



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (CCA)
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA



THIAGO SIMÕES ACUÑA MUÑOZ

**AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE HÍBRIDOS DE
PIMENTA *Capsicum baccatum***

ARARAS - SP
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (CCA)
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA



THIAGO SIMÕES ACUÑA MUÑOZ

**AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE HÍBRIDOS DE
PIMENTA *Capsicum baccatum***

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
São Carlos para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Fernando César Sala

ARARAS - SP
2026

RESUMO

As pimentas pertencentes ao gênero *Capsicum* são um dos condimentos mais utilizados no mundo. O objetivo deste trabalho de pesquisa foi identificar material genético híbrido superior de pimenteiras da espécie *C. baccatum*, através dos parâmetros de arquitetura de planta e rendimento e de morfometria e qualidade dos frutos. Os híbridos foram cultivados em sistema protegido em vasos com fertirrigação. O desenvolvimento de híbridos intraespecíficos em *Capsicum baccatum* mostrou-se uma estratégia altamente viável para contornar a escassez tecnológica no setor de pimentas no Brasil. Os híbridos experimentais F1 204 e F1 206 superaram as expectativas produtivas e qualitativas, com exceção dos teores de compostos fenólicos totais e de carotenóides, apresentando-se como materiais genéticos de elevado potencial comercial e extremamente promissores para o agronegócio de sementes híbridas e para o fornecimento de matéria-prima padronizada na olericultura nacional.

Palavras-chave: heterose; hortaliça de frutos; melhoramento genético; dedo-de-moça;

ABSTRACT

Peppers belonging to the genus *Capsicum* are one of the most widely used condiments in the world. The objective of this research work was to identify superior hybrid genetic material of pepper plants of the species *C. baccatum*, through plant architecture and yield parameters, as well as fruit morphometry and quality. The hybrids were grown in a protected system in pots with fertigation. The development of intraspecific hybrids in *Capsicum baccatum* proved to be a highly viable strategy to overcome the technological scarcity in the Brazilian pepper sector. The experimental hybrids F1 204 and F1 206 exceeded production and quality expectations—with the exception of total phenolic compounds and carotenoid contents—presenting themselves as genetic materials with high commercial potential and extreme promise for the hybrid seed agribusiness and for the supply of standardized raw material in national vegetable production.

Keywords: heterosis; fruit vegetable; genetic breeding; "dedo-de-moça".

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Plantas recém-emergidas e mudas em ponto de transplante.	18
Figura 2- Plantas estabelecidas, 14 dias após o transplante (DAT), primórdios florais observados, aos 21 DAT e arquitetura do híbrido F1 206 aos 35 DAT.	19
Figura 3- Híbridos experimentais F1 207 e F1 204 aos 70 DAT.	25
Figura 4- Frutos dos híbridos F1 204 e F1 200 comparados à cultivar testemunha.	27
Figura 5- Cores observadas durante a maturação das linhagens F1 205, F1 206, e testemunha Dedo-de-Moça.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação da formação de híbridos e materiais parentais de pimentas da espécie <i>Capsicum baccatum</i> .	19
Tabela 2- Altura da primeira bifurcação, número de frutos, massa média de frutos, produção e produtividade, dos híbridos e cultivar Dedo-de-Moça (<i>Capsicum baccatum</i>).	24
Tabela 3- Comprimento e diâmetro dos frutos, relação entre comprimento e diâmetro dos frutos, número de lóculos, espessura da polpa e matéria seca dos frutos de híbridos de pimenta do tipo Dedo-de-Moça (<i>Capsicum baccatum</i>).	26
Tabela 4- Parâmetros de cor instrumental, luminosidade, -verde/vermelho+ e -azul/amarelo+, cromaticidade e ângulo hue de híbridos de pimenta do tipo Dedo-de-Moça (<i>Capsicum baccatum</i>).	28
Tabela 5- Firmeza, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, SS/AT e teores de compostos fenólicos totais em pimentas <i>Capsicum baccatum</i> .	30
Tabela 6- Teores de Carotenóides em pimentas <i>Capsicum baccatum</i> .	32
Tabela 7- Força de perfuração e de cisalhamento em pimentas <i>Capsicum baccatum</i> .	33
Tabela 8- TPA: <i>Texture Profile Analysis</i> em pimentas <i>Capsicum baccatum</i> .	34

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT	4
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	5
LISTA DE TABELAS	6
1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 O GÊNERO <i>Capsicum</i> E SUA IMPORTÂNCIA	10
3.1.1 Taxonomia, Origem e Distribuição Geográfica	10
3.1.2 A Espécie <i>Capsicum baccatum</i>	11
3.2 BASES DO MELHORAMENTO GENÉTICO EM PIMENTAS	12
3.2.1 Variabilidade Genética e Recursos Genéticos	12
3.2.2 Sistemas de Reprodução e Produção de Híbridos	13
3.2.3 Potencial e Desafios no Desenvolvimento de Híbridos de <i>Capsicum</i> spp.	13
3.3 AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS EM <i>Capsicum</i> spp.	15
3.3.1 Parâmetros Agronômicos e de Rendimento	15
3.3.2 Parâmetros Físico-Químicos e de Qualidade	16
4 METODOLOGIA	18
4.1 INSTALAÇÃO DA CULTURA	18
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	19
4.3 AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE PIMENTA <i>C. baccatum</i>	20
4.3.1 Caracteres Morfoagronômicos	20
4.3.2 Parâmetros físico-químicos	21
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS	24
5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	28
6 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

As pimentas do gênero *Capsicum* são especiarias muito importantes no Brasil e no mundo, destacando-se por seus aspectos históricos, nutricionais, econômicos e culturais (García *et al.*, 2016). Originárias das Américas, as pimentas estão atualmente espalhadas por todo o globo, sendo consumidas por cerca de um quarto da população (Pickersgill, 2007).

O gênero *Capsicum* é explorado em vários segmentos de mercado, desde cultivo de tipologias ornamentais em vasos, para consumo próprio; até plantações comerciais, agroindústrias de base familiar e grandes indústrias produtoras de páprica (Ribeiro *et al.*, 2008). Essa diversidade impulsiona uma demanda constante por novas tecnologias que atendam ao crescente consumo. No Brasil, diversas variedades são cultivadas: Malagueta, Cambuci, Cumari-do-Pará, de-Cheiro, Murupi, de-Bode, Biquinho e a pimenta Dedo-de-Moça são alguns exemplos (Reifschneider, 2000). Além da culinária, as pimentas são utilizadas na medicina, já que a capsaicina, molécula que causa a pungência, induz geração de endorfinas, promovendo uma sensação de bem-estar e ativando o potencial imunológico (Ilie *et al.*, 2019).

As pimentas da tipologia Dedo-de-Moça (*C. baccatum*) são cultivadas em diversas regiões brasileiras e possuem teor de pungência médio, sendo muito apreciada pelos consumidores. Se desidratada (em flocos e sementes), é comercialmente conhecida como pimenta calabresa (Carvalho *et al.*, 2006). A Dedo-de-Moça é uma das principais pimentas consumidas no Brasil, principalmente nas regiões sul e sudeste (Ribeiro, Carvalho e Lana, 2021). Apesar de carecer de dados exclusivos sobre a variedade, segundo o Censo Agropecuário, o principal estado produtor de pimentas é São Paulo, são 4.878 toneladas em 1.772 estabelecimentos (IBGE, 2017). Os principais municípios que enviam pimenta vermelha para o Entrepasto da Capital são Ribeirão Branco, Ibiúna, e São Miguel Arcanjo, SP (CEAGESP, 2018). Segundo a Embrapa Hortaliças (2020) a área total cultivada com pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil oscila historicamente e atualmente entre 2.000 e 5.000 hectares.

O uso de sementes híbridas é comum para várias hortaliças cultivadas no Brasil (cerca de 40% da área plantada), porém há escassez de híbridos comerciais que atendam ao mercado de pimentas *Capsicum* (Lozada *et al.*, 2022). A maioria disponível é de *C. annuum* (pimentão), enquanto o setor depende mais de variedades de polinização aberta, como a BRS Mari (Embrapa), ou sementes salvas pelos próprios agricultores (Martins *et al.*, 2013). Para a tipologia Dedo-de-Moça existe apenas a Eagle F1 da TopSeed Premium Agristar, pertencente à espécie *C. annuum* (AGRISTAR DO BRASIL [2026]).

O uso de cultivares híbridas apresenta inúmeras vantagens: a heterose, vigor de híbrido, amplamente documentada na literatura para *Capsicum*, mede a superioridade do primeiro conjunto de descendentes (F1), que resulta do cruzamento entre dois indivíduos parentais com características de interesse. Destacam-se o aumento de produtividade, a introdução de genes para resistência a doenças e a pragas, tolerância às condições adversas de solo e clima e melhoramento da arquitetura de plantas (Rani, Jindal e Meena., 2021), entre outras.

Neste contexto, o presente trabalho de pesquisa busca identificar material genético superior de pimenteiras da espécie *C. baccatum*. O objetivo é obter híbridos que possuam frutos com cor, forma, aroma e pungência semelhantes à tipologia Dedo-de-Moça, porém com características agronômicas desejáveis e aprimoradas para o mercado. Os híbridos e a variedade comercial Dedo-de-Moça serão submetidos a avaliações agronômicas e físico-químicas detalhadas, para a comparação e seleção de material promissor para o agronegócio de pimenta no Brasil.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho agronômico de híbridos experimentais de pimenteiras da espécie *Capsicum baccatum*, quantificando sua potencial superioridade em relação à variedade comercial do tipo Dedo-de-Moça.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o desempenho agronômico dos híbridos experimentais de *Capsicum baccatum* por meio de variáveis biométricas de crescimento e produção;
- Avaliar os atributos físico-químicos e de qualidade dos frutos dos híbridos experimentais;
- Comparar as variáveis biométricas e físico-químicas e de qualidade dos híbridos estudados com as de uma variedade comercial Dedo-de-Moça (testemunha).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O GÊNERO *Capsicum* E SUA IMPORTÂNCIA

3.1.1 Taxonomia, Origem e Distribuição Geográfica

O gênero *Capsicum*, pertencente à família Solanaceae, engloba as pimenteiras e os pimentões, constituindo um dos condimentos mais utilizados e valorizados globalmente. A família Solanaceae é conhecida por incluir outras espécies de grande relevância agrônômica, como o tomate e a batata (Ribeiro *et al.*, 2008).

As pimentas são nativas das Américas, com evidências arqueológicas que apontam para o seu cultivo no México desde 5000 a.C. e na região andina por volta de 3000 a.C. (Pickersgill, 2007). Estão atualmente distribuídas e consumidas por cerca de um quarto da população mundial. Acredita-se que o noroeste amazônico é um importante centro de diversificação e domesticação para a espécie *C. chinense* (García *et al.*, 2016).

