativas de correlações indicam que é possível o aumento simultâneo de sólidos solúveis e vitamina C e que o aumento da relação SST/ACI pode resultar na diminuição do PTO e da acidez do fruto.

Lakade et al. (2011) estimaram correlações positivas com produção total (0,611) e PMF (0,695), corroborando apenas com a estimativa de vitamina C $\times$ SST do presente estudo.

Todos os diagramas da análise de trilha foram significativos pelo teste chi-quadrado ($p < 0,001$), mas com coeficientes de determinação (R^2) baixo, variando de 10% a 22% para vitamina C e SST/Acidez, indicando que apesar das significâncias os modelos causais adotados explicaram pouco das variáveis dependentes. Diferente desses resultados, Kherwar & Usha (2017), reportaram R^2 de 98% (calculado com base no efeito residual) para a variável dependente, compostos bioativos, em goiabeira.

Nas análises de trilhas dos três cruzamentos de goiabeira para vitamina C, os efeitos diretos positivos significativos foram SST/Acidez e casca+polpa e negativos significativos foram produção total, peso médio do fruto, diâmetro do fruto e betacaroteno, corroborando parcialmente com as análises de correlações fenotípicas desse estudo. Nas análises de trilhas dos três cruzamentos de goiabeira para a relação SST_ACI, os efeitos diretos positivos significativos foram consistentes para vitamina C e negativos significativos consistentes nas análises para produção total e peso médio do fruto, corroborando parcialmente com as análises de correlações fenotípicas deste estudo. No artigo seminal de Dewey & Lu (1959), resultados discordantes foram reportados entre coeficiente de correlação e efeito direto, indicando que a análise de trilha, ao decompor o coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos, reduz o efeito de outras variáveis na associação direta.

Kherwar & Usha K (2017) reportaram alto efeito direto da relação sólidos solúveis/acidez em compostos bioativos, que incluem a vitamina C, corroborando com as estimativas do presente estudo. Mishra & Nandi (2018) reportaram altos efeitos diretos de sólidos solúveis e altos efeitos diretos negativos do comprimento dos frutos, diâmetro dos frutos, número total de ramos por planta, peso médio do fruto e produtividade por planta no teor de vitamina C em tomateiro, corroborando com as estimativas do presente estudo, do impacto negativo de caracteres de produção no teor de vitamina C.

As estimativas de efeitos diretos do presente estudo indicam que é possível o aumento simultâneo de sólidos solúveis e vitamina C e na relação SST/ACI, mas que pode resultar na diminuição da produção total e peso médio do fruto, principalmente. Outra estratégia para aumento da vitamina C, de quantificação complexa e laboriosa, é adotando a seleção indireta para teores elevados de sólidos solúveis, que é de mais fácil mensuração, com leituras de suco em refratômetro.

Conclusões

- a) Nas progênies dos três cruzamentos analisados, vitamina C apresentou correlações fenotípicas positivas e significativas com sólidos solúveis e a relação sólidos solúveis/acidez, e correlações negativas e significativas com produção total de frutos, peso médio de fruto e diâmetro do fruto. Para a relação sólidos solúveis/acidez, correlações positivas e significativas foram com sólidos solúveis e a vitamina C, e correlações negativas e significativas com produção total de frutos e acidez.
- b) Nas análises de trilhas dos três cruzamentos de goiabeira para vitamina C, os efeitos diretos positivos significativos foram com SST/Acidez e casca+polpa e negativos significativos foram com produção total, peso médio do fruto, diâmetro do fruto e betacaroteno. Para a relação SST_ACI, os efeitos diretos positivos significativos foram consistentes para vitamina C e negativos significativos consistentes para produção total e peso médio do fruto. Esses resultados indicam limitada coincidência com as correlações.
- c) As estimativas de efeitos diretos do presente estudo indicam que é possível o aumento simultâneo de sólidos solúveis e vitamina C e na relação SST/ACI, mas que pode resultar na diminuição da produção total e peso médio do fruto, principalmente. A seleção indireta para aumento da vitamina C pode ser efetuada para teores elevados de sólidos solúveis.

Tabela 1. Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica pelo método de “máxima verossimilhança”, utilizando o procedimento PROC CALIS no SAS, entre 12 caracteres[#] de progênies pseudo-F2 dos cruzamentos ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR) (acima da diagonal principal) e ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR) (abaixo da diagonal principal).³

PR \ PSR	PTO	PMF	COF	DIF	SST	ACI	SST_ACI	VIT	FIR	C+P	BET	LIC	ANT
PTO		0.225**	0.183**	0.187**	-0.280**	0.112ns	-0.245**	-0.234**	-0.208**	0.227**	0.008ns	0.145*	0.001ns
PMF	0.294**		0.789**	0.887**	0.021ns	0.066ns	0.015ns	-0.121*	-0.096ns	0.988**	0.023ns	0.209**	-0.040ns
COF	0.219**	0.840**		0.722**	-0.004ns	0.043ns	0.007ns	-0.055ns	-0.093ns	0.760**	-0.030ns	0.170**	-0.009ns
DIF	0.169**	0.710**	0.643**		-0.016ns	0.081ns	-0.025ns	-0.237**	-0.040ns	0.849**	0.076ns	0.249**	-0.027ns
SST	-0.167**	-0.042ns	-0.013ns	-0.047ns		0.112ns	0.437**	0.285**	0.008ns	0.048ns	-0.062ns	-0.143*	-0.046ns
ACI	0.008ns	0.039ns	0.035ns	0.066ns	0.002ns		-0.788**	-0.080ns	0.040ns	0.036ns	-0.011ns	0.131*	-0.057ns
SST_ACI	-0.174**	-0.034ns	0.005ns	-0.069ns	0.554**	-0.500**		0.223**	-0.073ns	0.047ns	-0.013ns	-0.198**	0.009ns
VIT	-0.151**	-0.164**	-0.061ns	-0.171**	0.297**	0.032ns	0.225**		0.021ns	-0.098ns	-0.234**	-0.155**	-0.078ns
FIR	-0.261**	-0.125**	-0.039ns	-0.059ns	0.148**	0.179**	0.018ns	0.103*		-0.093ns	-0.066ns	0.151**	0.079ns
C+P	0.271**	0.987**	0.829**	0.687**	-0.004ns	0.032ns	-0.020ns	-0.139**	-0.124**		-0.007ns	0.195**	-0.005ns
BET	-0.027ns	0.105*	0.084ns	0.072ns	0.040ns	-0.014ns	0.056ns	-0.098*	-0.043ns	0.125*		0.370**	0.091ns
LIC	0.067ns	0.049ns	0.022ns	0.056ns	-0.082ns	-0.054ns	-0.005ns	-0.004ns	-0.059ns	0.051ns	0.263**		0.026ns
ANT	0.067ns	-0.090ns	-0.112*	-0.061ns	-0.058ns	-0.049ns	0.011ns	-0.005ns	0.006ns	-0.100ns	-0.051ns	-0.010ns	

[#]PTO = produção total (kg); PMF = peso médio do fruto por planta; COF = comprimento do fruto; DIF = diâmetro do fruto; SST = sólidos solúveis totais; ACI = acidez; SST_ACI = relação sólidos solúveis/acidez; VIT = vitamina C; FIR = firmeza; C+P = peso da casca e polpa; BET = β -caroteno; LIC = licopeno; e ANT = antocianina. *, ** e ns: significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste t.

