UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR

VARIABILIDADE FENOTÍPICA COMO PRÉ-MELHORAMENTO GENÉTICO DE GUARANAZEIRO (***Paullinia cupana*** **var.** ***sorbilis*** **(Mart.) Ducke**)

RUDY JAVIER BÚ ESCOBAR

ILHÉUS – BAHIA – BRASIL

Novembro de 2023

RUDY JAVIER BÚ ESCOBAR

VARIABILIDADE FENOTÍPICA COMO O PRÉ-MELHORAMENTO GENÉTICO DE GUARANAZEIRO (***Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke**)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

Área de concentração: Genética e Biologia Molecular

Orientador: Dr. Rafael Marani Barbosa
Co-orientadora: Drª. Thâmara Moura Lima

ILHÉUS – BAHIA – BRASIL

Novembro de 2023

FICHA

RUDY JAVIER BÚ ESCOBAR

VARIABILIDADE FENOTÍPICA COMO O PRÉ-MELHORAMENTO GENÉTICO DE GUARANAZEIRO (***Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke**)

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

Área de concentração: Genética e Biologia Molecular

APROVADO: novembro de 2023

Dr. Marlon Enrique Lopez
(FHIA)

Dr. Alesandro Souza Santos
(UESC)

Dr. Ronan Xavier Corrêa
(UESC)

Dr. Rafael Marani Barbosa
(UESC - Orientador)

Aos meus pais, Jose Adan Bú e Mirna Sagrario Escobar meus maiores incentivadores. minha irmã Tania Bú, e especialmente á minha filha Ángela Victoria Bú.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a vida, a força e saúde para concluir meus estudos e me amparar nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais Jose Adan Bu e Mirna Sagrario Escobar, e aos meus familiares pelo apoio em todas as etapas de minha vida.

Á OEA- Organização dos Estados Americanos por ser a ponte para estudantes estrangeiros poderem estudar no Brasil.

À Universidade Estadual de Santa Cruz e ao PPG em Genética e Biologia Molecular.

À Capes, pela bolsa de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rafael Marani Barbosa, pela orientação, ensinamentos, conselhos, confiança, amizade e me dar todo o apoio para o desenvolvimento das atividades, participando de forma fundamental na conclusão deste trabalho.

Á minha co-orientadora Dra. Thâmara Moura Lima pela valiosa contribuição, pelo suporte, por sua paciência, incentivo, ensinamento e confiança, por acompanhar este trabalho com visão crítica e compartilhar todo seu conhecimento com seriedade, calma e responsabilidade.

Aos colegas Isabella e Matheus Andre e o laboratório de Fitotecnia, no auxílio da biometria e pela gentileza de sempre.

Ao laboratório de biocatalisis orgânica e seu equipe pelo apoio e me permitir realizar as analises químicos.

À Professora Dra. Iasnaia pela disponibilidade, paciência e apoio nas análises químicos.

Ao Prof. Dr. Raildo Mota de Jesus por me apoiar com o protocolo da secagem das sementes de Paullinia cupana e a extração dos compostos bioativos.

Á colega Maryellen Batista e o laboratório de pesquisa em Química Análitica – LPQA pela colaboração no desenvolvimento dos trabalhos com Paullinia cupana.

À Câmara Setorial do Guaraná do Baixo Sul, em especial ao Sr. Gerval Teófilo Brito e demais colaboradores, pelo apoio, disponibilidade e grande mobilização para a coleta das amostras, e aos produtores de guaraná pelo fornecimento das amostras.

Às secretárias do programa: Fabrícia, Mara, pela prestatividade, eficiência e gentileza de sempre.

Aos colegas e amigos Gabriela, Marcondes, Roy, Matheus pelo apoio incondicional em diversos momentos que precisei.

INDICE

RESUMO ..... **i**

ABSTRACT ..... **iii**

1. INTRODUÇÃO GERAL **1**

2. REVISÃO DE LITERATURA **5**

2.1. Origem e Domesticação **5**

2.2. Classificação Botânica **5**

2.3. Importância Socioeconômica **6**

2.4. O guaraná na Bahia **7**

2.5. Divergência Genética **8**

2.6. Pré-melhoramento **10**

2.7. Melhoramento Genético **10**

2.8. Métodos de melhoramento **12**

2.8.1. Seleção massal 12

2.8.2. Seleção de plantas com testes de progênie 12

2.8.3. Seleção clonal 13

2.9. Compostos químicos das sementes de guaraná **13**

2.9.1. Metilxantinas 13

2.9.2. Flavonóides 14

CAPÍTULO I **15**

CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DE FRUTOS E SEMENTES DE GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) PARA SUBSIDIAR ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO **15**

RESUMO ..... **i**

ABSTRACT ..... **iii**

1. INTRODUÇÃO **21**

2. MATERIAL E MÉTODOS **23**

2.1 Área de estudo e delineamento amostral **23**

2.2 Fenotipagem **24**

2.3 Análises estatísticas e estimação de parâmetros genéticos **25**

3. RESULTADOS **26**

4. DISCUSSÃO **32**

5. CONCLUSÕES **37**

6. REFERÊNCIAS **38**

CAPÍTULO II **44**

DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) COM DIFERENTES PROCEDÊNCIAS EM FUNÇÃO DE CARACTERES AGROINDUSTRIAIS **44**

RESUMO ..... **i**

ABSTRACT ..... **iii**

1. INTRODUÇÃO **49**

2. MATERIAL E MÉTODOS **52**

2.1 Área de estudo e delineamento amostral **52**

2.2 Fenotipagem **53**

2.3 Preparação das amostras de guaraná para a análise dos compostos químicos **53**

2.4. Reagentes **53**

2.5. Procedimento de extração dos compostos bioativos **53**

2.6. Determinação quantitativa e qualitativa dos compostos bioativos **54**

2.7 Análises estatísticas **54**

3. RESULTADOS **56**

4. DISCUSSÃO **63**

5. CONCLUSÕES **68**

6. REFERÊNCIAS **69**

7. CONCLUSÃO GERAL **73**

8. REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES **74**

RESUMO

Bú Escobar, Rudy Javier, Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil. 14 de novembro de 2023. **Variabilidade fenotípica como pré-melhoramento genético de guaranazeiro** (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). Orientador: Rafael Marani Barbosa. Coorientadora: Thâmara Moura Lima.

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma planta nativa do Brasil e possui grande potencial econômico devido às suas propriedades antioxidantes, energéticas e medicinais, atribuídas às metilxantinas e aos polifenóis. Essas características fazem com que seja amplamente utilizado em diversas áreas, incluindo a indústria de alimentos funcionais, cosméticos e refrigerantes. Dessa forma, o cultivo desta espécie torna-se uma atividade agrícola rentável, com necessidade de técnicas de manejo adequadas e plantas produtivas e resistentes, através do melhoramento genético. O estudo dos atributos fenotípicos de frutos e sementes do guaraná pode desempenhar um papel crucial na compreensão da contribuição genética de cada indivíduo (genótipo) para a variabilidade total da população. Esse conhecimento da variabilidade fenotípica em guaranazeiros de diferentes procedências visa aprimorar os programas de melhoramento genético, com o intuito de identificar genótipos superiores. Diante desse contexto, objetivou-se: (1) Avaliar a variabilidade entre genótipos de guaranazeiro provenientes de diferentes regiões de produção na Bahia, com base em características quantitativas e qualitativas de frutos e sementes; (2) Quantificar as metilxantinas e os compostos fenólicos em genótipos de diferentes procedências na região Sul da Bahia e estabelecer correlações fenotípicas entre as características biométricas dos frutos e sementes. A avaliação biométrica foi procedida por meio de paquímetro, balança analítica e estufa. Os compostos químicos foram quantificados nos extratos de sementes maduras por meio de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Realizamos análises multivariadas e de correlação, além de estimativas de parâmetros genéticos.

Para a caracterização biométrica de frutos e sementes de guaranazeiro no sul da Bahia, Brasil, nossos resultados evidenciam uma considerável variabilidade em relação à maioria das características analisadas, sendo apenas o teor de água a variável que não contribui para essa variabilidade. Observamos altas estimativas de herdabilidade para características como espessura, diâmetro, comprimento e peso dos frutos, assim como para o peso do racemo, a massa seca e fresca das sementes, e as dimensões (diâmetro e comprimento) das sementes. Foi observado um elevado teor de cafeína, catequina e epicatequina entre os genótipos analisados. Os genótipos provenientes de Igrapiúna, especificamente IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9, demonstraram os níveis mais significativos de cafeína. Esses resultados corroboram com as concentrações elevadas deste composto já documentadas nas sementes de guaraná. Esses materiais têm potencial para se tornarem cultivares comerciais de guaranazeiro no futuro. As metilxantinas e compostos fenólicos podem servir como descritores para investigações da diversidade do guaranazeiro. A análise simultânea das características biométricas e da composição química representa uma estratégia eficaz para a seleção indireta bem-sucedida de genótipos que possuem concentrações mais elevadas dessas substâncias.

Palavras-chave: Caracterização de germoplasma. Diversidade genética. Biometria. Metabólitos secundários. Análise multivariada.

ABSTRACT

Bú Escobar, Rudy Javier, Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil. 14 de novembro de 2023. **Variabilidade fenotípica como pré-melhoramento genético de guaranazeiro (***Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). Orientador: Rafael Marani Barbosa. Coorientadora: Thâmara Moura Lima.

The guarana tree (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) is a native plant of Brazil and has significant economic potential due to its antioxidant, energizing, and medicinal properties attributed to methylxanthines and polyphenols. These characteristics make it widely used in various industries, including the functional food, cosmetics, soft drink, and energy drink sectors. Thus, the cultivation of this species becomes a profitable agricultural activity, requiring appropriate management techniques and productive, resistant plants through genetic improvement. The study of the phenotypic attributes of guarana fruits and seeds can play a crucial role in understanding the genetic contribution of each individual (genotype) to the total population variability. This knowledge of phenotypic variability in guarana trees from different sources aims to enhance genetic improvement programs to identify superior genotypes. In this context, the objectives of this study were: (1) To assess the variability among guarana genotypes from different production regions in Bahia, based on a set of quantitative and qualitative fruit and seed characteristics; (2) To quantify methylxanthines and phenolic compounds in genotypes from different regions in the South of Bahia and establish phenotypic correlations between the biometric characteristics of fruits and seeds. Biometric evaluation was conducted using calipers, analytical scales, and an oven. Chemical compounds were quantified in mature seed extracts using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). We performed multivariate and correlation analyses, as well as genetic parameter estimates. For the biometric characterization of guarana fruit and seeds in the South of Bahia, Brazil, our results show considerable variability in most of the analyzed

characteristics, with only water content not contributing to this variability. High heritability estimates were observed for traits such as thickness, diameter, length, and weight of fruits, as well as for raceme weight, seed dry and fresh weight, and seed dimensions (diameter and length). A high caffeine content, catechin, and epicatechin were observed among the analyzed genotypes. Genotypes from Igrapiúna, specifically IGP1G6, IGP1G8, and IGP1G9, showed the most significant caffeine levels. These results are consistent with the already documented high concentrations of this compound in guarana seeds. These materials have the potential to become commercial guarana tree cultivars in the future. Methylxanthines and phenolic compounds can serve as descriptors for investigating guarana tree diversity. The simultaneous analysis of biometric characteristics and chemical composition represents an effective strategy for the successful indirect selection of genotypes with higher concentrations of these substances.

Keywords: Characterization. Genetic diversity. Biometrics. Secondary metabolites. Multivariate analysis.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A investigação e gestão de recursos naturais são cruciais para o progresso socioeconômico (FERREIRA et al., 2022). Os elementos extraídos da natureza demonstram uma notável versatilidade, sendo aplicáveis em diversos setores das sociedades passadas e contemporâneas (FIRMO et al., 2012; KHAN, 2014). Entre as matérias-primas amplamente procuradas para expandir nosso entendimento, destacam-se as espécies vegetais. Essas plantas, de forma geral, podem ser aproveitadas de maneira abrangente, desde suas estruturas físicas, como o lenho, até os metabólitos produzidos durante seu ciclo de desenvolvimento, como a cafeína, catequinas e teobromina (DERKACH; TARASENKO, 2021; SILVA et al., 2017).

O Brasil possui uma rica biodiversidade e um clima propício para o cultivo de diversas espécies frutíferas com potencial tanto para consumo in natura quanto para uso industrial, devido à sua vasta flora (PAZ et al., 2015). É reconhecido como um dos principais centros de diversidade genética de espécies frutíferas a nível mundial. Essas espécies oferecem um grande potencial para exploração e caracterização de seus frutos, visando a valorização e compreensão dos benefícios que podem proporcionar (MILANEZZI, 2022; PEREIRA et al., 2012). Os frutos explorados apresentam características distintas e elevadas concentrações de compostos bioativos, tais como compostos fenólicos e ácidos graxos. Estes compostos podem desempenhar um papel funcional significativo além de fornecer nutrição essencial (DANTAS et al., 2018; SCHIASSI et al., 2018).

Esta diversidade de recursos naturais está distribuída nos distintos biomas brasileiros, tais como a Floresta Amazônica, o Cerrado, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal, os quais apresentam condições edafoclimáticas peculiares e concentram significativa parcela da produção frutífera (PEREIRA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2013; CATÃO et al., 2014; PAZ et al., 2015; CARVALHO et al., 2015). As frutas tropicais foram amplamente cultivadas para uso comercial local e subsistência até a década de 1970, período em que houve uma expansão no volume de comércio, visto que esses frutos passaram

a ser reconhecidos como opções economicamente atrativas em comparação às culturas tradicionais de exportação (PAZ et al., 2015).

Nesse contexto, o guaraná (*Paullinia cupana*) se destaca como uma fruta importante no Brasil, sendo uma planta nativa da região Amazônica, com crescimento de porte reduzido e cultivo exclusivo no território brasileiro (FERREIRA et al., 2022). Trata-se de uma espécie vegetal arbustiva e trepadeira, pertencente à família *Sapindaceae*, cuja designação tem origem no termo indígena "wara'ná", que significa "árvore que sobe apoiada em outra" (ARAÚJO et al., 2010; DALONSO; DE OLIVEIRA, 2012). O gênero *Paullinia* abrange aproximadamente 180 espécies distribuídas pelo continente americano. Duas dessas espécies estão localizadas na região da floresta Amazônica: *Paullinia cupana* Mart var. typica, presente na Venezuela e Colômbia, e *Paullinia cupana* Mart var. *sorbilis*, encontrada exclusivamente no Brasil. Esta última espécie é de grande relevância econômica e comercial, sendo objeto de extensos estudos (TRICAUD; PINTON; PEREIRA, 2016).

Devido ao considerável potencial deste recurso vegetal em relação às suas propriedades medicinais e alimentares/nutricionais, tais como antioxidantes, estimulantes, afrodisíacas e cicatrizantes (MARQUES et al., 2016, 2018), bem como sua relevante rentabilidade e impacto econômico e social no Brasil, o guaraná se tornou uma matéria-prima fundamental. Estima-se que contribua com cerca de 70% da produção de refrigerantes e bebidas energéticas (MACHADO et al., 2018; SUFRAMA, 2013). A parcela restante é principalmente comercializada em pó, bastão e xaropes, frequentemente combinados com outros componentes (MACHADO et al., 2018).

A cultura do guaraná teve um crescimento significativo por parte das indústrias, expandindo seu cultivo para outros estados no Brasil (OLIVEIRA et al., 2022; LIMA et al., 2017). Por muitos anos, o guaraná esteve associado à região Amazônica brasileira, sendo uma referência na produção desta fruta. Entretanto, nos últimos anos, a região Amazônica deixou de ser o principal produtor do Brasil, sendo o estado da Bahia o maior produtor atualmente (SILVA et al., 2015). O Território do Baixo Sul da Bahia, é responsável por 72% da produção baiana e 61% da produção nacional, apresentando condições edafoclimáticas ideais para o desenvolvimento dessa cultura (SANTOS et al., 2019; IBGE, 2023). Dessa forma, destaca-se o Baixo Sul da Bahia, onde a produção de guaraná está presente de forma significativa e reúne todas as condições para obter o registro de Indicação Geográfica (SILVA et al., 2015).

No histórico de introdução e distribuição geográfica do guaranazeiro no estado da Bahia, não existem registros que estabeleçam associações entre os locais de coleta e a diversidade genética da espécie. Isso ressalta a necessidade de um esforço adicional na pesquisa para

conservar a variabilidade genética do guaranazeiro. A Embrapa Amazônia Ocidental desempenha um papel crucial nesse contexto, mantendo a variabilidade genética do guaranazeiro em um Banco de Germoplasma Clonal localizado no Estado do Amazonas. Este banco tem como objetivo atender tanto a demanda atual do programa de melhoramento quanto as necessidades futuras. A diversidade do germoplasma de guaranazeiro tem sido avaliada principalmente por meio da análise fenotípica de caracteres essencialmente agronômicos (NASCIMENTO-FILHO et al., 2001; ATROCH et al., 2009), sendo que estudos baseados em marcadores moleculares são ainda escassos (SILVA et al., 2014).

O guaranazeiro, devido ao seu baixo nível de domesticação, demanda investigações nas fases iniciais. Assim o enfoque investigativo no pré-melhoramento representa uma etapa inicial crucial para identificar as principais características de interesse em populações não aprimoradas, fornecendo informações para a predição dos ganhos genéticos (NASCIMENTO et al., 2014; LAURINDO et al., 2016). O pré-melhoramento enfatiza informações cruciais sobre as características alvo de seleção, juntamente com a variação de genótipos em germoplasmas exóticos ou em populações que nunca foram submetidas a qualquer processo de melhoramento (NASS et al., 2007; FALEIRO; NETO; JUNIOR, 2008).

Para analisar a divergência genética, recorre-se a técnicas multivariadas (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018). Uma das maneiras de determinar a distância genética entre genótipos específicos é por meio de métodos biométricos. Estes métodos permitem a análise através de estatística multivariada, consolidando diversas informações provenientes de um conjunto de caracteres (SUDRÉ et al., 2005; OZORIO; ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2019). Dentre os métodos preditivos, encontram-se aqueles que quantificam a diversidade utilizando medidas de dissimilaridade, tais como a distância euclidiana (ELIAS et al., 2007). Ao analisar a relevância dos caracteres, é viável classificar as variáveis estudadas de acordo com sua contribuição para a diversidade genética e eliminar aquelas de menor contribuição (MOURA et al., 2013).

As estimativas dos parâmetros genéticos, tais como variância fenotípica, variância genotípica, coeficiente de variação genotípico e herdabilidade, são fundamentais para compreender a estrutura e a variabilidade genética de uma determinada população. Essas análises proporcionam informações valiosas que podem ser usadas para prever os ganhos genéticos e avaliar o potencial sucesso de um programa de melhoramento (FERRÃO et al., 2015). Além disso, essas estimativas desempenham um papel crucial na revisão dos métodos de melhoramento e seleção a serem adotados. Elas auxiliam na identificação da natureza da influência genética nos caracteres quantitativos e na formulação de estratégias eficazes de

melhoramento, visando alcançar ganhos genéticos contínuos, sem comprometer a manutenção de uma base genética adequada na população para futuras seleções (GONÇALVES et al., 2007).