A domesticação do gênero concentrou-se em cinco espécies principais, que são as mais cultivadas em todo o mundo: *C. annuum*, *C. baccatum* (espécie foco deste trabalho), *C. chinense*, *C. frutescens* e *C. pubescens*. Destas todas, exceto *C. pubescens*, são cultivadas no Brasil, onde apresentam ampla diversidade de cultivares regionais (Reifschneider, 2000).

A chegada de Cristóvão Colombo às Américas, em 1492, e a "confusão inicial com a pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), planta de origem asiática com a qual não tem relação botânica, justificou o nome popular 'pimenta' dado aos frutos no Velho Mundo". Este evento histórico impulsionou sua rápida dispersão global. O médico Diego Álvarez Chanca, em 1494, foi um dos primeiros a relatar por escrito os efeitos medicinais das plantas trazidas por Colombo (Ordaz e Fernández, 2024).

Atualmente, a pimenta domina o mercado de especiarias picantes. Dados de produção global apontam a China como o maior produtor mundial, com cerca de 19 milhões de toneladas em 2019, seguida pelo México e pela Turquia (Ordaz e Fernández, 2024). No Brasil, embora a produção seja predominantemente realizada por pequenos agricultores, o agronegócio de *Capsicum* se destaca pela comercialização *in natura* e pela vasta gama de produtos e subprodutos (molhos, conservas, pimenta desidratada), representando uma fonte de renda vital para comunidades rurais e agroindústrias familiares (Ribeiro *et al.*, 2008).

Os frutos são ricos em vitaminas (especialmente vitamina C, A e E) e minerais (como Potássio e Magnésio) (Ordaz e Fernández, 2024). Revisões bibliográficas indicam que a capsaicina e os extratos de pimenta possuem atividades biológicas como antioxidante, anti-inflamatória, antibacteriana e potencial anticancerígena, sendo investigadas para condições como diabetes tipo II e obesidade (Zhang *et al.*, 2024). Além das propriedades

analgésicas, a sensação de bem-estar (liberação de endorfinas) também é associada ao seu consumo.

3.1.2 A Espécie *Capsicum baccatum*

Dentre as cinco espécies domesticadas do gênero *Capsicum*, *C. baccatum* é notavelmente importante para o Brasil. Caracterizada por sua grande variabilidade morfológica (Martinez *et al.*, 2017), a espécie possui flores com pétalas de coloração esbranquiçada ou esverdeada, geralmente com manchas amareladas ou esverdeadas na base, o que a distingue das demais espécies domesticadas, sendo classificada como semi-domesticada ou, em algumas variedades, como totalmente domesticada, dependendo do grau de intervenção humana (Albrecht *et al.*, 2012).

Embora o gênero *Capsicum* seja primariamente classificado como autógamo, *C. baccatum* demonstra um sistema reprodutivo que permite taxas variáveis de polinização cruzada (alogamia), o que potencializa a ocorrência de variabilidade genética natural e a torna uma fonte promissora de genes para programas de melhoramento (Oliveira *et al.*, 2015). Sua ocorrência é mais comum em regiões do Peru e Bolívia, mas se adaptou bem a diversas condições edafoclimáticas, sendo amplamente cultivada nas Américas Central e do Sul (Albrecht *et al.*, 2012).

O foco deste trabalho reside na espécie *C. baccatum*, conhecida popularmente no Brasil como Pimenta Dedo-de-Moça. Esta tipologia destaca-se no mercado nacional por características específicas, como o formato alongado e cônico (semelhante a um dedo), a coloração vermelha intensa na maturação e a pungência moderada (Ribeiro *et al.*, 2020). A pungência é uma característica central, sendo intermediária em relação a outras espécies, como a *C. chinense*, o que a torna versátil para o consumo *in natura* e para a indústria de conservas e molhos (Ribeiro *et al.*, 2020).

De acordo com os dados históricos de comercialização das Centrais de Abastecimento de Minas Gerais (CEASAMINAS), o mercado de pimentas apresenta fluxo contínuo de oferta ao longo do ano, com picos significativos de escoamento nos meses de novembro e dezembro, onde a comercialização atinge média de 28 toneladas mensais (Pinto *et al.*, 2023).

O mercado de pimentas é dividido por regiões, enquanto as pimentas de-Cheiro e Murupi (*C. chinense*) lideram no Norte e Nordeste, a pimenta Dedo-de-Moça concentra seu consumo no Sul e Sudeste (Ribeiro *et al.*, 2008). No Sudeste, o perfil de consumo concentra-se na comercialização do fruto em sua forma *in natura*, movimentando volumes expressivos nos centros urbanos. Como reflexo dessa demanda, levantamentos realizados no

Entrepósito Terminal de São Paulo da CEAGESP indicam que o setor de pimentas movimenta anualmente cerca de 4.000 toneladas de frutos, gerando renda superior a R\$6,8 milhões, concretizando a Dedo-de-Moça como um produto de oferta atemporal e essencial na composição de renda de atacadistas e hortigranjeiros (CEAGESP, 2018).

Por outro lado, o mercado na região Sul caracteriza-se pela agroindústria de processamento. Segundo Madail *et al.* (2005), a preferência pelo consumo na forma desidratada, moída ou em conservas impulsionou a criação de polos agrícolas especializados. O município de Turuçu no Estado do Rio Grande do Sul, reconhecido pela forte tradição na olericultura, registrou áreas cultivadas superiores a 100 hectares dedicadas exclusivamente à variedade.

Programas de melhoramento buscam constantemente genótipos superiores de *C. baccatum* para elevar a produtividade, uniformidade e tolerância a estresses bióticos e abióticos. Além disso, visa-se a melhoria de atributos de qualidade, como o teor de sólidos solúveis e a espessura do pericarpo (Selvakumar *et al.*, 2022). Nesse cenário, o uso de sementes híbridas surge como uma estratégia viável para selecionar materiais com características agrônômicas e comerciais superiores, atendendo à crescente demanda do mercado.

3.2 BASES DO MELHORAMENTO GENÉTICO EM PIMENTAS

O melhoramento genético em pimenta é uma atividade de grande importância, visando a obtenção de indivíduos que apresentem características superiores para o agronegócio. Tais características incluem o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade dos frutos (Lozada *et al.*, 2022), o desenvolvimento de resistência a pragas e doenças (Barchenger, Lamour e Bosland, 2018), e a tolerância a condições climáticas adversas, como as observadas com frequência em decorrência das mudanças climáticas (Bulle *et al.*, 2025).

3.2.1 Variabilidade Genética e Recursos Genéticos

A base de qualquer programa de melhoramento é a variabilidade genética. No gênero *Capsicum*, essa variabilidade é notória, manifestando-se em uma diversidade impressionante de formas, tamanhos, cores e níveis de pungência dos frutos (Monteiro *et al.*, 2010). A grande amplitude fenotípica é o que permite a seleção de genótipos específicos para diferentes nichos de mercado, desde o consumo *in natura* até a agroindústria.

O manejo de Bancos de Germoplasma (BAGs) assegura a preservação de traços fenotípicos valiosos, sendo a conservação desse material crucial para o melhoramento vegetal.

Assim, selecionar linhagens com características complementares — como alto rendimento e resistência a doenças — é a etapa inicial para a produção de híbridos (Cardoso *et al.*, 2019).

Recentemente, o foco das pesquisas expandiu-se para a obtenção de cultivares ricas em vitamina C (Lannes *et al.*, 2007), além do desenvolvimento de plantas adaptadas a solos ácidos, tolerantes a variações climáticas e eficientes no uso de recursos, demandas fundamentais para o cultivo em condições tropicais no Brasil (Ribeiro *et al.*, 2008).

3.2.2 Sistemas de Reprodução e Produção de Híbridos

Apesar de a pimenteira ser classificada como uma espécie predominantemente autógama, a possibilidade de ocorrer polinização cruzada (alogamia) é um fator a ser considerado, especialmente no desenvolvimento de cultivares comerciais (Pickersgill, 1997).

A produção de híbridos é uma estratégia de melhoramento largamente utilizada em hortaliças, incluindo *Capsicum*, para explorar o fenômeno do vigor híbrido ou heterose. Híbridos F₁ (primeira geração filial) são obtidos pelo cruzamento controlado entre duas linhagens puras (parentais) previamente selecionadas.

Segundo Naves *et al.* (2022), o vigor híbrido geralmente resulta em plantas mais robustas, com maior número de frutos e rendimento superior em comparação com as linhagens parentais. Além disso, os híbridos F₁ são geneticamente uniformes, o que garante frutos com características de cor, forma, tamanho e maturação semelhantes — aspecto altamente desejável pelo mercado consumidor e pela agroindústria. Essa combinação de linhagens permite ainda que a resistência a pragas e doenças de um parental seja expressa no híbrido, facilitando o manejo integrado da cultura.

A obtenção de híbridos superiores, com morfologia de parte aérea e frutos que produzem materiais promissores dentro da tipologia Dedo-de-Moça de *C. baccatum*, representa uma opção viável e necessária para atender à crescente demanda por cultivares inovadoras no Brasil (Medeiros *et al.*, 2014).

3.2.3 Potencial e Desafios no Desenvolvimento de Híbridos de *Capsicum* spp.

O uso de sementes híbridas representa um dos maiores marcos no melhoramento genético vegetal, consolidando-se como uma estratégia indispensável para o aumento da produtividade e da sustentabilidade na olericultura moderna (Maluf, 2001). No cultivo de pimentas (*Capsicum* spp.), as vantagens da utilização de cultivares híbridas são amplamente documentadas e baseiam-se, fundamentalmente, na exploração do efeito de heterose, ou vigor híbrido. Esse fenômeno manifesta-se em características de alto interesse agrônômico, como o

incremento expressivo na produtividade por planta, a precocidade e a uniformidade de frutos - crucial para a comercialização e o processamento industrial -, além da incorporação de múltiplos genes de resistência a fitopatógenos (Rêgo *et al.*, 2011).

Apesar das vantagens técnico-comerciais evidentes, a literatura científica frequentemente reitera um paradoxo no mercado pimenteiro: a acentuada escassez de cultivares híbridas comercialmente disponíveis, especialmente quando comparada a outras solanáceas de grande relevância, como o tomate e o pimentão (Martinez *et al.*, 2021). Enquanto o mercado de pimentões é amplamente dominado por híbridos F1 de alto desempenho, o segmento de pimentas ainda apresenta forte dependência de variedades de polinização aberta ou sementes salvas pelos produtores, o que limita o teto produtivo da cultura e a padronização do produto final no mercado consumidor.

Essa lacuna no mercado decorre de barreiras biológicas e econômicas associadas à produção de sementes em escala comercial. Conforme apontam Rego *et al.* (2011), a obtenção de sementes híbridas em *Capsicum* exige intensa mão de obra para a polinização manual (emasculação e cruzamento), elevando significativamente o custo de produção do insumo. Adicionalmente, a identificação de linhagens genitoras com boas características demanda anos de retrocruzamentos e avaliações rigorosas em diferentes ambientes.

