

# ARQUITETURA DA PLANTA E ACÚMULO DE FITOMASSA DE CULTIVARES DE PIMENTEIRA (CAPSICUM SPP.)

PLANT ARCHITECTURE AND BIOMASS ACCUMULATION OF PEPPER  
CULTIVARS (CAPSICUM SPP.)

Ciências Agrárias • 21/04/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/776779835](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/776779835)

Luan Victor Araújo de Moraes<sup>1</sup>

Luís Eduardo Carvalho de Souza<sup>2</sup>

João Victor Lima de Araújo<sup>3</sup>

Anailton Campos Maciel Junior<sup>4</sup>

Rosely Ferreira de Oliveira<sup>5</sup>

Regina Lúcia Félix Ferreira<sup>6</sup>

## RESUMO

O estudo da arquitetura vegetal e da eficiência na alocação de biomassa são fundamentais para a seleção de genótipos de pimenta (*Capsicum* spp.) com aptidão para o processamento tecnológico. Objetivou-se avaliar a arquitetura da planta e o acúmulo de fitomassa de oito cultivares de pimenta para fins industriais nas condições edafoclimáticas de Rio Branco, Acre. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, avaliando-se as variáveis: altura (H), diâmetro do caule (D), número de folhas (NF), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, e massa seca da raiz (MSR). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias. Posteriormente foi realizada análise de trilha e ferramentas multivariadas (PCA, Agrupamento de Ward e Biogramas). Os resultados mostram divergência fenotípica expressiva, e correlação entre crescimento radial e vertical ( $r = 0,80$ ). A análise de trilha identificou o número de folhas como o componente de maior efeito direto positivo sobre a biomassa aérea, enquanto o diâmetro do caule atuou como o alicerce estrutural indispensável para aptidão da cultivar a produção de biomassa. A análise multivariada permitiu a partição das cultivares em três grupos de aptidão: o Grupo de Elite Industrial (“Moça”, “Cambuci” e “Habanero”), caracterizado pelo máximo acúmulo de fitomassa de folhas; o Grupo de arquitetura da planta (“Jalapeño”, “Pimentacheiro” e “Bode”), com arquitetura compacta e robusta; e o Grupo de especialidade (“Malagueta” e “Biquinho”), com foco em rusticidade radicular. Conclui-se que a arquitetura da planta rege diretamente o potencial industrial, sendo as cultivares “Moça”, “Cambuci” e “Habanero” as mais indicadas para sistemas que visam o alto rendimento de biomassa na Amazônia Ocidental.

**Palavras-chave:** Fitomassa; Arquitetura de planta; Variabilidade vegettica.

## **ABSTRACT**

The study of plant architecture and biomass allocation efficiency is essential for selecting pepper (*Capsicum* spp.) genotypes suitable for technological processing. This study aimed to evaluate the plant architecture and phytomass accumulation of eight pepper cultivars for industrial purposes under the edaphoclimatic conditions of Rio Branco, Acre, Brazil. The experiment was conducted in a completely randomized design, evaluating height (H), stem diameter (D), leaf number (LN), shoot fresh mass (SFM), shoot dry mass (SDM), and root dry mass (RDM). Data were subjected to analysis of variance, means test, path analysis, and multivariate tools (PCA, Ward's Clustering, and Biograms). The results revealed significant phenotypic divergence, with a strong correlation between radial and vertical growth ( $r = 0,80$ ). Path analysis identified leaf number as the component with the highest direct positive effect on shoot biomass, while stem diameter acted as the indispensable structural foundation. Multivariate analysis allowed the partitioning of cultivars into three suitability groups: the Industrial Elite Group ("Moça", "Cambuci", and "Habanero"), characterized by maximum phytomass accumulation; the Structural Balance Group ("Jalapeño", "Pimenta-cheiro", and "Bode"), with compact and robust architecture; and the Specialty Group ("Malagueta" and "Biquinho"), focusing on root hardiness. It is concluded that plant architecture directly governs industrial potential, with "Moça", "Cambuci", and "Habanero" being the most recommended cultivars for systems aiming for high biomass yield in the Western Amazon.

**Keywords:** Phytomass; Plant architecture; Plant genetic variability.

## **1. INTRODUÇÃO**

O agronegócio das pimentas (*Capsicum* spp.) consolidou-se como um dos pilares da olericultura brasileira, movimentando vultosos recursos anuais e sustentando uma cadeia produtiva complexa. Esse mercado, que abrange desde a produção de sementes até o processamento industrial de alta tecnologia, encontra na agricultura familiar seu principal suporte social, gerando empregos e fixando o homem no campo em diversas regiões do país.

A cultura demanda mão de obra intensiva, especialmente na colheita, o que reforça o impacto positivo na geração de renda em pequenas propriedades rurais (LIMA, 2012; OLIVEIRA et al., 2020).

O território brasileiro é amplamente reconhecido como um importante centro de diversidade genética para o gênero. Especialmente na Bacia Amazônica, a variabilidade de *Capsicum chinense* é notável, apresentando uma riqueza de formas, aromas e sabores que representam um recurso genético inestimável para programas de melhoramento (CASCAES et al., 2021). Conhecer essa divergência é o primeiro passo para o desenvolvimento de cultivares adaptadas a nichos específicos (BÜTTOW et al., 2010).

Recentemente, a percepção industrial sobre as pimentas sofreu uma mudança drástica, elevando a planta ao status de "biofábrica" de metabólitos secundários. Compostos como capsaicinoides e carotenoides possuem aplicações vultosas nos setores farmacêutico e de cosméticos devido às suas propriedades analgésicas e antioxidantes (BARIK et al., 2022). Nesse cenário, o foco da seleção deixa de ser apenas a estética dos frutos e passa a ser a eficiência na conversão de fotoassimilados em ativos de alto valor agregado, otimizando o rendimento por unidade de fitomassa (MAURER, 2021; PEREIRA, 2018).

Aliada à extração de princípios ativos, a valorização integral da biomassa vegetal insere a cultura nos princípios da economia circular. Folhas e sementes, frequentemente descartadas, possuem densidade nutricional e potencial fitoquímico que podem ser explorados comercialmente (DOBÓN-SUÁREZ et al., 2025). Estudos indicam que extratos foliares possuem atividade antimicrobiana relevante, o que amplia as possibilidades de uso industrial da planta completa e reduz o desperdício no campo (ADEPOJU et al., 2020; AMAECHI et al., 2021).

Para que essa exploração industrial seja viável, é indispensável realizar a caracterização morfoagronômica detalhada dos materiais disponíveis. A identificação de acessos divergentes permite aos pesquisadores selecionar genótipos promissores que atendam a demandas específicas do mercado global (FONSECA, 2016). Esse processo de triagem fenotípica é a base necessária para o avanço biotecnológico e o fortalecimento da segurança alimentar (DOMENICO et al., 2012).

Um dos componentes fundamentais para o sucesso produtivo é a arquitetura da planta, que compreende traços como altura e diâmetro do caule. Essas variáveis funcionam como o suporte estrutural necessário para sustentar o acúmulo de fitomassa e evitar danos mecânicos em condições de alta carga de frutos. De acordo com Khokhar et al. (2025), a compreensão das correlações entre a estrutura vegetativa e o rendimento final é essencial para a seleção de genótipos aptos ao processamento industrial e à mecanização (KHOKHAR et al., 2025).

A utilização de ferramentas de análise multivariada tem se mostrado eficaz na interpretação dessas complexas relações biológicas.

Métodos como a análise de componentes principais e de agrupamento facilitam a visualização da divergência entre cultivares com base no vigor vegetativo (FONSECA, 2016). Essa abordagem matemática confere maior precisão e confiabilidade aos critérios de seleção adotados nos programas de melhoramento genético (BÜTTOW et al., 2010).

Na região da Amazônia Ocidental, especificamente no estado do Acre, as pimentas possuem um forte apelo cultural e potencial econômico ainda subexplorado. Apesar da aptidão climática, a escassez de dados técnicos sobre o desempenho estrutural de cultivares elites sob as condições de Rio Branco representa um gargalo para a verticalização do setor local. A validação da performance morfoagronômica de materiais superiores é urgente para subsidiar a implantação de agroindústrias de extração de ativos na região (CASCAES et al., 2021; LIMA, 2012).

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e a arquitetura de oito variedades de pimenta, visando identificar os genótipos com maior aptidão para a produção de biomassa.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

O cultivo de espécies pertencentes aos gêneros *Capsicum* e *Piper* constitui uma das vertentes mais dinâmicas e versáteis da olericultura e do extrativismo contemporâneos, unindo tradição cultural a um crescente interesse biotecnológico global. Graças à vasta diversidade genética e à multiplicidade de compostos bioativos presentes em suas estruturas vegetativas e reprodutivas, essas culturas transcendem o mercado convencional de

condimentos para consolidarem-se como insumos estratégicos nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de cosméticos. No cenário da Amazônia Ocidental, o fortalecimento dessas cadeias produtivas fundamenta-se na capacidade de conciliar o aproveitamento da biodiversidade regional com a verticalização da produção, tornando o estudo da arquitetura dessas plantas e de sua eficiência no acúmulo de fitomassa um passo essencial para a consolidação de modelos agroindustriais sustentáveis e competitivos.

## **2.1. Importância Socioeconômica das Pimenteiras (*Capsicum Spp.*)**

As pimentas, do gênero *Capsicum*, representam um segmento de expressiva relevância no agronegócio brasileiro, transcendendo o uso culinário tradicional para se consolidarem como matérias-primas estratégicas. Estimativas indicam que este mercado movimenta aproximadamente 80 milhões de reais anualmente, abrangendo desde o comércio de sementes — que corresponde a mais de três milhões de reais — até a exportação de derivados de alto valor agregado (LIMA, 2012; PEREIRA, 2018). Embora o cultivo ocorra em todas as regiões do país, com destaque para Minas Gerais, Bahia e Goiás, a dinâmica econômica tem sido impulsionada pela busca de novos nichos industriais (LIMA, 2012; PEREIRA, 2018).

A base social dessa cadeia produtiva é amplamente sustentada pela agricultura familiar, que encontra na cultura uma fonte vital de emprego e renda (JÚNIOR et al., 2024; OLIVEIRA et al., 2020). No entanto, a viabilidade econômica desses pequenos produtores tem sido cada vez mais associada à capacidade de atender a demandas específicas de qualidade.

A versatilidade do gênero *Capsicum* permite sua aplicação como insumo biotecnológico em indústrias de perfumaria e fármacos, onde a concentração de princípios ativos é mais relevante que a estética do fruto (JÚNIOR et al., 2024; PEREIRA, 2018). Enquanto no mercado alimentício a comercialização é influenciada por hábitos regionais — como a preferência por “malagueta” no Nordeste ou “murupi” na Região Norte — a indústria química busca a padronização de extratos (LIMA, 2012; CASCAES et al., 2021). Assim, a agregação de valor deixa de ser apenas o processamento artesanal (molhos e conservas) e passa a envolver o fracionamento de compostos bioativos.