Tendo em vista a relevância econômica dessa cultura para o Brasil e o estado da Bahia é importante avaliar as características quantitativas para uma compreensão aprofundada da diversidade genética do guaranazeiro e contribuirão para a formulação de estratégias eficazes de melhoramento, visando identificar genótipos com altas concentrações dos compostos químicos com valor de uso, para utilização subsequente como matéria-prima de alta qualidade para a indústria visto que o guaraná se configura como uma fonte promissora. Assim, neste estudo, objetivou-se avaliar a variabilidade fenotípica entre genótipos de guaranazeiro procedentes de diferentes locais de produção na Bahia, com base na biometria dos frutos e sementes e compostos químicos, bem como estimar parâmetros genéticos das variáveis de interesse agronômico. Adicionalmente, foram estimadas as correlações entre as variáveis biométricas e compostos químicos das sementes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Origem e Domesticação

O guaraná é uma planta típica da América do Sul, nativa da Amazônia, com ocorrência em Maués, Amazonas-Brasil (NINA et al., 2020). O primeiro relato sobre o guaraná data de 1669 e foi feito por Bettendorff, superior Jesuíta da Companhia no Maranhão, ele encontrou a planta sendo utilizada entre os índios Andirás (conhecidos como Sateré-Maué), em viagem realizada pelo rio Amazonas (ATROCH et al., 2012). Quando os primeiros naturalistas europeus exploraram a Amazônia, no século 19, observaram que os Saterés-Maués foram os cultivadores originais do guaraná e naquela época o produto estava chamando a atenção de colonos (ATROCH et al., 2009; BETTENDORFF, 1990; CLEMENT, et al., 2010; MONTEIRO, 1965).

Os Saterés-Maués transformaram aquela que era trepadeira silvestre em arbusto cultivado. Além disso, incorporaram a planta em sua mitologia e cultura, sendo o marcador étnico por excelência do povo (FIGUEROA, 2016). Este é um grupo étnico que fala a lingua Tupi, o mais importante grupo linguístico indígena do Brasil. Em sua mitologia, o guaraná é um elemento essencial de sua sociedade, porque é diretamente associado com a própria origem dos Saterés-Maués (ATROCH et al, 2012). Estes tornaram-se grupo étnico distinto naquela época, diferente dos demais grupos Tupi da Amazônia Central. Com base nessas informações, a literatura científica afirma que o guaraná tem origem nessa região (ATROCH; NASCIMENTO FILHO., 2018).

2.2. Classificação Botânica

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma dicotiledônea pertencente à família Sapindaceae, que contém cerca de 130 gêneros reconhecidos e aproximadamente 2.000 espécies de árvores e arbustos (TRÓPICOS, 2008). O gênero *Paullinia*, no qual o guaraná pertence, possui aproximadamente 180 espécies distribuídas

pela América tropical e subtropical e uma única espécie na África tropical, *Paullinia pinata* L. A espécie*Paullinia cupana* H.B.K. divide-se em duas subespécies ou variedades: *Paullinia cupana* Mart var. *typica*, e *Paullinia cupana* Mart var. *sorbilis*, (CASTRO 1974; TRICAUD; PINTON; FEREIRA, 2016). É um arbusto que pode medir de dois a três metros de altura quando cultivado em espaços abertos, também é considerado uma planta trepadeira lenhosa, que como a maior parte das espécies do gênero, pode alcançar até 10 metros de altura pelas árvores da floresta (SOUZA et al., 1996)

Figura 1. Aspectos do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke Fonte: Escobar, 2023). A) Arbusto cultivado a sol pleno; B) Infrutescência; C) Sementes secas.

2.3. Importância Socioeconômica

O Brasil é o único produtor de guaraná em termos comercias do mundo, no Amazonas e na Bahia, a cultura é cultivada por pequenos e grandes produtores (SMITH; ATROCH, 2010). A importância econômica e social da espécie (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) está relacionada ao alto potencial de suas propriedades medicinais, afrodisíacas, terapêuticas e estimulantes que são bastante utilizadas nas indústrias farmacêuticas e cosméticas, o que têm

despertado interesse da comunidade científica (MARQUES et al., 2016; PATRICK, 2019; SANTOS, 2022; TFOUNI et al., 2007). A parte do guaraná mais utilizada comercialmente são as sementes secas, devido ao seu grande teor de cafeína (MACHADO et al., 2018), que varia de 2,5 a 6,98%, representando o aproximadamente de quatro a seis vezes mais ao encontrado nas sementes do café (KURI, 2008; SCHIMPL et al., 2014). O guaraná tornou-se uma importante matéria-prima na indústria alimentícia, sendo responsável por aproximadamente 70% da produção de refrigerantes e bebidas energéticas. O restante da sua produção é comercializado principalmente em drogarias por meio de formulações em pó, cápsulas e comprimidos (MACHADO et al., 2018; MARQUES et al., 2019; SUFRAMA, 2013;).

O Brasil atende o mercado nacional e internacional, e esta grande importância econômica fez com que na segunda metade do século 20 ocorresse uma expansão dos cultivos de guaranazeiro com plantios comerciais nos estados da Bahia, Amazonas, Mato Grosso Acre, Pará, Rondônia (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018; NASCIMENTO FILHO; SILVA et al., 2017; TRICAUD; PINTON; FEREIRA, 2016). O guaraná comercial pode ser encontrado de formas diferentes: guaraná em rama (grão torrado); guaraná em bastão (pasta do grão torrado, triturado, pilado e misturado com água em forma de bastão); guaraná em pó (grão torrado e moído); xaropes e essências (MAJHENIC; SKERGET; KNEZ, 2007; PEREIRA et al., 2005).

2.4. O guaraná na Bahia

De acordo com os moradores mais antigos do município de Taperoá -BA, localizado a 193 km ao norte de Ilhéus, o cultivo do guaraná se iniciou nesta região na década de 1970, onde um agricultor japonês mudou-se para Taperoá e trouxe do amazonas as primeiras mudas. Posteriormente a cultura se expandiu para outros municípios do Baixo Sul da Bahia (SEAGRI, 2011). Na Bahia, a planta teve um processo de adaptação ao solo e ao clima, devido à similaridade as condições de seu habitat natural. Isso favoreceu sua rápida expansão pelo território do Baixo Sul da Bahia, região composta por 15 municípios e localizada no litoral baiano, sendo uma das principais culturas da região (SCHIMPL et al., 2013).

Atualmente a Bahia ocupa o primeiro lugar no ranking nacional de produção, o que está relacionado às condições edafoclimáticas favoráveis, aliadas a baixa incidência de doenças como a antracnose, e técnicas diferenciadas de cultivo por parte dos produtores baianos (SUFRAMA, 2013). Desde o ano 2000, a Bahia é o maior produtor de guaraná em escala

comercial. A média de produção para 2022 foi de 1.554 toneladas de sementes, correspondendo aproximadamente a 61% da produção nacional. O Território do Baixo Sul responde praticamente sozinho por toda produção de guaraná no estado da Bahia, possuindo uma área destinada á colheita superior a 5.538 hectares com rendimento de 281 kg/ha em 2022 (IBGE, 2023).

Entre os principais municípios com produção de guaraná, destacam-se os municípios de Taperoá, Ituberá, Valença, Nilo Peçanha e Camamu. Esse produto possui extrema importância socioeconômica na região, uma vez que a cultura é explorada basicamente pela agricultura familiar e envolve aproximadamente 11.000 famílias distribuídas em pequenas e médias propriedades rurais nos municípios do Baixo Sul que têm o guaraná como uma das principais fontes de renda (BAQUEIRO et al., 2019; EBDA, 2013).

2.5. Divergência Genética

O sucesso de um programa de melhoramento depende da variabilidade da população a ser trabalhada, a qual pode ser denominada de população-base, formada por genótipos superiores e divergentes, de acordo recomendações dos melhoristas (ELIAS et al., 2007). A avaliação da diversidade genética dentro e entre populações de plantas é estimada por meio de métodos preditivos, utilizando dados de caracterização qualitativa e quantitativa (CRUZ; CARNEIRO, 2006; GOVINDARAJ; VETRIVENTHAN; SRINIVASAN, 2015). Através de caracteres agronômicos, morfológicos, moleculares, entre outras, é possível reunir informações múltiplas, podendo estimar a diversidade existente no conjunto de genótipos avaliados (CARVALHO et al., 2003; CRUZ; CARNEIRO, 2006).

O estudo da diversidade genética possibilita o conhecimento da base genética da população, permitindo a identificação de progenitores que, quando cruzados permitem expressão de vigor híbrido das progênies (ARRIEL et al., 2004; VIEIRA et al., 2015). A variabilidade genética existente pode estar presente em populações naturais, e também com produtores rurais, em locais de plantios comerciais, que passaram por processo de domesticação de acordo seleção de características desejáveis (TSUTSUMI; BULEGON; PIANO, 2015).

A divergência pode ser calculada por meio de uma medida de distância, a exemplo da distância Euclidiana e Mahalanobis por meio de procedimentos multivariados (MARCHIORO et al., 2003; SOUSA; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2017). Técnicas multivariadas utilizadas para estimar a divergência genética permitem a avaliação simultânea de muitas características (SHI et al., 2010), que permite base teórica sólida para fornecer informações confiáveis sobre

as distâncias genéticas entre genótipos (BHANDARI et al., 2017). Uma vez que existe um conjunto de dados envolvendo variáveis quantitativas e qualitativas, uma análise conjunta das variáveis pode destacar a diversidade nas populações ou bancos de germoplasmas (MOURA et al., 2010).

A caracterização biométrica de frutos e sementes fornece informações para a conservação e exploração dos recursos com valor econômico, além disso, constitui instrumento importante para detectar a variabilidade genética entre e dentro das populações, observa-se também que pode ser utilizada para verificar a expressão do fenótipo de acordo os fatores ambientais, contribuindo no direcionamento de trabalhos de melhoramento de espécies vegetais (MOURA et al., 2019; VIEIRA et al., 2016). Portanto estudos biométricos de frutos e sementes servem como base de futuras investigações que auxiliam estratégias para disponibilizar genótipos com características de interesse, a exemplo de número de frutos, tamanho de fruto e sementes, quantidade de óleo de sementes, e polpa de frutos, dentre outros (MACEDO et al., 2009; SOUTO et al., 2017).

O guaranazeiro apresenta ampla variabilidade fenotípica para os caracteres analisados (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018). E uma variabilidade genética suficiente para vários caracteres o que permite a seleção de indivíduos superiores com maior número de atributos desejáveis, para uso direto pelos produtores ou para uso nos programas de melhoramento genético (FAJARDO, 2016). Essa afirmação é baseada em 30 anos de estudos, período no qual o guaraná foi caracterizado e avaliado tanto quanto à variabilidade morfométrica tanto como à variabilidade genética molecular, também nesse período foram lançados cultivares oriundos do programa de melhoramento no município de Maus Amazonas coordenado pela Embrapa (FAJARDO et al., 2019; NASCIMENTO FILHO; ATROCH, 2002). A variabilidade de características qualitativas e quantitativas foi avaliada em progênies de polinização aberta e também como clones no estado do Amazonas, resultando em uma proposta de lista mínima de descritores para a caracterização morfológica de guaranazeiro (PEREIRA et al., 2005; PEREIRA; DE ARRUDA, 2007). Essa lista reúne observações morfoanatômicas da folha (largura, comprimento, forma e tamanho do folíolo), comprimento da ráquis, inserção do cacho no ramo, peso do cacho, número de frutos por cacho, forma do fruto, cor do fruto, superfície do pericarpo do fruto, peso da matéria fresca do fruto, peso fresco e seco da casca, peso da matéria fresca e seca da semente e composição química das sementes (teor de cafeína) (FAJARDO et al., 2019; OZORIO; ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2019; SILVA et al., 2019).

2.6. Pré-melhoramento

Pode-se conceituar o pré-melhoramento como etapa do programa de melhoramento genético que visam atividades orientadas para a identificação de características de interesse, genes ou conjuntos gênicos desejáveis, em materiais não adaptados, semi-adaptados ou que não sofreram nenhuma forma de seleção, ou ainda não foram submetidas a qualquer processo de melhoramento (FALEIRO; NETO; JUNIOR, 2008; NASS; PATERNIANI, 2000; ORTIZ, 2002;). Para espécie perene em fase de pré-melhoramento, a estimação de parâmetros genéticos possibilita o conhecimento da estrutura genética das populações existentes, além de proporcionar subsídios para predizer os ganhos genéticos e o possível sucesso do programa de melhoramento das culturas (NASCIMENTO et al., 2014). A caracterização e avaliação dos acessos facilitam o estabelecimento de coleção nuclear (SOBREIRA, 2013).

O pré-melhoramento mostra-se como alternativa para buscar outros mecanismos que incorporem a variabilidade por meio de caracterização quantitativa e qualitativa (LAURINDO et al., 2016). Estas atividades também contribuem para a conservação dos recursos genéticos através da manutenção da base genética das espécies, assim contribuindo para a conservação da variabilidade genética para o futuro (DUVICK, 1990; NASS; PATERNIANI, 2000). Portanto é uma importante alternativa a ser considerada para intensificação do uso dos recursos genéticos em resposta aos grandes desafios para agricultura Brasileira e mundial. (FALEIRO et al., 2008). O valor dos recursos genéticos é enorme e sua conservação, caracterização e uso são fundamentais para os programas de melhoramento, principalmente para espécies cultivadas que apresentam base genética estreita (FALEIRO; NETO; JUNIOR, 2008).

Trabalhos de pré-melhoramento são de grande importância para subsidiar a utilização prática dos recursos genéticos e ampliar a base genética dos programas de melhoramento (DUVICK, 1990; NASS; PATERNIANI, 2000). Nesse sentido, para maximizar o sucesso dos programas de pré-melhoramento, é essencial a integração de suas atividades com as atividades e demandas dos programas de melhoramento e pós melhoramento. (FALEIRO; NETO; JUNIOR, 2008). Pode-se dizer então que o pré-melhoramento é a ponte entre as atividades de recursos genéticos e os programas de melhoramento (NASS; MIRANDA FILHO; DOS SANTOS, 2001).

2.7. Melhoramento Genético

A agricultura contemporânea enfrenta desafios constantes, notadamente a crescente necessidade de aumentar a produção de recursos para atender a uma população em constante

expansão. Isso requer uma busca por soluções sustentáveis que possam suprir as crescentes demandas por alimentos, bioenergia, fibras, medicamentos, forragem e outros recursos essenciais (RESENDE; BRONDANI; CHAVES, 2023).

O melhoramento genético vegetal é uma das formas mais ecologicamente responsável de se aumentar a produção de alimentos com a adaptação da planta ao ambiente e não do ambiente a planta (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHE-NETO, 2021). Com o aumento da população e da demanda crescente por alimentos, o melhoramento passou a colaborar substancialmente para a seleção de novas cultivares e híbridos mais ajustados aos fatores bióticos e abióticos e ou quando as culturas não são manejadas adequadamente. Dessa forma, nos mais diversos programas de melhoramento genético de plantas, o processo de seleção dos genótipos que apresentam características agronomicamente desejáveis é realizado com base nas informações fenotípicas dos indivíduos (GASPAROTTO; BENTES; DE ARRUDA, 2020; TOPPA; JADOSKI, 2013).

O objetivo geral do melhoramento de plantas é a identificação e a seleção de genótipos superiores, quanto à produtividade, resistente a pragas e doenças, tolerância a seca, a colheita mecanizada (BACAXIXI et al., 2011; TSUTSUMI; BULEGON; PIANO, 2015). No guaranazeiro o ciclo de melhoramento compreende as fases de seleção de matrizes, testes de progênies, experimentos de competição de clones e posterior lançamento de materiais para plantio em escala comercial (ATROCH, 2009). O programa de melhoramento coordenado pela Embrapa Amazônia Ocidental tem como objetivo selecionar clones de guaraná com produtividade acima de 1,0 kg de sementes por planta, ampla adaptabilidade, boa estabilidade, tolerância às principais doenças com melhor qualidade de frutos (alto teor de cafeína), resistência à queda na maturação e maturação mais uniforme (NASCIMENTO FILHO; ATROCH, 2002).

O programa de melhoramento genético do guaranazeiro iniciou-se em 1976 no Campo Experimental de Maués, após 30 anos de pesquisas, avançou, com o lançamento dos primeiros 12 cultivares clonais em 1999 e 2000, onde existem variedades clonais que possuem potencial produtivo até 10 vezes superior à média do Estado do Amazona. Entre os principais cultivares que foram lançados inclui o BRS- Amazonas, possui tolerância à antracnose, principal doença do guaranazeiro, causada pelo fungo *Colletrotrichum guaranicola*. A produtividade média de sementes secas desse clone é de 1,49 kg por planta/ano e o clone BRS-Maués, possui tolerância à antracnose e ao superbrotamento (doença causada pelo fungo *Fusarium decemcellulare*). Sua produtividade média é de 1,55 kg de sementes secas por planta/ano. (ATROCH, 2009;

ATROCH; DE RESENDE; NASCIMENTO FILHO, 2004; NASCIMENTO FILHO, et al 1999).

Para se aumentar a produção de guaraná no Brasil, a Embrapa desenvolveu novas cultivares, que apresentam resistência às principais doenças da cultura, maior produtividade e rentabilidade para os produtores (BENTES; MATSUOKA, 2002); NETO; ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2020). No ano 2007 ao 2013 a EMBRAPA lançou os cultivares sob os nomes de BRS Andirá, BRS Mundurucânia, BRS Careçaporanga e BRS Luzéia, BRS Saterê e a BRS Marabitana (NASCIMENTO FILHO et al., 2007; SOUZA, 2013). No ano 2015 foi lançado BRS Noçoquém a Primeira Cultivar de Guaranazeiro de Reprodução via sementes para cultivo no Estado do Amazonas (ATROCH; NASCIMENTO FILHO; PEREIRA, 2015)

2.8. Métodos de melhoramento

A Embrapa Amazônia Ocidental tem empregado diversos métodos de melhoramento do guaraná, os quais são selecionados com base nos objetivos específicos de cada programa, bem como na disponibilidade de recursos humanos, materiais e infraestrutura (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018).

2.8.1. Seleção massal

A seleção massal é, entre os métodos de melhoramento conhecidos, o mais simples e antigo. Por esse método, plantas são avaliadas e selecionadas fenotipicamente, sendo um método efetivo para caracteres que são facilmente observados ou medidos (FREITAS et al, 2009). As primeiras variedades melhoradas foram obtidas através deste método em grande parte das culturas que se propagam por meio de sementes. Em 1981, teve início um projeto de seleção de plantas na Estação Experimental Gregório Bondar, localizada em Barrolândia, no município de Belmonte, Bahia. A seleção das plantas foi conduzida com base em critérios específicos, incluindo a morfologia da copa, o vigor das plantas e a abundância de floração, com subsequente acompanhamento individual da produção (ATROCH et al., 2012).

2.8.2. Seleção de plantas com testes de progênie

De acordo com Borém (1997), o teste de progênie envolve a avaliação dos genótipos da descendência com base nos fenótipos de seus descendentes com informação dentro da parcela e também com informação de procedência, podendo ser de polinização aberta ou controlada

(FREITAS et al, 2009). A seleção por meio de testes de progênie demonstrou maior eficiência em comparação à seleção massal, uma vez que possibilita uma avaliação mais precisa das plantas selecionadas. Isso se deve ao fato de que as progênies são submetidas a ensaios com desenhos experimentais rigorosos, resultando em medições de elevada precisão (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2001). Esse método foi empregado no programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Ocidental de 1976 até o final da década de 1980, sendo posteriormente descontinuado devido à elevada incidência de antracnose nas progênies testadas, o que inviabilizou a tomada de decisões acerca da identificação das melhores progênies (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018).

2.8.3. Seleção clonal

A propagação vegetativa, também conhecida como reprodução assexuada, desempenha um papel de suma importância na estabilização e perpetuação do patrimônio genético das plantas, permitindo, assim, a criação de clones. Definido como um conjunto de organismos cuja origem remonta a um único espécime vegetal, o clone é propagado através de mecanismos vegetativos, como estacas, enxertia e gemas, entre outros métodos (RESENDE; BRONDANI; CHAVES, 2023). Como resultado desse processo, as plantas pertencentes a um mesmo clone são, de fato, geneticamente idênticas entre si e à planta progenitora.