Nesse cenário, pesquisas voltadas à avaliação de novos híbridos tornam-se fundamentais para mitigar a escassez do mercado e oferecer novas opções aos produtores. Um avanço significativo nesse campo foi registrado por Martinez *et al.* (2021), que produziu e avaliou o desempenho agrônomo de híbridos intraespecíficos de *Capsicum chinense*. A autora demonstrou a viabilidade técnica de obtenção de combinações híbridas superiores dentro dessa espécie - que abriga variedades de grande valor comercial e cultural, como a pimenta biquinho e a habanero, evidenciando ganhos expressivos em vigor vegetativo, adaptabilidade e rendimento de frutos.

Trabalhos como o de Martinez *et al.* (2021), ratificam que o potencial genético do gênero *Capsicum* ainda é subexplorado no Brasil e reforçam a necessidade de investimentos contínuos em programas de melhoramento genético público e privado. A transição do mercado pimenteiro para uma base tecnológica apoiada em híbridos é descrita como um passo decisivo para profissionalizar a cadeia produtiva e atender à crescente demanda agroindustrial por matéria-prima padronizada.

3.3 AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS EM *Capsicum* spp.

A caracterização de linhagens e cultivares de pimentas do gênero *Capsicum* por meio de variáveis agronômicas e físico-químicas é uma etapa fundamental em programas de melhoramento genético. Essa abordagem permite identificar materiais genéticos superiores, estimar a variabilidade disponível e selecionar genótipos que atendam tanto às exigências do produtor rural quanto aos padrões de qualidade demandados pela agroindústria (Rêgo *et al.*, 2011).

3.3.1 Parâmetros Agronômicos e de Rendimento

As características agronômicas estão diretamente relacionadas ao potencial produtivo da cultura e à arquitetura da planta. Entre as variáveis quantitativas mais relevantes, destacam-se:

- **Altura da primeira bifurcação:** A altura da primeira bifurcação é uma variável morfoagronômica que mede a distância do solo até o ponto de divisão da haste principal. Esse parâmetro está diretamente relacionado à arquitetura da planta e é crucial para o manejo fitotécnico. Enquanto para os pimentões plantas com maior altura de bifurcação são preferidas por manterem os frutos distantes do solo — reduzindo o contato com patógenos telúricos e facilitando a colheita (Bento *et al.*, 2007) —, para as pimentas, essa característica está ligada à precocidade. Como as pimenteiras possuem hábito de crescimento dicotômico e produzem flores nos vértices das hastes, uma menor altura da primeira bifurcação indica o início precoce do período reprodutivo.
- **Produção e Produtividade:** A produção refere-se à massa total ou ao número de frutos obtidos por planta individualizada (g/planta), enquanto a produtividade expande essa métrica para a área plantada, extrapolando os dados para toneladas por hectare (t/ha). Por sofrerem forte influência do ambiente e do manejo hídrico e nutricional, a otimização de ambos os parâmetros é o objetivo primário de programas de melhoramento que visam garantir a viabilidade econômica do cultivo (Rêgo *et al.*, 2011).
- **Morfometria do fruto:** Compreende as medições de comprimento, diâmetro e espessura do pericarpo (polpa) dos frutos. A morfometria define a classificação comercial da pimenta e seu nicho de mercado (como o tipo Dedo-de-Moça, biquinho ou habanero). Frutos com maior espessura de pericarpo são altamente valorizados pela

indústria, pois apresentam maior rendimento de massa após o processamento e maior resistência a danos mecânicos durante as etapas de pós-colheita (Bento *et al.*, 2007).

3.3.2 Parâmetros Físico-Químicos e de Qualidade

A caracterização físico-química visa determinar o valor nutricional, o potencial antioxidante e os atributos sensoriais dos frutos, os quais ditam a aceitação do produto no mercado de mesa e industrial. Os principais parâmetros avaliados incluem:

- Cor instrumental: A cor é o principal atributo visual responsável pela aceitação inicial do produto pelo consumidor. Sua avaliação instrumental é realizada por meio de colorímetros que operam no sistema CIELAB (L^* , a^* , b^*), onde L^* indica a luminosidade, a^* a transição entre o verde (-) e o vermelho (+), e b^* a transição entre o azul (-) e o amarelo (+). Em *Capsicum*, esses índices quantificam de forma reprodutível o estágio exato de maturação e a estabilidade pigmentar em molhos e desidratados (Rêgo *et al.*, 2011).
- Textura dos Frutos e Análise Instrumental: A textura dos frutos é um atributo físico de qualidade diretamente ligado à integridade celular, ao turgor dos tecidos e à composição da parede celular, exercendo papel crucial na aceitação comercial e na vida útil pós-colheita (Luengo *et al.* 2007). A avaliação precisa e objetiva dessa propriedade é conduzida via instrumentação mecânica, utilizando um texturômetro universal de bancada. Esse equipamento simula forças de compressão, corte e penetração por meio do acoplamento de diferentes sondas (probes), sendo rotineiramente dividido em dois parâmetros principais (Rinaldi *et al.*, 2008):
 - Firmeza: Determinada pela força máxima necessária para perfurar o fruto intacto, refletindo a rigidez dos tecidos epidérmicos e a resistência à penetração (Pilon *et al.*, 2022).
 - Força de cisalhamento: Mensurada com o auxílio de sondas de lâmina (como a faca Warner-Bratzler), quantifica a força requerida para cortar o pericarpo do fruto, correlacionando-se diretamente com a resistência fibrosa e a espessura dos tecidos (Lannes *et al.*, 2007).
 - Análise do Perfil de Textura (TPA): Envolve um duplo ciclo de compressão que mimetiza a mastigação humana, extraindo parâmetros reológicos complexos como elasticidade, coesividade, mastigabilidade e gomosidade. Essas variáveis são indispensáveis para prever o comportamento do fruto no transporte a granel e sua adequação ao processamento industrial em conservas (Santos *et al.*, 2019).

- Compostos fenólicos totais: São metabólitos secundários sintetizados pelas plantas como mecanismo de defesa contra estresses bióticos e abióticos. Nos frutos de *Capsicum*, os fenóis totais exercem forte ação antioxidante benéfica à saúde humana, neutralizando radicais livres. Sua quantificação (frequentemente pelo método de Folin-Ciocalteu) agrega valor funcional e nutricional à cultivar (Rêgo *et al.*, 2011).
- Carotenóides totais: Pigmentos lipossolúveis responsáveis pelas colorações amarela, alaranjada e vermelha características das pimentas maduras. Além do papel estético e comercial na cor final de pós e extratos, os carotenóides atuam como precursores da vitamina A e exibem propriedades antioxidantes essenciais para a estabilidade oxidativa do produto processado (Rêgo *et al.*, 2011).
- Potencial Hidrogeniônico (pH): Parâmetro físico-químico que indica o grau de acidez, realizada por meio de uma escala numérica que varia de 0 a 14, a qual quantifica a concentração de íons de hidrogênio (H⁺) em uma solução real do suco ou polpa. Na agroindústria pimenteira, o monitoramento do pH é o principal pilar de segurança microbiológica. Valores de pH naturalmente inferiores a 4,5 dispensam tratamentos térmicos excessivamente drásticos (autoclavagem) no preparo de conservas, uma vez que esse ambiente ácido impede a germinação de esporos de *Clostridium botulinum*, por exemplo (Santos *et al.*, 2019).
- Sólidos solúveis totais (SST): Expressos em graus Brix (°Brix), quantificam a concentração de substâncias dissolvidas na polpa, constituídas majoritariamente por açúcares livres. Elevados teores de SST denotam um fruto em estágio ideal de maturação e são altamente desejáveis para a indústria de molhos e desidratados, pois reduzem o tempo de evaporação e otimizam o rendimento industrial (Maluf, 2001).
- Acidez titulável (AT): Refere-se à determinação volumétrica da concentração total de ácidos orgânicos livres (majoritariamente o ácido cítrico em pimentas). O balanço harmônico entre os teores de SST e a AT, expresso pela relação SST/AT (ratio), define o perfil de sabor e a palatabilidade do fruto, balizando os critérios de aceitação sensorial tanto para o consumo in natura quanto para formulações industriais de molhos geleias (Santos, 2019).

4 METODOLOGIA

4.1 INSTALAÇÃO DA CULTURA

O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de São Carlos, *campus* de Araras (SP). A semeadura dos híbridos foi realizada em 25/03/2025 em bandejas de plástico com 128 células preenchidas com turfa de *Sphagnum* enriquecida com vermiculita. A Figura 1 mostra as plantas poucos dias após emergirem (à esquerda) e em ponto de transplante, com torrão formado (à direita).

Figura 1- Plantas recém-emergidas (à esquerda) e mudas em ponto de transplante (à direita).



Fonte: Autoria própria (2025)

Cerca de 42 dias após a semeadura, no dia 06/05/2025 as mudas de pimenta foram transplantadas para vasos de 11 litros com fibra de coco incorporados com fertilizante Yoorin® (5g por vaso) em ambiente protegido e munido de sistema de fertirrigação localizada (gotejamento) para a condução da cultura, segundo o recomendado por Filgueira (2000). Os vasos foram dispostos em fileiras duplas de cultivo, onde o espaçamento foi de 0,6m por 0,4 m entre vasos, e de 1,2 m entre fileiras. A Figura 2 mostra a evolução do pimental aos 14, 21 e 35 dias após o transplante (DAT).

Figura 2- Plantas estabelecidas, 14 dias após o transplante (DAT); primórdios florais observados, aos 21 DAT e; arquitetura do híbrido F1 206 aos 35 DAT, respectivamente



Fonte: Autoria própria (2025)

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em 11 híbridos experimentais (descritos com suas respectivas linhagens parentais na Tabela 1) e na cultivar Dedo-de-Moça, utilizada como testemunha. Cada parcela foi composta por quatro plantas, sendo as duas plantas centrais consideradas como parcela útil para fins de avaliação.

Tabela 1- Relação da formação de híbridos e materiais parentais de pimentas da espécie *Capsicum baccatum*.

Híbrido	Progenitor Masculino	Progenitor Feminino
F1 200	10327	10328
F1 201	10327	10329
F1 202	10327	10330
F1 203	10328	10331
F1 204	10354	10328
F1 205	10357	10328
F1 206	10354	10329
F1 207	10331	10330
F1 208	10357	10330
F1 209	10331	10357
F1 210	10357	10354

Os frutos foram colhidos no estágio de maturação completa, caracterizado por 100% da superfície vermelha. Para mitigar a carga de frutos na planta — fator que inibe o surgimento de novas estruturas reprodutivas —, realizaram-se quatro colheitas escalonadas, com intervalos regulares de duas a três semanas entre cada operação, com início em 29/09/2025.

4.3 AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE PIMENTA *C. baccatum*

A avaliação dos genótipos de *Capsicum* procedeu-se através de descritores quantitativos e qualitativos.