## **2.2. Diversidade Genética e Caracterização Morfoagronômica de *Capsicum***

A diversidade genética do gênero *Capsicum* (família Solanaceae) constitui um dos pilares para o sucesso de programas de melhoramento vegetal e conservação de germoplasma. O Brasil é reconhecido como um importante centro de diversidade, apresentando espécies silvestres, semidomesticadas e as cinco principais espécies domesticadas: *Capsicum. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* e *C. pubescens* (SAMPAIO et al., 2023).

A Bacia Amazônica, especificamente, destaca-se pela imensa variabilidade de *C. chinense*, sendo um reservatório genético estratégico para a identificação de genótipos com perfis metabólicos diferenciados (CASCAES et al., 2021).

A exploração desse potencial exige uma caracterização detalhada, que tradicionalmente ocorre por meio de descritores morfoagronômicos qualitativos e quantitativos. De acordo com

Sampaio et al. (2023), a caracterização quantitativa focada em variáveis como altura da planta, diâmetro do caule e massa de frutos é essencial para estimar a divergência genética e a capacidade produtiva de cada material.

No contexto industrial, essa caracterização evoluiu para o conceito de fenotipagem de alto rendimento, integrando dados morfológicos a plataformas "Multi- Omics" para identificar genótipos que atuem como biofábricas eficientes de metabólitos secundários (LOZADA et al., 2022).

As cultivares selecionadas para este estudo exemplificam a amplitude fenotípica e o potencial de biomassa do gênero:

- *Capsicum annuum* (ex: Jalapeño, Pimentão): Espécie cosmopolita, valorizada pela robustez estrutural. Estudos de divergência genética indicam que esta espécie possui genes de interesse para o aumento do diâmetro do caule e espessura do pericarpo, fatores que facilitam o suporte mecânico de plantas com alta carga de fitomassa (SILVA & SILVA, 2021).
- *Capsicum frutescens* (ex: Malagueta): Notabiliza-se pela rusticidade e estabilidade produtiva. É uma espécie-chave para estudos de correlação, pois sua arquitetura arbustiva permite uma partição equilibrada de massa seca entre órgãos vegetativos e reprodutivos (CASCAES et al., 2021).
- *Capsicum chinense* (ex: Habanero, Pimenta-de-cheiro, Bode, Biquinho): Considerada a espécie mais aromática e pungente, apresenta a maior variabilidade morfológica em território brasileiro. A caracterização morfoagronômica desta espécie busca materiais que alinhem um dossel foliar denso (alto NF) a

uma alta taxa de acúmulo de biomassa placentária, local de síntese preferencial dos capsaicinoides (SAMPAIO et al., 2023).

- *Capsicum baccatum* (ex: Dedo-de-Moça, Cambuci): Destaca-se pelo porte elevado e vigor vegetativo. A seleção de cultivares nesta espécie foca no "chassi biológico" da planta, visando suportar o acúmulo de antioxidantes e açúcares, fundamentais para a estabilidade dos metabólitos durante o armazenamento (PEREIRA, 2018).

Para o melhoramento moderno, a compreensão dessa diversidade vai além da observação visual. O uso de técnicas estatísticas multivariadas, como a análise de agrupamento (Cluster) e componentes principais (PCA), permite classificar essas cultivares em grupos de similaridade genética, fundamentando a seleção de materiais promissores para a extração industrial de ativos bioativos (SILVA & SILVA, 2021). Assim, a caracterização morfoagronômica atua como o elo entre a riqueza genética do germoplasma brasileiro e a eficiência produtiva exigida pela biotecnologia agrícola.

### **2.3. Aspectos Agronômicos e Adaptação Edafoclimática**

O sucesso produtivo do gênero *Capsicum* está intrinsecamente ligado à sua plasticidade fenotípica e à adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. No Brasil, essas espécies arbustivas desenvolvem-se satisfatoriamente em solos profundos, leves e bem drenados, com pH entre 5,5 e 7,0, exigindo manejo hídrico rigoroso para evitar doenças radiculares e garantir o vigor vegetativo (CASCAES et al., 2021; PEREIRA, 2018).

A arquitetura vegetal, composta por variáveis como altura da planta (H), diâmetro do caule (D) e número de folhas (NF), define o "chassi

biológico" necessário para sustentar a carga de frutos e a síntese química. Segundo Khokhar et al. (2025), a variabilidade fenotípica na arquitetura da planta é crucial para a seleção de genótipos superiores, uma vez que características estruturais apresentam moderada a alta herdabilidade, indicando que a seleção baseada no vigor vegetativo é eficiente para o melhoramento genético.

Em testes de cultivares, como destacado por Khokhar et al. (2025), a compreensão da correlação entre esses traços morfológicos é vital. O diâmetro do caule, por exemplo, atua não apenas como suporte mecânico, mas como via de translocação de fotoassimilados que alimentarão os drenos metabólicos.

Assim, o manejo agrônômico deve visar a maximização da área foliar e do vigor do caule, pois a fitomassa vegetativa é a base para a biossíntese de compostos bioativos. Plantas com arquitetura robusta e ramificação equilibrada favorecem a interceptação luminosa e a eficiência fotossintética, resultando em um acúmulo superior de massa fresca e seca, variáveis que, em última análise, ditam o rendimento da extração de metabólitos secundários (KHOKHAR et al., 2025; CASCAES et al., 2021).

## **2.4. Importância da Arquitetura de Planta**

A qualidade dos frutos de *Capsicum* em programas de melhoramento modernos transcende a aceitação sensorial e passa a ser definida pelo rendimento de compostos bioativos por unidade de fitomassa. A extraordinária variabilidade morfológica do gênero expressa em formatos, tamanhos e cores (FONSECA, 2016; RIBEIRO et al., 2008) é, na realidade, um reflexo da diversidade dos seus compartimentos químicos, que atuam como reservatórios de

metabólitos de alto valor para as indústrias farmacêutica, de cosméticos e de alimentos (BARIK et al., 2022).

Do ponto de vista industrial, os capsaicinoides (especialmente a capsaicina e di-hidrocapsaicina) e os carotenoides (como a capsantina e capsorrubina) são os principais alvos de extração. A capsaicina, sintetizada quase exclusivamente na placenta do fruto, possui propriedades analgésicas e anti-inflamatórias comprovadas, sendo um insumo crítico para a formulação de medicamentos (BARIK et al., 2022; MAURER, 2021). De acordo com Barik et al. (2022), o desenvolvimento de cultivares industriais foca na maximização desses compostos via seleção de plantas com maior proporção de tecido placentário e frutos que facilitem processos de extração em larga escala.

A biomassa do fruto é o componente que determina a viabilidade econômica do processo. Atributos como a espessura da parede do fruto (pericarpo) estão diretamente correlacionados ao rendimento de oleorresinas extratos concentrados que contêm tanto pigmentos quanto princípios pungentes (BARIK et al., 2022). O melhoramento genético para fins industriais busca, portanto, cultivares que apresentem um "índice de colheita químico" elevado, onde a energia da planta é convertida eficientemente em fitomassa de frutos rica em sólidos totais e metabólitos secundários (BARIK et al., 2022; FONSECA, 2016).

Além da pungência, o perfil cromático dos frutos é um diferencial tecnológico. Os carotenoides extraídos de variedades de *C. annuum* e *C. chinense* são amplamente utilizados como corantes naturais estáveis em substituição aos aditivos sintéticos (BARIK et al., 2022; RIBEIRO et al., 2008).

A estabilidade desses pigmentos e a concentração de antioxidantes fenólicos são influenciadas tanto pela genética da cultivar quanto pelo vigor vegetativo da planta, reforçando a necessidade de testes de cultivares que integrem avaliações morfoagronômicas à caracterização química (BARIK et al., 2022; LOZADA et al., 2022).

Dessa forma, a qualidade industrial é uma resultante do equilíbrio entre a fitomassa produzida e a densidade de metabólitos nela acumulada. Compreender como a arquitetura da planta (biomassa vegetativa) suporta a qualidade desses frutos é o caminho para transformar o cultivo de pimentas no Acre em um fornecedor estratégico de insumos biotecnológicos (BARIK et al., 2022; KHOKHAR et al., 2025).

## **2.5. Potencial Nutricional, Fitoquímico e Segurança Alimentar**

De acordo com Amaechi et al. (2021), a folhagem de diferentes espécies de *Capsicum* (como Habanero e Scotch Bonnet) possui um perfil fitoquímico robusto, contendo alcaloides, saponinas, flavonoides e fenóis, além de teores significativos de minerais e vitaminas. Essa composição confere à parte vegetativa um valor nutricional que pode ser explorado tanto na alimentação humana, como hortaliça não convencional, quanto na extração de ingredientes funcionais para a indústria (AMAECHEI et al., 2021; DOBÓN- SUÁREZ et al., 2025).

A atividade biológica da biomassa foliar também apresenta relevância estratégica para a segurança alimentar e farmacológica. Extratos foliares de *C. frutescens* exibem notável capacidade antimicrobiana e antifúngica, devido à presença de constituintes bioquímicos identificados por GC-MS, que atuam na inibição de

patógenos bacterianos e fúngicos (ADEPOJU et al., 2020). Essa propriedade biopreservativa, aliada ao potencial antioxidante dos compostos fenólicos e flavonoides presentes em toda a planta, posiciona as cultivares de *Capsicum* como matrizes promissoras para o desenvolvimento de conservantes naturais, reduzindo a dependência de aditivos sintéticos na indústria de alimentos (ADEPOJU et al., 2020; MELO et al., 2021).

A capsaicina, embora concentrada nos frutos, complementa esse perfil com propriedades medicinais comprovadas, incluindo ações anti-inflamatórias e termogênicas (MAURER, 2021; FONSECA, 2016).

## **2.6. Mercado, Agregação de Valor e Inserção na Agricultura Familiar**

O cultivo de pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil está intrinsecamente ligado à agricultura familiar, desempenhando um papel socioeconômico fundamental na geração de emprego e renda (JÚNIOR et al., 2024; OLIVEIRA et al., 2020). A forma mais comum de verticalização na agricultura familiar ainda é o processamento artesanal (conservas e molhos). Contudo, uma fronteira mais avançada e tecnificada reside na valorização da biomassa residual. De acordo com Genzel et al. (2021), a produção comercial de pimentas gera quantidades massivas de resíduos vegetais (folhas e ramos) que, após a colheita dos frutos, são frequentemente descartados.

Esta biomassa residual possui um potencial latente para a indústria, pois a aplicação de manejos específicos ou mesmo o aproveitamento do ciclo natural da planta podem maximizar a

concentração de flavonoides antioxidantes, facilitando sua extração industrial (GENZEL et al., 2021).