Ao final da década de 1970, quando a técnica de enraizamento de mudas de guaraná foi aprimorada, a Embrapa Amazônia Ocidental iniciou a pesquisa direcionada ao desenvolvimento de clones e à seleção de plantas-mãe, tanto em ensaios de progênie quanto em áreas de produção convencionais. Ensaios de competição entre clones foram estabelecidos com o propósito de selecionar e recomendar as variedades mais promissoras. Este método ainda permanece em uso no programa de melhoramento genético do guaraná (ATROCH et al., 2012).

2.9. Compostos químicos das sementes de guaraná

As propriedades farmacológicas do guaraná estão associadas a presença de vários compostos bioativos como a cafeína, teobromina, teofilina, saponinas, catequina, epicatequina. Os grupos de compostos considerados principais no guaraná são as metilxantinas e os flavonoides (SOUSA et al., 2010).

2.9.1. Metilxantinas

As metilxantinas são compostos derivados das purinas, encontrando-se abundantemente no reino vegetal e presentes em aproximadamente 60 espécies. Os principais exemplos incluem

a cafeína (1,3,7-trimetilxantina), a teofilina (1,3-dimetilxantina) e a teobromina (3,7-dimetilxantina). Devido à sua origem a partir de bases púricas e às suas 24 características anfóteras, elas podem ser classificadas como pseudo-alcalóides, embora muitos autores optem por classificá-las como alcalóides púricos devido à sua notável atividade biológica, distribuição restrita e a presença de nitrogênio heterocíclico (BIZZOTTO, 2010; KATO; NAKAYAMA, 2018; RATES, 2017). Amplamente presentes na dieta humana, as xantinas exibem propriedades farmacológicas, tecnológicas e terapêuticas significativas, sobretudo no que se refere ao sistema nervoso central (ARAGÃO; VELOSO; ANDRADE, 2009; MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2014).

A concentração de cafeína presente no guaraná é cerca de 4 a 6 vezes maior que no café, 10 vezes maior do que no chá, e 30 vezes maior do que no cacau (ANTUNES, 2011; RIBEIRO; COELHO; BARRETO, 2012).

2.9.2. Flavonóides

Os flavonóides são compostos de origem vegetal da classe dos polifenóis, sendo classificado como um dos maiores grupos de metabólitos secundários, sendo assim comumente encontrados nas plantas de diversos ecossistemas (NINA et al., 2019). Os flavonoides são compostos de baixo peso molecular, sua estrutura química é formada por dois anéis aromáticos que estão unidos por três carbonos, formando um anel heterocíclico, totalizando quinze átomos de carbono (RODRIGUES DA SILVA et al., 2015). Podem ser encontradas em diversas partes de uma planta, nas flores, galhos, raízes e frutos, sementes em diferentes concentrações. Isso porque fatores ecológicos, como sol, chuva, raios UV, nutrientes e outros estações do ano influenciam no metabolismo da planta (MACHADO et al., 2008). Na semente de guaraná, há elevados níveis de flavanóis, sendo os principais a catequina e epicatequina (LIDILHONE; GENISE; NEUSA, 2013; LIMA et al., 2017; YONEKURA et al., 2016).

A catequina e epicatequina são os flavonóis mais comuns, sendo facilmente encontrados em alimentos e produtos derivados de plantas, como chás e vinhos tintos (COSTA, 2010; PASCUAL-TERESA; MORENO; GARCÍA-VIGUERA, 2010;). As catequinas presentes no guaraná demonstram atividade antioxidante, antiviral, bactericida, moluscicida e de inibição de algumas enzimas. O consumo do guaraná ajuda no combate a distúrbios metabólicos, aumenta a energia basal e a perda de peso porque possui propriedades funcionais semelhantes ao chá verde, que também é rico em catequinas (SOUSA et al., 2010).

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DE FRUTOS E SEMENTES DE GUARANAZEIRO (***Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)** PARA SUBSIDIAR ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO

RESUMO

Bú-Escobar, Rudy Javier, Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil. 14 de novembro de 2023. **Caracterização biométrica de frutos e sementes de guaranazeiro** (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (mart.) ducke) **para subsidiar estratégias de melhoramento** Orientador: Rafael Marani Barbosa. Coorientadora: Thâmara Moura Lima.

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) é uma espécie frutífera que apresenta potencial econômico devido ao alto teor de cafeína em suas sementes. A avaliação fenotípica dos recursos genéticos de guaraná é relevante para se conhecer possíveis acessos a serem exploradas em diferentes locais, de acordo características produtivas desejáveis. Dessa forma o objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade entre 21 genótipos de guaranazeiro procedentes de diferentes locais de produção na região Sul da Bahia, assim como estimar correlação e parâmetros genéticos de variáveis dos frutos e sementes. Foram avaliadas: Peso do racemo (RW), massa do fruto (MF), número de sementes por fruto (NSF) comprimento do fruto (CF), diâmetro do fruto (DF), espessura do fruto (EF), massa fresca da semente (MFS), massa seca da semente (MSS), comprimento da semente (CS), diâmetro da semente (DS), espessura da semente (ES) e teor de água das sementes (TA). Além disso, foi avaliado a distribuição de probabilidade de variáveis qualitativas relacionadas ao formato do fruto (FF) e superfície do fruto (SF) dos respectivos genótipos. A MF - MFS - MSS mostram correlações positivas e significativas entre CF - DF - EF - DS - CS - ES, podendo ser utilizadas para a seleção de variáveis de interesse com menor esforço de avaliação e possibilitar maior eficiência na seleção. Os genótipos de guaraná foram separados em dois grupos, indicando existência de variabilidade entre as procedências. O teste de distribuição de frequência para os descritores qualitativos formato do fruto (FF) e superfície do fruto (SF), entre clusters formados na análise de agrupamento apresentou diferença significativa ($p<0.05$) das respectivas classes fenotípicas de cada descritor. A estimativa de herdabilidade da maioria das variáveis representa confiabilidade do valor genético e possibilitam a eficiência na seleção

individual em futuros trabalhos de melhoramento. As caraterísticas de frutos e sementes de *Paullinea cupana* mostram ser eficientes para avaliar a divergência genética entre os genótipos, de forma a subsidiar informações relevantes para este recurso vegetal de alto valor econômico.

Palavras-chave: Recursos genéticos. Bioeconomia. Seleção indireta. Diversidade fenotípica. Análise multivariada.

ABSTRACT

Bú Escobar, Rudy Javier, Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil. 14 de novembro de 2023. **Caracterização biométrica de frutos e sementes de guaranazeiro** (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (mart.) ducke) **para subsidiar estratégias de melhoramento** Orientador: Rafael Marani Barbosa. Coorientadora: Thâmara Moura Lima.

Guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) is a fruit species with economic potential due to the high caffeine content of its seeds. The phenotypic evaluation of the genetic resources of guarana is important to identify possible accessions that can be exploited in different locations, according to desirable production characteristics. The aim of this study was to evaluate the variability between 21 guarana genotypes from different production sites in southern Bahia, Brazil, and estimate the correlation and genetic parameters of fruit and seed variables. The evaluated variables were raceme weight (RW), fruit mass (FM), number of seeds per fruit (NSF) fruit length (FL), fruit diameter (FD), fruit thickness (FT), seed fresh mass (SFM), seed dry mass (SDM), seed length (SL), seed diameter (SD), seed thickness (ST) and seed water content (SWC). In addition, the probability distribution of qualitative variables related to fruit shape (FS) and fruit surface (FS) of the respective genotypes was assessed. FM - SFM - SDM shows positive and significant correlations between FL - FD - FT - SD - SL - ST, which can be used to select variables of interest with less evaluation effort and enhance selection. The guarana genotypes were separated into two groups, thus indicating the existence of variability between the provenances. The frequency distribution test for the qualitative descriptors fruit shape (FS) and fruit surface (FS) between the clusters formed in the cluster analysis showed a significant difference ($p<0.05$) between the respective phenotypic classes for each descriptor. The estimated heritability of most of the variables represents the reliability of the genetic value and enables efficient individual selection in future enhancements. The fruit and seed characteristics of *Paullinia cupana* proved effective

for assessing genetic divergence between genotypes and, consequently, provide relevant information for this plant of high economic value.

Keywords: Genetic resources. Bioeconomy. Individual selection. Phenotypic diversity. Multivariate analysis.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke é nativa da região Amazônica, conhecida como guaraná brasileiro, onde foi domesticada e cultivada pela comunidade indígena Sateré-Mawé (COSTA et al., 2011; FIGUERIA., 2016; SCHIMPL et al., 2013). Essa planta apresenta importância no contexto econômico e social na Amazônia brasileira e no Estado da Bahia (SILVA et al., 2016; TFOUNI, 2007), sendo reconhecida por seu potencial medicinal, assim como fonte dos compostos metilxantinas e catequinas, dentre outros, com propriedades energéticas e antioxidantes (MARQUES et al., 2019; YONEKURA et al., 2016), o guaraná possui sementes com o maior teor de cafeína já descrito na literatura, variando de 2,5% a 6,98% em sementes secas (ASHIHARA et al., 2017; SCHIMPL et al., 2014). A bioeconomia enquanto proposta de transformação de recursos da flora em cosméticos, fármacos e bioativos (HOMMA, 2022), mostra-se atrativa para o desenvolvimento de cadeias produtivas de diversas espécies nativas, como é o caso do guaraná (REZENDE, 2022).

O guaraná tornou-se importante fonte de matéria-prima de produtos amplamente comercializados, sendo responsável por aproximadamente 70% da produção de refrigerantes e bebidas energéticas, e o restante é concentrado principalmente em drogarias por meio de formulações em pó, cápsulas e comprimidos (SMITH; ATROCH, 2007; FIGUEROA, 2016; PATRICK et al., 2019). O Brasil é o maior produtor mundial dessa cultura atendendo ao mercado nacional e internacional (MARQUES et al., 2016; IBGE, 2023). Este grande sucesso fez com que na segunda metade do século 20 ocorresse expansão dos cultivos de guaranazeiro com plantios comerciais nos estados da Bahia, Amazonas, Mato Grosso, Acre e Pará. (NASCIMENTO-FILHO et al., 2001; TRICAUD; PINTON; PEREIRA, 2016).

O uso comercial do guaraná fez com que a indústria ampliasse a demanda pelo fruto de qualidade, oriundo de melhoramento genético. A pesquisa para produção de cultivares de guaraná mais produtivas utiliza processo de seleção de materiais superiores. Na literatura científica são encontrados estudos sobre a variabilidade genética e fenotípica de progênies na Amazônia usando caracteres morfoagronômicos (ATROCH., et al 2010; FAJARDO, 2019),

além de poucos estudos utilizando marcadores moleculares avaliando a diversidade genética do germoplasma (SILVA et al., 2016). Devido ao potencial econômico do guaraná, mais pesquisas tornam-se necessárias visando obtenção de genótipos produtivos, principalmente para o Estado da Bahia, onde a planta é altamente cultivada, e não há estudos na perspectiva genética. Foco investigativo em pré-melhoramento é um passo inicial para a identificação das principais características de interesse nas populações não melhoradas fornecendo subsídios para predizer os ganhos genéticos de diferentes genótipos (NASCIMENTO et al., 2014; LAURINDO et al., 2016).

Dentro do contexto das pesquisas que podem auxiliar o melhoramento genético, é necessário conhecer a variabilidade fenotípica e herança das características para a escolha dos métodos mais apropriados na seleção de plantas (ATROCH et al., 2010). Dessa forma, a biometria de frutos e sementes pode fornecer subsídios para detectar a variabilidade genética dentro e entre populações de diferentes locais da região de estudo, do ponto de vista de produtividade (BELLEI et al., 2022; GONÇALVES et al., 2013; LAVIOLA et al., 2017).

Devido a carência de estudos que auxiliem pesquisas para pré-melhoramento do guaraná, no estado da Bahia, o objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade genética entre genótipos de guaranazeiro na região Sul da Bahia, com base na biometria dos frutos e sementes, assim como estimar parâmetros genéticos das variáveis morfometricas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e delineamento amostral

Foram avaliados 21 genótipos de guaraná provenientes de propriedades rurais da região Sul da Bahia, situadas nas localidades de Camamu, Taperoá e Igrapiúna (Limoeiro), as quais são compreendidas como procedências do presente estudo, as coletas do material foram realizadas no mês de março do 2022. Foi considerado duas propriedades rurais para cada procedência, com exceção de Taperoá que consta apenas de uma propriedade. No total, avaliamos cinco genótipos para Camamu produtor 1 (CAP1); dois para Camamu produtor 2 (CAP2); três para Igrapiúna produtor 1 (IGP1); oito para Igrapiúna produtor 1 (IGP2) e três genótipos para Taperoá produtor 1 (TAP1).

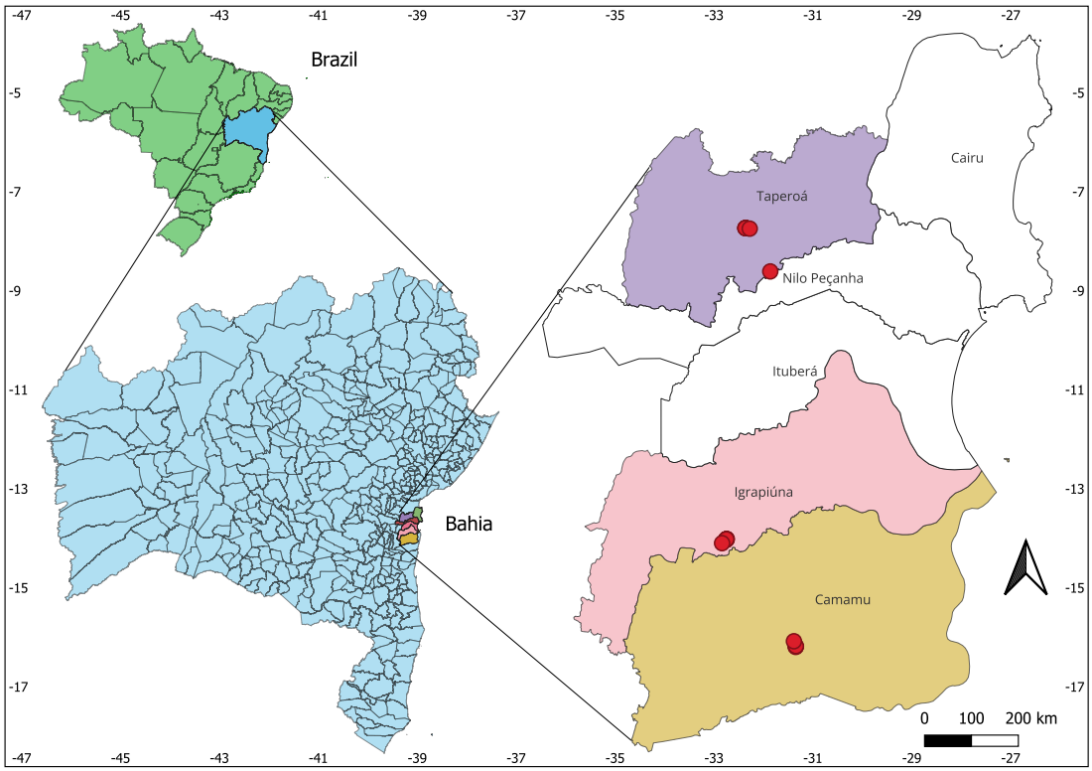


Figura 1. Localização geográfica dos sítios de coleta (pontos vermelhos) de 21 genótipos de guaraná em diferentes municípios do estado da Bahia, Brasil.

2.2 Fenotipagem

Foram avaliados dois racemos para cada genótipo e, de forma aleatória, foram selecionados 10 frutos por racemo, totalizando 420 frutos e 656 sementes avaliadas. Para caracterização biométrica foram avaliadas as variáveis quantitativas: Peso do racemo (RW); Massa do fruto (MF); Número de sementes por fruto (NSF); Comprimento do fruto (CF); Diâmetro do fruto (DF); Espessura do fruto (EF); Massa fresca da semente (MFS); Massa seca da semente (MSS); Comprimento da semente (CS); Diâmetro da semente (DS); Espessura da semente (ES) e Teor de água da semente (TA). As características foram mensuradas com a utilização de paquímetro digital, balança de precisão e estufa para a secagem das sementes, o teor de água foi calculado com a equação: TA = (MFS-MSS) /MFS*100. Além disso, foram utilizados dois descritores qualitativos: i) Superfície do fruto (SF) e as classes fenotípicas Lisa e Rugosa; ii) Formato do fruto (FF) e as classes Elíptica, Obovada e Globosa. Tais descritores são propostos pela UPOV (*Union for the Protection of New Varieties of Plants*) para espécies frutíferas (Silva et al., 2020).

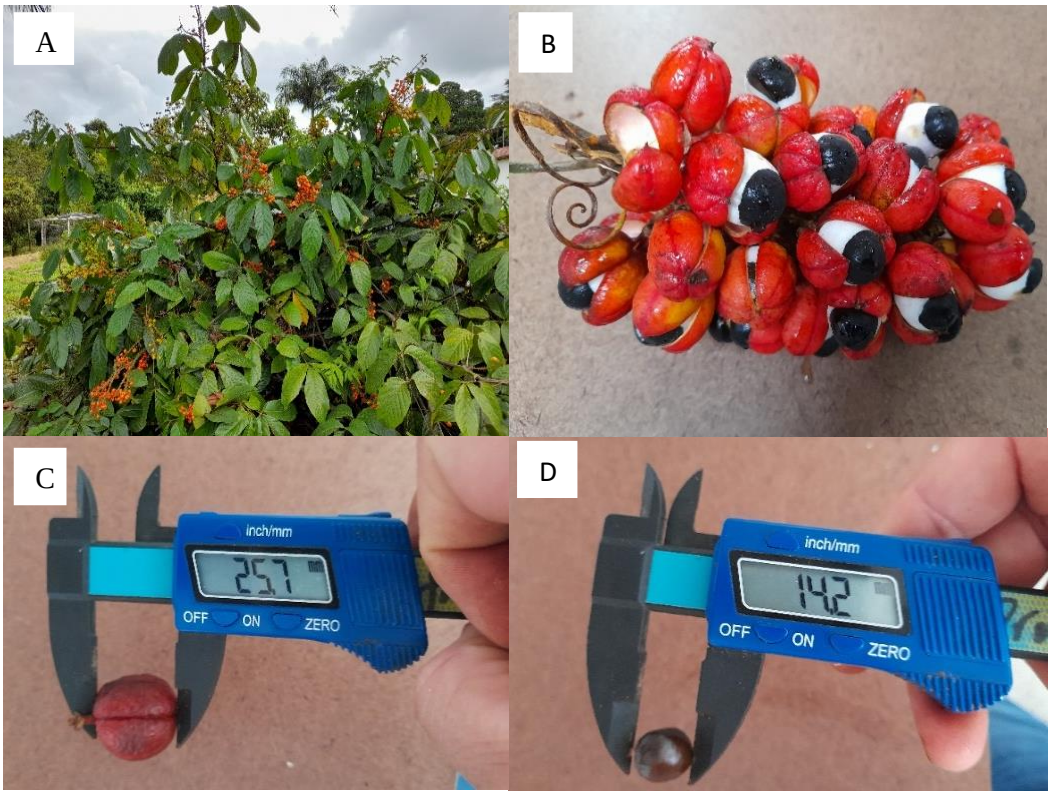


Figura 2. Aspecto da copa da planta de guaraná e das medições de fruto e sementes. (A) topo da copa do arbusto, evidenciando infrutescências; (B) Frutos em cacho; (C) Comprimento do fruto; (D) comprimento da semente. Fonte: Escobar, 2023.