Tabela 2. Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica pelo método de “máxima verossimilhança”, utilizando o procedimento PROC CALIS no SAS, entre 12 caracteres[#] de progênies pseudo-F2 do cruzamento ‘Pedro Sato’ × ‘Paluma’ (PSP) (acima da diagonal principal) e de todas as progênies dos cruzamentos ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’, ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ e ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (abaixo da diagonal principal).

ALL \	PSP	PTO	PMF	COF	DIF	SST	ACI	SST_ACI	VIT	FIR	C+P	BET	LIC
PTO			-0.049ns	-0.178**	-0.056ns	-0.113*	0.055ns	-0.120*	-0.017ns	-0.005ns	-0.092ns	-0.016ns	0.012ns
PMF		0.210**		0.702**	0.885**	-0.023ns	-0.006ns	0.022ns	-0.114*	-0.011ns	0.978**	0.068ns	0.193**
COF		0.091**	0.776**		0.651**	0.028ns	-0.014ns	0.060ns	-0.056ns	0.068ns	0.689**	0.076ns	0.133*
DIF		0.153**	0.786**	0.638**		-0.067ns	-0.006ns	-0.017ns	-0.154**	-0.011ns	0.866**	0.113*	0.214**
SST		-0.111**	0.012ns	0.027ns	-0.014ns		0.222**	0.318**	0.149**	0.100ns	0.001ns	-0.084ns	-0.199**
ACI		-0.005ns	0.030ns	0.045ns	0.045ns	0.043ns		-0.752**	-0.095ns	0.093ns	-0.035ns	-0.009ns	-0.058ns
SST_ACI		-0.071*	0.001ns	-0.028ns	-0.021ns	0.461**	-0.558**		0.140**	-0.028ns	0.058ns	0.027ns	-0.027ns
VIT		-0.109**	-0.135**	-0.071*	-0.170**	0.261**	-0.014ns	0.227**		-0.053ns	-0.091ns	-0.143*	-0.210**
FIR		-0.190**	-0.099**	-0.037ns	-0.057ns	0.078*	0.132**	-0.019ns	0.045ns		-0.023ns	0.077ns	0.144**
C+P		0.191**	0.984**	0.763**	0.761**	0.044ns	0.018ns	0.022ns	-0.111**	-0.103**		0.068ns	0.152**
BET		-0.019ns	0.062*	0.030ns	0.074*	-0.026ns	-0.032ns	0.049ns	-0.122**	0.003ns	0.062*		0.430**
LIC		0.012ns	0.123**	0.097**	0.126**	-0.154**	0.012ns	-0.082**	-0.108**	0.081**	0.105**	0.336**	
ANT		0.038ns	-0.094*	-0.114**	-0.065ns	-0.064ns	-0.080ns	0.032ns	-0.017ns	0.032ns	-0.093*	-0.015ns	0.006ns

[#]PTO = produção total (kg); PMF = peso médio do fruto por planta; COF = comprimento do fruto; DIF = diâmetro do fruto; SST = sólidos solúveis totais; ACI = acidez; SST_ACI = relação sólidos solúveis/acidez; VIT = vitamina C; FIR = firmeza; C+P = peso da casca e polpa; BET = β -caroteno; LIC = licopeno; e ANT = antocianina. *, ** e ns: significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste t.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, B. F., PEREIRA, J. R., BOHMER, B. W., et al., 2017. Determinação de Vitamina C e Atividade Antioxidante de Frutas Nativas do Brasil. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa – Congrega Urcamp*, 1300–1310.
- COLOMBO, R. H., and CAVICHIOLI, F. A., 2019. Custo de produção na cultura da goiaba. *Revista Interface Tecnológica*, vol. 16, pp. 470–479. <https://doi.org/10.31510/infa.v16i1.587>
- CORRÊA, L. C., SANTOS, C. A. F., VIANELLO, F., and LIMA, G. P. P., 2011. Antioxidant content in guava (*Psidium guajava*) and araçá (*Psidium* spp.) germplasm from different Brazilian regions. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, vol. 9, pp. 384–391. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000025>
- CRUZ, C. D., 1998. Programa GENES: Aplicativo Computacional em Estatística Aplicada à Genética. *Genetics and Molecular Biology*, vol. 21, pp. 135–138. <https://doi.org/10.1590/S1415-47571998000100022>
- CRUZ, C. D., CARNEIRO, P. C. S., and REGAZZI, A. J., 2014. *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. 3rd ed. Viçosa: Editora UFV.
- DEWEY, D. R., and LU, K. H., 1959. A Correlation and Path-Coefficient Analysis of Components of Crested Wheatgrass Seed Production. *Agronomy Journal*, vol. 51, pp. 515–518. <https://doi.org/10.2134/agronj1959.00021962005100090002x>
- DHARAMJIT, KHERWAR, D. K., and USHA, K., 2017. Character association and path analysis studies in guava (*Psidium guajava* L.) for bioactive and antioxidant attributes. *Plant Horticultural Communications*, vol. 49, no. 1. <https://doi.org/10.5958/2249-5258.2017.00007.0>
- DU PREEZ, R. J., and WELGEMOED, C. P., 1990. Variability in fruit characteristics of five guava selections. In: *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, pp. 351–360.

- GNAMBS, T., 2023. A Brief Note on the Standard Error of the Pearson Correlation. *Collabra: Psychology*, vol. 9, p. 87615. <https://doi.org/10.1525/collabra.87615>
- KHAFID, A., NURCHAYATI, Y., HASTUTI, E., and SETIARI, N., 2023. Vitamin C and total soluble solid content of crystal guava at different storage duration and ripeness. *Jurnal Kultivasi*, vol. 22, no. 2, pp. 147–156. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v22i2.44124>
- KHERWAR, D., and USHA, K., 2016. Genetic variations, character association and path analysis studies in guava (*Psidium guajava* L.) for bioactive and antioxidant attributes. *Indian Journal of Plant Physiology*, vol. 21, pp. 355–361. <https://doi.org/10.1007/s40502-016-0230-7>
- LAKADE, S. K., TAMBE, T. B., DHOMANE, P. A., and GHARGE, V. R., 2011. Correlation studies in guava. *Asian Journal of Horticulture*, vol. 6, pp. 159–161.
- LIMA, M. A. C. D., ASSIS, J. S. D., and GONZAGA-NETO, L., 2002. Caracterização dos frutos de Goiaba e seleção de cultivares na Região do Submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 24, pp. 273–276. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100061>
- MEENA, L. K., BHATNAGAR, P., SINGH, J., CHOPRA, R., and SOLANKI, P., 2020. Correlation amongst yield and quality attributes of guava fruit in response to foliar feeding of zinc and iron in Vertisols of Jhalawar district. *The Pharma Innovation Journal*, vol. 9, no. 6, pp. 349–351.
- MISHRA, A., and NANDI, A., 2018. Correlation and path coefficient analysis for quality traits in tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 7, no. 1, pp. 1733–1738.
- NAGATA, M., and YAMASHITA, I., 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi (Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology)*, vol. 39, pp. 925–928.

NIELSEN, C. W., RUSTAD, T., and HOLDT, S. L., 2021. Vitamin C from seaweed: A review assessing seaweed as contributor to daily intake. *Foods*, vol. 10, no. 1, p. 198. <https://doi.org/10.3390/foods10010198>

SAS Institute Inc. SAS® Studio, Version 9.4, *SAS OnDemand for Academics*; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2014

TAN, J., HAN, Y., HAN, B., et al., 2022. Extraction and purification of anthocyanins: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 8, p. 100306. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100306>

UPADHYAY, R., DASS, J. F. P., CHAUHAN, A. K., Yadav, P., Singh, M., and Singh, R. B., 2019. Guava enriched functional foods: therapeutic potentials and technological challenges. In: *The Role of Functional Food Security in Global Health*, pp. 365–378. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00021-9>

WRIGHT, S., 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, vol. 20, pp. 557-585.