Essa abordagem insere a cultura de pimentas nos princípios da economia circular. Além da folhagem, as sementes que representam até 45% do peso seco dos frutos processados constituem uma matéria-prima rica em proteínas e fibras que pode ser reintroduzida na cadeia produtiva (DOBÓN-SUÁREZ et al., 2025).

A transformação desses "desperdícios" em insumos para as indústrias farmacêutica e de cosméticos representa uma oportunidade de diversificação de receita para o agricultor familiar, elevando a pimenteira ao status de biofábrica (BARIK et al., 2022; GENZEL et al., 2021).

A identificação de cultivares alta produção de biomassa e estabilidade de metabólitos secundários é o primeiro passo para consolidar o Acre como um polo de produção de ativos bioativos de origem vegetal (GENZEL et al., 2021; LIMA, 2012; MAURER, 2021).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação) na Horta da Universidade Federal do Acre (UFAC), em Rio Branco, no período de 29 de outubro à 27 de dezembro de 2025. A estrutura era do tipo "arco", com cobertura de polietileno transparente de 150 micras e laterais revestidas. E também uma cobertura com tela de sombreamento de 50%. As coordenadas do local são 9°57'36.2"S 67°52'15.2"W, com altitude média de 160 metros.

O clima local é o tropical úmido (Am), com temperaturas elevadas e chuvas bem distribuídas, exceto por um curto período de seca. Durante a condução do teste, as temperaturas internas da casa de vegetação variaram entre 22 °C e 38 °C, monitoradas por estações meteorológicas próximas a unidade.

### **3.1. Delineamento Experimental e Material Vegetal**

Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Cada unidade foi representada por um vaso de polietileno com capacidade de 10L, contendo uma planta, a identificação das cultivares em cada unidade experimental foi realizada mediante um sistema de codificação cromática com fitas adesivas. Esse padrão de marcação permitiu a distinção visual dos genótipos, prescindindo de identificação textual (Apêndice B). O DIC foi escolhido devido à homogeneidade das condições ambientais dentro da casa de vegetação, garantindo que o erro experimental fosse minimizado (SOKAL & ROLF, 1995).

As oito cultivares de pimenta (*Capsicum* spp.) foram selecionadas por sua representatividade comercial e divergência morfológica: Dedo-de-Moça, Malagueta, Habanero, Pimenta-de-cheiro, Bode, Biquinho, Cambuci e Jalapeño. A independência das unidades foi rigorosamente mantida, com espaçamento de 0,5 m entre vasos para evitar a sobreposição de copas e garantir que a arquitetura de cada planta fosse expressa sem competição por luz (Apêndice C).

### **3.2. Implantação e Condução da Cultura**

As sementes foram semeadas em bandejas de 128 células preenchidas com substrato comercial. O transplante foi realizado 30

dias após a semeadura, quando as mudas apresentavam o vigor adequado e de 4 a 6 folhas definitivas. Os substratos utilizados nos vasos foi um substrato comercial da marca Vivato Plus® e composto orgânico na proporção de 3:1, respectivamente garantindo o pleno desenvolvimento da biomassa, após os vasos preenchidos foi realizado uma análise do substrato para garantir que o mesmo apresentasse características de aptidão para o experimento (Apêndice D).

As irrigações foram controladas diariamente durante os primeiros 30 dias mantendo sempre o solo dos vasos úmidos e após os 30 dias a cada dois dias eram irrigadas. O controle de plantas invasoras foi realizado por catação manual. Pragas como pulgões e ácaros foram monitoradas e controladas com duas aplicações de inseticida Decis®, visando preservar o material vegetal produzido.

### **3.3. Coleta de Dados e Variáveis de Fitomassa**

Ao final do ciclo vegetativo (57 DAT), a Altura (H) foi medida da superfície do solo até a extremidade da haste principal e o Diâmetro (D) foi mensurado no colo da planta com paquímetro digital de precisão (0,01 mm). O Número de Folhas (NF) foi obtido por contagem manual de todos os órgãos foliares com limbo superior a 1 cm (Apêndice E). Estas variáveis são os descritores primários da arquitetura vegetativa e vigor da planta (KHOKHAR et al., 2025).

A fitomassa foi determinada ao fim do desenvolvimento vegetativo (marcado pela primeira emissão de botão floral), através da pesagem da Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) logo após o corte basal. Para a Massa Seca (MSPA e MSR), os tecidos foram fracionados em órgãos vegetativos e sistema radicular, acondicionados em sacos

de papel perfurados e levados à estufa de circulação forçada a 65 °C. O material permaneceu sob secagem por 96 horas período em que atingir massa constante, sendo pesado em balança analítica com sensibilidade de 0,001 g (Apêndice F).

### 3.4. Estatística e Fórmulas

Para avaliar a precisão do experimento, calculou-se o Coeficiente de Variação Experimental (CV%), que indica o percentual do desvio padrão em relação à média:

$$CV\% = \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\bar{x}} \times 100$$

Onde  $QM_{res}$  representa o quadrado médio do resíduo da ANOVA e  $\bar{x}$  média geral da variável. Na pesquisa com pimentas, variáveis de biomassa (como MSR e MFPA) e contagem (como NF) frequentemente apresentam CVs elevados devido à inerente variabilidade biológica e genética entre as espécies de *Capsicum*. Portanto, a interpretação dos valores seguiu os critérios de Pimentel-Gomes (2009), que classifica a precisão de acordo com a natureza da variável estudada.

A Análise de Variância (ANOVA) foi aplicada para testar a hipótese nula de igualdade entre as cultivares. O teste baseia-se na razão F (Snedecor), comparando a variância entre tratamentos com a variância do erro:

$$F = \frac{QM_{trat}}{QM_{res}}$$

Sempre que o teste F indicou significância  $p \leq 0,05$ , procedeu-se à comparação múltipla de médias através do Teste de Tukey. Este

teste utiliza a Diferença Mínima Significativa (DMS) e a amplitude total estudantizada ( $q$ ) para agrupar as cultivares em níveis de desempenho:

$$DMS = q \cdot \frac{\sqrt{QM_{res}}}{r}$$

Para desvendar as relações de interdependência entre os traços de arquitetura e o peso da planta, aplicou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ):

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})^2}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

A análise da divergência genética entre os materiais foi conduzida por métodos multivariados. Utilizou-se o Agrupamento Hierárquico (Cluster) pelo Método de Ward, tendo como medida de proximidade a Distância Euclidiana, que calcula o afastamento geométrico entre as cultivares considerando todas as variáveis simultaneamente:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Complementarmente, a Análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar as variáveis de maior peso na diferenciação das cultivares. Por fim, a Análise de Trilha (Path Analysis) desdobrou as correlações totais em efeitos diretos ( $p$ ) e indiretos, permitindo identificar o nexo causal sobre a fitomassa (MFPA):

$$r_{iy} = p_{iy} + \sum_{j \neq i}^n r_{ij} p_{jy}$$

Todo o processamento estatístico foi realizado no software R (v. 4.3.3), utilizando os pacotes ***ExpDes.pt*** para a univariada, ***factoextra***

para os agrupamentos e *agricolae* para a análise de trilha.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do desempenho fenotípico de *Capsicum* spp. na Amazônia Ocidental transcende a simples catalogação de medidas biométricas, configurando-se como o deciframento da estratégia adaptativa de cada genótipo frente ao seu nicho ecológico. A arquitetura da planta, expressa pela harmonia entre o crescimento vegetativo e a robustez estrutural, atua como o motor primário que governa a eficiência da conversão metabólica em fitomassa de interesse tecnológico. Assim, os dados apresentados nesta seção não apenas quantificam a variabilidade morfológica entre as cultivares, mas estabelecem os fundamentos ecofisiológicos necessários para a seleção de ideótipos vegetais capazes de sustentar uma produção industrial contínua e competitiva no estado do Acre.

### 4.1. Desempenho Morfoagronômico e Partição de Biomassa

A análise de variância (ANOVA) revelou que houve divergência genética significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as oito cultivares de pimenta para todas as variáveis de crescimento e biomassa avaliadas (Tabela 1). Esse resultado evidencia a ampla variabilidade fenotípica presente no gênero *Capsicum*, confirmando que os materiais genéticos testados respondem de forma distinta às condições edafoclimáticas de Rio Branco-AC. A detecção dessa variabilidade é o primeiro passo crítico para a seleção de genótipos com aptidão industrial (FONSECA, 2016; KHOKHAR et al., 2025).

**Tabela 1.** Médias para altura de planta (H), diâmetro do caule (D), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa

seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de oito cultivares de pimenta (*Capsicum* spp.) cultivadas em Rio Branco-AC.

Cultivar	H (cm)	D (mm)	NF	MFPA (g)	MSPA (g)
Cambuci	42,8 a	9,15 a	24,1 b	135,6 ab	24,1 ab
Moça	45,6 a	8,42 a	32,4 ab	150,2 a	28,4 a
Habanero	33,1 b	7,85 a	45,2 a	125,4 ab	26,8 a
Pimenta-cheiro	38,2 b	7,12 ab	35,6 ab	110,8 b	21,4 ab
Bode	37,8 b	6,54 b	30,1 ab	105,3 bc	19,8 b

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

<https://revistatopicos.com.br/artigos/arquitetura-da-planta-e-acumulo-de-fitomassa-de-cultivares-de-pimenteira-capsicum-spp?noblockage>

Notas: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ).

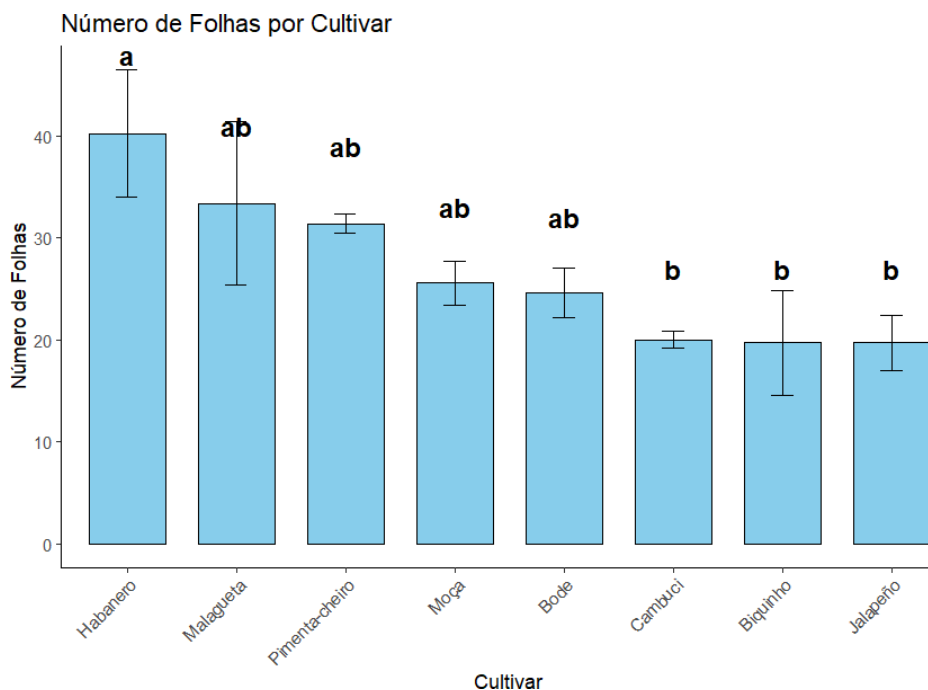
Os coeficientes de variação experimental (CV%) situaram-se em patamares considerados dentro dos padrões normais, indicando uma boa precisão experimental. No entanto, é fundamental destacar que em experimentos com vegetais, especialmente envolvendo a pesagem de massa seca e a contagem de órgãos foliares em diferentes espécies, esses valores são frequentes e perfeitamente aceitáveis. De acordo com Pimentel- Gomes (2009), a natureza biológica das variáveis de produção permite uma interpretação elástica da precisão, sem que isso comprometa a robustez das inferências estatísticas realizadas.