2.3 Análises estatísticas e estimação de parâmetros genéticos

Foi realizado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) para cada variável. Os dados das diferentes variáveis foram submetidos à análise de rede de correlação de Pearson (r), com significância do coeficiente testada pelo teste t de *Student.* A rede de correlação mostra a proximidade entre os nós pelo valor absoluto da correlação entre estes, em que cada nó é uma variável e as arestas representam uma correlação entre duas variáveis (EPSKAMP et al., 2012).

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para identificar novos componentes ortogonais que explicam o máximo de variação entre os genótipos (HOTELLING, 1933). O critério de retenção de componentes foi definido de acordo o método de análise paralela (AP) (HORN, 1965). Além disso, foram produzidos gráficos que apresentam a contribuição significativa das variáveis para os novos componentes formados, relacionada ao autovetor maior que 0,7 (ZWICK; VELICER, 1982).

Para avaliar a divergência entre os genótipos avaliados foi realizada análise de agrupamento, com matriz de distância calculada pela medida de dissimilaridade Euclidiana (GOWER, 1985), e o método de agrupamento utilizado foi UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) (SNEATH; SOKAL, 1973). A validação dos agrupamentos foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (CCC), com significância pelo teste de Mantel. A definição do número de grupo foi estabelecida pelos métodos do índice Pseudo t^2 e silhouete (DUDA; HART,1973). Posteriormente foi realizada análise intergrupos, pelo teste F quando dados paramétricos e teste de Kruskal-Wallis quando dados não paramétricos. Com a finalidade de observar a distribuição de classes fenotípicas dos descritores qualitativos avaliados entre os grupos, foi realizado teste de homogeneidade, por qui-quadrado (x^2), para observar a relação entre as classes fenotípicas desses descritores foi realizado o teste de correspondência. Todas as análises estatísticas foram executadas em ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

Os parâmetros genéticos herdabilidade (h2mp), coeficiente de variação genética (CVg%), coeficiente de variação ambiental (CVe%), e coeficiente de variação relativa (CVr) foram determinados com base na metodologia de modelos mistos, utilizando o software Selegen-REML/BLUP (RESENDE, 2016).

3. RESULTADOS

Considerando a intensidade da coloração das arestas da rede como indicativo de maior grau de associação, foi encontrada uma forte, positiva e significativa correlação entre a maioria das variáveis (Figura 3), com destaque para variáveis de frutos (MF, CF, DF e EF) com as variáveis de sementes (MFS, MSS, DS e CS) (valores na tabela suplementar 1). As variáveis de sementes estão correlacionadas positiva e significativamente entre si, da mesma forma que as variáveis de frutos. Existe uma correlação positiva e significativa entre NSF e RW, destacando que as variáveis citadas tem ausência de correlação com a maioria das variáveis (Suplementar 1). A variável teor de água apresentou uma correlação não significativa com todas as variáveis.

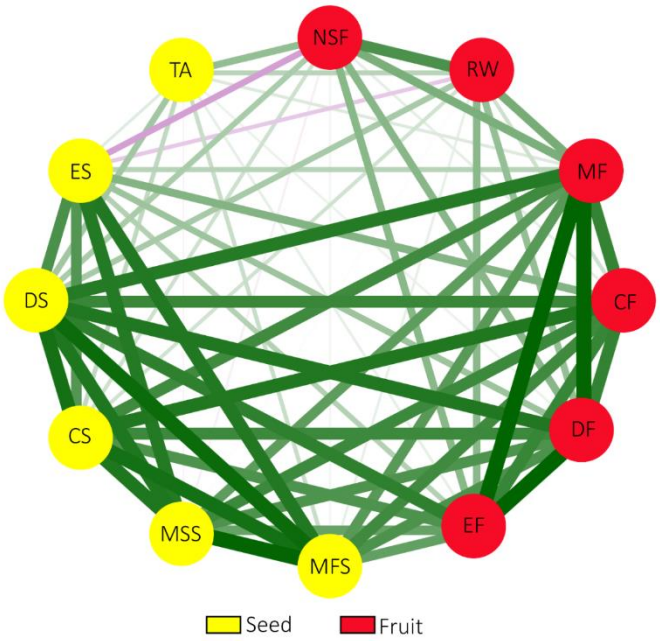


Figura 3. Rede de correlações de Pearson entre variáveis biométricas medidas em frutos e sementes de guaranazeiro em três locais do Sul da Bahia, Brasil. As arestas verdes correspondem a correlações positivas, e as vermelhas a correlações negativas. A largura e a intensidade da coloração das arestas indicam o valor absoluto das correlações. Variáveis medidas: NSF: Número de semente por fruto; RW: Peso do racemo (g); MF: Massa do fruto (g); CF: Comprimento do fruto (mm); DF: Diâmetro do fruto (mm); EF: Espessura do fruto; MFS: massa fresca da semente(g); MSS: massa seca da semente (g); CS: Comprimento da semente (mm); DS: Diâmetro da semente (mm); ES: Espessura da semente (mm); TA: Teor de água (%).

Houve indicativo de variabilidade entre os genótipos de guaraná avaliados (Figura 4). A separação em dois grupos distintos de acordo com os critérios de separação de grupos (*pseudo-t²* e *silhouette*), permitiu identificar que a maioria dos genótipos (61,9%) estão situados no grupo II. Ainda sobre a divergência, todos os genótipos de Camamu produtor1(CAP1) e Igrapiúna produtor1 (LIP1) encontram-se no grupo II, enquanto genótipos de Camamu produtor2 (CAP2) estão no grupo I. Além disso, metade dos genótipos de Igrapiúna produtor2 (LIP2) para cada grupo e apenas um genótipo de Taperoá produtor1 (TAP1) no grupo II, indicando divergência entre os genótipos dos mesmos produtores.

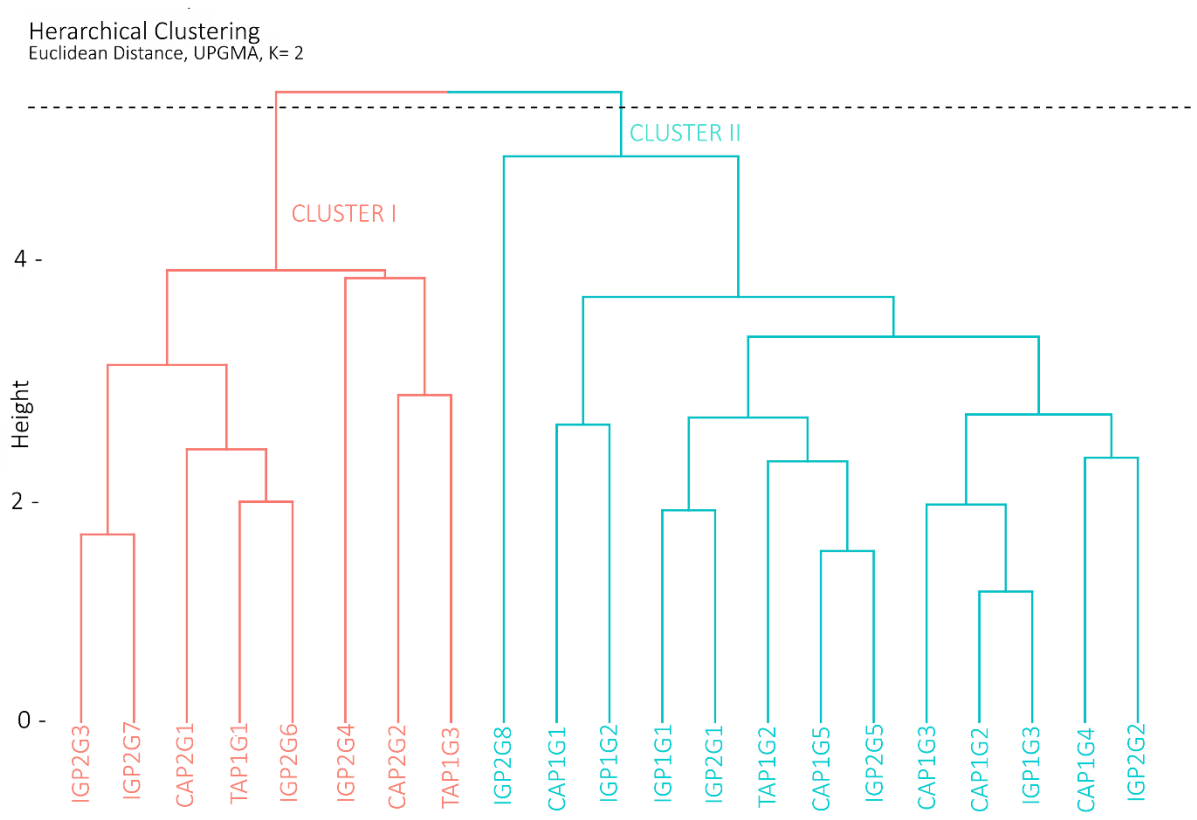


Figura 4. Dendrograma resultante da análise de 21 genótipos de guaraná obtido, pela distância euclidiana média como medida de distância genética e método de agrupamento UPGMA.

A análise de componentes principais (PCA) revelou que dois componentes foram suficientes para reduzir as 12 variáveis quantitativas utilizadas para avaliação no nosso estudo. Os valores ajustados de eigenvalues definiram os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) como suficientes para maior explicação da variação entre os genótipos (Figura 5A). Esses dois componentes representam 80,1% da variação, com o

componente principal 1 (CP1) explicando o 59,4% e o componente 2 (CP2) explicando 20,7% (Figura 5B).

A contribuição significativa das variáveis para cada um desses componentes são as que estão acima da linha vermelha (Figura 6). Assim as variáveis diâmetro da semente (DS), comprimento da semente (CS), diâmetro do fruto (DF), peso fresco da semente (PFS), massa do fruto (MF), espessura do fruto (EF), massa seca da semente (MSS), comprimento do fruto (CF) estão associadas ao CP1, enquanto o número de semente por fruto (NSF), peso do racemo (RW), espessura da semente (ES), estão contribuindo para CP2. Por outro lado, a variável teor de água (TA) não está contribuindo em nenhum componente principal. A PCA também mostra a distribuição dos genótipos nomeados por siglas de coloração rosa e azul de acordo cada grupo da análise UPGMA. De forma geral os genótipos de cor azul estão relacionados com a maioria das variáveis dos CP1 e CP2 (Figura 7).

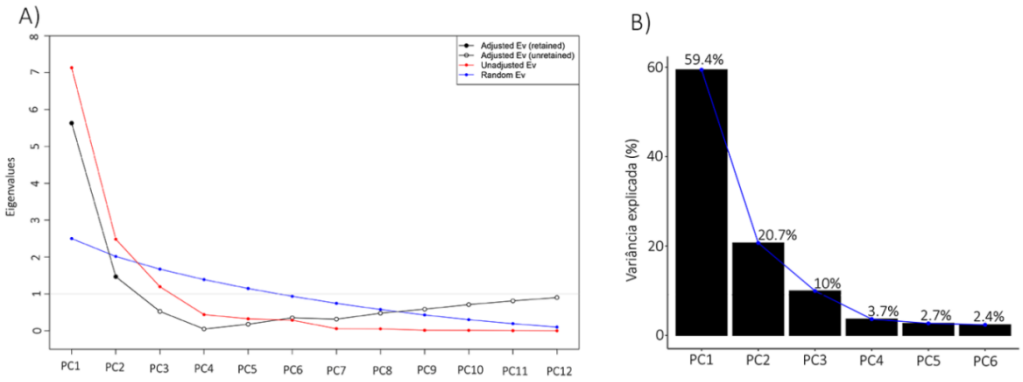


Figura 5.A) Valores ajustados para cada componente principal. A linha preta indica o significado dos componentes. **B)** variação total indicando a contribuição de cada componente principal. Componente 1 (PC1) explica o 59.4 % da variação o componente 2 (CP2) indica 20.7%.

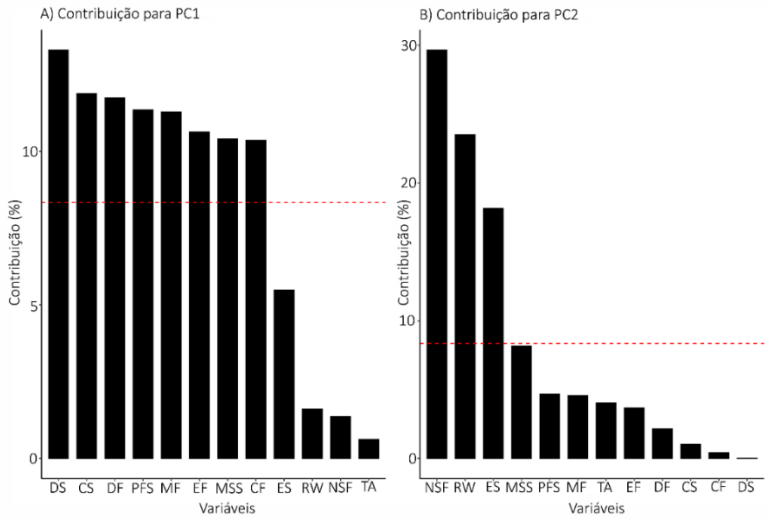


Figura 6. Contribuição das variáveis para cada componente principal. A linha vermelha mostra o significado das variáveis.

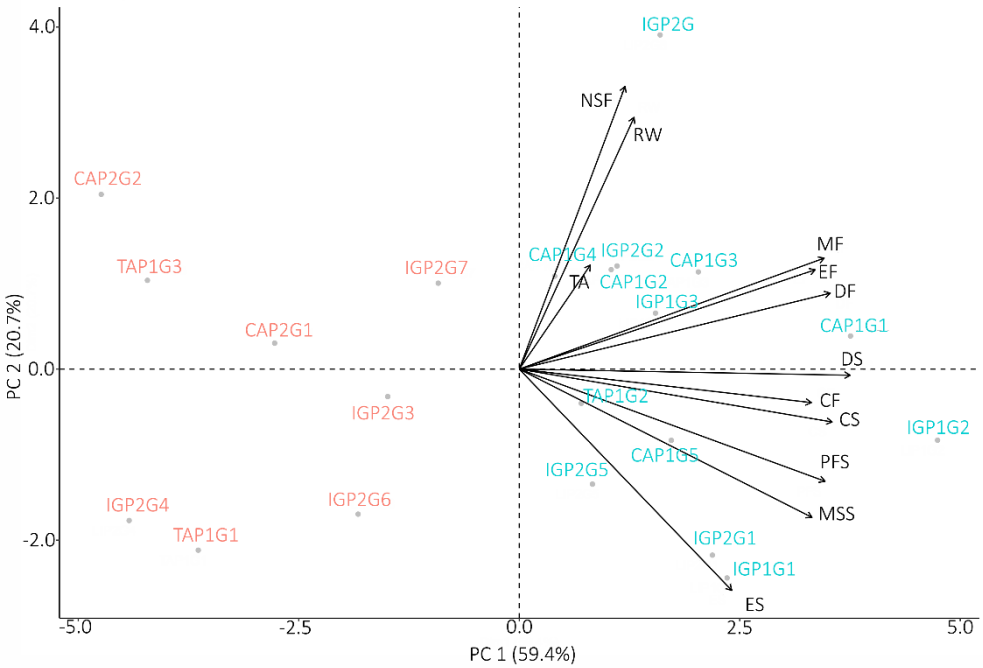


Figura 7. Biplot mostrando a projeção das variáveis dos dois primeiros componentes principais para as 12 caraterísticas avaliadas em três áreas de coleta. As siglas de cor rosa e azul indicam os genótipos agrupados de acordo com a análise UPGMA.

Gráfico Boxplot exibem médias com base no teste de F e *Kruskal-Wallis*, entre os genótipos do grupo I e grupo II para todas as variáveis (Figura 8). O grupo II apresenta médias superiores com diferença significativa para a maioria das variáveis (p<0,01), com exceção para NSF, RW e TA que não apresentaram diferenças significativas (p>0,05).

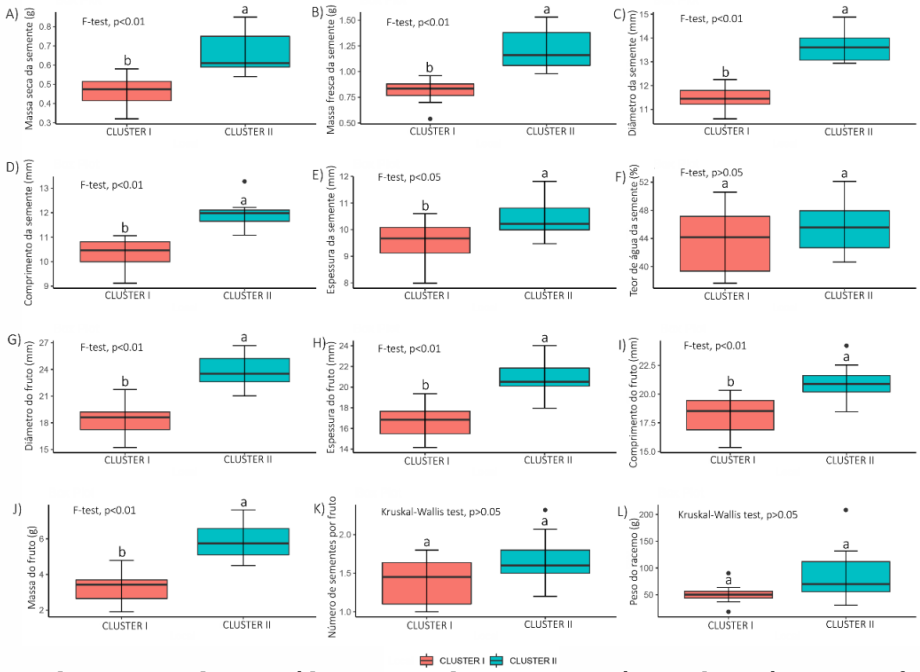


Figura 8. Boxplot mostrando as médias para todas as características biométricas em função de cada cluster pelo teste F e teste de *Kruskal-Wallis*. Valores próprios são significativos ≤ 0,1 e ≤ 0,5.

Teste de homogeneidade realizado para o formato (FF) e superfície do fruto (SF) mostra diferença significativa (p<0,05) na distribuição das classes fenotípicas para esses descritores em cada cluster (grupo I e II). O formato do fruto (FF) difere estatisticamente entre os grupos (p<0,05) (Figura 9A). Para ambos grupos, houve maior porcentagem de frutos elípticos, destaca-se o grupo II que apresenta melhor distribuição das classes fenotípicas, exibindo maior proporção de frutos globosos (25,87%) e frutos obovados (28,36%) comparado ao grupo I (8,70%, 21,75%, respectivamente), em relação a superfície de fruto (SF), houve também diferença significativa entre os grupos (p<0,05), sendo a classe fenotípica lisa predominante para ambos os grupos. Destaca-se que o grupo II possui maior proporção de frutos rugosos (45,27%) relacionado ao grupo I (30,43%) (Figura 9B).