4.3.1 Caracteres Morfoagronômicos

Realizou-se um total de quatro colheitas ao longo do período experimental. Para a determinação dos parâmetros de produção e produtividade, considerou-se a média das plantas obtida na totalidade das colheitas. Por sua vez, as avaliações de morfometria dos frutos foram realizadas em uma amostragem de cinco frutos por parcela útil (provenientes das plantas centrais), totalizando 80 frutos amostrados para cada linhagem híbrida e para a cultivar testemunha Dedo-de-Moça. As variáveis avaliadas foram adaptadas a partir dos descritores oficiais para o gênero *Capsicum* propostos pelo IPGRI (1995), conforme listado a seguir:

- a) Altura da 1ª bifurcação (BIF): Foi medida com auxílio de uma régua milimetrada, e compreende a altura do substrato até o ponto onde a haste principal da planta se divide pela primeira vez;
- b) Número de frutos (NF): Foram somados o total de frutos colhidos em todas as 4 colheitas realizadas;
- c) Massa média dos frutos (MMFr): Todos os frutos colhidos de cada planta avaliada foram pesados simultaneamente, e a massa foi dividida pelo total de frutos.
- d) Produção (P): Massa dos frutos em kg planta⁻¹, medida em balança Tnstar Tn288 30kg;
- e) Produtividade (Pt): Produção em t ha⁻¹, considerando a disposição de vasos em fileiras duplas de cultivo, onde o espaçamento foi de 0,4 x 0,6 m entre vasos, e de 1,2 m entre fileiras, totalizando o estande aproximado de 27.700 plantas por hectare.
- f) Comprimento dos frutos (CFr) e Diâmetro (DFr): Comprimento do fruto (distância entre o pedúnculo e a ponta) e diâmetro (medido na parte mediana), medidos com auxílio de um paquímetro de precisão 0,05 mm;
- g) Relação comprimento/diâmetro (CFr/DFr);
- h) Espessura da polpa (EP): Foi realizado através da medida de um corte central transversal ao pericarpo com o auxílio de um paquímetro de precisão de 0,05 mm;
- i) Número de lóculos (NL): Medida no mesmo corte na porção mediana;
- j) Matéria seca (MS): Foi feita a média da massa de 5 frutos secos em câmara de secagem por 3 dias à 70°C.

4.3.2 Parâmetros físico-químicos

Foram utilizados 3 frutos maduros de cada planta central (na 2ª colheita), totalizando 6 frutos por repetição e 24 por genótipo; seguiram a seguinte sequência de avaliação:

a) Cor instrumental: A avaliação da cor instrumental dos frutos foi realizada em dois pontos equidistantes na região equatorial de seis frutos por repetição, utilizando-se o espectrofotômetro Konica Minolta (modelo Chroma Meter CM-25d). O equipamento foi calibrado e configurado com ângulo do observador de 10° e iluminante padrão D65, obtendo-se a média por parcela. Os resultados de colorimetria foram expressos no sistema CIELCH através das coordenadas: luminosidade (L^*), variando de 0 (preto) a 100 (branco); *chroma* (C^*), que representa a saturação e intensidade da cor; e o ângulo *hue* (h°), que define a tonalidade cromática do fruto (Pilon *et al.*, 2022).

b) Compostos Fenólicos Totais (CFT): O teor de compostos fenólicos totais foi quantificado pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, conforme preconizado por Singleton e Rossi (1965). Amostras de polpa de fruto (3 g) foram trituradas e transferidas para tubos de polipropileno (tipo Falcon, 15 mL) contendo 10 mL de etanol 80% (v/v). O material foi mantido sob refrigeração e ao abrigo da luz por 24 horas para a extração dos compostos. Na sequência, as amostras foram centrifugadas a 5.000 rpm por 15 minutos, e o sobrenadante foi filtrado para balões volumétricos de 25 mL, aferindo-se o volume com etanol 80%. Os extratos foram acondicionados em frascos de vidro âmbar e armazenados em freezer a -20 °C. Para a determinação quantitativa, alíquotas do extrato reagiram com o reagente de Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio, e a leitura da absorbância foi realizada a 765 nm em espectrofotômetro (modelo BEL V-M5). Os valores foram calculados por meio de uma curva padrão de ácido gálico, com os resultados expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico por mililitro de extrato (mg EAG/mL).

c) Para a quantificação dos carotenoides totais, alíquotas de aproximadamente 1 g de polpa de fruto de cada repetição foram homogeneizadas em um extrator tipo *Ultra-Turrax* com 10 mL de acetona P.A. resfriada, pelo período de 1 minuto. O homogeneizado foi filtrado e o resíduo lavado sucessivamente com três porções de 5 mL de acetona P.A. resfriada. O filtrado resultante foi transferido para um funil de separação, onde se adicionou 15 mL de éter de petróleo e 50 mL de água destilada. Após a quebra da emulsão e separação das fases, a fase aquosa inferior (incolor) foi descartada, repetindo-se o processo de lavagem por três vezes para a remoção completa dos resíduos de acetona. A fase orgânica superior foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL, tendo seu volume completado com éter de petróleo. As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro (modelo BEL V-M5) nos

comprimentos de onda de 444 nm, 450 nm e 472 nm para a determinação dos teores de α -caroteno, β -caroteno e licopeno, respectivamente. Os resultados foram calculados e expressos em microgramas por 100 g de massa fresca ($\mu\text{g}/100\text{g}$), seguindo a metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (2001).

d) pH: Para a determinação do pH, alíquotas de 10 g de polpa de pimenta por repetição foram homogeneizadas com 90 mL de água destilada, procedendo-se à filtração do extrato. Na sequência, realizou-se a leitura direta da solução filtrada por meio de um potenciômetro de bancada (pH-metro, modelo pH Plus PH500), conforme os métodos oficiais de análise da AOAC (2005).

e) Sólidos solúveis: A determinação do teor de sólidos solúveis foi realizada por refratometria direta. Para isso, uma alíquota do extrato filtrado (obtido na etapa de determinação do pH) foi depositada no prisma de um refratômetro digital (Hanna Instruments, modelo HI 96801). Os resultados foram obtidos em graus Brix ($^{\circ}\text{Brix}$) e corrigidos matematicamente aplicando-se o fator de diluição da amostra, conforme os métodos oficiais da AOAC (2005).

f) Acidez titulável: A acidez titulável foi determinada por volumetria de neutralização utilizando o mesmo extrato filtrado preparado para a leitura do pH. Alíquotas da solução foram tituladas com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N até o ponto de viragem em pH 8,1, monitorado continuamente por um potenciômetro de bancada (pH-metro). Os resultados foram calculados considerando a equivalência do ácido orgânico predominante e expressos em gramas de ácido cítrico por 100 g de massa fresca (g de ácido cítrico/100 g) (AOAC, 2005).

g) Textura dos Frutos: A textura dos frutos (firmeza) foi determinada por meio de ensaios mecânicos de penetração destrutiva, avaliando-se a força necessária para o rompimento do epicarpo. Foram realizadas duas leituras na região equatorial de cada fruto por repetição, utilizando-se um penetrômetro digital (modelo PTR-300) equipado com uma ponteira de 11 mm de diâmetro. Os resultados brutos foram expressos em Newtons (N), utilizando-se a média das leituras para compor o valor final de cada parcela experimental (Luengo *et al.* 2007).

h) Textura instrumental: As propriedades de textura foram medidas à temperatura ambiente com um analisador de textura TA.XTplus (Stable Micro Systems, Reino Unido). Parâmetros de firmeza da polpa, força de cisalhamento e análise de perfil de textura (TPA) foram estudados nas amostras de pimenta.

- **Firmeza dos frutos:** A firmeza foi determinada por ensaios de penetração em frutos inteiros, sendo expressa pela força máxima em Newtons (N) necessária para romper o pericarpo e a polpa. Utilizou-se uma sonda cilíndrica de ponta chata com 2 mm de diâmetro (P2), operando sob as seguintes condições analíticas: velocidade de pré-teste e de teste de 1 mm s^{-1} , velocidade de pós-teste de 10 mm s^{-1} , distância de penetração de 10 mm e força de disparo (*trigger*) de 25 g.
- **Força de cisalhamento:** A resistência ao corte foi mensurada a partir da força máxima em Newtons (N) necessária para seccionar transversalmente os frutos inteiros. O ensaio foi conduzido utilizando-se uma lâmina do tipo faca (*Knife Blade*), configurada com velocidade de pré-teste e de teste de 1 mm s^{-1} , velocidade de pós-teste de 10 mm s^{-1} , distância de curso de 30 mm e força de disparo de 5 g.
- **Análise de Perfil de Textura (TPA):** Foi realizada para medir a dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade. Os pedaços de pimenta com 15 mm de largura foram comprimidos axialmente em dois ciclos consecutivos a uma velocidade de teste de 1 mm s^{-1} , velocidade pré-teste de 1 mm s^{-1} , velocidade pós-teste de 5 mm s^{-1} , compressão de 15% do comprimento por 5 segundos e força de disparo de 5 g, utilizando um pistão plano (*plunger*) de 50 mm de diâmetro (P50).

Para cada tratamento, os valores reportados representam a média de 12 medições realizadas na região equatorial de frutos inteiros. Especificamente para o ensaio de Análise de Perfil de Textura (TPA), os frutos foram seccionados axialmente em segmentos padronizados com 15 mm de comprimento. Para garantir a uniformidade geométrica das amostras, os cortes foram efetuados com o auxílio de uma lâmina cortante acoplada a um gabarito cilíndrico de fixação.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados quantitativos obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Nos casos em que se detectou efeito significativo para os tratamentos, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro ($\alpha = 0,05$), com o intuito de discriminar o comportamento dos genótipos avaliados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS

Houve diferença estatística entre todos os híbridos e a testemunha (Dedo-de-Moça) avaliados, conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Altura da primeira bifurcação (BIF), número de frutos (NFr), massa média de frutos (MMFr), produção (P) e produtividade (Pt), dos híbridos e cultivar Dedo-de-Moça (*Capsicum baccatum*).

Materiais genéticos	BIF (cm)	NFr	MMFr (g)	P (kg planta⁻¹)	Pt (t ha⁻¹)
Dedo-de-Moça	31,00 c	129,13 a	4,23 c	0,54 c	14,91 c
200	38,84 a	96,88 b	12,98 a	1,26 a	34,94 a
201	40,15 a	96,17 b	12,81 a	1,23 a	34,14 a
202	37,18 b	78,62 c	13,82 a	1,10 a	30,33 a
203	39,23 a	74,87 c	15,30 a	1,15 a	31,69 a
204	23,59 d	110,63 b	11,23 b	1,25 a	34,51 a
205	40,30 a	77,50 c	13,04 a	1,01 b	27,92 b
206	21,59 d	108,75 b	10,52 b	1,14 a	31,59 a
207	40,35 a	78,12 c	12,71 a	0,97 b	26,99 b
208	33,81 b	76,75 c	12,87 a	0,98 b	27,20 b
209	40,81 a	59,63 c	12,30 a	0,76 c	20,92 c
210	28,20 c	103,75 b	9,36 b	0,93 b	25,78 b
CV (%)	8,77	16,11	13,42	16,63	16,63

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

A altura da 1ª bifurcação (BIF) variou entre os genótipos avaliados. Os híbridos F1 204 e F1 206 mostraram comprimento mais curto até a 1ª bifurcação com 23,59 cm e 21,59cm, respectivamente. O híbrido F1 210 e a cultivar Dedo-de-Moça foram semelhantes estatisticamente. Os demais híbridos apresentaram maiores alturas.