YOUSSEF, M., and IBRAHIM, R., 2016. Molecular markers associated with high vitamin-C content in guava. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, vol. 7, no. 3, pp. 49–55. <https://doi.org/10.21608/jacb.2016.40744>

CAPÍTULO 2²

ESTIMATIVAS DE HERDABILIDADE E REPETIBILIDADE PARA RELAÇÃO SÓLIDOS SOLÚVEIS E ACIDEZ E VITAMINA C EM PROGÊNIES DE GOIABEIRA

² Este capítulo corresponde a um artigo científico a ser submetido a periódico da área de Ciências Agrárias.

Estimativas de Herdabilidade e Repetibilidade para Relação Sólidos Solúveis e Acidez e Vitamina C em Progenies de Goiabeira

Resumo

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) apresenta grande importância econômica e nutricional, destacando-se pelo elevado teor de vitamina C e pela qualidade sensorial de seus frutos. O melhoramento genético da espécie depende de estimativas confiáveis de parâmetros como herdabilidade e repetibilidade, que auxiliam na estratégia para identificação de genótipos superiores. Neste estudo, avaliaram-se três cruzamentos controlados — PR ('Paluma' × 'Goiabeira Roxa'), PSR ('Pedro Sato' × 'Goiabeira Roxa') e PSP ('Pedro Sato' × 'Paluma') — ao longo de quatro ciclos produtivos, com foco nas variáveis vitamina C e relação sólidos solúveis/acidez (SST/ACI). As análises indicaram forte influência ambiental sobre ambas as características, refletida nas baixas estimativas de repetibilidade obtidas pelos diferentes métodos, embora os componentes principais tenham apresentado valores ligeiramente superiores. As herdabilidades em sentido amplo mostraram maior potencial para ganhos genéticos nos cruzamentos PR e PSR para vitamina C, e no PSR para SST/ACI, evidenciando maior distribuição de variância genética nessas populações. Além disso, observou-se segregação transgressiva positiva para vitamina C, destacando progenies com valores acima dos genitores e superiores aos comumente relatados na literatura. Já para SST/ACI, não houve transgressão positiva, sugerindo menor variabilidade genética disponível. Esses resultados apoiam estratégias de seleção direcionadas ao aprimoramento da qualidade dos frutos.

Palavras chaves: *Psidium guajava*; segregação; vitamina C; qualidade de fruto.

Heritability and Repeatability Estimates for the Soluble Solids-to-Acidity Ratio and Vitamin C in Guava Progenies

Abstract

Guava (*Psidium guajava* L.) has great economic and nutritional importance, standing out for its high vitamin C content and the sensory quality of its fruits. Genetic improvement of the species depends on reliable estimates of parameters such as heritability and repeatability, which support strategies for identifying superior genotypes. In this study, three controlled crosses were evaluated—PR ('Paluma' × 'Goiabeira Roxa'), PSR ('Pedro Sato' × 'Goiabeira Roxa'), and PSP ('Pedro Sato' × 'Paluma')—over four production cycles, focusing on vitamin C and the soluble solids-to-acidity ratio (SST/ACI). The analyses indicated a strong environmental influence on both traits, reflected in the low repeatability estimates obtained by different methods, although principal component methods showed slightly higher values. Broad-sense heritability estimates indicated greater potential for genetic gains in the PR and PSR crosses for vitamin C, and in PSR for SST/ACI, evidencing a greater distribution of genetic variance in these populations. In addition, positive transgressive segregation was observed for vitamin C, highlighting progenies with values exceeding those of the parents and higher than those commonly reported in the literature. For SST/ACI, no positive transgression was observed, suggesting lower available genetic variability. These results support selection strategies aimed at improving fruit quality.

Keywords: *Psidium guajava*; segregation; vitamin C; fruit quality.

Introdução

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) destaca-se entre as espécies frutíferas de maior relevância nos trópicos e subtropicais, sendo cultivada comercialmente em mais de 60 países (RAJAN et al., 2007). A espécie apresenta elevado valor agrônomo e nutricional, e seus frutos são reconhecidos pelo alto teor de vitaminas, minerais e compostos antioxidantes, o que reforça sua importância tanto na alimentação humana quanto na rentabilidade do cultivo (SANABRIA et al., 2006).

Além de seu valor nutricional, a goiaba assume papel relevante tanto na agricultura familiar quanto em sistemas tecnificados, constituindo-se como fonte significativa de renda para pequenos e médios produtores. A fruta apresenta elevada versatilidade — podendo ser consumida in natura ou processada em polpas, sucos e doces — o que favorece seu uso tanto no consumo doméstico quanto na indústria alimentícia (KUMAR et al., 2022). Em âmbito nacional e internacional, a produção e processamento da goiaba reforçam sua importância econômica no agronegócio e no abastecimento alimentar (ANGULO-LOPEZ et al., 2021).

O melhoramento genético da goiabeira, assim como de outras frutíferas, busca selecionar caracteres agrônomo e de qualidade dos frutos, visando à obtenção de genótipos superiores, produtivos e nutricionalmente mais ricos. Para que esse processo seja eficiente, é essencial dispor de estimativas confiáveis do potencial genético das plantas, o que possibilita identificar indivíduos com maior capacidade de transmitir características desejáveis às gerações seguintes (PELEA et al., 2021).

Nesse contexto, os parâmetros genéticos de herdabilidade e repetibilidade são fundamentais. A herdabilidade expressa a proporção da variância fenotípica atribuída à variância genética total, fornecendo uma medida do controle genético sobre determinado caráter (RESENDE, 2002). Já a repetibilidade indica o grau de consistência do desempenho dos genótipos ao longo do tempo ou em diferentes avaliações, auxiliando na predição do comportamento futuro dos indivíduos (RESENDE, 2009).

Entre os caracteres de qualidade da goiaba, destacam-se o teor de vitamina C e a relação entre sólidos solúveis e acidez, ambos determinantes do valor nutricional e do sabor do fruto. O teor de vitamina C é um dos principais indicadores da qualidade nutricional, enquanto a relação SS/AT está diretamente associada ao equilíbrio entre doçura e acidez, influenciando a aceitação do fruto pelo consumidor (CHITARRA; CHITARRA, 2005;

VALDÉS-INFANTE et al., 2009), sendo importante compreender o controle genético desses caracteres para orientar estratégias de seleção que visem o melhoramento da qualidade dos frutos.

Youssef e Ibrahim (2016) observaram alta herdabilidade em sentido amplo ($h^2 = 0,97$) para o teor de vitamina C em diferentes acessos de goiabeira, indicando predominância da variância genética e grande potencial de ganhos com a seleção. De forma semelhante, Verma et al. (2024) identificaram elevados valores de herdabilidade para acidez (88,98 %) e sólidos solúveis (84,63 %) em genótipos de goiabeira, evidenciando forte influência genética sobre esses caracteres de qualidade. Esses resultados demonstram que há base genética expressiva controlando variáveis associadas à qualidade do fruto, reforçando a relevância de estudos voltados à estimativa de herdabilidade e repetibilidade para caracteres como vitamina C e relação sólidos solúveis e acidez, que são fundamentais para o melhoramento da espécie.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi estimar médias, variâncias, amplitudes e coeficientes de repetibilidade e de herdabilidade no sentido amplo (h^2_A) para teores de vitamina C e para a relação sólidos solúveis/acidez em frutos de progênes de três cruzamentos de goiabeira para auxiliar no desenvolvimento de novas cultivares.