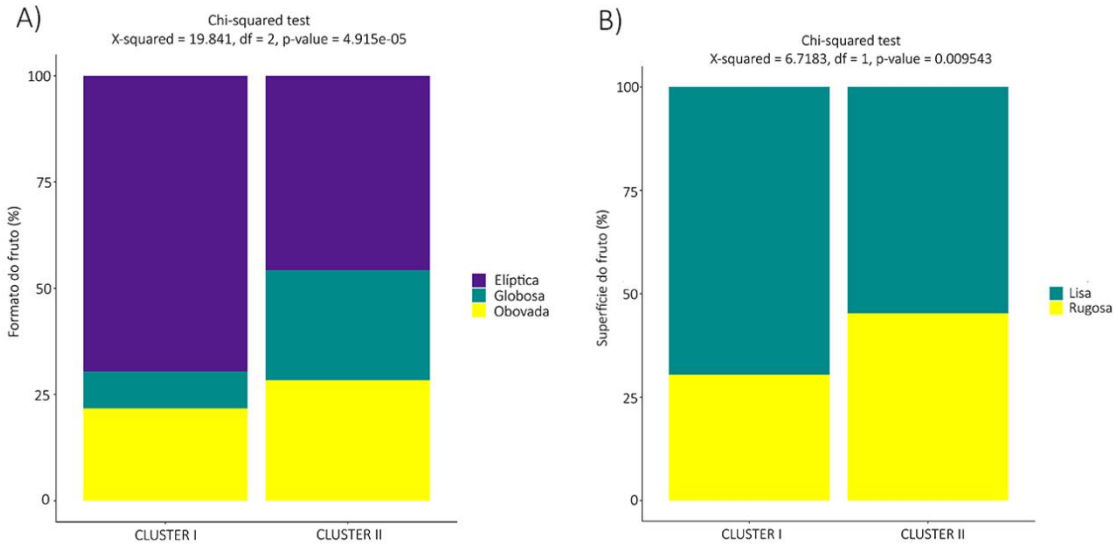


Figura 9. Qui-quadrado (x^2) para os descritores qualitativos Formato de fruto (FF), Superfície de fruto (SF) mostrando a distribuição das classes fenotípicas entre os grupos. Valores de *p<0.05* são significativos.

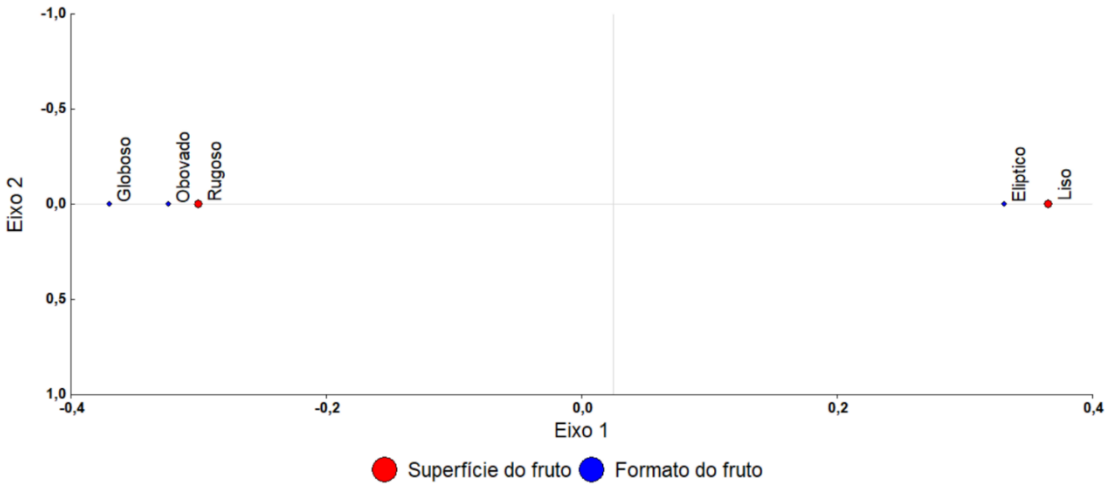


Figura 10. Relação por correspondência das classes fenotípicas dos descritores avaliados.

As estimativas dos parâmetros genéticos para as caraterísticas quantitativas mostram coeficientes de variação ambiental (CVe) de 8,84% para diâmetro da semente (DS) e 42,58% para número de sementes por fruto (NSF) (Tabela 1). Os valores altos do coeficiente de variação genética (CVg) encontrado em nosso estudo, confirma a variabilidade genética entre os genótipos para os caracteres peso do racemo (RW), peso do fruto (PF), massa fresca da semente (MFS), massa seca da semente (MSS) (Tabela 1). Em relação ao coeficiente de variação relativo (CVr) as variáveis peso do fruto (MF), comprimento do fruto (CF), diâmetro do fruto (DF), massa fresca da semente (MFS), diâmetro da semente (DS) mostra valores acima de 1,0 com destaque para peso do racemo (RW) apresentando valor de 2,39. Observa se herdabilidade (h2 mp) acima de 0,90 para espessura, diâmetro, comprimento e peso do fruto, além de peso do racemo, enquanto as variáveis MSS, MFS, DS, CS apresentam valores acima de 0,82. As menores estimativas para esse parâmetro foi 0,67 para TA, NSF, ES.

Tabela 1. Parâmetros genéticos para caracteres biométricas de de frutos e sementes de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke).

Variáveis	CVe %	CVg %	CVr	h^2 mp
NSF	42,58	19,12	0,45	0,67
RW (g)	30,38	72,71	2,39	0,95
MF (g)	33,10	34,03	1,00	0,91
CF (mm)	8,50	10,32	1,22	0,94
DF (mm)	14,45	15,48	1,00	0,91
EF (mm)	14,00	13,64	0,97	0,90
MFS (g)	23,06	24,23	1,05	0,87
MSS (g)	26,66	23,17	0,87	0,82
CS (mm)	8,92	7,93	0,89	0,83
DS (mm)	8,84	9,04	1,02	0,86
ES (mm)	13,33	7,75	0,58	0,67
TA (%)	14,54	8,47	0,58	0,67

NSF: Número de semente por fruto; RW: Peso do racemo (g); MF: Massa do fruto (g); CF: Comprimento do fruto (mm); DF: Diâmetro do fruto (mm); EF: Espessura do fruto; PFS: Peso fresco da semente(g); PSS: Peso seco da semente (g); CS: Comprimento da semente (mm); DS: Diâmetro da semente (mm); ES: Espessura da semente (mm); TA: Teor de água (%); CVe- Coeficiente de variação ambiental; CVg- Coeficiente de variação genética; CVr- Coeficiente de variação relativa; h^2mp- herdabilidade da média de genótipo.

4. DISCUSSÃO

Diante da ausência de informações de caraterísticas biométricas de frutos e sementes de guaraná na Bahia, nosso trabalho pode acrescentar conhecimento sobre os recursos genéticos da espécie nesse importante Estado produtor. A variabilidade fenotípica entre genótipos para características quantitativas indica que podem ser coletados acessos na área de estudo para formação de banco de germoplasma. A seleção baseada em características morfométrias oferece vantagem genética na separação de indivíduos das diferentes procedências das populações (BATTILANI et al., 2011; SOBRAL et al., 2018; ZHAO et al., 2015). Desse modo, para fins de seleção, nosso trabalho pode auxiliar na formação de diretrizes que buscam genótipos mais produtivos que apresentem variabilidade genética nas características avaliadas (FIGUEIREDO et al., 2016).

As correlações existentes entre as características dos frutos e sementes permite conhecer o comportamento de uma variável por meio da análise de outra (MONTENEGRO; SMIDERLE; SOUZA, 2022). Correlações positivas e significativas visualizadas por análise de rede, entre MF- CF- DF- EF- MFS- MSS - DS - CS, além de RW - NSF comprovam que o estudo da relação entre frutos e sementes de guaraná é eficiente para desenvolver procedimentos para estimar a produção de sementes para fins comerciais a partir de avaliações de campo (LIMA et al., 2020; SANTOS et al., 2021). Nesse contexto, quanto maior a massa do fruto, maior será a massa da semente, de modo que utilizando frutos mais pesados há expectativa de sementes com maior massa e por tanto com maior potencial de produtividade. O comprimento, diâmetro e espessura mostraram-se como caracteres importantes já que servem como indicadores do desenvolvimento tanto do fruto como da semente, assim frutos mais compridos e com maior diâmetro apresentam maior massa do fruto e semente. O peso do racemo (RW) e número de sementes por fruto (NSF) possui grau de associação com efeito positivo em relação ao fruto em nosso estudo, podendo afirmar que quanto maior quantidade de frutos com maior número de sementes, maior será o RW. Estudos com distintas espécies frutíferas revelam correlação positiva

entre massa do fruto e da semente (SOUZA et al., 2016). Segundo Santos (2007) as correlações são consideradas altas quando possui coeficiente de correlação de $0,8 \leq r < 1,0$ e moderada quando varia de $0,5 \leq r < 0,7$. Com base nos resultados, a correlação entre caraterísticas biométricas de frutos e sementes para genótipos de guaraná mostram-se altas. Dessa forma as características avaliadas podem ser úteis para auxiliar na seleção indireta por meio de variáveis que podem ser facilmente obtidas em campo reduzindo o tempo de avaliação e os recursos para medição, assim serem utilizados em programas de melhoramento (MENDEZ et al., 2019).

Os 21 genótipos estudados foram divididos em dois grupos indicando existência de diversidade genética, demostrando a variabilidade entre genótipos procedentes das distintas localidades, e até mesmo dentro das propriedades rurais. Essa variabilidade pode estar relacionada tanto às condições ambientais, quanto aos fatores genéticos, considerando que os genótipos avaliados são de populações originadas de polinização aberta, resultando progênies de meio irmãos com diferenças fenotípicas. A reprodução alógama favorece a manutenção da variabilidade genética nas espécies (ROSA et al., 2019). Maior heterogeneidade permite uma identificação mais provável de genótipos superiores nas gerações segregantes (MIHELICH et al., 2020).

Estudos mostram que o guaraná recentemente foi considerado poliploide (FREITAS et al., 2007). Os poliploides estão sujeitos a alterações fenotípicas, fisiológicas e químicas (RAIZER, 2017), o que também pode explicar a variabilidade morfométrica observada nesta espécie. Para os cruzamentos entre diferentes genótipos dos grupos resultantes desse estudo espera-se que, em razão da divergência genética, seja possível obtenção de maior efeito heterótico, com possibilidade de ocorrência de combinações gênicas favoráveis. Na escolha de materiais para cruzamento genético, deve-se evitar genótipos de mesmo padrão, de modo a não reduzir a variabilidade genética. Portanto a probabilidade da seleção de genótipos superiores será maior nas etapas iniciais (OZORIO; ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2019; SILVA et al., 2012).

Com a análise de componentes principais (PCA) foi possível observar as tendências na variação dos genótipos dentro do conjunto de dados analisados (COSTA et al., 2016), além de reduzir o número de variáveis. Considera-se como ideal que os dois primeiros componentes concentrem a maior quantidade de variância dos dados para que exista divergência entre os genótipos (SOUSA; OLIVEIRA; FARIAS- NETO,2017), como ocorreu no presente estudo, em que a PCA com as caraterísticas selecionadas explicou 80,1% da variabilidade total observada com os dois primeiros componentes, esse valor foi superior

ao recomendado por Abdi e Williams (2010), que relataram que os primeiros PCA selecionados devem retribuir a um mínimo de 75% da variabilidade entre as variáveis. Para fins de seleção é interessante compreender que as variáveis do PC1 explicam a maior variação entre os genótipos em comparação com o PC2, esses resultados indicam variabilidade genética para DS, CS, DF, PFS, MF, EF, MSS, CF, nos genótipos avaliados. De acordo com Silva et al. (2017), as características que mais contribuíram para a variabilidade genética são as mais responsivas na seleção de genótipos nas espécies estudadas.

A combinação de análise de componentes principais e agrupamento apontou a associação das caraterísticas que estão relacionadas aos genótipos do grupo II, esses resultados destacam a relação direta das caraterísticas que estão envolvidas verdadeiramente na variabilidade do guaranazeiro, aportando para o conhecimento de padrões de divergência da espécie. A exclusão de algumas variáveis específicas indica que elas não auxiliam na separação das matrizes, de modo que não precisam ser avaliadas (COSTA et al.,2016). Isso ocorreu para a variável teor de água, a qual não contribuiu para a variabilidade geral da espécie em nosso estudo. Justamente por depender do nível de maturidade dos frutos e sementes e das condições ambientais da região, em termos de temperatura e umidade relativa do ar. Uma vez que foram selecionados frutos que tenham atingido a maturidade fisiológica espera-se, a priori, não haver variabilidade entre as matrizes, o que mais uma vez valida a fraca contribuição na distinção dos grupos e separação das matrizes.

Os resultados da análise de médias confirmam a relação dos genótipos agrupados, evidenciando que o grupo II apresenta valores médios superiores para a maioria das variáveis. Nesse contexto, nosso trabalho afirma a importância dos genótipos pertencentes ao grupo II mostrando superioridade para a maioria das variáveis. Esses resultados, geram informações importantes para a implementação de bancos de germoplasmas, com a finalidade de conservar e explorar esses recursos genéticos (SCHWARTZ et al, 2010; SILVA et al., 2017). Assim nossos achados podem facilitar futuros trabalhos na perspectiva para aplicação e ampliação de conhecimento desta espécie.

A diferença significativa existente entre os grupos para cada descritor qualitativo avaliado com base nas proporções das classes fenotípicas indica que o grupo II se mostra superior ao grupo I em relação à porcentagem de frutos globosos. A classe fenotípica globosa possivelmente esteja relacionada com a classe fenotípica rugosa e obovada, já que foi observado que a maioria de frutos globosos apresentaram uma superfície rugosa (figura 10). A relação dessas classes pode-se associar com o número de sementes por fruto (NSF), deste

modo frutos globosos apresentam maior número de semente por fruto (NSF). Para o guaranazeiro um número maior de sementes é importe para atender às exigências comerciais, assim como para os programas de melhoramento. Deve-se considerar que a produção de sementes é uma característica complexa é fortemente influenciada por muitos fatores genéticos e ambientais (BRUNO et al., 2017; MACEDO et al., 2009). Observa-se a possível relação entre frutos com superfície lisas e formato elípticas (figura 10), mostrando-se ambas caraterísticas com maior proporção para os distintos grupos. Essas possíveis relações suportam novas informações importantes aportando conhecimento à cultura de guaranazeiro. Os descritores qualitativos são frequentemente utilizados para caracterizar germoplasma devido à sua alta herdabilidade, fácil mensuração e baixa interação genótipo-ambiente (OZÓRIO; ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2019).

Variação genética é importante na obtenção de pais para produzir materiais superiores e divergentes para as características de interesse na geração F_1 (GOMES et al, 2014; SOBRAL et al., 2018). Caraterísticas com valores maiores de coeficiente de variação genético (CVgi) indicam maior controle genético, considerando que esse parâmetro é de relevância para a estrutura genética das populações, pois expressa a quantidade de variância genética entre os materiais avaliados (FERRÃO, 2008). Quanto maior for esse valor em uma determinada variável maior será a possibilidade de identificar genótipos superiores que poderão proporcionar ganhos na seleção (AGUIAR; BRANCALIÃO; ROSSI, 2013; CHRISTO et al., 2014), permitindo conhecer a variabilidade genética de uma população e manter uma base genética adequada. Por outro lado, caraterísticas com valores baixos desse parâmetro deve-se principalmente a maior influência dos fatores ambientais (AMBRÓSIO et al., 2019).

Nosso estudo revelou valores altos de CVr e h^2mp principalmente para as variáveis WR, PF, CF, DF, MFS, DS, demostrando a variabilidade e o controle dos fatores genéticos para essas características. Assim essas caraterísticas podem ser utilizadas para a seleção indireta de novos genótipos de guaraná em futuros programas de melhoramento. Valores de CVr que tendem a (1,0) ou maiores indicam ganhos na seleção assim o ambiente tem baixo impacto nas características medidas (VENCOVSKY, 1987; MENDES et al., 2019), desse modo a variação genética sobrepõe a variação ambiental (ELAMEEN et al., 2011).

Altas estimativas de herdabilidade encontradas representa a confiabilidade do valor fenotípico como guia para o valor genético (SILVA et al., 2013), o que expressa uma correlação entre fenótipo e genótipo (GOMES et al., 2022). Considera-se herdabilidade alta as estimativas maior ou igual a 70% (BAJGAIN et al., 2020; VIEIRA et al., 2019), enquanto

baixas estimativas deve-se ao fato desses serem caracteres quantitativos controlados por muitos genes sujeitas a forte influência ambiental (SOBRAL et al., 2018). Valores de h^2 pode aumentar tanto pela introdução de maior variabilidade genética na população, quanto pela melhoria das condições experimentais que reduzem a contribuição da variação ambiental para a variação fenotípica total (AMBRÓSIO et al., 2019).

É importante ressaltar que a variável MSS apresenta alta estimativa de h^2 (0,82), mesmo que o valor de CVr seja abaixo de (1,0), a variável mencionada é de uso importante na espécie, considerando uma relação com a quantidade de cafeína nas sementes (NINA et al., 2020). Estudo feito por Fajardo et al. (2019) em progênies de guaranazeiro para a variável produtividade encontraram CVr igual a 0,68 estimando esses valores como altos para essa variável, enquanto o valor de h^2 foi 0,34 determinando-os como valores médios.

5. CONCLUSÕES

A diversidade genética encontrada na área de estudo mostra-se atrativa para coleta de material destinado à conservação e uso em programas de melhoramento da espécie.

As caraterísticas MF, CF, DF, EF e MFS, MSS, DS, CS apresentam maior associação, permitindo a escolha daquelas que exigem menos tempo e recursos nas avaliações para seleção indireta.

O DS, CS, DF, MFS, MF, EF, MSS, CF são as caraterísticas mais discriminatórias para estimara divergência entre os 21 genótipos.

O RW, PF, CF, DF, EF, MFS, DS apresentam estimativas de herdabilidade maiores, essas características devem ser priorizadas nos processos de seleção.

Os genótipos mais distantes foram LIP2G2 e LIP2G3, assim recomenda-se o cruzamento entre esses para facilitar a obtenção de materiais mais divergentes, assim manter a variabilidade genética e promover o vigor híbrido.

6. REFERÊNCIAS

ABDI, H; WILLIAMS, L. J. (2010). Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Computational Statistics**, 2(4), 433–459. http://dx.doi.org/10.1002/wics.101.

AGUIAR, A. T. da E.; BRANCALIÃO, S. R.; ROSSI, C. E. Avaliação biométrica de progênies de seringueira.**Nucleus**, v. 10, n. 2, 2013. https://doi.org/10.3738/1982.2278.896.

AMBRÓSIO, M. et al. Genotypic superiority of *Psidium guajava* S1 families using mixed modeling for truncated and simultaneous selection. **Scientia Agricola**, v. 78, 2019.http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0179.

ASHIHARA, H. et al. *Xanthine alkaloids*: occurrence, biosynthesis, and function in plants. **Progress in the chemistry of organic natural products 105**, p. 1-88, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49712-9_1.

ATROCH, A. L. et al. Evaluation and selection of half sib progenies of guarana. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 53, n. 2, p. 123-130, 2010. https://doi.org/10.4322/rca.2011.017.

BAJGAIN, P.; ZHANG, X.; ANDERSON, J. A. Dominance and G× E interaction effects improve genomic prediction and genetic gain in intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*). **The Plant Genome**, v. 13, n. 1, p. e20012, 2020. https://doi.org/ 10.1002/tpg2.20012.

BATTILANI, J. L.; SANTIAGO, E. F.; DIAS, E. S. Morphology of fruits, seeds, seedling and sapling of *Guibourtia hymenifolia* (Moric.) J. Leonard (Fabaceae). **Revista Árvore**, v. 35, p. 1089-1098, 2011.https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000600015.