A menor altura da primeira bifurcação pode ser uma característica interessante em programas de melhoramento genético de pimenteiras, pois essas plantas tendem a ter uma região de colheita mais baixa, facilitando a colheita. Além disso, plantas com altura de primeira bifurcação maior, são mais suscetíveis a tombamento por ventos e peso dos frutos, causando perdas em produtividade (Carneiro, 2017).

Segundo Bento *et al.* (2007), o conhecimento das variáveis biométricas de pimenteiras e pimentões é indispensável para o correto planejamento dos tratos culturais e manejo da lavoura. Dentre esses parâmetros, a altura de planta atua de forma coordenada com a altura da primeira bifurcação; juntas, essas variáveis definem não apenas o hábito de crescimento, mas também a necessidade de tutoramento, a estimativa de mão de obra e a eficiência na aplicação de defensivos agrícolas. Na Figura 3, observa-se claramente como a variação na altura da primeira bifurcação influenciou de forma direta a arquitetura e a conformação estrutural das pimenteiras aos 70 dias após o transplante (DAT).

Figura 3- Híbridos experimentais: F1 207 (BIF= 40,35cm) (à esquerda) e F1 204 (BIF= 23,59cm) (à direita) aos 70 DAT.



Fonte: Autoria própria (2026)

A cultivar testemunha Dedo-de-Moça exibiu o maior número de frutos por planta (NFr), totalizando 129,13 unidades, contudo, apresentou a menor massa média de fruto (4,23 g). Em contrapartida, todos os híbridos avaliados manifestaram um comportamento inverso nos componentes de rendimento, caracterizado por uma redução no número absoluto de frutos acompanhada por um incremento significativo na massa individual, quando comparados à testemunha (Tabela 2). A massa média dos frutos variou de 4,23 g (Dedo-de-Moça) a 15,3 g (F1 203), evidenciando que os frutos do híbrido F1 203 foram 3,6 vezes mais pesados que os da cultivar tradicional (Tabela 2). Essa compensação fisiológica entre o número e o tamanho do fruto, culminando em estruturas de maior calibre, representa uma marcada vantagem fitotécnica; frutos com maior biomassa otimizam o rendimento operacional da colheita manual e reduzem os custos com mão de obra no campo (Pilon *et al.*, 2022).

Os híbridos F1 200, 201, 202, 203, 204 e 206 produziram mais que o dobro da cultivar Dedo-de-Moça (14,91 t ha⁻¹). A produtividade está diretamente ligada à massa média de frutos e à espessura de polpa dos frutos, visto que a produtividade é medida por peso. Portanto, os materiais com maior produção, também são os com maior massa média de frutos e com maior espessura de polpa. Tais características estão associadas a heterose ou vigor híbrido dos frutos, que é a superioridade dos híbridos com relação a linhagens (Maluf, 2000).

A literatura evidencia que o cultivo de pimenteiras sob ambiente protegido apresenta superioridade agrônômica expressiva se comparado aos sistemas em campo aberto. Essa vantagem técnica fundamenta-se na capacidade das estruturas de proteção em amortecer oscilações climáticas e otimizar o microclima interno. (Rêgo *et al.*, 2011). Em estudo conduzido por Moreira *et al.* (2009), para testar o desempenho de pimenteiras em diferentes

sistemas de cultivo, foi constatado aumento de até 40% na massa média dos frutos e no rendimento por hectare em relação ao cultivo em pleno sol.

Os parâmetros morfométricos e a massa seca dos frutos apresentaram variações significativas ($p < 0,05$) entre os genótipos avaliados, os resultados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3- Comprimento (CFr) e diâmetro (DFr) dos frutos, relação entre comprimento e diâmetro dos frutos (CFr/DFr), número de lóculos (NL), espessura da polpa (EP) e matéria seca (MS) dos frutos de híbridos de pimenta do tipo Dedo-de-Moça (*Capsicum baccatum*).

Materiais genéticos	CFr (mm)	DFr (mm)	CFr/DFr	NL	EP (mm)	MS (g)
Dedo-de-Moça	47,88 d	13,16 d	3,67 d	2,28 d	1,39 c	1,15 b
200	113,46 b	18,89 c	6,02 a	2,80 b	1,86 b	2,70 a
201	119,93 a	19,68 c	6,12 a	2,79 b	1,93 b	2,53 a
202	119,80 a	20,30 b	5,93 a	2,79 b	2,13 a	2,60 a
203	113,04 b	20,85 b	5,45 b	2,98 a	2,11 a	2,70 a
204	85,69 c	21,68 b	3,96 c	2,80 b	2,28 a	3,00 a
205	110,39 b	19,35 c	5,72 b	2,63 c	1,88 b	2,80 a
206	89,11 c	21,76 b	4,09 c	2,63 c	2,23 a	2,70 a
207	119,08 a	18,93 c	6,31 a	2,98 a	2,17 a	3,10 a
208	109,58 b	18,45 c	5,96 a	2,39 d	1,94 b	2,80 a
209	112,83 b	19,43 c	5,82 b	2,51 c	1,93 b	3,00 a
210	86,11 c	25,23 a	3,43 d	3,14 a	1,99 b	2,70 a
CV (%)	4,83	4,75	4,30	5,70	5,03	12,13

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

O comprimento dos frutos (CFr) variou de 119,93 mm (F1 201) a 85,69 mm (F1 204), a cultivar testemunha apresentou média de 47,88 mm, enquanto o diâmetro (DFr) situou-se entre 25,23 mm (F1 210) e 18,45 mm (F1 208) e a cultivar Dedo-de-Moça (testemunha) resultou média de 13,16 mm. Essas dimensões adquirem maior relevância agrônômica quando analisadas por meio da relação comprimento/diâmetro (CFr/DFr), onde o híbrido F1 210 se comportou estatisticamente igual à testemunha, seguidos dos híbridos F1 204 e F1 206, que se aproximaram mais das proporções da tipologia. Valores menores de CFr/DFr, observados no tipo Dedo-de-Moça são preferidas para o consumo *in natura*, mas o formato alongado possui um forte apelo visual nos canais de comercialização. Relações menores, observadas na pimenta biquinho ou habanero (*Capsicum chinense*), delimitam formatos globulares ou campanulados, que atendem nichos de processamento em conservas inteiras (Rêgo *et al.*, 2011).

Quanto aos aspectos estruturais internos, a média de número de lóculos (NL) oscilou entre 3,14 (F1 210) e 2,39 (F1 208), a cultivar testemunha apresentou média 2,28, semelhante estatisticamente ao híbrido F1 208. Conforme discutido por Rêgo *et al.* (2011), o número de

lúculos é uma característica morfológica que relaciona-se diretamente com o tamanho final do fruto e a facilidade de extração de sementes no consumo ou em programas de melhoramento.

O híbrido F1 204 apresentou espessura da polpa (EP) de 2,28 mm, seguido dos híbridos F1 202, 203, 206 e 207. Todos mostraram resultados superiores à cultivar testemunha. Os genótipos que expressaram os maiores valores para essa variável são considerados altamente promissores para a agroindústria de molhos e pastas. De acordo com Bento *et al.* (2007), frutos com pericarpos mais espessos não apenas aumentam o rendimento físico da polpa por tonelada de matéria-prima processada, mas também conferem maior resistência mecânica aos frutos, reduzindo os danos por esmagamento durante as etapas de colheita, transporte e pós-colheita e, conseqüentemente as perdas por descarte.

A massa seca dos frutos de todos os materiais híbridos foi superior à cultivar Dedo-de-Moça (testemunha). Rêgo *et al.* (2011) demonstrou que o conteúdo de matéria seca é um dos índices de qualidade industrial mais críticos. Aliado a bons teores de sólidos solúveis, frutos com menor teor de água requerem menor tempo de concentração térmica nas caldeiras industriais para atingirem o ponto de polpa ou extrato. Esse comportamento melhora a eficiência na economia de energia e operacional na linha de processamento de alimentos, consolidando a seleção desses genótipos como um alvo estratégico para o melhoramento voltado à agroindústria.

Os frutos dos híbridos F1 204 e F1 200 são apresentados na Figura 4. Os materiais genéticos avaliados superaram a cultivar testemunha Dedo-de-Moça quanto à relação comprimento/diâmetro do fruto (CFr/Dfr). Essa diferenciação morfológica ocorreu de forma discreta para o híbrido F1 204 e de maneira substancial para o F1 200.

Figura 4- Frutos dos híbridos F1 204 (à esquerda) e F1 200 (à direita) comparados à cultivar testemunha.



Fonte: Autoria própria (2025)

5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

A avaliação da cor instrumental dos frutos de *Capsicum baccatum*, realizada por meio do colorímetro Konica Minolta, revelou variações significativas ($p < 0,05$) entre os genótipos estudados e a cultivar testemunha (Tabela 4).

Tabela 4- Parâmetros de cor instrumental, luminosidade (L^*), -verde/vermelho+ (a) e -azul/amarelo+ (b), cromaticidade (C) e ângulo hue (h°) de híbridos de pimenta do tipo Dedo-de-Moça (*Capsicum baccatum*).

Materiais genéticos	L^*	a	b	C	h°
Dedo-de-Moça	36,81 b	36,25 c	19,76 b	41,30 b	28,51 b
200	37,64 a	36,55 b	20,40 b	41,87 b	29,09 b
201	38,07 a	36,85 b	21,11 a	42,48 a	29,72 a
202	38,55 a	38,08 a	22,35 a	44,16 a	30,35 a
203	38,75 a	38,43 a	22,32 a	44,46 a	30,11 a
204	37,78 a	35,85 c	20,26 b	41,20 b	29,35 b
205	38,04 a	37,06 b	21,41 a	42,81 a	29,95 a
206	37,05 b	34,76 d	19,31 b	39,79 b	28,90 b
207	36,76 b	35,02 d	19,26 b	39,99 b	28,60 b
208	36,72 b	35,88 c	20,15 b	41,17 b	29,23 b
209	36,92 b	35,75 c	19,64 b	40,81 b	28,67 b
210	36,07 b	34,05 d	18,22 b	38,63 b	28,05 b
CV (%)	2,22	2,90	5,86	3,52	2,98

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

A cor é o atributo físico mais importante para a aceitação comercial pós colheita, servindo como indicador do ponto ideal de colheita e do potencial de estabilidade de pigmentos na agroindústria (Rêgo *et al.*, 2011).

Os valores de luminosidade (L^*) dos híbridos F1 200, 201, 202, 203, 204 e 205 foram superiores à cultivar testemunha e aos outros híbridos. Conforme discutido por Santos *et al.* (2019), o monitoramento do L^* permite quantificar o brilho e a perda dele durante o armazenamento, funcionando como um índice indireto de senescência e desidratação pós-colheita.