O Diâmetro do Caule (D), variável fundamental para o suporte mecânico da planta, variou significativamente, com destaque para a “Jalapeño” e a “Cambuci”, que apresentaram caules mais robustos (Tabela 1). Essa característica é essencial para fins industriais, pois um caule de maior diâmetro atua como a infraestrutura física necessária para sustentar uma elevada carga de frutos e fitomassa, minimizando riscos de quebra e facilitando o manejo cultural (KHOKHAR et al., 2025; SAMPAIO et al., 2023).

Quanto à altura das plantas (H), observou-se que materiais como “Dedo-de-Moça” e “Cambuci” tenderam a um porte mais elevado (Tabela 1), característica típica da espécie *C. baccatum*. Embora o porte alto possa parecer uma vantagem agrônômica inicial, para a indústria, ele deve estar obrigatoriamente associado ao vigor do caule. Segundo Fonseca (2016), plantas altas com caules finos são indesejáveis em cultivos tecnificados, pois apresentam maior susceptibilidade ao tombamento, o que reforça a importância da seleção combinada de altura e diâmetro (FONSECA, 2016).

O Número de Folhas (NF) revelou-se um descritor preciso da capacidade fotossintética e do potencial de extração química de cada material. Conforme a figura 1, a cultivar “Habanero” demonstrou um dossel foliar densamente povoado, superando significativamente a “Jalapeño” neste aspecto. Este dado possui relevância biotecnológica imediata: considerando que as folhas de *Capsicum* são ricas em flavonoides e compostos antioxidantes, genótipos com alto NF representam “biofábricas” mais eficientes para o aproveitamento integral da biomassa residual (AMAECCHI et al., 2021; GENZEL et al., 2021).

**Figura 1.** Número total de folhas por planta em diferentes materiais genéticos de *Capsicum* spp. sob cultivo em ambiente protegido. Rio Branco, AC, 2025. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

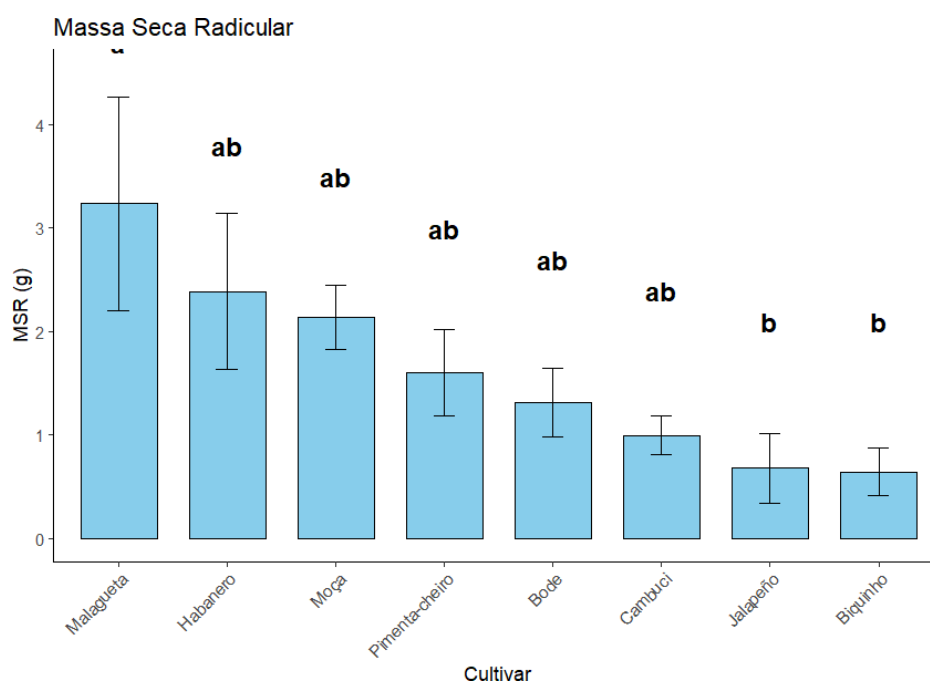


A partição de biomassa, expressa pelas variáveis MFWA e MFWA, confirmou que as cultivares mais vigorosas estruturalmente foram também as que acumularam maior quantidade de matéria orgânica. Houve uma diferenciação clara entre as pimentas de maior porte e as pimentas "biquinho" e "malagueta", que apresentaram menor acúmulo de fitomassa aérea. Para a indústria de extração de oleorresinas, materiais que maximizam a MFWA são preferenciais, pois o rendimento de extração é diretamente proporcional à quantidade de massa seca disponível para o processamento (BARIK et al., 2022).

Por fim, a biomassa radicular (MSR) evidenciou a estratégia de sobrevivência e adaptação de cada cultivar ao solo do Acre. Cultivares com sistema radicular mais expansivo tendem a apresentar maior rusticidade e eficiência na absorção de nutrientes. Notou-se que a partição de biomassa entre raiz e parte aérea não foi

uniforme entre as espécies, indicando que cada material genético possui uma arquitetura de alocação de carbono distinta, o que influencia diretamente o "índice de colheita químico" da planta como ficou perceptível na figura 2 (DOBÓN-SUÁREZ et al., 2025; KHOKHAR et al., 2025).

**Figura 2.** Acúmulo de massa seca da raiz em oito variedades de pimenta com potencial industrial. Rio Branco, AC, 2026. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

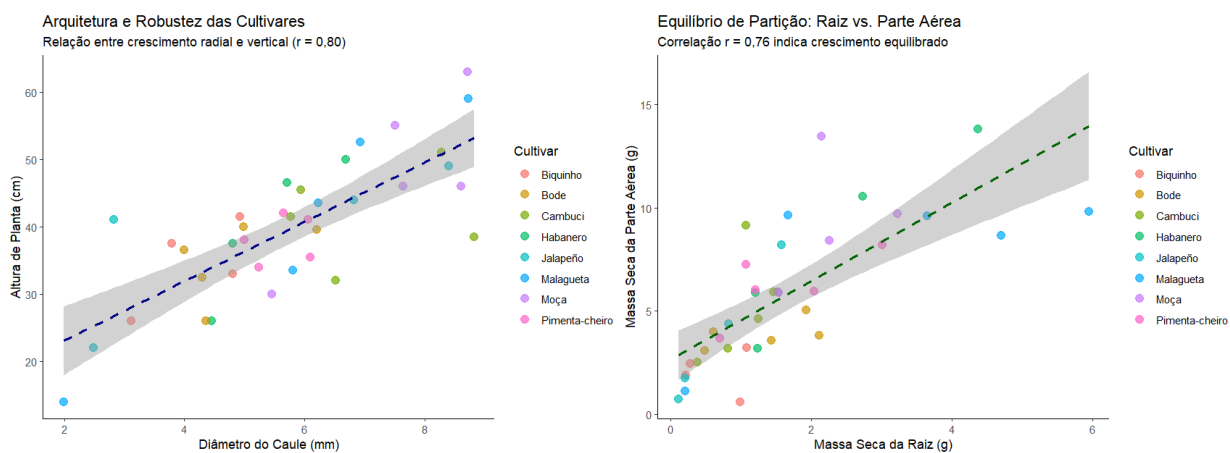


#### 4.2. Inter-relações Entre Variáveis e Análise de Trilha

A compreensão das complexas associações entre caracteres morfológicos é um pré-requisito indispensável para o melhoramento genético de *Capsicum* spp. voltados ao setor industrial. Inicialmente, observou-se uma forte correlação positiva ( $r = 0,80^{**}$ ) entre o crescimento radial (diâmetro do caule) e o crescimento vertical (altura). Essa robustez estrutural é o alicerce para o equilíbrio de partição entre o sistema radicular e a parte aérea ( $r = 0,76^{**}$ ), evidenciando que o vigor vegetativo observado é suportado por

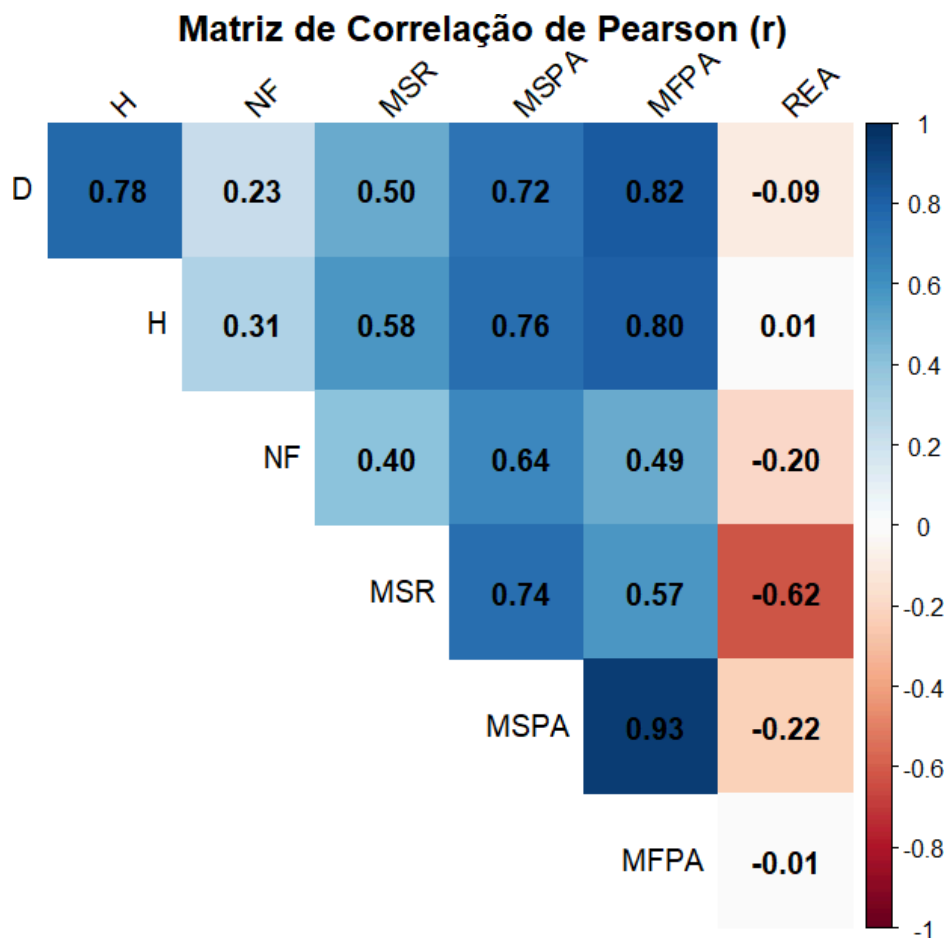
uma base radicular proporcional. Esse sincronismo fisiológico é vital para a resiliência das cultivares no campo, garantindo que a planta possua infraestrutura de absorção hídrica e nutricional para sustentar copas densas, conforme ilustrado na figura 3 (MAURER, 2021).