BELLEI, A. F. et al. Morfometria de frutos e sementes e desenvolvimento pós-seminal de Mimosa scabrella. **Iheringia, Série Botânica**, v. 77, p. e2022016, 2022. http://dx.doi.org/10.21826/2446-82312022v77e2022016.

BRUNO, L. R. G. P. et al. Caracterização morfoagronômica de capim buffel do banco ativo de germoplasma de Cenchrus. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 487-495, 2017.https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n224rc.

CHRISTO, L. F. et al. Genetic variability among genotypes of physic nut regarding seed biometry. **American Journal of Plant Sciences**, v. 2014, 2014.http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.510156.

COSTA, M. F. et al. Characterization and genetic divergence of Casearia grandiflora populations in the Cerrado of Piaui State, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 387-396, 2016. https://doi.org/10.1590/2179-8087.007115.

SILVA, B. M. et al. Genetic divergences between *Spondias mombin* (*Anacardiaceae*) genotypes found through morphological traits. **Revista de Biologia Tropical**, v. 65, n. 4, p. 1337-1346, 2017.http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i4.25765.

SILVA, E. F. et al. TRAP and SRAP markers to find genetic variability in complex polyploid *Paullinia cupana* var. *sorbilis*. **Plant Gene**, v. 6, p. 43-47, 2016. https://doi.org/1016/j.plgene.2016.03.005.

FREITAS, D. V. et al. Karyotype with 210 chromosomes in guaraná (*Paullinia cupan*a '*Sorbilis*'). **Journal of Plant Research**, v. 120, n. 3, p. 399-404, 2007. https://doi.org/10.1007/s10265-007-0073-4.

DO NASCIMENTO, W. M. O. et al. Pré-melhoramento do camucamuzeiro: estudo de parâmetros genéticos e dissimilaridade. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, 2014.http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461040013.

DUDA, R., HART, P.E. **Pattern classification and scene analysis**. New York: Wiley, 1973. Vol. 3, pp. 731-739.

ELAMEEN, A. et al. Phenotypic diversity of plant morphological and root descriptor traits within a sweet potato, Ipomoea batatas (L.) Lam., germplasm collection from Tanzania. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, n. 3, p. 397-407, 2011. https://doi.org/10.1007/s10722-010-9585-1.

EPSKAMP, S. et al. Network visualizations of relationships in psychometric data. **Journal of statistical software**, v. 48, p. 1-18, 2012.https://doi.org/10.18637/jss.v048.i04.

FAJARDO, J. D. V. et al. Characterization and genetic diversity between guarana progenies. **Brazilian Journal of Agriculture,** v.94, n.2, p. 102 – 116, 2019. https://doi.org/10.37856/bja.v94i2.

FERRÃO, R. G. et al. Parâmetros genéticos em café *Conilon*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, p. 61-69, 2008.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100009.

FIGUEIREDO, A. ST. et al. Agronomic evaluation and combining ability of tomato inbred lines selected for the industrial segment. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n.1, p. 86-92, 2016. https://doi.org/10.1590/s0102-053620160000100013.

FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, the time machine of the Sateré-Mawé. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas.**, v. 11, n.1, p. 55-85, 2016. https://doi.org /10.1590/1981.81222016000100005.

GOMES, B. H. et al. Genetic diversity of *Caryocar brasiliense* Cambess. (Caryocaraceae: Malpighiales) among genotypes producing fruits with and without thorns in the endocarp. **Scientia Forestalis**, v. 50, 2022. https://doi.org/10.18671/scifor.v50.08.

GOMES, Jr. R. A.et al. Evaluation of interspecific hybrids of palm oil reveals great genetic variability and potential selection gain. **Industrial Crops and Products**, 52, 512–518, 2014. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.036.

GONÇALVES, L. G. V. et al. Biometria de frutos e sementes de mangaba (Hancornia speciosa Gomes) em vegetação natural na região leste de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 31-40, 2013.https://doi.org/10.19084/rca.16280.

GOWER, J.C. Properties of Euclidean and non-Euclidean distance matrices. **Linear Algebra Appl**, vol. 67, p. 81–97, 1985.https://doi.org/10.1016/0024-3795(85)90187-9.

HOMMA, A. K. O. O diálogo com a floresta: qual é o limite da bioeconomia na Amazônia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e53011427555-e53011427555, 2022.https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27555.

HORN, J. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. **Psychometrika**, v. 30, n.2, p. 179-185, 1965. http://dx.doi.org /10.1007/BF02289447.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, v. 24, n. 6, p. 417-441, 1933.http://doi.org/10.1037/h0071325.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Levantamento Sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, Ilheus Bahia, 2022. Disponivem em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques. Acceso em: 14 nov. 2022.

LAURINDO, B. S. et al. Potencial de hibridação entre acessos de tomateiro para pré-melhoramento quanto à resistência à requeima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 27-34, 2016.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000100004.

LAVIOLA, B. G. et al. Biometric and biotechnology strategies in *Jatropha* genetic breeding for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 894-904, 2017. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.116.

LIMA, T. M. et al. Fruit and seed biometry of *Carpotroche brasiliensis* (RB) A. Gray (*Achariaceae*), a tropical tree with great potential to provide natural forest products. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 11, p. 1826–1833, 2020. http://doi.org/ 10.21475/ajcs.20.14.11.p2596.

MACEDO, M. C. et al. Biometry of fruit and seeds and germination of *Magonia pubescens* ST. Hil (*Sapindaceae*). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 202-211, 2009. http://doi.org/10.1590/S0101-31222009000200024.

MARQUES, L. L. M. et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) seeds: Selective supercritical extraction of phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 212, p. 703-711, 2016. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.028.

MARQUES, L. L. M. et al. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant–a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 1, p. 77-110, 2019. http://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.08.007.

MENDES, G. G. C. et al. Genetic divergence of native palms of *Oenocarpus distichus* considering biometric fruit variables. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019. http://doi.org/10.1038/s41598-019-41507-4.

MIHELICH, N. T. et al. Characterization of genetic heterogeneity within accessions in the USDA soybean germplasm collection. **The Plant Genome**, v. 13, n. 1, p. e20000, 2020. http://doi.org/10.1002/tpg2.20000.

MONTENEGRO, R. A.; SMIDERLE, O. J.; DAS GRAÇAS SOUZA, A. Correlation of biometric characteristics of fruits and seeds with the vigor of *Agonandra brasiliensis* seedlings in northern Amazonia. **Bioscience Journal**, v. 38, n. e38011, p. 1981-3163, 2022. https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-56391.

NASCIMENTO FILHO, F. J. do. et al. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 501-506, 2001.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300014.

NINA, N. V. dos S., et al. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial characters. **Crop science**, v. 61, n. 1, p. 443-455, 2021. https://doi.org/ 10.1002/csc2.20331.

OZORIO, P. R.D S.; ATROCH, A. L.; DO NASCIMENTO FILHO, F. J. Agro-morphological characterization and genetic diversity of *Paullinia cupana* var. *sorbilis*. **Brazilian Journal of Agriculture,** v.94, n.3, p. 166 – 178, 2019.http://dx.doi.org/10.37856/bja.v94i3.

PATRICK, Madison et al. Safety of guarana seed as a dietary ingredient: A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 67, n. 41, p. 11281-11287, 2019.https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03781

R CORE TEAM R. A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing.**, Vienna, Austria. 2021. URL https://www.R-project.org/.

RAIZER, M. D. M. **Identificação e caracterização de plantas poliploides de *Heliconia chartacea* var. Sexy Pink**. Dissertação (doutorado em agronomia tropical) Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas Brasil. 2017.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen - REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330 – 339, 2016.https://doi.org/10.1590/1984 - 70332016v16n4a49

REZENDE, L. A. M. S. **Bioeconomia e o futuro do desenvolvimento do Brasil e da Amazônia**, 2022.https://doi.org/10.37885/220909937.

ROSA, T. L. M. et al. Biometry and genetic diversity of paradise nut genotypes (*Lecythidaceae*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. https://doi.org/ 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00240.

SANTOS, C. Estatística descritiva. **Manual de auto-aprendizagem**, v. 2, 2007.

SANTOS, C. S. et al. Morphometry of the fruits of *Genipa americana* (*Rubiaceae*): a case study from the southern coast of Bahia, Brazil. **Rodriguesia**, v. 72, 2021.http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202172101.

SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013.http://.doi.org/10.1016/j.jep.2013.08.023.

SCHIMPL, F. C. et al. Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. **Phytochemistry**, v. 105, p. 25-36, 2014. http://.doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.04.018.

SCHWARTZ, E. et al. Avaliação de populações de *Butia capitata* de Santa Vitória do Palmar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 736-745, 2010.https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000089.

SILVA, J. F. D. et al. Genetic divergence of cowpea genotypes for resistance to black aphid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 948-954, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000700011.

SILVA, M. A. M. et al. Divergência genética entre acessos de guaranazeiro por meio de descritores morfológicos. **Revista Ouricuri**, v. 10., n. 1, p. 027-037, 2020.https://doi.org/10.29327/ouricuri.10.1-7.

SILVA, T. R. da C. et al. Agronomic performance of popcorn genotypes in Northern and Northwestern Rio de Janeiro State. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p. 57-63, 2013. http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i1.15694.

SMITH, N.; ATROCH, A. L. Guarana's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-based complementary and alternative medicine**, v. 7, n. 3, p. 279-282, 2010. https://doi.org/10.1093/ecam/nem162.

SNEATH, P.H.; SOKAL, R.R. Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification. 1st Edition, W. H. Freeman, San Francisco. 1973.https://doi.org/10.1002/9781118960608.bm00018.

SOBRAL, K. M. B. et al. Genetic diversity assessment *among tall coconut palm*. **Revista Caatinga**, v. 31, n.1, p. 28–39, 2018. https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n104rc.

SOUSA, A. M. D.; OLIVEIRA, M. D. S. P. D.; FARIAS NETO, J. T. D. Genetic divergence among white-type acai palm accessions based on morpho-agronomic characters. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 751–760, 2017.https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000900007.

SOUZA, A. D. G. et al. Correlação de características biométricas de frutos e sementes com a germinação e vigor de porta-enxertos de *Prunus persica*. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 4, p. 322–328, 1 out. 2016.https://doi.org/10.1590/2317-1545v38n4164650.

TFOUNI, S. A. V. et al. Contribuição do guaraná em pó (*Paullinia cupana*) como fonte de cafeína na dieta. **Revista de Nutrição**, v. 20, p. 63-68, 2007.https://doi.org/10.1590/S1415-52732007000100007.

TRICAUD, S.; PINTON, F.; PEREIRA, H. D. S. Saberes e práticas locais dos produtores de guaraná (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis*) do médio Amazonas: duas organizações locais frente à inovação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, p. 33-53, 2016.https://doi.org/10.1590/1981.81222016000100004.

UPOV. International Union for the Protection of New Varieties of Plants., 1961 Disponivel em**:**https://www.upov.int/tools/es/gsearch.html?cx=016458537594905406506%3Asa0ovkspdxw&cof=FORID%3A11&q=descriptores+para+frutales. Acesso em 29 jul, 2022.

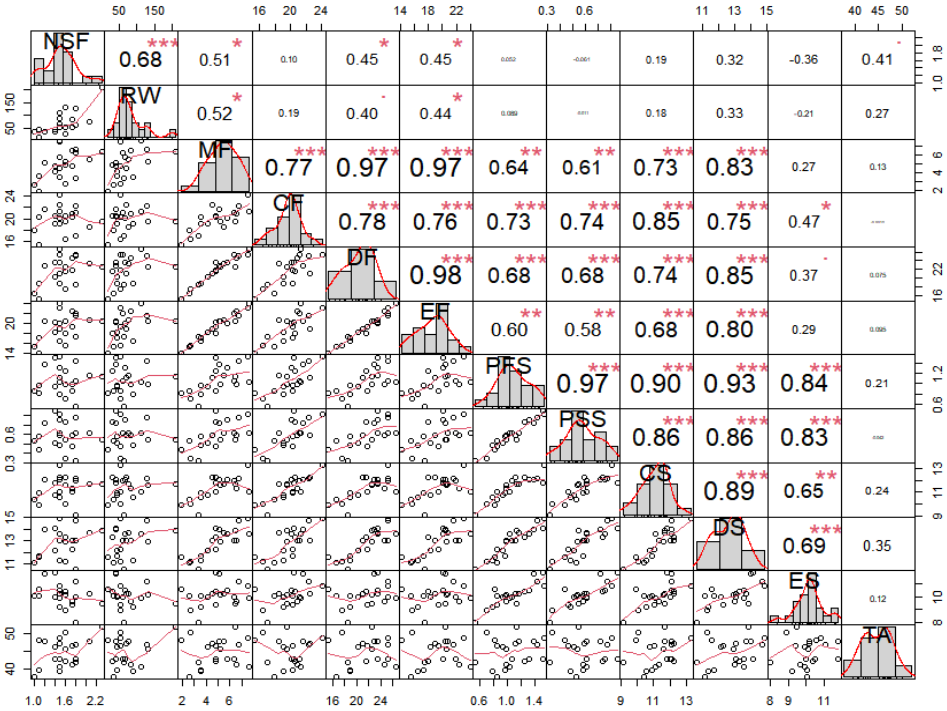
VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. & VIEGAS, G. P. (coord.), Melhoramento e Produção de Milho no Brasil. 2ed. Campinas, **Fundação Cargill**, p.137-214, 1987.

VIEIRA, S. D. et al. Heritability and combining ability studies in strawberry population. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 4, p. 57-469, 2019.https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p457.

YONEKURA, L. et al. Bioavailability of catechins from guaraná (*Paullinia cupana*) and its effect on antioxidant enzymes and other oxidative stress markers in healthy human subjects. **Food & function**, v. 7, n. 7, p. 2970-2978, 2016. https://doi.org/10.1039/c6fo00513f.

ZHAO, Y. et al. Genome-based establishment of a high-yielding heterotic pattern for hybrid wheat breeding. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 51, p. 15624-15629, 2015. https://doi.org/10.1073/pnas.1514547112.

ZWICK, W. R.; VELICER, W. F. Factors influencing four rules for determining the number of components to retain.**Multivariate Behavioral Research,** *v. 17, n.* 2, p. 253–269, 1982.https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1702_5.



Suplementar 1. Coeficientes correlações de Pearson entre variáveis biométricas medidas em frutos e sementes de guaranazeiro em três locais do Sul da Bahia, Brasil. Variáveis medidas: NSF: Número de semente por fruto; RW: Peso do racemo (g); MF: Massa do fruto (g); CF: Comprimento do fruto (mm); DF: Diâmetro do fruto (mm); EF: Espessura do fruto; PFS: Peso fresco da semente(g); PSS: Peso seco da semente (g); CS: Comprimento da semente (mm); DS: Diâmetro da semente (mm); ES: Espessura da semente (mm); TA: Teor de água (%).

CAPÍTULO II

DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO **(*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)** COM DIFERENTES PROCEDÊNCIAS EM FUNÇÃO DE CARACTERES AGROINDUSTRIAIS

RESUMO

Bú Escobar, Rudy Javier, Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil. 14 de novembro de 2023. **Quantificação e divergência genética em função de caracteres industriais entre genótipos de guaranazeiro** (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). Orientador: Rafael Marani Barbosa. Coorientadora: Thâmara Moura Lima.

O guaranazeiro, uma planta originária da Amazônia, possui propriedades antioxidantes, energéticas e medicinais que o tornam um recurso valioso. Suas aplicações abrangem desde alimentos funcionais até diversos setores industriais, incluindo cosméticos, refrigerantes, alimentos e energéticos. O interesse da indústria baseia-se nas metilxantinas e catequinas, que conferem os principais benefícios associados ao guaraná. O objetivo deste estudo foi quantificar as metilxantinas e fenólicos e avaliar a diversidade genética de 21 genótipos de guaranazeiro em três locais no Estado da Bahia, em função de caracteres agroindustriais. A cafeína, teobromina, catequina, epicatequina, teofilina e ácido gálico foram quantificadas nos extratos de sementes maduras por meio de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). As sementes apresentaram elevados níveis de catequina, epicatequina e cafeína, com valores mais baixos de teobromina. A teofilina, por sua vez, foi quantificada apenas nos genótipos IGP1G1, IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9. Os genótipos IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9 demonstraram as concentrações mais elevadas de cafeína. Os dados de cada procedência foram submetidos a análises de variância e testes de média de Tukey. Notamos diferenças estatisticamente significativas apenas em relação ao ácido gálico. Igrapiúna apresentou as médias mais elevadas para cafeína, teobromina, catequina e epicatequina, apesar de não haver diferenças estatísticas significativas entre as procedências. Foi observado que os compostos químicos apresentaram correlações negativas com a maioria das características biométricas das frutas e sementes. A análise de dendrograma resultou na formação de dois grupos, com os genótipos IGP1G6 e IGP1G9 provenientes Igrapiúna sendo separados no grupo I. Esses genótipos mostraram potencial como futuros cultivares comerciais de guaranazeiro. As metilxantinas e os fenólicos podem ser utilizados como

descritores para estudos de diversidade no guaranazeiro. É de suma importância considerar o cruzamento entre genótipos que apresentem características interessantes a fim de explorar o potencial no programa de melhoramento genético do guaranazeiro, com foco na variabilidade e no aumento dos teores de metilxantinas e fenólicos.

Palavras-chave: Recursos genéticos. Metilxantinas. fenólicos. Diversidade genética. Análise multivariada.

ABSTRACT

Bú Escobar, Rudy Javier, Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil. 14 de novembro de 2023. **Quantificação e divergência genética em função de caracteres industriais entre genótipos de guaranazeiro *(****Paullinia cupana*** var. ***sorbilis*** (Mart.) Ducke). Orientador: Rafael Marani Barbosa. Coorientadora: Thâmara Moura Lima.

The guarana plant, native to the Amazon, possesses antioxidant, energizing, and medicinal properties that make it a valuable resource. Its applications span from functional foods to various industrial sectors, including cosmetics, soft drinks, food, and energy drinks. The industry's interest is based on methylxanthines and catechins, which confer the main benefits associated with guarana. The objective of this study was to quantify methylxanthines and phenolics and assess the genetic diversity of 21 guarana genotypes in three locations in the state of Bahia, based on agroindustrial traits. Caffeine, theobromine, catechin, epicatechin, theophylline, and gallic acid were quantified in mature seed extracts through High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). The seeds showed high levels of catechin, epicatechin, and caffeine, with lower values of theobromine. Theophylline, on the other hand, was quantified only in genotypes IGP1G1, IGP1G6, IGP1G8, and IGP1G9. Genotypes IGP1G6, IGP1G8, and IGP1G9 exhibited the highest caffeine concentrations. The data from each source were subjected to analysis of variance and Tukey's mean tests. Statistically significant differences were observed only for gallic acid, with Igrapiúna showing the highest means for caffeine, theobromine, catechin, and epicatechin, although there were no statistically significant differences among the sources. It was observed that the chemical compounds had negative correlations with most of the biometric characteristics of the fruits and seeds. The dendrogram analysis resulted in the formation of two groups, with genotypes IGP1G6 and IGP1G9 from Igrapiúna separated in Group I. These genotypes showed potential as future commercial guarana cultivars. Methylxanthines and phenolics can be used as descriptors for diversity studies in guarana. It is of paramount importance to consider crossbreeding between genotypes with interesting characteristics to explore the potential in

the guarana's genetic improvement program, focusing on variability and increased levels of methylxanthines and phenolics.

Keywords: Genetic resources. Methylxanthines. Phenolics. Genetic diversity. Multivariate analysis.