A coordenada a^* , que sinaliza a transição cronológica entre as cores verde (valores negativos) e vermelha (valores positivos), apontou que todos os híbridos e a cultivar testemunha apresentam cores vermelhas intensas, os genótipos F1 202 e 203 foram superiores a todos neste parâmetro, e denotam alta qualidade visual para o mercado de mesa e para a produção de páprica e extratos concentrados. Por outro lado, a coordenada b^* , que representa a variação entre o azul (valores negativos) e o amarelo (valores positivos), indicou todos os materiais como amarelos, os híbridos F1 201, 202, 203 e 205 foram superiores, e tem relação com o maior acúmulo de pigmentos como a violaxantina e a beta-criptoxantina (Rêgo *et al.*, 2011).

O ângulo Hue (h°), que define matematicamente a tonalidade real do fruto, e o Croma (C^*), que expressa a saturação ou intensidade dessa cor, consolidaram a interpretação dos dados tridimensionais do sistema CIELAB. Frutos com valores de h° aproximando-se de 20° são vermelhos intensos, foram observados os híbridos F1 200, 204, 206, 207, 208, 209 e 210 e a cultivar Dedo-de-Moça como superiores nesse parâmetro.

Conforme demonstrado experimentalmente por Moreira *et al.* (2009), a estabilidade e a intensidade da cor instrumental são significativamente superiores em frutos cultivados sob sistemas que protegem contra o excesso de radiação ultravioleta direta. Os autores provaram que o estresse luminoso degrada carotenóides na epiderme do fruto, reduzindo os valores de a^* e C^* . Assim, os elevados índices de cromaticidade observados neste estudo sugerem que os materiais selecionados possuem excelente aptidão fitotécnica e potencial para originar produtos processados com alto padrão de fidelidade cromática.

A Figura 5 apresenta as diferentes cores observadas durante a maturação de alguns genótipos híbridos e da cultivar Dedo-de-Moça (testemunha).

Figura 5- Cores observadas durante a maturação das linhagens F1 205, F1 206, e testemunha Dedo – de - moça, respectivamente.



Fonte: Autoria própria (2025)

Os parâmetros de qualidade físico-química e o teor de compostos fenólicos totais (CFT) dos frutos de *Capsicum* spp. variaram significativamente ($p < 0,05$) entre os materiais genéticos (Tabela 5).

Tabela 5- Firmeza, pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), SS/AT e teores de compostos fenólicos totais (CFT) em pimentas *Capsicum baccatum*.

Materiais genéticos	pH	SS (°Brix)	AT (g ác. cítrico.100g ⁻¹)	SS/AT	CFT (mg EAG/100g)
Dedo-de-Moça	5,33 c	8,07 a	0,19 b	28,80 b	126,57 a
200	5,37 c	6,74 b	0,16 c	44,25 b	66,92 c
201	5,36 c	7,15 b	0,13 c	53,66 a	63,58 c
202	5,33 c	8,57 a	0,16 c	54,16 a	60,31 c
203	5,29 d	8,92 a	0,16 c	56,71 a	71,93 b
204	5,15 e	9,01 a	0,20 b	45,45 b	47,39 d
205	5,30 d	6,32 b	0,13 c	47,62 a	66,18 c
206	5,15 e	7,99 a	0,20 b	40,86 b	47,78 d
207	5,56 b	6,76 b	0,12 c	54,60 a	61,85 c
208	5,64 a	6,74 b	0,12 c	58,56 a	65,75 c
209	5,36 c	7,07 b	0,13 c	57,39 a	77,54 b
210	5,26 d	7,99 a	0,24 a	34,74 b	60,22 c
CV (%)	0,99	12,16	16,17	18,83	9,84

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

Os híbridos F1 204 e F1 206 mostraram pH mais baixo que todos os outros genótipos avaliados. Isso pode implicar em redução na quantidade de aditivos para acidificar molhos e conservas, uma vez que o pH assume papel na segurança microbiológica de alimentos processados. Conforme Rosário *et al.* (2021), frutos ou polpas que apresentam pH naturalmente inferior a 4,5 não precisam de tratamentos térmicos drásticos em autoclave durante a industrialização em conservas e molhos, uma vez que o ambiente ácido impede a germinação de esporos da bactéria patogênica *Clostridium botulinum*.

A avaliação isolada do potencial hidrogeniônico (pH) é insuficiente para determinar o perfil de acidez em frutos, tornando indispensável a quantificação concomitante e segregada da acidez titulável (AT). Enquanto o pH mensura exclusivamente a concentração de íons de hidrogênio livres (H⁺) na solução, determinando o limiar de estabilidade microbiológica e reativa da matriz, a acidez titulável quantifica a concentração total de ácidos orgânicos nela contidos, incluindo os ácidos não dissociados (Luengo *et al.* 2007). Em frutos do gênero *Capsicum*, a presença de sistemas-tampão orgânicos complexos faz com que variações acentuadas nos teores de ácidos totais não se reflitam linearmente em alterações de pH (Pilon *et al.*, 2022). Portanto, a separação analítica dessas variáveis é mandatória, visto que o pH dita os parâmetros físico-químicos de processamento industrial, ao passo que a acidez titulável atua diretamente na determinação do balanço de sabor e na qualidade sensorial organoléptica do produto final

Para o índice de Sólidos Solúveis, os híbridos F1 202, 203, 204, 206 e 210 mostraram resultados semelhantes estatisticamente à cultivar testemunha Dedo-de-Moça, enquanto a

Acidez Titulável do F1 210 foi superior a todos os genótipos, os híbridos F1 204 e 206 foram semelhantes à testemunha ($p = 0,05$). O acúmulo de SS, constituído principalmente por glicose e frutose, tende a aumentar linearmente com a maturação do fruto, em contrapartida há a degradação dos ácidos orgânicos utilizados na respiração celular (Rêgo *et al.*, 2011). Elevados teores de SS são altamente desejáveis para a indústria de polpas e desidratados, pois reduzem o tempo de evaporação para a concentração do produto final, elevando o rendimento industrial por tonelada de matéria-prima.

Ratio é a proporção entre doçura e acidez (SS/AT), e as linhagens F1 200, F1 204, F1 206 e F1 210 destacam-se, por serem iguais à cultivar testemunha a 5% de probabilidade. Essa variável expressa o equilíbrio entre os açúcares e os ácidos orgânicos, sendo a principal referência para prever o sabor e a palatabilidade dos frutos. Um *ratio* elevado, observado em todos os outros genótipos, conferem um sabor mais adocicado e suave, característica de alto apelo comercial para o consumo *in natura* e para a formulação de geléias gourmet (Santos *et al.*, 2019).

Nenhum híbrido apresentou concentração de Compostos Fenólicos Totais (CFT) superior à cultivar testemunha Dedo-de-Moça. Os fenólicos são metabólitos secundários amplamente reconhecidos na literatura por sua alta capacidade antioxidante no organismo humano, neutralizando radicais livres e agregando valor funcional à dieta. Como destacado por Rêgo *et al.* (2018), pimentas com alta densidade desses compostos expressam maior estabilidade oxidativa pós-colheita, retardando o escurecimento enzimático e preservando as características sensoriais do produto processado por períodos prolongados. No entanto, observou-se uma associação inversa entre a biomassa dos frutos e o teor de CFT, em que os híbridos de maior tamanho manifestaram os menores teores. Essa resposta é amplamente justificada pelo efeito de diluição fisiológica, decorrente do maior acúmulo de água e fotoassimilados nos frutos de maior calibre, além de uma menor relação superfície-volume; visto que os compostos fenólicos se concentram preferencialmente nos tecidos epidérmicos (casca), frutos menores apresentam uma maior proporção de epicarpo por unidade de massa vegetal (Wahyuni *et al.*, 2011).

Os teores de carotenoides totais quantificados nos frutos revelaram variações altamente significativas ($p < 0,05$) entre os genótipos avaliados e os respectivos estádios de maturação (Tabela 6).

Tabela 6- Teores de Carotenóides em pimentas *Capsicum baccatum*.

Materiais genéticos	Carotenóides ($\mu\text{g.g}^{-1}$)		
	α -caroteno	β -caroteno	Licopeno
Dedo-de-Moça	81,33 c	92,43 c	66,40 c
200	98,31 b	115,06 b	84,10 b
201	89,35 b	104,13 b	75,64 b
202	91,56 b	106,93 b	79,48 b
203	100,33 b	115,99 b	86,12 b
204	57,11 d	65,70 d	47,04 d
205	115,34 a	133,36 a	97,57 a
206	63,47 d	72,87 d	52,32 d
207	115,73 a	133,60 a	97,84 a
208	126,07 a	145,31 a	106,28 a
209	114,26 a	132,61 a	97,10 a
210	65,79 d	75,99 d	54,17 d
CV (%)	12,19	12,02	12,13

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

Os híbridos F1 205, F1 207, F1 208 e F1 209 apresentaram as maiores concentrações de carotenóides totais ($p < 0,05$). Os carotenóides constituem uma das classes de pigmentos mais importantes para o gênero *Capsicum*, sendo os responsáveis diretos pelas colorações amarela, alaranjada e vermelha dos frutos maduros, além de atuarem como compostos bioativos de elevado valor funcional na dieta humana (Rêgo *et al.*, 2011). O perfil desses pigmentos nessas progênies é determinado majoritariamente pelas concentrações de α -caroteno, β -caroteno e licopeno. Enquanto o α e o β -caroteno são amplamente reconhecidos por sua alta atividade pró-vitâmica A, essencial para a saúde humana, o licopeno atua como um potente antioxidante lipofílico que, além de conferir o tom vermelho intenso característico, atua no retardamento da senescência celular do fruto (Rodriguez-Amaya, 2001). Sob a perspectiva agroindustrial, a seleção de híbridos com altos teores desses carotenóides específicos é um alvo estratégico de grande interesse comercial (Rêgo *et al.*, 2011). Frutos ricos nessa matriz de pigmentos apresentam maior estabilidade cromática e resiliência ao desbotamento durante o armazenamento, sendo altamente demandados para a fabricação de páprica em pó, corantes naturais, óleos essenciais e molhos concentrados.

A caracterização em texturômetro TA.XTplus (Stable Micro Systems, UK (Reino Unido)), evidenciou diferença significativa ($p < 0,05$) na força de Perfuração e Cisalhamento (Tabela 7);

Tabela 7- Força de perfuração e de cisalhamento em pimentas *Capsicum baccatum*.