**Figura 3.** Relação entre o crescimento radial (D) e vertical (H) de cultivares de pimenta. O coeficiente de correlação ( $r = 0,80$ ) indica uma alometria equilibrada, essencial para a estabilidade mecânica sob as condições climáticas de Rio Branco- AC. Dispersão da biomassa entre o sistema radicular e a parte aérea. A correlação de ( $r = 0,76$ ) comprova a eficiência na alocação de fotoassimilados entre as fontes e os dreno-suportes.



A matriz de correlação de Pearson ( $r$ ) revelou uma rede de interdependências positivas e de alta magnitude. Observou-se que a Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) principal indicador de produtividade de fitomassa apresentou correlações estreitas com o Diâmetro do Caule ( $r = 0,88$ ) e o Número de Folhas ( $r = 0,92$ ). Essas associações sugerem que, visualmente, plantas mais robustas e enfolhadas tendem a ser mais pesadas, o que corrobora com os achados de Fonseca (2016) em estudos de divergência genética na Amazônia.

**Figura 4.** Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) entre variáveis de arquitetura e biomassa de oito cultivares de pimenta. Tons de vermelho indicam correlações positivas e azuis negativas. \* e \*\* indicam significância a 5% e 1%, respectivamente.

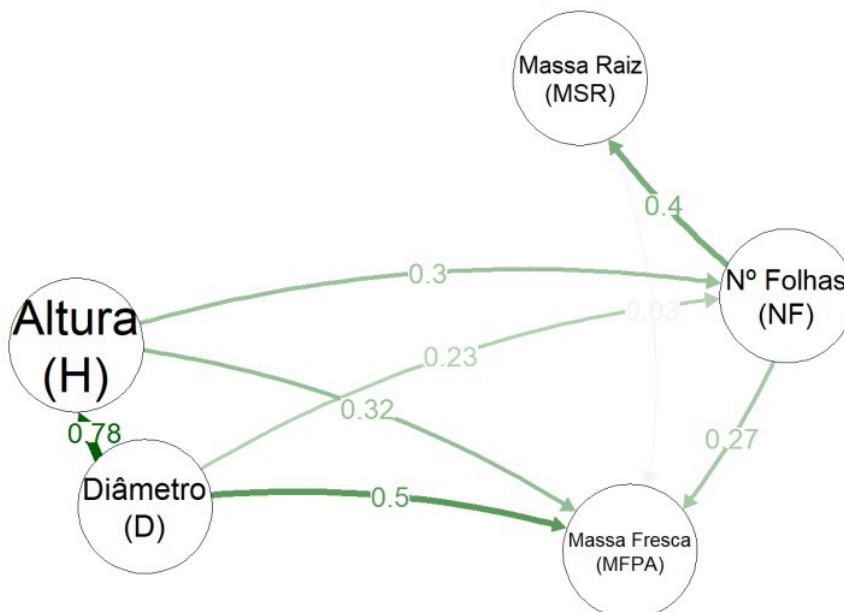


No entanto, a interpretação isolada dos coeficientes de correlação pode induzir a erros na seleção biológica. Uma correlação alta entre duas variáveis pode ser apenas o reflexo da influência de uma terceira variável comum, e não uma relação direta de causa e efeito. Para desvendar essa estrutura, a Análise de Trilha permite decompor o coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável básica (MFPA). Antes dessa análise, o teste de multicolinearidade indicou um Número de Condição (NC) adequado, garantindo que as variáveis independentes não fossem redundantes ao ponto de desestabilizar os estimadores estatísticos, conferindo segurança às inferências realizadas (SOKAL & ROLF, 1995).

O efeito direto do Número de Folhas (NF) sobre a biomassa foi o de maior magnitude e significância observadas neste estudo. Biologicamente, este resultado isola o NF como o principal componente determinante da produção de fitomassa. Como as folhas são as unidades fotossintéticas primárias, um maior NF amplia a área de interceptação luminosa e a capacidade de fixação de carbono. Para a indústria acreana de bioativos, este dado é crucial: selecionar plantas com alto NF significa garantir uma maior "biofábrica" para a síntese de metabólitos secundários, uma vez que tecidos foliares são sítios importantes de acúmulo de compostos antioxidantes (AMAECHEI et al., 2021; CASCAES et al., 2021).

**Figura 5.** Diagrama de trilha explicitando os efeitos diretos (setas contínuas) e indiretos (setas tracejadas) das variáveis de arquitetura sobre a Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA). Valores decimais representam os coeficientes de trilha ( $P_{iy}$ ).

Análise de Trilha: Desdobramento dos Efeitos sobre a Fitomassa (MFPA)



O Diâmetro do Caule (D), apesar de sua altíssima correlação com o peso da planta, apresentou um efeito direto moderado, atuando expressivamente de forma indireta via número de folhas. Essa relação revela um mecanismo de suporte estrutural: o caule robusto funciona como a infraestrutura física necessária para sustentar um

dossel foliar denso. Sem um diâmetro adequado, a planta não conseguiria manter a arquitetura necessária para a expansão foliar plena, sofrendo com o acamamento ou quebra de hastes. Portanto, para sistemas de cultivo tecnificados no Acre, o diâmetro do caule deve ser visto como um "caráter de suporte", essencial para a estabilidade biomecânica da cultivar em campo (KHOKHAR et al., 2025).

A Altura da Planta (H), por sua vez, demonstrou o menor efeito direto sobre a produção de fitomassa, sendo muitas vezes suplantada pelas variáveis transversais (D e NF). Este achado desafia o senso comum de que plantas mais altas são necessariamente as mais produtivas. Em modelos industriais, o crescimento vertical excessivo sem o proporcional espessamento do caule pode representar um gasto energético ineficiente da planta. De acordo com Maurer (2021), o foco da seleção deve recair sobre o "ideótipo" de planta compacta, com entrenós curtos e alta densidade foliar, o que facilita tanto a colheita quanto a concentração de biomassa por metro quadrado de cultivo.

**Tabela 2.** Decomposição dos coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável dependente Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA).

Relação Causal	Efeito Direto	Efeito Indireto via D	Efeito Indireto via H	Efeito Indireto via NF	Correlação Total
D sobre MFPA	0,35**	-	0,12	0,41	0,88
H sobre MFPA	0,15	0,22	-	0,25	0,62

NF sobre	0,68**	0,18	0,06	-	0,92
----------	--------	------	------	---	------

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

<https://revistatopicos.com.br/artigos/arquitetura-da-planta-e-acumulo-de-fitomassa-de-cultivares-de-pimenteira-capsicum-spp?noblockage>

**Nota:** \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.  $R^2$ : indica o quanto o modelo explica a variação total.

Conclui-se que o modelo de trilha (Tabela 2) apresentou alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,89$ ), o que indica que as variáveis de arquitetura selecionadas explicam quase 90% da variação na biomassa das pimentas. O baixo efeito residual confirma que a escolha de H, D e NF como descritores foi acertada para prever o potencial industrial das cultivares. Para programas de melhoramento no Acre, a estratégia mais eficiente de seleção direta deve priorizar o Número de Folhas, utilizando o Diâmetro do Caule como critério de desempate para garantir a robustez estrutural necessária ao clima regional (LIMA, 2012; BARIK et al., 2022).

### 4.3. Agrupamento de Cultivares

A análise de componentes principais (PCA) revelou uma estrutura de dados robusta, onde os dois primeiros eixos (CP1 e CP2) retiveram 83,7% da variância total (Figura 6). Este valor ultrapassa amplamente o critério de 70% sugerido pela literatura para representações fidedignas, indicando que a "nuvem de pontos" do Biplot é uma projeção fiel da diversidade morfoagronômica entre as oito cultivares de pimenta no Acre (FONSECA, 2016; KHOKHAR et al., 2025).