1. INTRODUÇÃO

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) é reconhecido por suas propriedades energéticas e estimulantes (SCHIMPL, 2013; SMITH E ATROCH, 2010). Dentre as plantas que acumulam metilxantinas, o guaraná apresenta os mais altos teores de cafeína em suas sementes, variando entre 2,5 a 6,98%. A cafeína se acumula nas partes aéreas do cafeeiro, folhas de chá e mate, nas flores de Citrus spp., quase exclusivamente no androceu, e nas sementes de cola e guaraná (PICHERSKY; LEWINSOHN, 2011; SANTANA; MACEDO, 2018). Além da cafeína, outros compostos como teobromina e teofilina são encontrados nas sementes em proporções menores (abaixo de 0,3%), mas ainda assim são considerados elevados quando comparados a outras espécies (SCHIMPL et al., 2014). As metilxantinas, incluindo teobromina (3,7-dimetilxantina), cafeína (1,3,7-trimetilxantina) e teofilina (1,3-dimetilxantina), são alcaloides de purina, com estruturas baseadas no esqueleto da xantina (ASHIHARA et al., 2017).

Devido a presença de diversos compostos químicos nas sementes de guaraná, estudos destacam a ampla utilização do extrato destas para produção de medicamentos. O guaraná em pó, uma fonte promissora de fitoquímicos, mostra potencial como terapia coadjuvante no tratamento de hiperlipidemia e distúrbios cognitivos, devido à presença significativa de metilxantinas (RUCHEL et al., 2016, 2017; SANTANA; MACEDO, 2018). Adicionalmente, destaca-se sua utilização como aditivo natural valorizado pelas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêuticos devido à sua atividade antioxidante (MAJHENIC; SKERGET; KNEZ, 2007; MARQUES et al., 2019).

O guaraná possui propriedades terapêuticas reconhecidas, incluindo efeitos estimulantes, energéticos, antioxidantes e neuroprotetores. Além disso, demonstra ação anti inflamatória e antimicrobiana, atua como antiproliferativo celular de células cancerígenas, reduzindo a mortalidade celular e o dano ao DNA, LDL (lipoproteína de baixa densidade) e colesterol total. Também regula a transcrição dos genes para redução do dano hepático e distúrbios cognitivos, oferecendo proteção contra a toxicidade induzida por mercúrio. Essas propriedades terapêuticas são atribuídas às metilxantinas e aos polifenóis

(ARANTES et al., 2016; MARQUES et al., 2019; SALOMÃO-OLIVEIRA et al., 2018; SCHIMPL et al., 2013).

No contexto de pesquisas associadas ao cultivo do guaranazeiro, os estudos sobre a variabilidade genética, relacionada às características morfoagronômicas, visam aprimorar a produtividade no âmbito do melhoramento genético da espécie (NASCIMENTO FILHO et al., 2001). Nesse sentido, pesquisas têm considerado como objetivo, a seleção de genótipos de guaraná com rendimento superior a 1,5 kg de sementes secas por planta/ano, buscando adicionalmente, ampla adaptabilidade, e tolerância às principais doenças que afetam a cultura, nomeadamente antracnose e superbrotamento. Almeja-se também melhorar a qualidade dos frutos, visando um aumento no teor de cafeína e outros metabólitos (ATROCH et al 2012; ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018). Na literatura, há apenas um estudo sobre diversidade genética do guaranazeiro em relação a características agroindustriais, (NINA et al., 2020). Recentemente, a atenção dos estudos sobre guaraná tem se voltado para os metabólitos secundários, especialmente catequinas e metilxantinas (MACHADO et al., 2018; SCHIMPL et al., 2014; SILVA et al., 2016, 2017).

As fases iniciais do melhoramento genético baseiam-se na exploração da variabilidade genética e na compreensão das correlações entre os caracteres de interesse para a seleção dentro de uma população. Isso inclui a determinação do controle genético dos caracteres que apresentam altas estimativas de herdabilidade. A variabilidade genética é obtida por meio de cruzamentos entre genótipos complementares que exibem características desejáveis com valores apropriados. Posteriormente, ocorre a seleção e clonagem de genótipos superiores em uma população altamente segregante (CORREA et al., 2012; LANDELL; BRESSIANI, 2008; MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005).

No âmbito de um programa de melhoramento genético, a fase inicial se revela de fundamental importância, durante esse estágio, os programas se dedicam a um amplo conjunto de genótipos, visando potencializar a probabilidade de alcançar indivíduos superiores (OLIVEIRA et al., 2011). Assim, a seleção efetuada nesta etapa assume papel determinante no êxito do programa de melhoramento (BRASILEIRO et al., 2016).

É fundamental avaliar a diversidade genética em relação aos caracteres agroindustriais, visando contribuir para o programa de melhoramento genético do guaranazeiro e identificar genótipos com concentrações elevadas de cafeína. Essa seleção é crucial para a produção futura de matéria-prima de alta qualidade destinada às indústrias de refrigerantes, energéticos, medicamentos e fotoquímicos, uma vez que o guaraná representa uma promissora fonte. Diante do contexto, o presente estudo teve como objetivo a quantificação das metilxantinas e dos

fenólicos de genótipos de diferentes procedências, para avaliação da diversidade genética de guaranazeiro na região Sul da Bahia, com base nos caracteres agroindustriais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e delineamento amostral

Foi realizada avaliação em 21 genótipos de guaraná oriundos de propriedades rurais localizadas na região Sul da Bahia, especificamente nas localidades de Camamu, Taperoá e Igrapiúna (Limoeiro), as quais foram definidas como as procedências neste este estudo. A coleta do material foi realizada durante o mês de março de 2023. Cada procedência incluiu a análise de duas propriedades rurais. No total, foram avaliados três genótipos para Camamu produtor 1(CAP1), um para Camamu produtor 2(CAP2), um para Igrapiúna produtor 1 (IGP1), nove para Igrapiúna produtor 2(IGP2), seis genótipos para Taperoá produtor 1(TAP1) e um para Taperoá produtor 2 (TAP2).

Tabela 1. Identificação dos 21 genótipos de guaranazeiro procedentes do baixo sul da Bahia utilizados na quantificação de seis compostos químico

Identificação dos genótipos	Procedências	Produtor	Genótipo
CAP1G1	Camamu	1	1
CAP1G2	Camamu	1	2
CAP1G3	Camamu	1	3
CAP2G1	Camamu	2	1
TAP1G1	Taperoá	1	1
TAP1G2	Taperoá	1	2
TAP1G3	Taperoá	1	3
TAP1G4	Taperoá	1	4
TAP1G5	Taperoá	1	5
TAP1G6	Taperoá	1	6
TAP2G1	Taperoá	2	1
IGP1G1	Igrapiúna	1	1
IGP1G2	Igrapiúna	1	2
IGP1G3	Igrapiúna	1	3
IGP1G4	Igrapiúna	1	4
IGP1G5	Igrapiúna	1	5
IGP1G6	Igrapiúna	1	6
IGP1G7	Igrapiúna	1	7
IGP1G8	Igrapiúna	1	8
IGP1G9	Igrapiúna	1	9
IGP2G1	Igrapiúna	2	1

2.2 Fenotipagem

Foram avaliados dois racemos para cada genótipo, selecionando aleatoriamente 10 frutos por racemo, totalizando 420 frutos e 684 sementes avaliadas. Para a caracterização biométrica, foram consideradas as seguintes variáveis quantitativas: Peso do racemo (RW), Massa do fruto (MF), Número de sementes por fruto (NSF), Comprimento do fruto (CF), Diâmetro do fruto (DF), Espessura do fruto (EF), Massa fresca da semente (MFS), Massa seca da semente (MSS), Comprimento da semente (CS), Diâmetro da semente (DS) e Espessura da semente (ES). A medição das características foi realizada utilizando paquímetro digital, balança de precisão e estufa para secagem das sementes.

2.3 Preparação das amostras de guaraná para a análise dos compostos químicos

Foram colhidos frutos maduros com coloração amarela ou avermelhada, de acordo com as características de cada genótipo, foram armazenados em sacos plásticos e transportados para o laboratório de fitotecnia. As sementes foram retiradas dos frutos e separadas do arilo, e realizada a limpeza em água, e selecionadas as de coloração marrom escuro a preto. As sementes das 21 amostras foram acondicionadas separadamente em sacos de papel kraft, devidamente identificados, posteriormente foram secadas em estufa com circulação forcada e controle digital modelo ETC 45, marca Nova ética, a uma temperatura de 45 °C, posteriormente as sementes secas foram trituradas em moinho de facas modelo TE-350 Tecnal cerca de 5 minutos reduzindo-as a pó obtendo 100 g de pó por amostra, Em seguida, foram transferidas para recipientes plásticos descontaminados para armazenamento em dessecadores.

2.4. Reagentes

Foram utilizados solventes de grau HPLC (> 99%), padrões de grau analítico (> 95%) e água ultra-pura (Milli-Q system). Foram utilizados os seguintes padrões químicos (Sigma-Aldrich®), San Luis, Missouri, Estados Unidos): epicatequina, catequina, cafeína, teofilina, teobromina e ácido gálico

2.5. Procedimento de extração dos compostos bioativos

O processo de extração foi através da adaptação de Nascimento et al. (2020) com modificações. Cada amostra foi separada em triplicata em tubos de ensaio. Foram pesados 33 mg do pó do guaraná por triplicata em balança analítica modelo AUW 220-D Shimadzu

(Quioto, Japão), preparou-se 250,00 mL da solução extratora, sendo 181,25 mL de água, 56,25 mL de etanol e 12,50 mL de acetona, seguindo a proporção de, 1,45;0,45;0,1 (v/v/v) respectivamente, e sendo utilizado uma alíquota de 2,00 mL desta solução para cada triplicata. Um agitador de tubos tipo vórtex AP-56 da Phoenix foi utilizado no processo de extração, essa mistura foi sonicada por 10,50 minutos a 35 °C sob frequência de 80 kHz e 30% de potência. O produto final da extração foi filtrado em filtro de seringa com prioridade de 0,22 µm e diluído 100 vezes para posterior injeção no sistema cromatográfico

2.6. Determinação quantitativa e qualitativa dos compostos bioativos

Os extratos obtidos a partir das amostras do fruto de guaraná foram analisados de acordo a metodologia descrita por Marques et al. (2016) com algumas modificações. A separação, identificação e quantificação por HPLC dos compostos fenólicos foram realizadas em um sistema HPLC Shimadzu AUW 220D (Shimadzu, DGU 20A) equipado com um detector UV/VIS. Foi utilizada uma coluna cromatográfica Termo Hypersil ODS de fase reversa C18 (4,6 × 150 mm, partícula de 5 µm, Agilent, Alemanha), termostatizada a 30 ° C com vazão de 1 mL/min. Para análise dos compostos bioativos, os extratos das amostras foram filtrados (membrana de poliéster 0,20 µm, Chromafil PET 20/25, Macherey-Nagel, Düren, Alemanha) e injetados diretamente na coluna cromatográfica (5 µL). A fase móvel foi composta por 2,5% de ácido acético (Vetec, Duque de Caxias, Rio de Janeiro) (solvente A) e acetonitrila (Dinâmica Química Contemporânea Ltda., Indaiatuba, São Paulo) (solvente B) na vazão de 1mL/ min. O gradiente de eluição foi o seguinte: 0–3 min 3% de solvente B, 3–8 min 9% B, 8–18 min 11% B, 18–20 min 95% B e em 20 min 3% B. Os cromatogramas foram registados a 270 e 280 nm. A identificação dos compostos foi obtida comparando-se seus tempos de UV e de retenção dos picos separados com os tempos de retenção dos padrões. Os compostos bioativos identificados foram quantificados baseada na área do pico. Foram construídas curvas com quantidades conhecidas de soluções com padrões comerciais de ácido gálico, cafeína, teobromina, teofilina, catequina e epicatequina (Sigma-Aldrich®), a partir da curva foi gerada uma equação linear para calcular as concentrações das metilxantinas e polifenóis nas amostras de guaraná.

2.7 Análises estatísticas

Os dados de cada procedência foram testados quanto a normalidade de resíduos e homoscedasticidade e posteriormente submetidos a análise de variância (ANOVA) ($p<0,05$) e testes de média Tukey ($p<0,05$). Quando não atendidos os pressupostos da análise de variância os dados foram analisados por Kruskal-Wallis. Para a ANOVA foram

excluídos os produtores que apresentaram apenas um genótipo, e a teofilina não foi considerada, uma vez que foi detectada em apenas quatro genótipos. As características biométricas e os cinco compostos químicos foram submetidos a análise de correlação de Pearson (r), com significância do coeficiente testada pelo teste t de *Student.* (EPSKAMP et al., 2012).

Para avaliar a divergência entre os genótipos foi realizada análise de agrupamento, com matriz de distância calculada pela medida de dissimilaridade Euclidiana (GOWER, 1985), e o método de agrupamento utilizado foi UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) (SNEATH; SOKAL, 1973). A validação dos agrupamentos foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (CCC), com significância pelo teste de Mantel. A definição do número de grupo foi estabelecida pelos métodos do índice Pseudo t^2 e silhouete (DUDA; HART,1973). Todas as análises estatísticas foram executadas em ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

3. RESULTADOS

Em relação às características biométricas dos frutos e sementes, houve diferença significativa entre as procedências para o comprimento do fruto, diâmetro do fruto e massa fresca da semente ($P < 0,05$) (Tabela 2). As médias mais elevadas para o comprimento do fruto foram registradas em Camamu (20,41 mm) e Taperoá (22,76 mm) (Tabela 3). Da mesma forma, Taperoá demonstrou as melhores médias para o diâmetro do fruto e massa fresca da semente, sendo 24,09 e 1,21, respectivamente, seguido por Camamu. Por outro lado, Igrapiúna exibiu as menores médias para a maioria das características biométricas avaliadas.

Tabela 2. Análises de variância das características número de sementes por fruto (NSF), peso do racemo (RW), massa do fruto (MF), comprimento do fruto (CF), diâmetro do fruto (DF), espessura do fruto (EF), massa fresca da semente (MFS), massa seca da semente (MSS), comprimento da semente (CS), diâmetro da semente (DS), espessura da semente (ES), em 18 genótipos de guaranazeiro provenientes dos municípios de Camamu, Igrapiúna, Taperoá, baixo sul da Bahia.

SV	GL	QM										
		NSF	RW (g)	MF (g)	CF (mm)	DF (mm)	EF (mm)	MFS (g)	MSS (g)	CS (mm)	DS (mm)	ES (mm)
Procedências	2	0,088	13561	3.470	22.225*	20.632*	12.872	0.214*	0.108	3.456	4.733	2.4575
Resíduo	15	0,142	10426	1.147	4.523	4.814	3.448	0.038	0.029	0.986	1.420	1.128
Total	17											
Valor – P		0.549	0.301	0.078	0.022	0.033	0.050	0.015	0.052	0.056	0.063	0.147

GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio, *Significativo a 95% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Médias dos caracteres número de sementes por fruto (NSF), peso do racemo (RW), massa do fruto (MF), comprimento do fruto (CF), diâmetro do fruto (DF), espessura do fruto (EF), massa fresca da semente (MFS), massa seca da semente (MSS), comprimento da semente (CS), diâmetro da semente (DS), espessura da semente (ES), em 18 genótipos de guaranazeiro provenientes dos municípios de Camamu, Igrapiúna, Taperoá, baixo sul da Bahia.

Procedências	NSF	RW (g)	MF (g)	CF (mm)	DF (mm)	EF (mm)	MFS (g)	MSS (g)	CS (mm)	DS (mm)	ES (mm)
Camamu	1.46 a	136.82 a	5.25 a	20.41 a	22.80 ab	20.36 a	1.11 ab	0.494 a	11.48 a	13.72 a	10.87 a
Igrapiúna	1.62 a	142.31 a	4.26 a	19.25 b	20.76 b	18.60 a	0.883 b	0.487 a	10.76 a	12.18 a	9.50 a
Taperoa	1.76 a	223.18 a	5.60 a	22.76 a	24.09 a	20.36 a	1.21 a	0.721 a	12.14 a	13.59 a	10.25 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) foi empregada para a análise das amostras de guaraná. O cromatograma apresentado na (Figura 2) demonstra a separação de seis picos correspondentes aos compostos bioativos, com tempos de retenção em minutos definidos para o Ácido Gálico (3,0 min), Teobromina (7,5 min), Teofilina (9,0 min), Catequina (11,5 min), Cafeína (14,0 min) e Epicatequina (16,0 min).

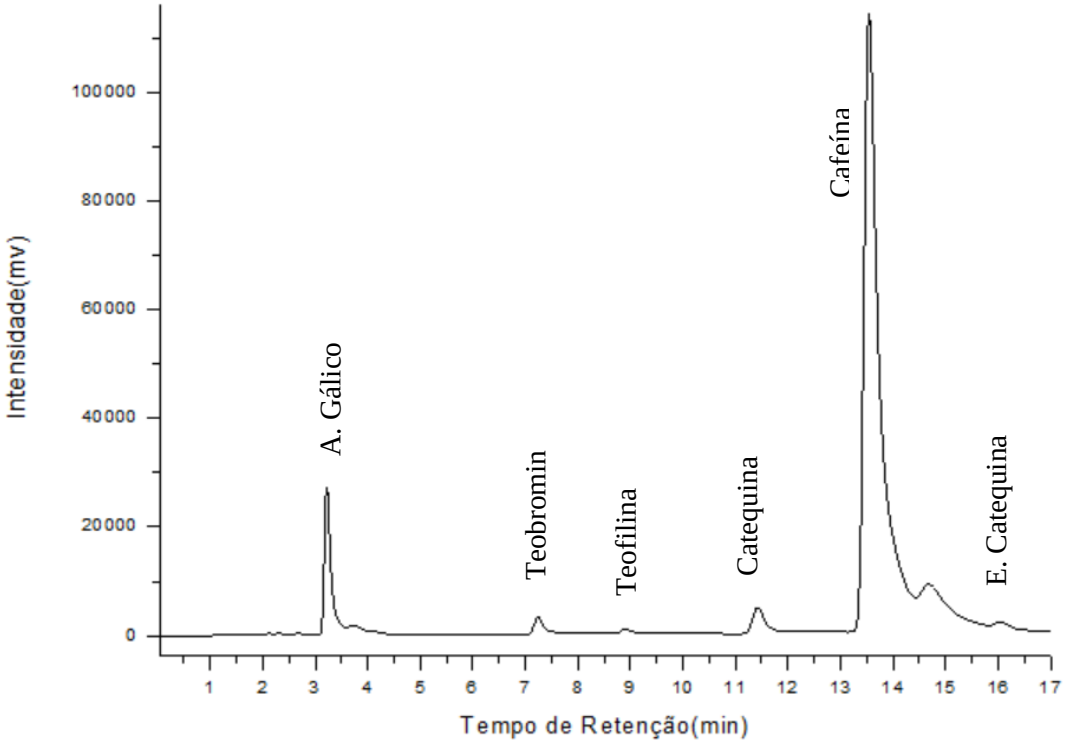


Figura 1. Cromatograma da amostra de guaraná para o Ácido Gálico (AG), Teobromina (TB), Teofilina (TF), Catequina (CT) e Epicatequina (EC), obtido por HPLC.

A composição de metilxantinas e fenólicos nas sementes de guaraná mostrou-se diferenciada entre os genótipos de cada procedência. Os valores mais elevados de cafeína foram obtidos nos genótipos oriundos de Igrapiúna - IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9 (Tabela 4), correspondendo a 7,03%, 5,22% e 5,65%, respectivamente. Por outro lado, os valores mais baixos foram observados nos genótipos de Camamu e Taperoá - CP1G1, CAP1G3, TP1G1 e IGP1G2, com teores de 2,83%, 2,04%, 2,40% e 2,72%, respectivamente. Os genótipos CAP1G2, TAP1G2, TAP1G5, IGP1G5 e IGP2G1 apresentaram teores de cafeína na faixa de 3,38% a 3,97%. Similarmente, os teores variaram entre 4,00% e 4,55% para as sementes dos genótipos IGP1G3, IGP1G4, IGP1G7, IGP1G1, TP1G6, TP1G4 e TAP1G3.