Materiais genéticos	Firmeza (N)	Perfuração (N)	Cisalhamento (N)
Dedo-de-Moça	7,12 a	7,16 a	59,28 b
200	7,08 a	5,73 b	60,56 b
201	6,64 a	5,94 b	56,35 b
202	5,63 b	8,00 a	68,81 a
203	6,02 b	6,80 b	55,65 b
204	4,79 c	6,48 b	61,64 b
205	6,61 a	6,15 b	57,48 b
206	6,51 a	6,87 b	75,38 a
207	7,11 a	7,78 a	78,25 a
208	5,91 b	6,66 b	57,72 b
209	6,38 a	6,64 b	57,34 b
210	6,95 a	6,24 b	64,65 b
CV (%)	11,47	15,71	17,42

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

Os híbridos F1 200, F1 201, F1 205, F1 206, F1 207, F1 209 e F1 210 demonstraram similaridade estatística à variedade comercial quanto à firmeza. Essa propriedade física está intimamente associada à presença de pericarpos mais espessos e à maior integridade das redes de pectina estruturadas na parede celular vegetal. De acordo com Santos *et al.* (2019), a firmeza destaca-se como um dos atributos físicos mais vulneráveis ao avanço do estágio de maturação, ocorrendo um decréscimo natural de seus valores em decorrência da lise enzimática que solubiliza os componentes poliméricos da parede. Desse modo, frutos que sustentam maior firmeza no momento da colheita comercial exibem maior vida útil pós-colheita (shelf-life) e resiliência ao transporte, mitigando as perdas por injúrias mecânicas.

Quanto à força de perfuração — variável representativa da resistência do epicarpo e do turgor do tecido subepidérmico —, constatou-se que apenas os híbridos F1 202 e F1 207 foram semelhantes à testemunha comercial a 5% de significância. Embora os demais híbridos tenham se mostrado inferiores, verificou-se uma associação direta em que os genótipos caracterizados por pericarpos espessos demandaram maior força para a ruptura celular inicial. Conforme discutido por Bento *et al.* (2007), a resistência à perfuração correlaciona-se inversamente com a maturação dos tecidos. Frutos que mantêm elevados valores de força de perfuração apresentam menor suscetibilidade a injúrias por compressão e impacto, reduzindo os índices de descarte e prolongando o período de comercialização.

Os ensaios de força de cisalhamento, realizados com a lâmina de corte (sonda *Knife Blade*), registram os híbridos F1 202, 206 e 207 com forças máximas de corte superiores, entre 68,81 N e 78,25 N. Esse parâmetro mede a resistência mecânica transversal do

pericarpo ao corte, mimetizando o fatiamento industrial ou a primeira mordida do consumidor. Os maiores valores de força de cisalhamento foram observados em genótipos com elevados valores de espessura de polpa. Segundo Santos *et al.* (2019), teores elevados de componentes fibrosos nas paredes celulares aumentam a força necessária para o cisalhamento do tecido, característica desejável para pimentas destinadas ao processamento na forma de rodela em conservas, pois garante que o fruto mantenha sua integridade geométrica sem colapsar durante o tratamento de pasteurização.

A Análise de Perfil de Textura, realizada por meio do duplo ciclo de compressão no texturômetro digital TA.XTplus, evidenciou variações significativas ($p < 0,05$) para os parâmetros de dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade (Tabela 8).

Tabela 8- TPA: *Texture Profile Analysis* em pimentas *Capsicum baccatum*.

Materiais genéticos	Dureza (N)	Elasticidade (%)	Coesividade (%)	Mastigabilidade (N)
Dedo-de-Moça	20,95 e	87,25 a	64,58 c	12,73 d
200	30,42 d	88,33 a	71,67 a	18,97 c
201	25,93 d	91,58 a	71,75 a	16,99 d
202	43,99 b	89,42 a	67,67 b	26,40 b
203	33,22 c	86,58 b	67,25 b	19,38 c
204	46,41 b	84,08 b	67,67 b	26,47 b
205	39,87 c	84,33 b	67,42 b	22,63 c
206	55,58 a	84,91 b	68,17 b	28,32 b
207	53,50 a	84,25 b	67,67 b	30,46 a
208	28,46 d	88,16 a	67,25 b	14,53 d
209	59,27 a	84,50 b	68,17 b	34,00 a
210	60,52 a	86,25 b	65,25 c	33,99 a
CV (%)	19,88	6,70	4,44	22,59

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

A dureza, percebida no primeiro ciclo de compressão do fruto, foi superior para os híbridos F1 206, 207, 209 e 210, também registrados como genótipos com maiores valores de espessura de polpa. Segundo Bento *et al.* (2007), a dureza estrutural do pericarpo é fortemente influenciada pela densidade celular e pelo teor de pectina e celulose presentes na parede vegetal. Frutos com altos índices de dureza apresentam maior resistência ao esmagamento, importante para suportar o empilhamento em caixas e reduzir perdas pós-colheita.

A elasticidade representa a capacidade do tecido de recuperar sua altura original após a primeira compressão, os híbridos F1 200, F1 201, F1 202 e F1 208 foram superiores, e destacam-se por serem semelhantes à testemunha a 5% de probabilidade. A coesividade, por sua vez, mede quanto a estrutura interna pode ser comprimida antes de romper

irreversivelmente, os híbridos F1 200 e 201 foram superiores nesse parâmetro. O declínio simultâneo da elasticidade e da coesividade foram observados por Santos *et al.* (2019), decorrente da degradação enzimática da lamela média celular ao longo do tempo, que rompe as ligações internas da pectina insolúvel e reduz a capacidade de retração elástica do tecido, tornando o fruto flácido e propenso à ruptura.

A mastigabilidade é o parâmetro mais próximo da realidade sensorial, é o produto de Dureza, Coesividade e Elasticidade. Sendo um indicador direto do esforço mecânico necessário para desestruturar o alimento na boca até o ponto de engoli-lo. Os híbridos F1 207, 209 e 210 mantiveram maiores valores de mastigabilidade, seguidos dos genótipos F1 202, 204 e 206. Segundo Rosário *et al.* (2021), frutos que reúnem altos índices de mastigabilidade e dureza instrumental sustentam melhor a sua integridade textural após passarem pelo processo de pasteurização, evitando que o produto fique amolecido.

Desse modo, a seleção de genótipos híbridos com perfis equilibrados de TPA em texturômetro consolida-se como uma estratégia eficaz para atender tanto às exigências da indústria quanto à preferência de mercado. No contexto de frutos do gênero *Capsicum*, esse perfil de textura ideal é definido quimicamente pela associação de elevados índices de dureza e mastigabilidade — parâmetros diretamente vinculados à percepção sensorial de crocância e à integridade estrutural do pericarpo —, combinados a valores moderados de elasticidade e coesividade, os quais impedem a flacidez ou o aspecto borrachudo do tecido vegetal (Santos *et al.*, 2019). A obtenção de linhagens que sustentem esse arranjo reológico mecânico otimiza o rendimento industrial durante o processamento tecnológico e assegura o padrão de qualidade física demandado para o mercado de mesa in natura (Pilon *et al.*, 2022).

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos na avaliação agronômica e físico-química dos materiais avaliados, conclui-se que o desenvolvimento de híbridos intraespecíficos em *Capsicum baccatum* constitui uma estratégia promissora, tecnicamente viável e economicamente vantajosa para o incremento do teto produtivo da cultura no país, justificando os investimentos no setor de sementes. Sob a perspectiva de campo, os híbridos F1 204 e F1 206 demonstraram expressiva superioridade em todas as características agronômicas e nos componentes de rendimento quando comparados à cultivar tradicional Dedo-de-Moça, exibindo excelente vigor vegetativo, uniformidade e ganhos reais em biomassa por área.

No que tange aos atributos funcionais, os híbridos F1 204 e F1 206 apresentaram teores inferiores de compostos fenólicos totais e de carotenóides em relação à cultivar testemunha. Essa divergência analítica indica a ocorrência de um efeito de dominância gênica que desfavorece a síntese plena desses metabólitos secundários nas progênies. Dessa forma, os híbridos F1 204 e F1 206 são altamente recomendados para o mercado de mesa fresco devido ao superior rendimento agronômico e padrão visual, enquanto a cultivar Dedo-de-Moça mantém sua relevância para segmentos que demandam forte apelo antioxidante. Recomenda-se a continuidade do programa de melhoramento com cruzamentos direcionados a incorporar genes de acúmulo de pigmentos às linhagens de alta produtividade

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRISTAR DO BRASIL. Semente Pimenta Híbrida Eagle F1 (TPC 35346): TopSeed Premium. Santo Antônio de Posse, [2026]. Disponível em: <https://agristar.com.br/topseed-premium/pimenta-hibrida/eagle-f1/4811/>. Acesso em: 7 jul. 2026.

ALBRECHT, E.; ZHANG, D.; MAYS, A. D.; SAFTNER, R. A.; STOMMEL, J. R. Genetic diversity in *Capsicum baccatum* is significantly influenced by its ecogeographical distribution. **BMC Genetics**, v. 13, n. 68, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3496591/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

BARCHENGER, D. W.; LAMOUR, K. H.; BOSLAND, P. W. Challenges and Strategies for Breeding Resistance in *Capsicum annuum* to the Multifarious Pathogen, *Phytophthora capsici*. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 628, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.00628. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5962783/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

BENTO, C. S.; SUDRE, C. P.; RODRIGUES, R.; RIVA, E. M.; PEREIRA, M. G. Descritores qualitativos e multicategóricos na estimativa da variabilidade fenotípica entre acessos de pimentas. **Scientia Agraria**, v.8, n.2, p.149-156. 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/viewFile/8379/6661>. Acesso em 10 jun. 2026.

BULLE, M.; RAHMAN, Md M.; ISLAM M. R.; ABBAGANI, S. Strategies to develop climate-resilient chili peppers: transcription factor optimization through genome editing. **Planta**, v. 262, n. 2, p. 30, 2025. DOI: 10.1007/s00425-025-04747-5. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12174194/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

CARDOSO, L. B.; CARDOSO, R. B.; NASCIMENTO, M. F. do; RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M. Characterization of biochemical compounds and antioxidant activity of “dedo-de-moça” chili pepper accessions. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 436-443, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/kF96r8zTdZg9dc4Sz8zznKG/?lang=en>. Acesso em: 7 jul. 2026.

CARVALHO, S. I. C. de.; BIANCHETTI, L. de B.; RIBEIRO, C. S. da C.; LOPES, C. A. Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil. Brasília: **Embrapa Hortalças**, 2006. Disponível em: <https://www.pepperfriends.com/documenti/00152.pdf>. Acesso em 17 mar. 2026.

CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Variedades de Pimenta na CEAGESP. **São Paulo: Seção de Economia e Desenvolvimento**, [2018]. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br>. Acesso em: 31 mai. 2026.

GARCÍA, C. C.; BARFUSS, M. H. J.; SEHR, E. M.; BARBOZA, G. E.; SAMUEL, R.; MOSCONE, E. A.; EHRENDORFER, F. Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). **Annals of Botany**, v. 118, n. 1, p. 35–51, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27245634/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de Pimenta no Brasil. **IBGE**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimenta/br>. Acesso em: 31 mai. 2026.

ILIE, M. A.; CARUNTU, C.; TAMPA, M.; GEORGESCU, S.; MATEI, C.; NEGREI, C.; ION, R.; CONSTANTIN, C.; NEAGU, M.; BODA, D. Capsaicin: Physicochemical properties, cutaneous reactions and potential applications in painful and inflammatory conditions. **Experimental and Therapeutic Medicine**, Bucureste, v. 18, n. 2, p. 916-925, 2019. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6639979/>. Acesso em 17 mar. 2026.