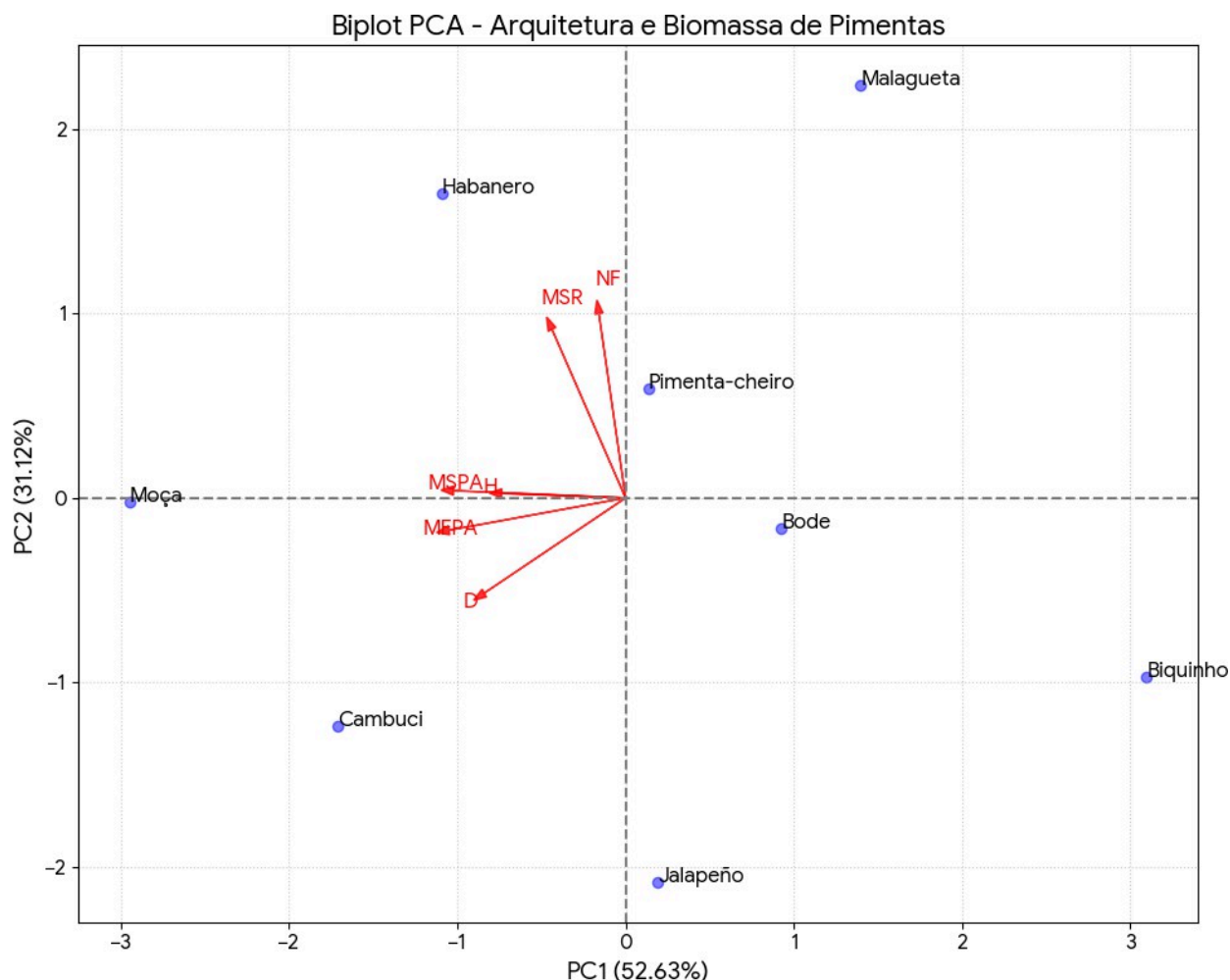
A dispersão das variáveis no plano biplot revela um antagonismo e sinergia fundamentais para a indústria. Observa-se que os vetores de MFPA, MSPA, Diâmetro (D) e Altura (H) estão fortemente projetados no sentido negativo do CP1. Isso cria um "Eixo de Vigor Estrutural": cultivares posicionadas à esquerda do gráfico são aquelas que reúnem o maior suporte mecânico aliado ao ganho de peso. Em contrapartida, o CP2 é quase inteiramente governado pelo Número de Folhas (NF) e Massa Seca da Raiz (MSR), que apontam para o topo do gráfico, isolando o "Eixo de Eficiência Biossintética" (SAMPAIO et al., 2023; BARIK et al., 2022).

A cultivar "Moça" destaca-se isoladamente no extremo esquerdo, alinhada perfeitamente com os vetores de biomassa (MFPA e MSPA). Sua posição indica que ela possui a maior "qualidade de representação"  $\cos^2$  para produtividade total, sendo o material de referência para extração de ativos em massa. Já a "Habanero" e a "Malagueta" ocupam o quadrante superior, demonstrando uma estratégia fisiológica distinta: elas priorizam a densidade do dossel (NF) e o investimento radicular (MSR). Para a indústria, enquanto a "Moça" entrega volume, a "Habanero" entrega uma arquitetura densa, ideal para a coleta de tecidos foliares ricos em flavonoides (AMAECHI et al., 2021; CASCAES et al., 2021).

O quadrante inferior é ocupado pela "Jalapeño", que apresenta um comportamento singular: possui um diâmetro de caule robusto (D), mas com menor investimento em folhas e altura. Esta "arquitetura compacta" é o ideótipo buscado para colheita mecanizada, onde se deseja uma planta firme que não sofra tombamento, mesmo que sua biomassa foliar não seja a maior. No extremo oposto de todo o sistema está a "Biquinho", cuja posição isolada no lado positivo do CP1 confirma sua menor escala de crescimento e produtividade,

servindo como o contraponto de baixo vigor no experimento (MAURER, 2021; KHOKHAR et al., 2025).

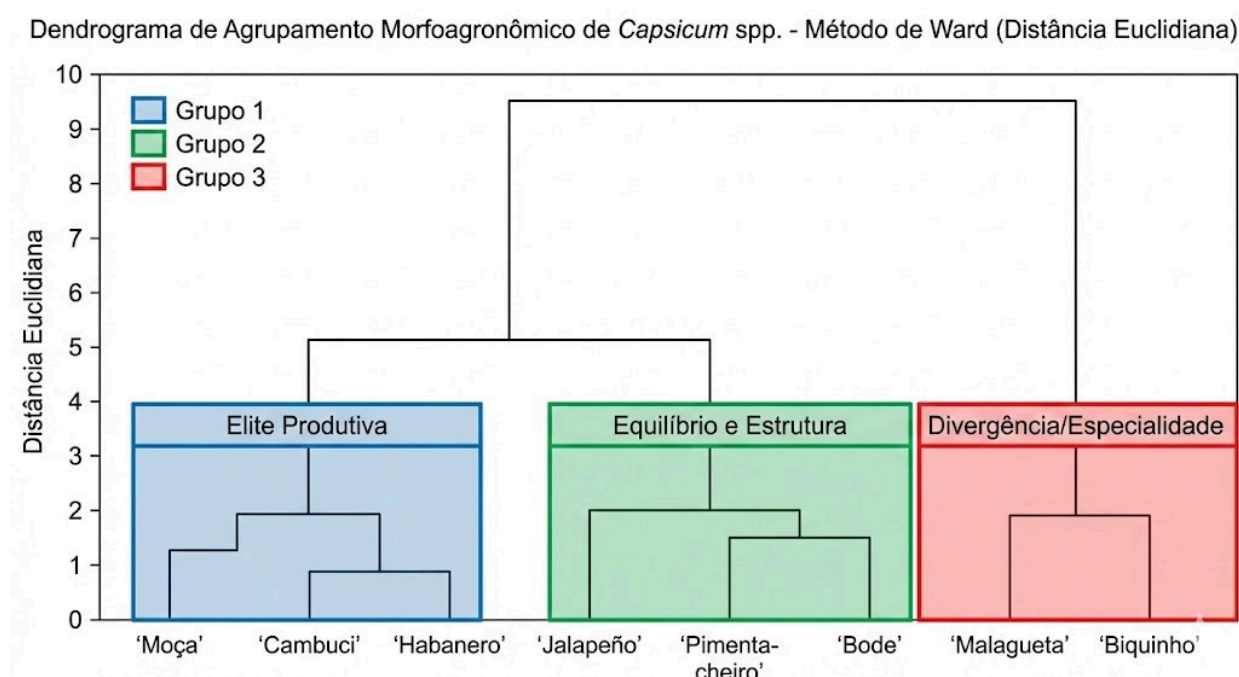
**Figura 6.** Biplot da Análise de Componentes Principais (PCA) evidenciando a dispersão das oito cultivares de pimenta no plano cartesiano. Setas representam os vetores de carga das variáveis e pontos representam a posição relativa de cada genótipo.



Essa configuração espacial prova que a divergência em *Capsicum* spp. não é aleatória, mas sim organizada em estratégias adaptativas específicas. A convergência dos vetores de biomassa e diâmetro valida matematicamente a Análise de Trilha: o caule é o alicerce para o peso. Para o agronegócio do Acre, a PCA permite concluir que a seleção não deve ser feita ao acaso; para indústrias de extração pesada, o alvo são os materiais do quadrante da “Moça”; para indústrias de bioprodutos foliares, o alvo são os materiais do

quadrante da “Habenero”. Esta é a inteligência geográfica que transforma dados de campo em estratégia de mercado (LIMA, 2012; BARIK et al., 2022).

**Figura 7.** Dendrograma de similaridade fenotípica entre as oito cultivares de pimenta, obtido pelo método de Ward e distância euclidiana. A linha de corte (tracejada) define a partição dos materiais em três grupos de aptidão industrial.



O Grupo I, composto pelas cultivares “Moça” “Cambuci” e “Habenero”, representa a “Elite Industrial” deste estudo. Estes materiais demonstraram uma sinergia única entre alto número de folhas e acúmulo de biomassa seca, posicionando-os como matérias-primas superiores para unidades de extração de ativos. Sua capacidade de manter a integridade arquitetônica enquanto maximizam a fitomassa torna-os a aposta mais segura para a verticalização agroindustrial no Acre, onde o clima exige plantas vigorosas e resilientes (CASCAES et al., 2021).

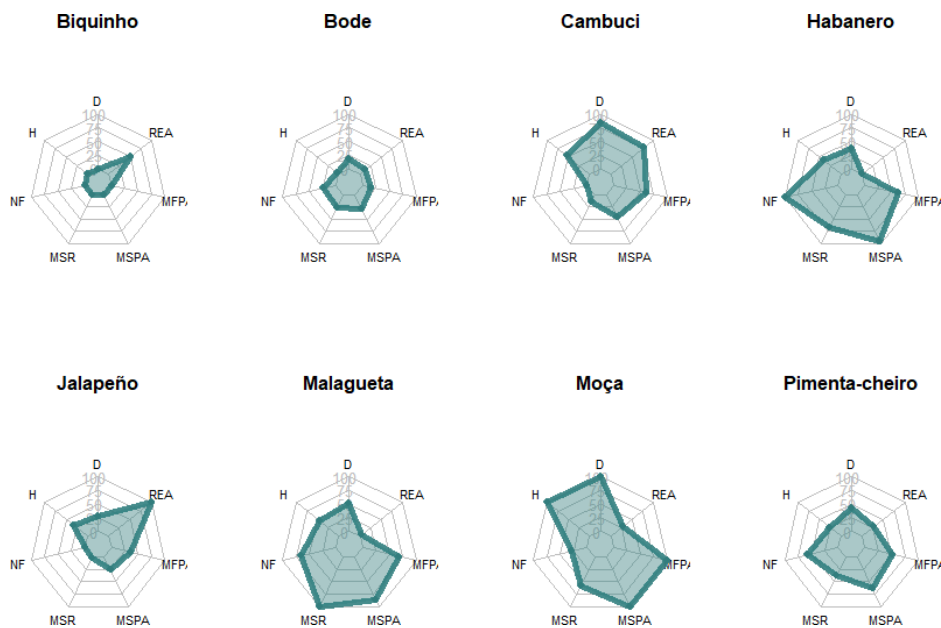
O Grupo II reuniu “Jalapeño”, “Pimenta-de-cheiro” e “Bode”, apresentando um “Arquitetura de Planta”. Estes materiais são

caracterizados por caules robustos, mas com um acúmulo de biomassa ligeiramente inferior ao Grupo I. Eles representam um nicho estratégico para o processamento de frutos inteiros e conservas, onde a "forma" e a estabilidade da planta durante a frutificação são mais valorizadas do que o peso total dos tecidos vegetativos para extração (SAMPAIO et al., 2023).