Material e Métodos

Local do experimento e análises para vitamina C e relação sólidos solúveis/acidez

O experimento foi conduzido no campo experimental de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, localizado em Petrolina, PE (09°09' S, 40°22' W, altitude 365 m). Foram avaliadas três populações de goiabeira oriundas de cruzamentos controlados entre cultivares comerciais e genótipos selecionados: 'Pedro Sato' × Goiabeira Roxa (n = 110), 'Pedro Sato' × 'Paluma' (n = 95) e 'Paluma' × Goiabeira Roxa (n = 90). A autenticidade dos cruzamentos foi confirmada com base em marcadores fenotípicos característicos. As plantas foram propagadas por enxertia sobre o porta-enxerto 'BRS Guaraçá' e transplantadas para o campo experimental juntamente com seus parentais, visando estimar variâncias genéticas e ambientais.

As avaliações foram realizadas ao longo de quatro ciclos de frutificação consecutivos, nos anos de 2023 a 2025. A colheita dos frutos ocorreu de acordo com o estágio de maturação em cada planta, sendo coletados de cinco a oito frutos em estágio 3 (50% maduro) por planta. Após a coleta, os frutos foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados e

transportados ao laboratório de genética vegetal da Embrapa Semiárido para as análises físicas e químicas.

A quantificação da vitamina C, dos sólidos solúveis totais e da acidez titulável foi realizada conforme metodologia descrita por Correa et al. (2011). O teor de vitamina C foi determinado pelo método titulométrico de Tillmans, utilizando polpa homogeneizada extraída em solução de ácido oxálico e titulada com 2,6-diclorofenolindofenol, expressando-se os resultados em mg 100 g⁻¹ de polpa.

Os sólidos solúveis totais foram mensurados diretamente no suco homogeneizado por leitura em refratômetro manual, sendo os valores registrados em °Brix. A acidez total titulável foi obtida por titulação da polpa diluída com solução de NaOH 0,1 N, empregando fenolftaleína como indicador, e expressa em g de ácido cítrico 100 g⁻¹. Para relação sólidos solúveis/acidez (SST/ACI) foi calculada pela razão entre o teor de sólidos solúveis totais e a acidez titulável.

Análise estatística

Para as análises estatísticas, foram calculadas as médias, variâncias, valores mínimos e máximos observados, além dos testes de aderência à distribuição normal. Essas análises foram realizadas para as variáveis vitamina C e relação entre sólidos solúveis e acidez, considerando as progênies dos três cruzamentos e seus respectivos parentais. As estimativas foram obtidas por meio dos procedimentos proc Univariate e proc Means do software SAS University (SAS Institute, 2025). Para os parentais, foi conduzida uma análise de variância utilizando o procedimento proc GLM, com o objetivo de verificar a existência de divergência significativa entre eles. A estimativa dos componentes de variância das duas variáveis foi realizada separadamente para cada cruzamento, empregando o procedimento proc Varcomp do SAS University (SAS Institute, 2025).

Os coeficientes de repetibilidade foram calculados utilizando seis diferentes métodos implementados no programa genes (CRUZ, 1998), além de uma estimativa adicional obtida com base nos componentes de variância via método REML. As herdabilidades em sentido amplo (h²A) foram estimadas segundo a fórmula adaptada de Burton (1951):

$$h^2_A = \text{variância genética} / \text{variância fenotípica}$$

A variância genética foi calculada pela diferença entre a variância das progênes e a média das variâncias dos parentais, de acordo com a expressão: variância genética=variância das progênes do cruzamento – (variância do pai1 + variância do pai 2) / 2), enquanto a variância fenotípica correspondeu à variância total observada nas progênes. Para o cálculo das estimativas de h^2_A , os dados foram previamente transformados em $\log_{10}$, visando atender aos pressupostos de normalidade. Essa abordagem assume que toda a variabilidade observada nos parentais é de natureza ambiental, enquanto a variação entre as progênes resulta da combinação dos efeitos genéticos e ambientais.

Resultados

Para a variável vitamina C, os tamanhos amostrais foram de 288, 349 e 291 para as progênes PR, PSR e PSP, respectivamente, enquanto para os parentais registraram-se 34 plantas da cultivar ‘Paluma’, 45 de ‘Pedro Sato’ e 22 da ‘goiabeira roxa’, considerando os quatro ciclos de avaliação (Tabela 1). Em relação à variável sólidos solúveis/acidez, os tamanhos amostrais corresponderam a 290, 349 e 293 para PR, PSR e PSP, respectivamente, e a 39, 50 e 22 para os parentais ‘Paluma’, ‘Pedro Sato’ e ‘goiabeira roxa’ (Tabela 1). A menor quantidade de indivíduos avaliados entre os parentais deve-se ao número reduzido de plantas disponíveis, intercaladas entre as progênes dos cruzamentos.

Análises estatísticas descritivas para vitamina C e relação sólidos solúveis

Os dados originais referentes ao teor de vitamina C nas progênes resultantes dos cruzamentos ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR), ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR) e ‘Pedro Sato’ × ‘Paluma’ (PSP) apresentaram desvios significativos em relação à distribuição normal, conforme os testes de Kolmogorov-Smirnov e Cramer-von Mises (Tabela 1; Figuras 1A, 1C e 1E). Após a transformação logarítmica (Log10), observou-se que os testes de normalidade se tornaram não significativos para as progênes PR, PSR e PSP (Tabela 1; Figuras 1B, 1D e 1F), indicando adequação à normalidade. De forma semelhante, para a variável relação entre sólidos solúveis e acidez (SST/ACI), as progênes PR, PSR e PSP também apresentaram distribuições não normais nos dados originais, com resultados significativos nos testes de Kolmogorov-Smirnov e Cramer-von Mises (Tabela 1; Figuras 2A, 2C e 2E). Após a transformação para Log10, as distribuições dessas populações mostraram melhor ajuste à normalidade, com valores de testes não significativos (Tabela 1; Figuras 2B, 2D e 2F). De acordo com o SAS (1989), testes de normalidade não significativos indicam que

os dados se ajustam à distribuição normal de probabilidade, atendendo aos pressupostos necessários para as estimativas de parâmetros genéticos e demais análises inferenciais.

As médias dos parentais para vitamina C foram 212,7, 249,9 e 237,6 para ‘Paluma’, ‘Pedro Sato’ e ‘goiabeira roxa’, respectivamente, indicando que diferenças significativas entre os parentais (Tabela 1). As médias para relação sólidos solúveis e acidez nos parentais foram de 19,4, 21,27 e 23,48 para ‘Paluma’, ‘Pedro Sato’ e ‘goiabeira roxa’, respectivamente, indicando diferenças entre os parentais (Tabela 1). Diferenças significativas entre os parentais são pressuposições necessárias para estimativas de parâmetros genéticos, como herdabilidade.

Os valores máximos para vitamina C nas progênies foram de 486,1, 486,0 e 462,9 (mg/100 g) para PR, PSR e PSP, respectivamente, sendo superiores aos valores máximos para vitamina C dos três parentais (Tabela 1). No cruzamento PR, as maiores médias variaram de 299,05 a 357,15 mg/100 g, com PR30 e PR41 superando expressivamente todos os genitores, indicando forte incremento decorrente da recombinação genética. Para o cruzamento PSR, as dez maiores médias situam-se entre 322,50 e 385,65 mg/100 g, sendo PSR 20 a progênie de maior desempenho, também acima das médias parentais. No cruzamento PSP, os valores oscilaram de 283,41 a 462,96 mg/100 g, com destaque para PSP 19, que apresentou o maior teor de vitamina C entre todos os materiais avaliados, também evidenciando a segregação transgressiva nessas progênies.