IPGRI. **Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp.)**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1995. 110 p. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/items/ef0f3bcd-4878-4025-90ed-098a4c1b2918>. Acesso em: 07 jul. 2026.

LANNES, S. D.; FINGER, F.; SCHUELTER, A. R.; CASALI, V. W. D. Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 3, p. 266–270, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222273582_Growth_and_quality_of_Brazilian_accessions_of_Capsicum_chinense_fruits. Acesso em: 15 abr. 2026.

LOZADA, D. N.; BOSLAND, P. W.; BARCHENGER, D. W.; HAGHSHENAS-JARYANI, M. SANOGO, S.; WALKER, S. Chile Pepper (*Capsicum*) Breeding and Improvement in the “Multi-Omics” Era. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 879182, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.879182. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9113053/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

LUENGO, R. de F. A.; HENZ, G. P.; MORETTI, C. L.; CALBO, A. G. Pós-colheita de hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: **Embrapa Hortaliças**, 2007. 100 p. (Coleção saber, 6). Disponível em: <http://infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/86808/1/00081040.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2026.

MADAIL, J. C. M.; SCHNEID, L. F.; SIMA, L. F.; WENDT, A. N.. Economia da produção de pimenta vermelha no município de Turucu-RS. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2005. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 19). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/744954/1/boletim19.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2026.

MALUF, W. R. Heterose e emprego de híbridos F1 em hortaliças. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES, M. C. (ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. cap. 13, p. 327-356, 2001. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/920338>. Acesso em: 11 jun. 2026.

MARTINS, I. M.; RODRIGUES, R.; MEDEIROS, A. M.; PIMENTA, S.; MORAES, J. Produção de Sementes Híbridas de *Capsicum baccatum* var. *pendulum* em Condições Controladas. **Biology**. Jun. 2013. Corpus ID: 86346134. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86346134>. Acesso em 17 mar. 2026.

MARTINEZ, A. L. A.; ARAÚJO, J. S. P.; RAGASSI, C. F.; BUSO, G. S. C.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Variability among *Capsicum baccatum* accessions from Goiás, Brazil, assessed by morphological traits and molecular markers. **Genetics and Molecular**

Research, v. 16, n. 3, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28692116/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

MARTINEZ, M.; SANTOS, C. P. dos; VERRUMA-BERNARDI, M. R.; CARRILHO, E. N. V. M.; SILVA, P. P. M. da; SPOTO, M. H. F.; CIARROCCHI, I. R.; SALA, F. C. Agronomic, physical–chemical and sensory evaluation of pepper hybrids (*Capsicum chinense* Jacquin). **Scientia Horticulturae**, v. 277, p. 1-8, 2021. Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109819>. Acesso em: 07 jul. 2026.

MEDEIROS, A. M.; RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L. S. A.; SUDRÉ, C. P.; OLIVEIRA, H. S. de; SANTOS, M. H. dos. Gene effect and heterosis in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6. Jun., 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/5xjHjyh5GPjcgwdLMCPcCBf/?lang=en>. Acesso em: 15 abr. 2026.

MONTEIRO, E. R.; BASTOS, E. M.; LOPES, A. C. de A.; GOMES, R. L. F.; NUNES, J. A. R. Diversidade genética entre acessos de espécies cultivadas de pimentas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, fev. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/rKqRHQ6fZM9wygfmSCryLNr/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

MOREIRA, S. O.; RODRIGUES, R.; ARAÚJO, M. L. de; SUDRÉ, C. P.; RIVA-SOUZA, E. M.. Desempenho agrônomo de linhas endogâmicas recombinadas de pimenta em dois sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1387-1393, ago. 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000085>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/TXWpDvPh36vTqHPVhdjhb7R/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2026.

NAVES, E. R.; SCOSSA, F.; ARAÚJO, W. L.; NUNES-NESI, A.; FERNIE, A. R.; ZSOGON, A. Heterosis and reciprocal effects for agronomic and fruit traits in *Capsicum* pepper hybrids. **Scientia Horticulturae**, v. 295, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423821009286>. Acesso em: 15 abr. 2026.

OLIVEIRA, H. S. de; RODRIGUES, R.; BENTO, C. dos S.; MEDEIROS, A. M.; SUDRÉ, C. P.; COUTO, M. F.; VIANA, A. P. Towards a new strategy to breed an autogamous plant: A case of study in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. **Scientia Horticulturae**, v. 192, p. 279–286, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815300418>. Acesso em: 16 dez. 2025.

ORDAZ, L. P.; FERNÁNDEZ, Y. J. Propiedades farmacológicas del chile (*Capsicum*) y sus beneficios en la salud humana: Una revisión bibliográfica. **Latam**, v. 4, n. 2, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372614940_Propiedades_farmacologicas_del_chile_Capsicum_y_sus_beneficios_en_la_salud_humana_Una_revision_bibliografica Pharmacological properties of chili *Capsicum* and its benefits on human health_A bibliography. Acesso em: 11 jun. 2026.

PICKERSGILL, B. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. **Euphytica**, v. 96, n. 1, p. 129–133, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1002913228101>. Acesso em: 15 abr. 2026.

PICKERSGILL, B. Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 925–940, 2007. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2759216/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

PILON, L.; SILVA, G. N. da; PEREIRA, E. P.; RIBEIRO, V. P. do R. Qualidade pós-colheita de diferentes genótipos de pimenta-de-cheiro. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2022. 26 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Hortaliças, n. 258). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1147721/1/BPD-258-Final-1.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2026.

PINTO, C. M. F.; RIBEIRO, W. S.; DONZELES, S. M. L.; SOUZA, M. R. M. de S.; SOUZA, G. A. de. Cultivo de Pimenta *Capsicum*. **EPAMIG Sudeste** – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2023. Disponível em: <https://livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2023/02/Pimenta-capsicum.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2026.

RANI, M.; JINDAL, S. K.; MEENA, O. P. Exploitation of Heterosis among Phenotypically Diverse *Capsicum* Parents for Important Fruit Traits. **Agriculture, Agribusiness and Biotechnology**. Braz. arch. biol. technol. 64. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/LbRmWMRCn8gNgR9TSkXFS3r/?lang=en#:~:text=The%20heterosis%2C%20i.e.%2C%20hybrid,owing%20to%20chance%20self%2Dpollination..> Acesso em 17 mar. 2026.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Ed.). *Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil*. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2000. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00065390.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2026.

RÊGO, E. R. do; RÊGO, M. M. do; MATOS, I. W. F. de; BARBOSA, L. A. Caracterização morfológica e química de frutos de acessos do gênero *Capsicum* spp. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 364-371, set. 2011. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/nwYgTZLRTmqxvS9RRsZrpbw/>. Acesso em: 10 jun. 2026.

RIBEIRO, C. S. da C. Pimentas *Capsicum* / editores técnicos, Cláudia Silva da Costa Ribeiro, Carlos Alberto Lopes, Sabrina Isabel Costa de Carvalho ... [et al.]. Brasília: **Embrapa Hortaliças**, 2008. 200p. ISBN 978-85-86413-12-4. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/781198/1/Pimentas-Capsicum.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2026.

RIBEIRO, C. S. da C.; CARVALHO, S. I. C. de; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; BIANCHETTI, L. de B.; LOPES, C. A.; LIMA, M. F.; REIS, A.; DUVAL, A. M. Q.; PINHERO, J. B.; NAGATA, A. K. I.; RAGASSI, C. F. Cultivares de pimentas das espécies *Capsicum* spp. desenvolvidas pela Embrapa Hortaliças. **Circular Técnica 172**. Brasília, DF. Outubro, 2020. ISSN 1415-3033. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1129544/1/CT-172-25-jan-2021.pdf>. Acesso em 11 jun. 2026.

RIBEIRO, C. S. C.; CARVALHO, S. I. C.; LANA, M. M. Pimenta Dedo-de-Moça. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2021. 14 p. (Coleção Hortalica Não é Só Salada, n. 4). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135268/1/CCCC-56-Pimenta-Dedo-de-Moça-2021.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2026.

RINALDI, M. M.; SANDRI, D.; RIBEIRO, M. de O.; AMARAL, A. G. do. Características físico-químicas e nutricionais de pimentão produzido em campo e hidroponia. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 558-563, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cta/a/L3yMQvXvNZdCNjKGqPswrWp/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 7 jul. 2026.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington, D. C.: **International Life Sciences Institute Press**, 2001. 64 p. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Mark_Bruno/post/What_wavelength_should_I_use_to_quantify_carotenoids/attachment/59d63352c49f478072ea21b8/AS:273642296938498@1442252815121/download/carotenoid+Analysis+Guide.pdf. Acesso em: 7 jul. 2026.

ROSÁRIO, V. N. M.; CHAVES, R. P. F.; PIRES, I. V.; SANTOS FILHO, A. F.; URIA TORO, M. J. *Capsicum annuum* e *Capsicum chinense*: características físicas, físico-químicas, bioativas e atividade antioxidante. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 50414-50432, maio 2021. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/30060/23672/77044>. Acesso em: 11 jun. 2026.

SANTOS, A. S. dos; HUBINGER, S. Z.; FERREIRA, M. D.; OLIVEIRA, B. C. de; MEDEIROS S. D. S. de; FORTI, V. A.; SALA, F. C.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Avaliação físico-química e sensorial de cultivares de pimenta biquinho produzidos em sistema orgânico. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA**, 2019, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019. p. 743-747. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1116640/1/PAVALIACAOFISICOQUIMICAESENSORIALDECULTIVARESDEPIMENTA.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2026.

SELVAKUMAR, R.; MANJUNATHAGOWDA, D. C.; SINGH, P. K. *Capsicum*: Breeding Prospects and Perspectives for Higher Productivity. In: YLLANO, O. B. (Ed.). **Capsicum - Current Trends and Perspectives**. [S.l.]: IntechOpen, 2022. Disponível em:

<https://www.intechopen.com/chapters/82153>. Acesso em: 16 dez. 2025.f

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. Disponível em:

<https://www.ajevonline.org/content/16/3/144>. Acesso em: 7 jul. 2026.

WAHYUNI, Y.; BALLIESTER, A.; SUDARMATMADI, S.; BINO, R.; BOVY, A. Metabolite biodiversity in International Chili Pepper (*Capsicum* spp.) collections. **Phytochemistry**, v. 72 (11-12) n. 13 p. 58-70, 2011. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.03.016>. Acesso em: 7 jul. 2026.

ZHANG, W.; ZHANG, Y.; FAN, J.; FENG, Z.; SONG, X. Pharmacological activity of capsaicin: Mechanisms and controversies (Review). **Molecular Medicine Reports**, [S. l.], v. 29, n. 3, mar. 2024. DOI: 10.3892/mmr.2024.13162. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38240083/>. Acesso em: 16 dez. 2025.