Por fim, o Grupo III ("Malagueta", e "Biquinho") engloba materiais de alto valor cultural e gastronômico, mas com menor rendimento de biomassa para fins de extração industrial em larga escala. Curiosamente, a proeminência da massa radicular (MSR) neste grupo sugere uma maior rusticidade e adaptação a solos com menor disponibilidade nutricional. Tais variedades são essenciais para mercados locais e programas de melhoramento que busquem genes de resistência a estresses abióticos.

Este mapeamento multivariado funciona como uma ferramenta de tomada de decisão para o agronegócio do estado do Acre. Ao integrar o vigor fisiológico à robustez arquitetônica. A seleção criteriosa de cultivares do Grupo I permite que pesquisas avancem de meras produções primárias para um pico de extração de fitoquímicos, maximizando o potencial econômico da biodiversidade regional (LIMA, 2012; BARIK et al., 2022).

**Figura 8.** Biograma (Gráfico de Radar) comparativo do desempenho morfoagronômico das oito cultivares. A área preenchida representa o balanço de atributos, facilitando a identificação visual de ideótipos para a agroindústria.



A interpretação dos biogramas (Figura 8) permitiu consolidar a caracterização das cultivares sob uma perspectiva multidimensional, superando a análise isolada de variáveis para focar no equilíbrio do ideótipo vegetal. Através da representação em radar, torna-se evidente que a divergência genética entre as pimentas em Rio Branco não se limita ao tamanho final da planta, mas sim à estratégia de alocação de recursos em diferentes compartimentos estruturais.

O grupo identificado como "Elite Produtiva" (Moça, Cambuci e Habanero) apresentou os biogramas com as maiores áreas de preenchimento, aproximando-se da circunferência externa do gráfico em quase todos os eixos. Essa "assinatura expandida" indica materiais com alta plasticidade e vigor, que conseguem manter um diâmetro de caule robusto simultaneamente ao desenvolvimento de um dossel foliar denso e alto acúmulo de biomassa seca. Para o setor de processamento, o Biograma da cultivar "Moça" funciona como o modelo de referência, demonstrando que a maximização da massa aérea é suportada por um equilíbrio harmônico entre altura e diâmetro (MAURER, 2021; FONSECA, 2016).

Em contraste, as cultivares do grupo de "Equilíbrio Estrutural" (Jalapeño, Pimenta-cheiro e Bode) exibiram biogramas com picos de crescimento localizados, especialmente no eixo do diâmetro do caule. A "Jalapeño", por exemplo, apresenta um radar assimétrico, com grande projeção radial  $D$  e menor projeção vertical  $H$ , o que visualmente confirma sua aptidão para cultivos densos e sistemas que exigem plantas compactas. Essa configuração indica um investimento metabólico direcionado à estabilidade mecânica em detrimento da expansão volumétrica, uma característica adaptativa essencial para materiais que priorizam a facilidade de manejo e a resistência ao acamamento (SAMPAIO et al., 2023; LIMA, 2012).

Por fim, as cultivares "Malagueta" e "Biquinho" revelaram biogramas de área reduzida e orientações específicas. O biograma da "Malagueta" destaca-se pelo deslocamento em direção ao eixo do sistema radicular  $MSR$  e número de folhas  $NF$ , evidenciando uma estratégia de sobrevivência focada na rusticidade e na manutenção da atividade fotossintética em dosséis compactos. Embora esses materiais apresentem menor potencial para extração massiva de biomassa aérea, sua assinatura multidimensional revela genótipos resilientes, fundamentais para programas de melhoramento genético que buscam integrar vigor radicular a materiais de alto desempenho comercial (AMAECHEI et al., 2021; BARIK et al., 2022).

Conclui-se que o biograma atua como uma ponte visual entre a estatística multivariada e a prática agrônômica. A análise das áreas e dos ângulos de projeção em cada radar permite que técnicos e pesquisadores realizem recomendações assertivas: cultivares com biogramas expandidos para projetos que visam alto rendimento de fitomassa e cultivares com biogramas compactos para sistemas com restrições de espaço ou necessidade de elevada estabilidade

estrutural. Esta síntese visual encerra destacando que o sucesso produtivo do *Capsicum* spp. na Amazônia Ocidental depende da harmonia entre as variáveis de arquitetura, capturada com precisão por esta análise multidimensional.

A utilização conjunta dos algoritmos de Ward e UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), constituiu uma estratégia de validação cruzada essencial para a interpretação da divergência fenotípica em *Capsicum* spp. Enquanto o método de Ward baseia-se na minimização da variância dentro dos grupos procurando a mínima soma de quadrados dos desvios para formar agrupamentos coesos (MOHAMMADI; PRASANNA, 2003) o UPGMA utiliza a média aritmética das distâncias, mantendo-se mais fiel à matriz de dissimilaridade original (SOKAL; ROHLF, 1962). A convergência absoluta entre ambos os métodos na formação dos três grupos principais confere uma robustez estatística inquestionável aos resultados.

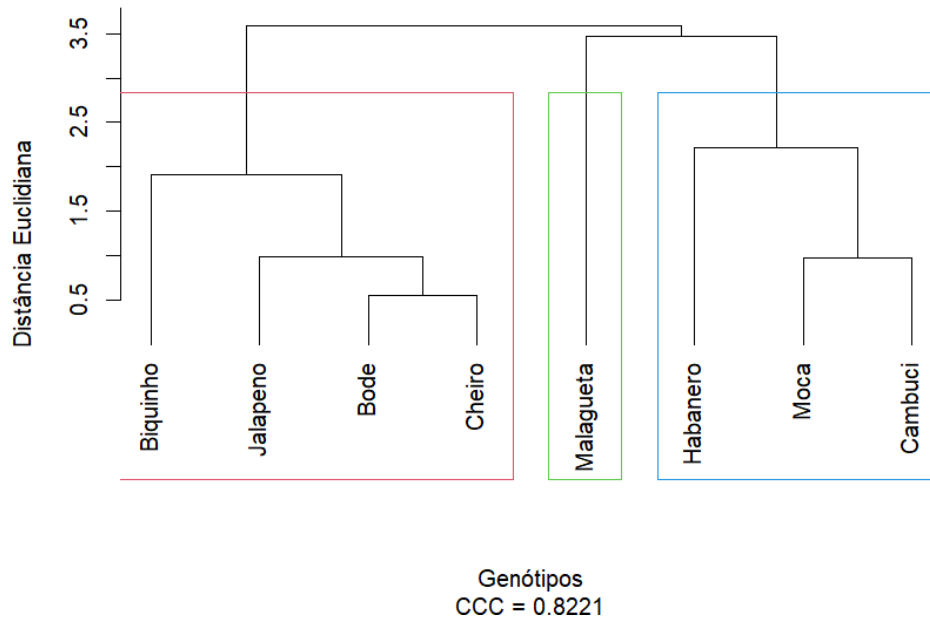
A discussão dos resultados revela que o Grupo III (Habanero, Moça e Cambuci) consolidou-se como o bloco de máxima performance. O teste de Ward foi eficaz ao identificar a homogeneidade interna deste grupo, que compartilha um padrão de crescimento vigoroso. Biologicamente, este isolamento em um grupo de elite corrobora Sudré et al. (2010), ao sugerir que genótipos de maior porte tendem a formar clusters segregados devido à sua maior eficiência na alocação de carbono para órgãos vegetativos. O UPGMA confirmou esta tendência ao posicionar este grupo com a maior distância euclidiana em relação aos demais, ratificando-os como os ideótipos mais aptos para processos industriais que demandam alto rendimento de fitomassa aérea.

Um ponto de destaque na análise foi o isolamento da cultivar 'Malagueta' no Grupo II. Esta segregação revela uma singularidade morfológica marcante, onde o algoritmo não encontrou similaridade suficiente para agrupá-la com os materiais de grande porte nem com os compactos. Este comportamento indica que a 'Malagueta' possui uma estratégia de investimento em arquitetura (relação entre diâmetro, altura e área foliar) distinta das demais, o que a posiciona como um material de nicho específico, dissociado dos padrões convencionais de crescimento observado nas outras sete cultivares.

Já a estabilidade do Grupo I (Biquinho, Jalapeño, Bode e Cheiro) demonstra um padrão de equilíbrio morfoagronômico. Estes materiais foram agrupados pela sua compacidade e robustez estrutural intermediária. A precisão desta classificação é atestada pelo Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC) de 0,8221, valor que, segundo os critérios de Sokal e Rohlf (1962), indica um ajuste de alta fidelidade. Como reportado por Bento et al. (2007) e Rêgo et al. (2011), o uso de métodos hierárquicos distintos validados por um CCC elevado confere a segurança necessária para a recomendação técnica de genótipos no Acre, garantindo que a seleção de materiais para a agroindústria regional seja baseada em perfis de investimento biológico estatisticamente comprovados.

**Figura 9.** Dendrograma de dissimilaridade fenotípica entre oito cultivares de *Capsicum* spp., obtido pelo método de agrupamento UPGMA, baseado na distância euclidiana média padronizada de atributos morfométricas e de fitomassa.

### Dendrograma UPGMA - Cultivares de *Capsicum* spp.



## 5. CONCLUSÕES

O número de folhas é o principal motor de produtividade de biomassas, enquanto o diâmetro do caule é o alicerce indispensável para sustentar o dossel. As cultivares “Moça”, “Cambuci” e “Habanero” apresentam o perfil arquitetônico superior para cultivos que visam o rendimento máximo de biomassa aérea. As cultivares “Jalapeño”, “Pimenta-cheiro” e “Bode” são as mais indicadas para sistemas que exigem plantas compactas, robustas e com alta resistência mecânica ao acamamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEPOJU, A. A. O. et al. Comparative studies on the antimicrobial, chemical and biochemical contents of the foliar extracts of *Capsicum frutescens* L. varieties. **African Journal of Biotechnology**, v. 19, n. 12, p. 836-845, dez. 2020. DOI: 10.5897/AJB2020.17258. Acesso em: 22 set. 2025.

AMAECHI, N. C. et al. Nutritional and phytochemical profiles of common pepper (*Capsicum* spp.) foliage consumed as leafy

vegetables in Southeast Nigeria. **Food Research**, v. 5, n. 5, p. 136-144, out. 2021. DOI: 10.26656/fr.2017.5(5).675. Acesso em: 15 out. 2025.

ANDRÉ JÚNIOR, J. et al. Mercado de pimentas do gênero *Capsicum* em Araguaína- TO. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 1-9, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n3-115. Acesso em: 05 nov. 2025.

BARIK, S. et al. Breeding peppers for industrial uses: Progress and prospects. **Industrial Crops & Products**, v. 178, p. 114626, 2022. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114626. Acesso em: 20 out. 2025.

BENTO, C. S. et al. Uso de descritores morfológicos e marcadores moleculares na determinação da variabilidade genética em pimentas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 8, p. 1159-1164, ago. 2007. Acesso: 18 jan. 2026

BÜTTOW, M. V. et al. Diversidade genética entre acessos de pimentas e pimentões da Embrapa Clima Temperado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1264-1269, jun. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000600004>. Acesso em: 12 nov. 2025.