Os valores máximos para relação sólidos solúveis e acidez nas progênies foram de 32,9, 43,6 e 32,7 (mg/100 g) para PR, PSR e PSP, respectivamente, enquanto nos parentais os valores máximos para relação sólidos solúveis e acidez foram de 27,1, 33,7 e 35,6 (mg/100 g), para ‘Paluma’, ‘Pedro Sato’ e ‘goiabeira roxa’, respectivamente (Tabela 1). As médias das progênies apresentaram valores inferiores aos observados nos parentais superiores (‘Pedro Sato’ 33,7 e ‘goiabeira roxa’ 35,6). No cruzamento PR, as maiores médias variaram de 23,01 a 28,32, com PR022 e PR 043 ligeiramente acima do parental de menor desempenho (‘Paluma’ 27,1), mas ainda muito abaixo dos demais pais. Para o cruzamento PSR, as dez maiores médias foram de 27,98 e 32,93, sendo PSR 121 (32,93) a progênie de maior valor, embora também não tenha superado os pais de maior média. No cruzamento PSP, as médias das progênies variaram de 22,70 a 29,74, novamente sem ultrapassar o desempenho parental superior. Esses resultados indicam ausência de segregação transgressiva positiva nos três cruzamentos.

Estimativas de repetibilidade e herdabilidade no sentido amplo para vitamina C e relação sólidos solúveis e acidez

Os valores dos coeficientes de repetibilidade (r) para vitamina C, para os sete diferentes métodos de estimação, variaram de -0,04 a 0,12, de -0,08 a 0,46, e de -0,04 a 0,45 nas populações PR, PSR e PSP, respectivamente. Nos três cruzamentos, as maiores estimativas para r foram para os métodos componentes principais - covariância (0,12), (0,46) e (0,45), na PR, PSR e PSP, respectivamente (Tabela 2). As estimativas da herdabilidade no sentido amplo (h^2_A) para vitamina C foram moderadas para PR e PSR, 0,43 e 0,51, respectivamente, e baixa, 0,13 na PSP.

Os valores dos coeficientes de repetibilidade (r) para relação sólidos solúveis e acidez, para os sete diferentes métodos de estimação, -0,004 a 0,19, de 0,04 a 0,25, e de 0,02 a 0,39 nas populações PR, PSR e PSP, respectivamente. Nos três cruzamentos, as maiores estimativas para r foram para os métodos componentes principais - covariância (0,19), (0,25) e (0,39) na PR, PSR e PSP, respectivamente (Tabela 2). As estimativas da herdabilidade no sentido amplo (h^2_A) para relação sólidos solúveis e acidez foi moderada na PSR (0,42) e baixa para PR e PSP (0,21) e (0,17), respectivamente.

Discussão

A vitamina C é um composto bioativo de grande relevância nutricional, desempenhando funções essenciais no organismo humano, como o fortalecimento do sistema imunológico, a atuação como antioxidante e a participação em diversos processos metabólicos. Já a relação entre sólidos solúveis e acidez (SST/ACI) constitui um parâmetro fundamental na definição da qualidade sensorial dos frutos, influenciando diretamente o sabor, o equilíbrio entre doçura e acidez e, consequentemente, a aceitação pelo consumidor.

No contexto do desenvolvimento de novas cultivares, a estimativa de parâmetros genéticos, como herdabilidade e repetibilidade, é crucial para orientar estratégias de seleção. Entretanto, tais estimativas ainda são limitadas para muitos caracteres da goiabeira, o que reforça a importância de identificar e selecionar genótipos com valores elevados tanto para vitamina C quanto para SST/ACI, contribuindo de forma efetiva para o avanço do melhoramento da cultura.

Os métodos de estimação do coeficiente de repetibilidade baseados em componentes de variância — incluindo REML, VarComp (SAS) e Componentes Principais — apresentaram

valores superiores quando comparados a métodos mais simples, como a ANOVA. Contudo, para as variáveis vitamina C e SST/ACI, as estimativas de repetibilidade foram baixas nos três cruzamentos, PR, PSR e PSP. Esse resultado indica que grande parte da variação observada nessas características não se mantém estável ao longo dos ciclos de avaliação, refletindo a forte influência de fatores ambientais e fisiológicos tanto sobre a biossíntese de vitamina C quanto sobre o balanço entre sólidos solúveis e acidez dos frutos. De acordo com Paciolla et al. (2019), fatores abióticos como luz, temperatura e disponibilidade hídrica afetam diretamente a síntese de ácido ascórbico nas plantas; de forma semelhante, Samykanno et al. (2013) demonstraram que variações ambientais também modificam atributos sensoriais dos frutos, como o sabor.

No presente estudo, as estimativas de herdabilidade foram superiores em relação aos métodos de repetibilidade nas populações PR e PSR, tanto para vitamina C quanto para relação sólidos solúveis e acidez, enquanto na população PSP, nas duas variáveis, a herdabilidade foi menor que a repetibilidade, corroborando com Falconer & Mackey (1996) para a população PSP. De acordo com Dohm (2002), a interpretação tradicional de que a repetibilidade representa um limite superior para a herdabilidade pode ser equivocada, uma vez que a variância permanente incluída em 'r' contém componentes não genéticos. Assim, caracteres altamente influenciados por fatores ambientais ou fisiológicos — como vitamina C e SST/ACI — tendem a apresentar repetibilidade reduzida, sem que isso necessariamente reflita um baixo controle genético do caráter.

Para a seleção de progênies com valores elevados de vitamina C, a segregação transgressiva é importante, pois permite identificar indivíduos com desempenho superior ao dos genitores. Neste estudo, foi possível identificar progênies com teores expressivamente altos, como PSP 019 (462,96 mg/100 g), PSR020 (385,65 mg/100 g) e PSP 011 (380,86 mg/100 g), todas superando amplamente a faixa normalmente relatada para a espécie. De acordo com Yousaf et al. (2020), o teor de ácido ascórbico em goiabas geralmente varia entre 200 e 350 mg/100 g em função da variedade e das condições de cultivo; portanto, as progênies identificadas neste estudo apresentam valores superiores aos comumente observados na literatura, refletindo possível combinação favorável de alelos complementares.

A inexistência de progênies que ultrapasassem os valores parentais para a relação sólidos solúveis/acidez (SST/ACI) sugere ausência de segregação transgressiva positiva, o que indica que os alelos favoráveis a esse caráter possivelmente já estavam presentes de

forma predominante nos genitores. Esse resultado é coerente com a complexa arquitetura genética que rege a acumulação de açúcares e ácidos orgânicos em frutos, geralmente controlada por múltiplos loci de efeito reduzido e interações epistáticas. A literatura evidencia que esses componentes apresentam herança quantitativa, com regiões genômicas específicas associadas tanto aos sólidos solúveis quanto à acidez, mas cuja recombinação nem sempre resulta em combinações superiores às parentais, especialmente quando os pais já possuem níveis elevados desses atributos. Em estudos de mapeamento genético em fruteiras, como na cerejeira, foram identificados diversos QTLs estáveis relacionados ao teor de açúcares e à acidez titulável, reforçando a natureza poligênica e a limitação em se obter ganhos expressivos por meio da recombinação quando os genitores compartilham alelos favoráveis semelhantes (EL-SHARKAWY et al., 2024). Assim, o padrão observado neste estudo é compatível com a estrutura genética descrita para metabólitos de qualidade em frutos, explicando a ausência de progênes superiores aos pais para SST/ACI.

As estimativas de herdabilidade no sentido amplo obtidas neste estudo indicam diferenças no potencial de ganho genético entre os cruzamentos avaliados. Para o teor de vitamina C, os cruzamentos PSR ($h^2A = 0,51$) e PR ($h^2A = 0,43$) apresentaram valores moderados, sugerindo que a seleção fenotípica pode resultar em avanços significativos, sobretudo na PSR, cujo valor de herdabilidade está acima do limite mínimo considerado adequado para ganhos rápidos em caracteres quantitativos. Além disso, estudos de diversidade genética em *P. guajava* mostram ampla variabilidade para características químicas, como ácido ascórbico (GANGAPPA et al., 2022), indicando a possibilidade de ganhos efetivos nos cruzamentos PR e PSR. Por outro lado, o cruzamento PSP ($h^2A = 0,13$) apresentou baixa herdabilidade, indicando menor chance de progresso por seleção direta e maior dependência de avaliações em múltiplos ciclos e métodos de melhoramento mais robustos.

Para a variável relação SST/ACI, o cruzamento PSR ($h^2A = 0,42$) apresentou o melhor potencial seletivo, enquanto PR (0,21) e PSP (0,17) mostraram herdabilidades baixas, sugerindo ganhos lentos. A resposta à seleção é proporcional à herdabilidade, conforme amplamente discutido na genética quantitativa moderna (PLAVŠIN, 2021), o que reforça que o cruzamento PSR é o mais promissor para incremento tanto no teor de vitamina C quanto na relação SST/ACI.

Conclusões

- a) Os métodos de componentes de variância (REML, VarComp e Componentes Principais) produziram estimativas de repetibilidade superiores e positivas às obtidas pela ANOVA, confirmando que modelos mais robustos são mais eficientes para lidar com caracteres com forte influência ambiental.
- b) Há maior potencial de progresso genético para vitamina C nos cruzamentos PR e PSR, que apresentaram herdabilidades moderadas (0,43 e 0,51). No cruzamento PSP (0,13) apresenta limitações de ganhos genéticos. Para a variável SST/ACI, apenas o cruzamento PSR (0,42) apresenta potencial de ganho genético.
- c) Segregações transgressivas para vitamina C indicam potencial de seleção de progênies com valores elevados, evidenciado pelos teores expressivos observados em PSP 019 (462,96 mg 100 g⁻¹), PSR 020 (385,65 mg 100 g⁻¹) e PSP 011 (380,86 mg 100 g⁻¹), que superam amplamente os níveis usualmente relatados para a espécie.

Tabela 1. Testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov (KS) e Cramer-von Mises (CvM) para dados originais e transformados para Log10, médias, variâncias e amplitude para valores máximos e mínimos em progênes (n= número de avaliações) nos cruzamentos ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR), ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR) e ‘Pedro Sato’ × ‘Paluma’ (PSP) e plantas parentais ‘Paluma’, ‘Pedro Sato’ e ‘Goiabeira’ Roxa’ avaliadas para teor de vitamina C (mg/100 g de peso fresco) e relação sólidos solúveis e acidez total titulável em frutos de goiabeira.

Progênies	PR (n=288)		PSR (n=349)		PSP (=291)	
Vitamina C						
Normalidade-testes	Original	Log10	Original	Log10	Original	Log10
1. Kolmogorov-Smirnov	0,10**	0,05ns	0,12**	0,07*	0,09**	0,05ns
2. Cramer-von Mises	0,66**	0,08ns	1,61**	0,34*	0,60**	0,12ns
Média	255,5	2,39	259,1	2,39	246,7	2,39
Variância	5465	0,01	5919	0,01	3512	0,01
Amplitude – mínimo	122,4	2,39	132	2,12	132,4	2,12
Amplitude - máximo	486,1	2,69	486	2,69	462,9	2,67
Parentais	‘Paluma’ (=34)		‘Pedro Sato’ (n=45)		‘Goiabeira Roxa’ (n=22)	
Média	212,7	2,32	249,9	2,39	237,6	2,37
Variância	2591	0,009	2598	0,008	2408	0,007
Amplitude – mínimo	117,7	2,07	171,9	2,34	176,5	2,25
Amplitude - máximo	290,2	2,46	416,7	2,62	370,4	2,57
Progênies	PR (n=290)		PSR (n=349)		PSP (=293)	
Relação sólidos solúveis e acidez total titulável						
Normalidade-testes	Original	Log10	Original	Log10	Original	Log10
1. Kolmogorov-Smirnov	0,06**	0,03ns	0,048*	0,05*	0,07**	0,04ns
2. Cramer-von Mises	1,76**	0,03ns	0,16*	0,16*	0,21**	0,05ns
Média	20,3	1,29	22,9	1,34	17,9	1,24
Variância	22,1	0,009	37,9	0,01	17,4	0,01
Amplitude – mínimo	11,9	1,06	9,34	0,97	9,2	0,95
Amplitude - máximo	32,9	1,52	43,6	1,64	32,7	1,51
Parentais	‘Paluma’ (=39)		‘Pedro Sato’ (n=50)		‘Goiabeira Roxa’ (n=22)	
Média	19,4	1,28	21,27	1,32	23,48	1,36
Variância	17,2	0,008	23,8	0,009	24,29	0,007
Amplitude – mínimo	12,5	1,09	13,53	1,13	16,8	1,23
Amplitude - máximo	27,1	1,43	33,7	1,53	35,6	1,55

Tabela 2. Estimativas de parâmetros de repetibilidade (r), coeficiente de determinação (R^2 , %) e de herdabilidade no sentido amplo para dados transformados para Log10 para progênies dos cruzamentos de ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PR), ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (PSR) e ‘Paluma’ × ‘Pedro Sato’ (PSP) avaliadas para teor de vitamina C (mg/100 g de peso fresco) e relação sólidos solúveis e acidez total titulável em frutos de goiabeira.

Vitamina C						
1. Repetibilidade	PR		PSR		PSP	
Método estimação (r)	r	R ²	r	R ²	r	R ²
Anova - modelo (1)	-0,02	-10,8	-0,07	-33,3	-0,03	-12,9
Anova - modelo (2)	-0,04	-17,9	-0,06	-35,1	-0,04	-17,7
Componentes Variância - REML Varcomp SAS	0,11	33,0	0,41	72,3	0,12	34,6
Componente principal - covariância	0,12	34,5	0,46	77,4	0,45	76,7
Componente principal - correlação	0,023	8,8	0,04	14,3	0,05	16,3
Análise estrutural - correlação	-0,02	-9,7	-0,08	-43,1	-0,04	-20,9
Análise estrutural - covariância	-0,02	-10,8	-0,06	-33,6	-0,03	-12,9
2. Herdabilidade ampla - h ² _A	0,43		0,51		0,13	
Relação sólidos solúveis e acidez total titulável						
1. Repetibilidade	PR		PSR		PSP	
Método estimação (r)	r	R ²	r	R ²	r	R ²
Anova - modelo (1)	-0,004	-1,7	0,07	23,1	0,03	10,2
Anova - modelo (2)	-0,01	-7,2	0,04	13,8	0,02	8,2
Componentes Variância - REML Varcomp SAS	0,16	41,0	0,10	30,2	0,20	40,0
Componente principal - covariância	0,19	48,8	0,25	57,6	0,39	72,0
Componente principal - correlação	0,03	12,8	0,10	30,3	0,03	11,9
Análise estrutural - correlação	-0,002	-0,1	0,06	21,0	0,02	7,2
Analise estrutural - covariância	-0,004	-1,7	0,07	23,1	0,02	10,1
2. Herdabilidade ampla - h ² _A	0,21		0,42		0,17	