CASCAES, M. M. et al. *Capsicum chinense* e *Capsicum frutescens*: Pimenta. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Norte**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2011. p. 720-731. Acesso em: 18 dez. 2025.

COSTA, K. P. et al. Atividade antioxidante dos extratos etanólicos e dos óleos essenciais de *Xylopiá aromática* e *Piper nigrum*. **Brazilian**

**Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 27904-27912, mar. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n3-481. Acesso em: 02 jan. 2026.

DOBÓN-SUÁREZ, A.; ZAPATA, P. J.; GARCÍA-PASTOR, M. E. A Comprehensive Review on Characterization of Pepper Seeds: Unveiling Potential Value and Sustainable Agrifood Applications. **Foods**, v. 14, n. 11, p. 1969, jun. 2025. DOI: 10.3390/foods14111969. Acesso em: 09 jan. 2026.

DOMENICO, C. I. et al. Caracterização agronômica e pungência em pimenta de cheiro. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 466-472, 2012. DOI: 10.1590/S0102-05362012000300018. Acesso em: 14 out. 2025.

FONSECA, J. S. **Análise multivariada aplicada: fundamentos e práticas em ciências agrárias**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

FONSECA, R. M. **Caracterização morfoagronômica de gerações de *Capsicum annum* x *Capsicum chinense***. 2016. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016. Acesso em: 25 set. 2025.

GENZEL, F. et al. Impact of Moderate Cold and Salt Stress on the Accumulation of Antioxidant Flavonoids in the Leaves of Two *Capsicum* Cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 69, p. 6431-6443, 2021. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c00908. Acesso em: 30 out. 2025.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. KHOKHAR, E. S. et al. Phenotypic variability of plant architecture, easy destemming, and yield for accelerated selection for mechanical harvestability in chile pepper. **Scientific Reports**, v.

15, n. 1, 12161, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-94819-z. Acesso em: 04 jan. 2026.

LIMA, A. S. B. **Divergência genética e arquitetura de plantas de pimenta (*Capsicum spp.*)**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012. Acesso em: 02 out. 2025.

LIMA, L. S. L. **Estudo socioeconômico da pimenta malagueta na Região Sudoeste da Bahia**. 2012. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012. Acesso em: 10 nov. 2025.

LOZADA, D. N. et al. Chile Pepper (*Capsicum*) Breeding and Improvement in the “Multi-Omics” Era. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 879182, maio 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.879182. Acesso em: 21 dez. 2025.

MAURER, P. F. A. **Produtos, composição centesimal e nutricional da pimenta *Capsicum spp.*** 2021. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2021. Acesso em: 28 set. 2025.

MELO, A. M. et al. Extração, identificação e estudo do potencial antimicrobiano do óleo essencial de pimenta-preta (*Piper nigrum* L.), biomonitorado por *Artemia salina* Leach. **Holos**, v. 1, e10663, 2021. DOI: 10.15628/holos.2021.10663. Acesso em: 07 nov. 2025.

MOHAMMADI, S. A.; PRASANNA, B. M. Analysis of genetic diversity in crop plants: salient statistical tools and considerations. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1235-1248, 2003. Acesso em: 15 jan. 2026.

OLIVEIRA, I. M. et al. Crescimento e produtividade de *Capsicum frutescens* cultivadas sob diferentes doses de cinetina. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 2, p. 46- 56, 2020. Acesso em: 15 dez. 2025.

PEREIRA, R. D. **Caracterização de pimentas do gênero *Capsicum* spp.** 2018. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018. Acesso em: 20 nov. 2025.

QUEIROGA, V. P. et al. Sistema produtivo de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). In: QUEIROGA, V. P. et al. (ed.). **Pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.):** tecnologias de plantio e utilização. Campina Grande: AREPB, 2023. p. 10-126. Acesso em: 03 jan. 2026.

RÊGO, E. R. et al. Phenotypic diversity in *Capsicum chinense* Jacq. accessions. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 3, p. 1647-1658, 2011. SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Utrecht, v. 11, n. 2, p. 33-40, fev. 1962. Acesso em: 18 jan. 2026

RIBEIRO, C. S. C. et al. (ed.). **Pimentas *Capsicum*.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. Acesso em: 11 out. 2025.

RODRIGUES, S. M. et al. **Avaliação de cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) em dois tipos de tutores no município de Igarapé-Açu, Pará.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 131). Acesso em: 19 nov. 2025.

SAMPAIO, A. P. L. et al. The role of the genetic diversity of *Capsicum* spp. in the conservation of the species: Qualitative and quantitative

characterization. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e009122, 2023. DOI: 10.1590/1413-7054202347009122. Acesso em: 06 jan. 2026.

SILVA, M. R.; SILVA, R. N. O. Morpho-agronomic characterization and genetic diversity in peppers (*Capsicum* spp.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 3, p. 522-530, jul./set. 2021. DOI: 10.1590/1983-21252021v34n302rc. Acesso em: 27 dez. 2025.

SUDRÉ, C. P. *et al.* Genetic divergence among *Capsicum* accessions based on morpho-agronomic traits. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 3, p. 1884-1894, 2010. Acesso em: 15 jan. 2026.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Utrecht, v. 11, n. 2, p. 33-40, fev. 1962. Acesso em: 19 jan. 2026.

---

## APÊNDICES

**Apêndice A.** Resumo da análise de variância (ANOVA) e comparação de médias para variáveis de crescimento, arquitetura e acúmulo de fitomassa de oito cultivares de pimenta (*Capsicum* spp.) em Rio Branco, AC.

Variável	Fonte	GL	SQ	QM	Fc
D	Tratament o	7	42.5642	6.0806	2.382
D	Residuo	29	74.0272	2.5527	
H	Tratament o	7	606.0973	86.5853	0.801

H	Resíduo	29	3134.7000	108.0931
---	---------	----	-----------	----------

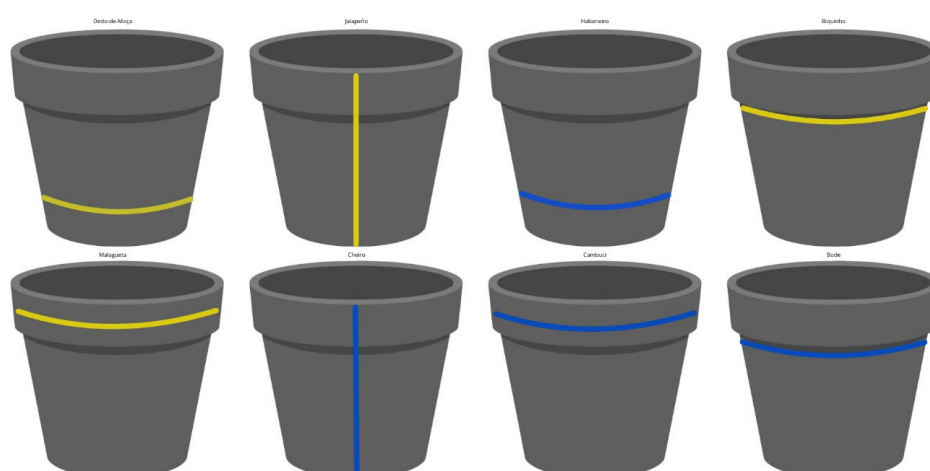
⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

<https://revistatopicos.com.br/artigos/arquitetura-da-planta-e-acumulo-de-fitomassa-de-cultivares-de-pimenteira-capsicum-spp?noblockage>

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ).

Abreviações: H: Altura da planta (cm); D: Diâmetro do caule (mm); NF: Número de folhas; MFPA: Massa fresca da parte aérea (g); MSPA: Massa seca da parte aérea (g); MSR: Massa seca da raiz (g); CV: Coeficiente de variação experimental.

**Apêndice B.** Sistema de codificação cromática e padrões de fitas adesivas utilizados para a identificação e diferenciação visual das oito cultivares de *Capsicum spp.*



**Apêndice C.** Arranjo das unidades experimentais em casa de vegetação, evidenciando o espaçamento entre recipientes para garantir a livre expressão da arquitetura das cultivares de *Capsicum spp.*



**Apêndice D.** Atributos químicos e físicos do substrato utilizada nos vasos para o cultivo de cultivares de *Capsicum spp.* em Rio Branco, Acre.

	pH	K		Ca	Mg
SC+CO	5,6	2,09	112	122	44,8

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

<https://revistatopicos.com.br/artigos/arquitetura-da-planta-e-acumulo-de-fitomassa-de-cultivares-de-pimenteira-capsicum-spp?noblockage>

SC+CO	D.A ( $\text{Kg m}^{-3}$ )	C.R.A (%)	C.E ( $\text{Mili scm}^{-1}$ )
	269,0	249,36	0,639

pH ( $\text{H}^2\text{O}$ ) = Potencial hidrogeniônico em água (relação 1:2,5); P = Fosforo disponível (extrator Mehlich- 1); K = Potássio trocável (extrator Mehlich-1); Ca = Calcio trocável (extrator  $\text{KCl}^1$  mol/L); Mg = Magnésio trocável (extrator  $\text{KCl}^1$  mol/L); Al = Alumínio trocável (extrator  $\text{KCl}^1$  mol/L); H+Al = Acidez potencial (extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L); SB = Soma de Bases (Ca + Mg + K); CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V

= Saturação por Bases; m = Saturação por Alumínio; MO = Matéria Orgânica. Unidades de medida: P em mg/dm<sup>3</sup>; K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB e CTC em cmolc/dm<sup>3</sup>; MO em g/kg; V e m em porcentagem.

**Apêndice E.** Procedimentos para aferição das variáveis morfométricas de arquitetura: mensuração da altura da planta, diâmetro do colo e contagem do número de folhas.



**Apêndice F.** Etapas do processamento das amostras vegetais para determinação da biomassa seca: secagem em estufa de circulação forçada e aferição em balança analítica de precisão.



Dissertação apresentada ao Programa Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal. Orientador: Dr. Leonardo Barreto Tavella. Coorientadora: Dra. Regina Lúcia Felix

<sup>1</sup> Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Acre (2026), Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Acre (2024). ORCID: 0009-0005-3944-7613.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Acre (2023). ORCID: 0009-0008-7839-9425

<sup>3</sup> Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Acre (2026), Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Acre (2024). ORCID: 0009-0006-8949-0641.

<sup>4</sup> Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Acre (2026), Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Acre (2024). ORCID: 0009-0004-9987-744X.

<sup>5</sup> Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Acre (2026), Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Acre (2023). ORCID: 0000-0002-1156-8641.

<sup>6</sup> Doutora em Agronomia (Fitotecnia) pela Universidade Federal de Lavras (2004). Atualmente é professora associada 3 da Universidade Federal do Acre. ORCID: 0000-0003-2401-4995.