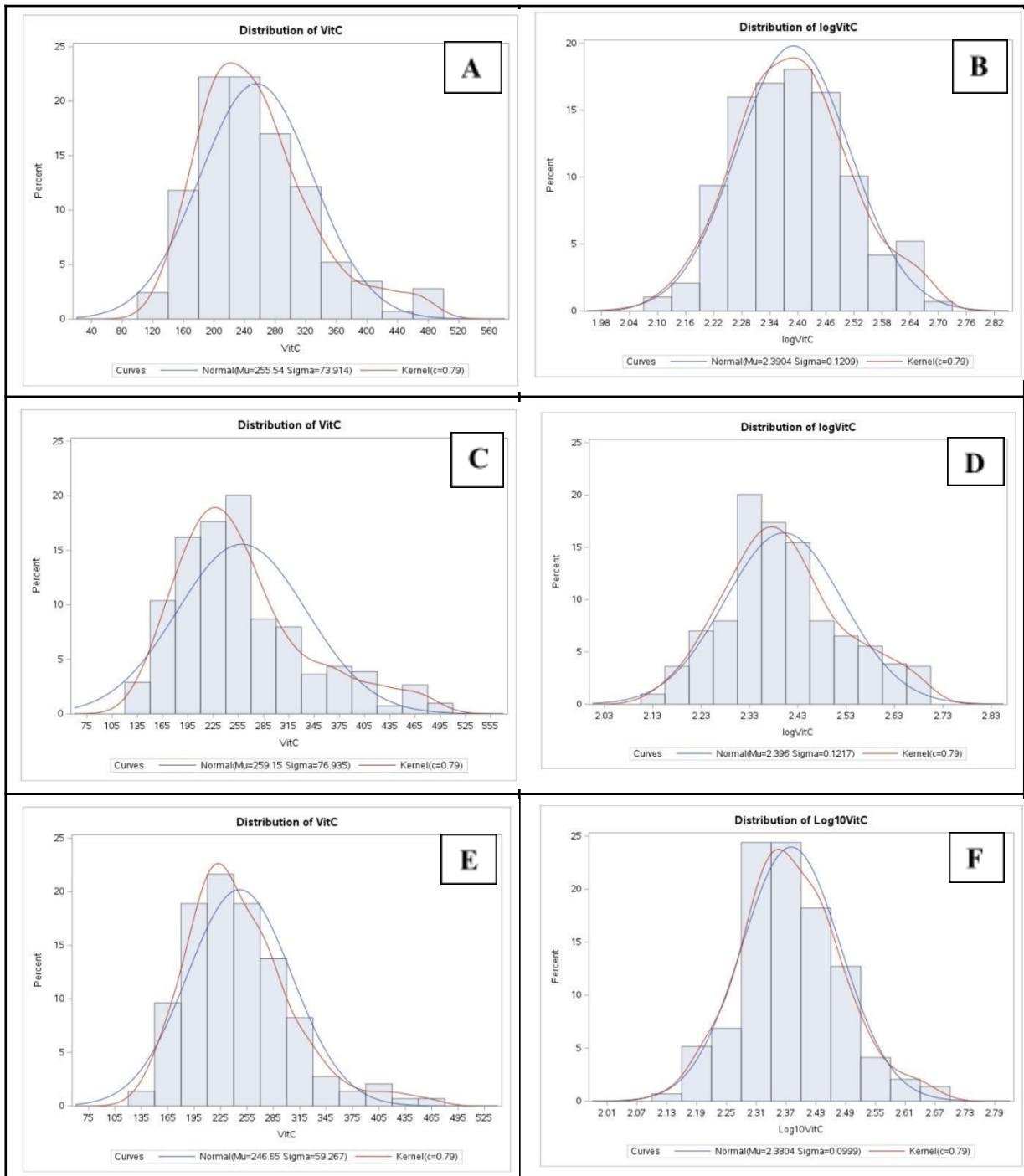


Figura 1. Gráficos da curva de distribuição normal para dados originais (A, C e E) e transformados para Log10 (B, D e F) de progênies de três cruzamentos 'Paluma' × 'Goiabeira Roxa' (A, B), 'Pedro Sato' × 'Goiabeira Roxa' (C, D) e 'Pedro Sato' × 'Paluma' (E, F) avaliadas para teor de vitamina C (mg/100 g de peso fresco) em frutos de goiabeira.

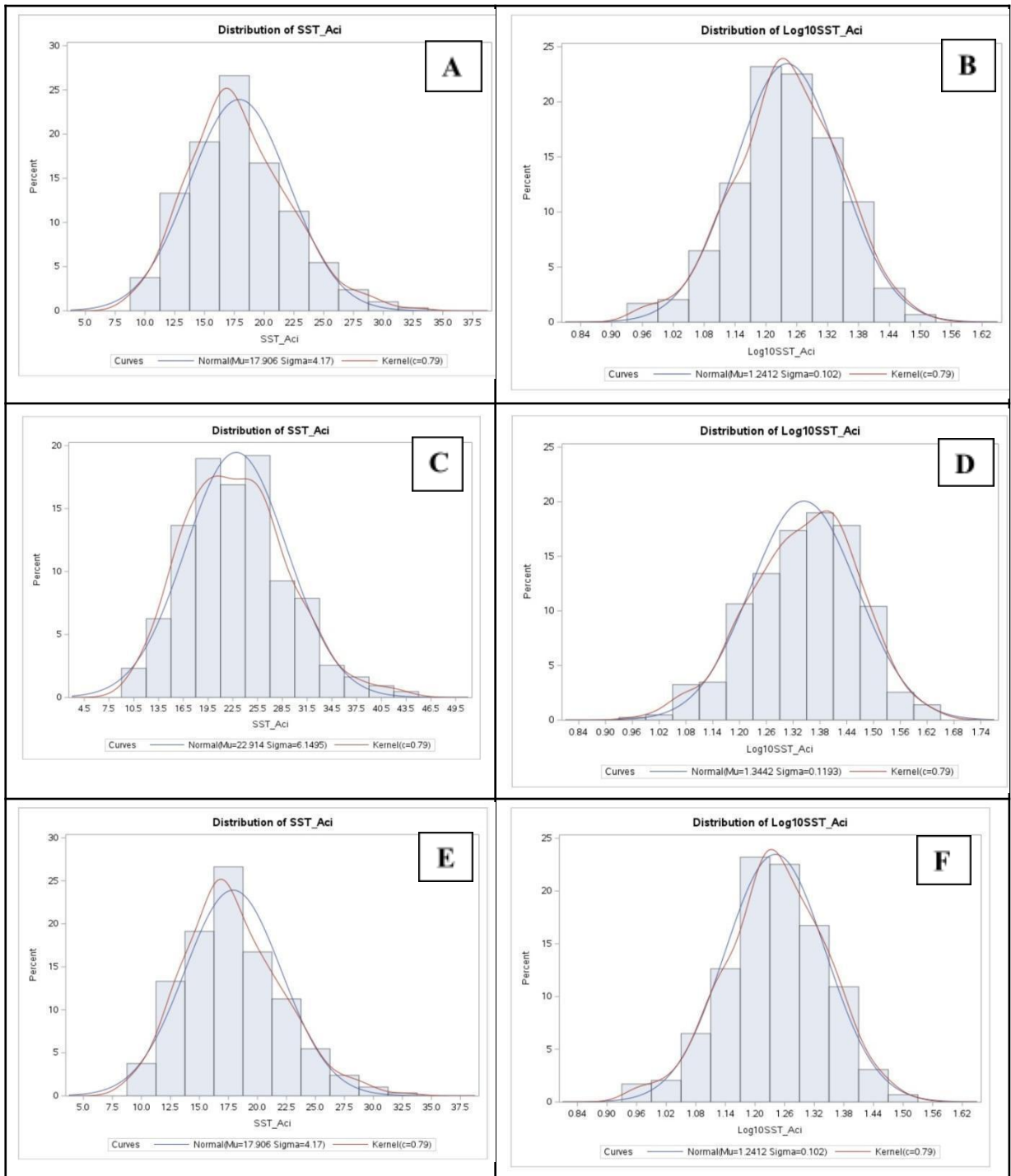


Figura 2. Gráficos da curva de distribuição normal para dados originais (A, C e E) e transformados para Log10 (B, D e F) de progênies de três cruzamentos ‘Paluma’ × ‘Goiabeira Roxa’ (A, B), ‘Pedro Sato’ × ‘Goiabeira Roxa’ (C, D) e ‘Pedro Sato’ × ‘Paluma’ (E, F) avaliadas relação sólidos solúveis (SST) e acidez total titulável (ACI) em frutos de goiabeira.

REFERÊNCIAS

- ANGULO-LÓPEZ, J. E. *et al.* Cristóbal N. Guava (*Psidium guajava* L.) fruit and valorization of industrialization by-products. **Processes**, v. 9, n. 6, p. 1075, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9061075>
- BURTON, G. W. Quantitative inheritance in pearl millet. **Agronomy Journal**, [Madison], v. 43, p. 409–417, 1951. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>.
- CHITARRA, M. I. F. CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
- CORREIA, R. C. G. *et al.* Qualidade de frutos de genótipos de goiabeira nas condições do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1309–1317, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000400014>.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 1998.
- DOHM, M. R. Repeatability estimates do not always set an upper limit to heritability. **Functional Ecology**, [Oxford], v. 16, n. 2, p. 273–280, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00621.x>.
- EL-SHARKAWY, I. *et al.* Genetic and QTL analyses of sugar and acid content in sweet cherry. **Horticulture Research**, [Oxford], v. 12, n. 2, p. 1-14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/hr/uhae310>.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to Quantitative Genetics**. 4. ed. Harlow: Longman, 1996.
- GANGAPPA, N. D. *et al.* Assessing the genetic diversity of guava germplasm characterized by morpho-biochemical traits. **Frontiers in Nutrition**, [Lausanne], v. 9, p. 1017680, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1017680>.
- KUMAR, Manoj *et al.* Guava (*Psidium guajava* L.) seed: a low-volume, high-value byproduct for human health and the food industry. **Food Chemistry**, v. 386, p. 132694, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132694>
- NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, [Tokyo], v. 39, p. 925–928, 1992. DOI: <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>.
- PACIOLLA, C. *et al.* The involvement of ascorbic acid in stress tolerance mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, [Basel], v. 20, p. 1373, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20061373>.

PELEA, R. S. *et al.* Genetic parameters and selection in guava progenies. **Acta Horticulturae**, v. 1300, p. 205–212, 2021.

PLAVŠIN, I. *et al.* An overview of key factors affecting genomic selection for wheat quality traits. **Plants**, v. 10, n. 4, p. 745, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10040745>.

RAJAN, S. *et al.* Status of guava research in India. **Acta Horticulturae**, v. 735, p. 43–58, 2007.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Selegen-Reml/Blup**: sistema estatístico e computacional para seleção genética de plantas perenes. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

SAMYKANNO, K.; RAJENDRAN, P.; SHAHIDAN, N. Variation in chemical and sensory properties of guava under different environmental conditions. **Journal of Food Quality**, v. 36, n. 6, p. 402–411, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfq.12053>.

SANABRIA, C. A. *et al.* Caracterización morfológica y molecular de genotipos de guayabo (*Psidium guajava* L.). **Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, [Mosquera], v. 7, n. 1, p. 55–63, 2006.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® User's Guide**: Version 2025. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2025.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® User's Guide**: Version 6. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1989.

TAN, S. C. *et al.* Variation of vitamin C content in fruits: effects of genotype and environment. **Plants**, [Basel], v. 11, p. 2345, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11182345>.

VALDÉS-INFANTE, J. *et al.* Genetic diversity in guava (*Psidium guajava* L.) germplasm from Cuba. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 56, p. 147–155, 2009.

VERMA, V. K. *et al.* Genetic diversity and stability analysis of the improved cultivars of guava genotypes. **Scientia Horticulturae**, [Dordrecht], v. 324, p. 113–121, 2024.

YOUSAF, M. *et al.* Biochemical characterization of guava varieties: variation in vitamin C and antioxidant capacity. **Journal of Food Biochemistry**, [Hoboken], v. 44, n. 8, e13378, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.13378>.

YOUSSEF, M.; IBRAHIM, R. A. Molecular markers associated with high vitamin C content in guava (*Psidium guajava* L.). **Journal of Applied Chemistry and Biotechnology**, v. 1, n. 2, p. 45–53, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21608/jacb.2016.40744>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam a existência de variabilidade genética entre as progênes de goiabeira avaliadas, indicando potencial para avanços em programas de melhoramento voltados à qualidade de frutos. As estimativas de parâmetros genéticos demonstraram que caracteres relacionados à qualidade, especialmente vitamina C e relação entre sólidos solúveis e acidez, apresentam controle genético significativo, possibilitando ganhos com a seleção.

A análise de correlação associada à análise de trilha permitiu compreender de forma mais aprofundada as relações entre os caracteres, destacando a importância da decomposição das correlações em efeitos diretos e indiretos. Verificou-se que determinados caracteres podem ser utilizados como indicadores indiretos na seleção, contribuindo para maior eficiência no processo seletivo, especialmente quando a mensuração direta apresenta maior custo ou complexidade.

De modo geral, os resultados obtidos nos dois capítulos são complementares, uma vez que as estimativas de parâmetros genéticos fornecem suporte sobre a magnitude da variabilidade e da herdabilidade dos caracteres, enquanto a análise de trilha esclarece as relações de causa e efeito entre eles. Essa integração de abordagens fortalece a tomada de decisão no melhoramento genético da goiabeira.

Do ponto de vista aplicado, os resultados deste estudo podem subsidiar estratégias de seleção mais eficientes, com foco em caracteres de interesse econômico e nutricional, contribuindo para o desenvolvimento de cultivares superiores. Além disso, o uso de caracteres correlacionados como critérios indiretos pode reduzir tempo e custos nos programas de melhoramento.

Como perspectivas futuras, sugere-se a incorporação de ferramentas de genética molecular, como mapeamento de QTL e estudos de associação genômica ampla (GWAS), para identificação de regiões genômicas associadas aos caracteres de interesse. Adicionalmente, a validação dos caracteres indicados como critérios indiretos de seleção em outras populações poderá ampliar a aplicabilidade dos resultados obtidos.

Por fim, destaca-se que os achados desta pesquisa contribuem para o avanço do conhecimento sobre a base genética de caracteres de qualidade em goiabeira, além de fornecer subsídios relevantes para o melhoramento da cultura, especialmente em regiões de grande importância produtiva, como o Vale do São Francisco.