Em relação a catequina, valores situaram-se entre 0,77 e 3,88%, com destaque para os genótipos de Taperoá e Igrapiúna - TP1G4, TP1G5, TAP1G6, IGP1G5, IGP1G6 e IGP1G9, registrando concentrações de 2,72%, 2,92%, 2,16%, 2,73%, 3,88% e 3,25%, respectivamente. No caso da epicatequina, destaca-se também os genótipos de Taperoá e Igrapiúna TAP1G4 (2,05%), IGP1G3 (1,36%) e IGP1G4 (2,06%). As plantas que apresentaram teobromina (TB) possuem concentrações muito baixas desse composto, variando entre 0,01% e 0,08%. A teofilina foi detectada apenas nos genótipos IGP1G1, IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9, com concentrações de 0,01%, 0,02%, 0,01% e 0,01%, respectivamente.

Na análise cromatográfica foi também identificado um sexto composto químico. Considerando a possibilidade de ser um tanino, procedeu-se à injeção do padrão do ácido gálico. Este padrão foi detectado pelo cromatógrafo com o mesmo tempo de retenção (3 minutos) observado para o composto em questão (Figura 1). Portanto, sugere-se que o composto seja o ácido gálico, com uma concentração variando entre 0,24% e 0,63% nos genótipos avaliados.

Tabela 4. Concentração de cafeínas (CF), catequina (CT), epicatequina (EC), teobromina (TB), teofilina (TF), ácido gálico (AG) de acordo a média das amostras de cada genótipo de guaraná.

MEDIA EM PORCENTAGEM %						
Genótipos	Cafeína	Catequina	E. catequina	Teobromina	Teofilina	A. Gálico
CAP1G1	2,83 ± 0,51	1,83 ± 0,52	0,56 ± 0,01	0,01 ± 0,005	NQ	0,63 ± 0,12
CAP1G2	3,92 ± 0,39	0,94 ± 0,05	0,20 ± 0,01	0,03 ± 0,008	NQ	0,48 ± 0,09
CAP1G3	**2,04 ± 0,04**	0,77 ± 0,04	0,16 ± 0,02	0,01 ± 0,004	NQ	0,53 ± 0,04
CAP2G1	2,77 ± 0,26	1,23 ± 0,11	0,20 ± 0,03	0,01 ± 0,001	NQ	0,49 ± 0,22
TAP1G1	2,40± 0,28	0,95 ± 0,11	0,17 ± 0,01	0,02 ± 0,008	NQ	0,34 ± 0,07
TAP1G2	3,43 ± 0,40	1,49 ± 0,12	0,20 ± 0,04	0,01 ± 0,002	NQ	0,30 ± 0,02
TAP1G3	4,49 ± 0,17	1,19 ± 0,15	0,38 ± 0,01	0,02 ± 0,002	NQ	0,39 ± 0,06
TAP1G4	4,03 ± 0,24	2,72 ± 0,83	2,05 ± 0,41	0,03 ± 0,007	NQ	0,36 ± ,02
TAP1G5	3,65 ± 0,23	2,92 ± 0,74	1,34 ± 0,29	0,02 ± 0,002	NQ	0,39 ± 0,09
TAP1G6	4,22 ± 0,44	2,16 ± 0,40	0,23 ± 0,01	0,02 ± 0,002	NQ	0,45 ± 0,05
TAP2G1	3,06 ± 0,30	1,77 ± 0,79	0,15 ± 0,02	0,03 ± 0,004	NQ	0,38 ± 0,07
IGP1G1	4,55 ± 0,81	1,21 ± 0,30	0,19 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,01 ± 0,003	0,38 ±0,15
IGP1G2	2,75 ± 0,37	1,86 ± 0,32	0,56 ± 0,01	0,01 ± 0,002	NQ	0,30 ± 0,01
IGP1G3	4,00 ± 0,05	1,70 ± 0,11	1,36 ± 0,32	0,03 ± 0,005	NQ	0,30 ± 0,03
IGP1G4	4,40 ± 0,41	1,02 ± 0,07	2,06 ± 0,40	0,08 ±0,02	NQ	0 ,43 ±0,03
IGP1G5	3,38 ± 0,13	2,73 ± 0,22	0,22 ± 0,04	0,04 ± 0,01	NQ	0,30 ± 0,02
IGP1G6	**7,03 ± 0,16**	3,88 ± 0,31	1,03 ± 0,03	0,09 ± 0,003	0,02 ± 0,001	0,33 ± 0,01
IGP1G7	4,10 ± 0,35	1,94 ± 0,10	0,52 ± 0,02	0,02 ± 0,004	NQ	0,38 ±0,05
IGP1G8	5,22 ± 0,21	1,00 ± 0,32	0,62 ± 0,04	0,02 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,30 ± 0,15
IGP1G9	5,65 ± 0,20	3,25 ± 0,82	0,25 ± 0,07	0,12 ± 0,008	0,01 ± 0,003	0,39 ± 0,07
1GP2G1	3,86 ± 0,03	1,97 ±0,08	0,22 ± 0,01	0,01 ± 0,001	NQ	0,24 ± 0,01

CF (%), CT (%), EC (%), TB (%), AG (%). O destaque em negrito indica os valores mínimos e máximos nas concentrações de cada composto.

A análise de variância permitiu comparação entre as procedências, utilizando dados referentes da caracterização dos cinco compostos químicos (Tabela 5). Houve diferença estatística significativa entre as procedências, apenas para o ácido gálico ($p < 0,05$), em que os genótipos provenientes de Camamu exibiram a média mais elevada para esse composto (0,547%) (Tabela 6). Ressalta-se que os genótipos provenientes de Igrapiúna apresentaram os maiores valores médios para Cafeína, Catequina, Epicatequina e Teobromina.

Tabela 5. Análises de variância dos caracteres cafeína (CF), ácido gálico (AG), catequina (CT), epicatequina (EC) e teobrominas (TB) em 18 genótipos de guaranazeiro municípios Camamu, Igrapiúna, Taperoá do baixo sul da Bahia.

FV	GL	QM				
		CF	ÁG	CT	EC	TB
Procedências	2	3.4163	0.0460*	0.8301	0.2391	0.0019
Resíduo	15	1.1663	0.0027	0.8062	0.4203	0.0007
Total	17					
Valor – P		0.0843	0.0001	0.3810	0.2983	0.1202

GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 6. Médias dos caracteres cafeína (CF), ácido gálico (AG), catequina (CA), epicatequina (EC), teobromina (TB), em 18 genótipos de guaranazeiro provenientes dos municípios Camamu, Igrapiúna, Taperoá, no estado da Bahia.

Procedências	CF (%)	AG (%)	CA (%)	EC (%)	TB (%)
Camamu	2,932 a ± 0,77	0,547 a ± 0,06	1,215 a ± 0,44	0,313 a ± 0,18	0,019 a ± 0,01
Igrapiúna	4,565 a ± 1,20	0,348 b ± 0,05	2,069 a ± 0,96	0,760 a ± 0,59	0,052 a ± 0,04
Taperoá	3,702 a ± 0,68	0,372 b ±0,04	1,919 a ± 0,72	0,733 a ± 0,00	0,024 a ± 0,04

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se refere às correlações entre as variáveis biométricas (frutos e sementes) e as variáveis de composição química (Figura 2), apesar da ausência de significância para a maioria das correlações, houve correlação negativa entre variáveis químicas e biométricas. A Cafeína e Teobromina demonstraram correlações negativas com todas as características biométricas, sendo notável a magnitude da correlação significativa entre CF - ES e DS (-0,52, -0,42, respectivamente). Houve correlação fraca e positiva entre CF - NSF e RW. A correlação entre variáveis biométricas segue o padrão de associação previamente demonstrado no Capítulo I. Entre as variáveis químicas houve correlação positiva significativa entre a cafeína (CF) e a catequina (CT) (0,56), bem como entre a cafeína e a teobromina (TB). Além disso, houve correlação positiva, porém fraca, entre a cafeína e a epicatequina (EP). No caso da teobromina, obteve-se correlação positiva e significativa com um dos compostos fenólicos (catequina). Por outro lado, o ácido gálico (AG) demonstrou correlações fracas e negativas com a CF, TB, CT e EP, além de apresentar correlações negativas com as características NSF, RW e MSS e uma correlação fraca e positiva apenas com EF, DS e ES.

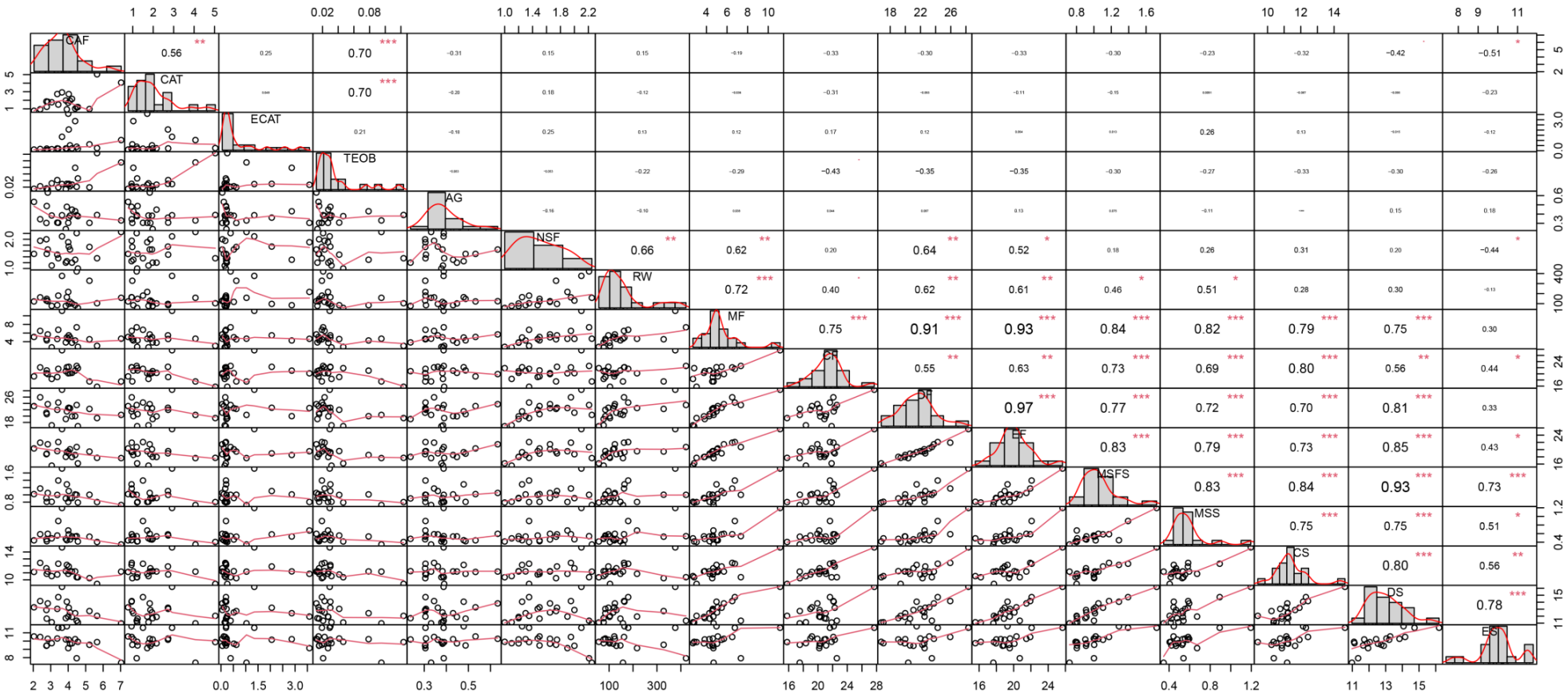


Figura 2. Correlação fenotípica entre nove caracteres cafeína (CF), catequina (CA), eoicatequina (EC), teobromina (TB), ácido gálico (AG) e NSF: Numero de semente por fruto; RW: Peso do racemo (g); MF: Massa do fruto (g); CF: Comprimento do fruto (mm); DF: Diâmetro do fruto (mm); EF: Espessura do fruto; MFS: Massa fresca da semente(g); PSS: Massa seca da semente (g); CS: Comprimento da semente (mm); DS: Diâmetro da semente (mm); ES: Espessura da semente (mm) avaliadas em 21 genótipos de guaranazeiro, municípios Camamu, Taperoá, Igrapiúna.

Foi possível agrupar os genótipos de guaranazeiro por meio de um dendrograma (Figura 3), considerando os seis compostos químicos. O ponto de corte resultou na separação em dois grupos. Os genótipos IGP1G6 e IGP1G9 provenientes de Igrapiúna foram agrupados no grupo I. Os 19 genótipos restantes formaram o grupo II, revelando semelhança entre eles, mesmo originados de diferentes procedências.

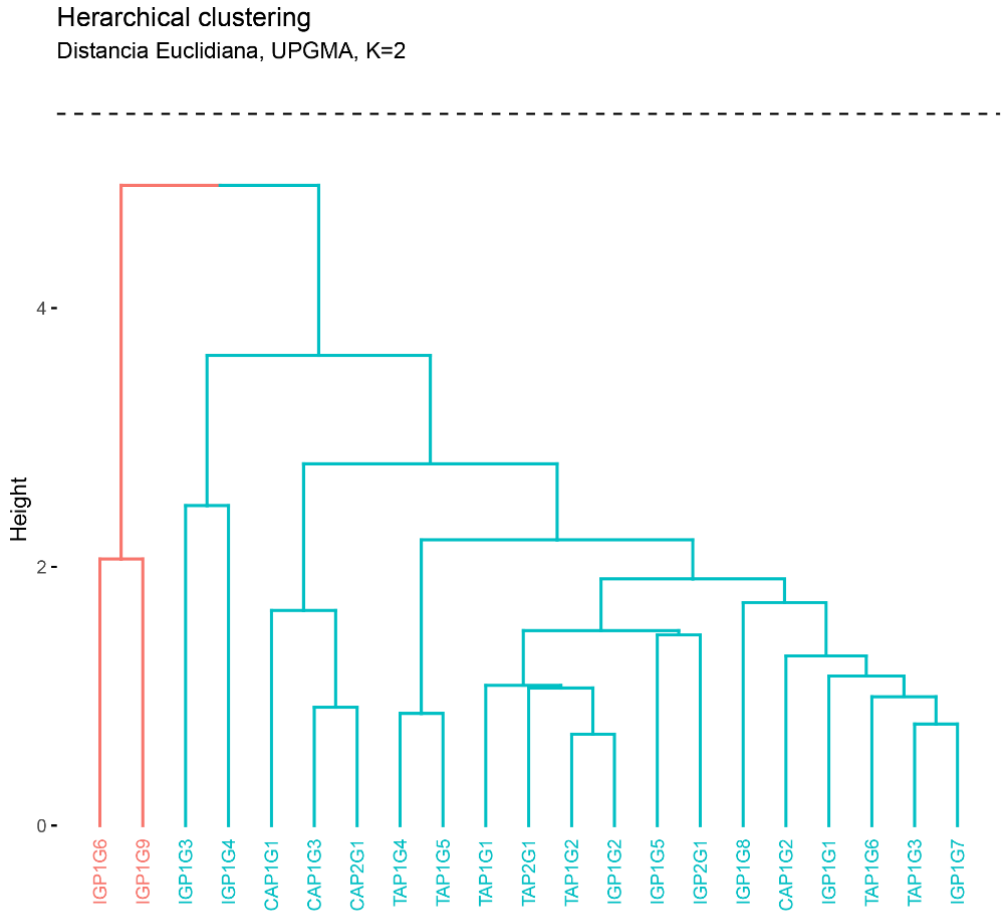


Figura 3. Dendrograma obtido pelo método da Distância Euclidiana Média, a partir da matriz de dissimilaridade entre 21 genótipos de guaranazeiro pelo método como medida de distância genética e método de agrupamento (UPGMA).

4. DISCUSSÃO

Os teores mais elevados de cafeína observados nos genótipos da procedência de Igrapiúna corroboram as altas concentrações de cafeína nas sementes de guaraná (SCHIMPL et al., 2013), registrados na literatura. Por outro lado, as concentrações mais baixas demonstram valores superiores aos encontrados por Silva et al. (2017), que detectaram concentrações mínimas na faixa de 1,68% a 1,96% em genótipos avaliados no Amazonas e Bahia. Nossas descobertas, com valores entre 3,38% a 3,96%, assemelham-se aos achados de Schimpl et al. (2014) (3,3%) para a cultivar BRS Maués, a qual é considerada com boa produtividade. Ademais, os genótipos apresentando teores de 4,03% a 4,55% exibem concentrações muito próximas aos resultados de Nina et al. (2020) (4,65%) e Nascimento Filho et al. (1999) (4,04%).

Destaca-se o genótipo proveniente de Igrapiúna IGPIG6, que exibe a mais elevada concentração de cafeína dentre os 21 genótipos analisados (7,03%). Este resultado foi previamente constatado apenas por Nina et al. (2020), que encontraram valores semelhantes para CIR815 (7,35%) e CIR904 (7,08%). Os maiores teores anteriormente registrados foram de 6,98% por Lyra (1953) e 6,2% por Escobar, Costa e Corrêa (1985). Schimpl et al. (2014) avaliaram o teor de cafeína e outras metilxantinas em sementes de cinco genótipos de guaraná utilizando o mesmo método analítico empregado neste estudo, obtendo valores de cafeína variando de 3,3% a 5,8%.

Em relação às procedências, Igrapiúna apresenta as melhores médias para os teores de cafeína catequina, epicatequina e teobromina, ainda que não haja diferenças estatísticas significativas. O valor médio de cafeína encontrado no município de Igrapiúna (4,56%) é superior ao relatado por Silva et al. (2017) (3,73%), que realizaram a quantificação da cafeína no baixo sul da Bahia. Esses pesquisadores também identificaram concentrações médias de 2,83% para amostras comerciais em Ilhéus, Bahia, e 3,07% em amostras provenientes do Amazonas. Esses valores são similares aos encontrados em nosso estudo para as procedências de Camamu (2,93%) e Taperoá (3,70%).

Revelando que as procedências do estudo são propícias para a coleta de material destinado à formação de bancos de germoplasma, visando a obtenção de genótipos capazes de produzir sementes com alto teor de cafeína.

Os valores médios obtidos para a concentração de (CT) e para (TB) assemelham-se aos resultados encontrados por Nina et al. (2020), que situaram medias entre 1,19 a 1,56 para CT e de 0,001 a 0,14 para TB. Adicionalmente, os referidos autores também reportaram valores médios de (EP) variando de 0,72 a 2,08. No entanto, nossas análises demonstraram médias inferiores, com a máxima média para EP atingindo 0,76. Um estudo conduzido por Machado et al. (2018) detectou concentrações de 0,017% para o teor de (TB), 0,45% para catequina e 0,55% para (EP).

Nina e colaboradores (2020) não identificaram a presença de teofilina em nenhuma das amostras avaliadas, resultados que se assemelham aos nossos, nos quais a teofilina foi apenas detectada nos genótipos IGP1G1, IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9. De acordo com Schimpl et al. (2014), os níveis de teofilina em sementes de guaraná, quando detectados, são significativamente baixos. A relação da teofilina com o metabolismo da cafeína em guaraná ainda não está completamente esclarecida. Em outras espécies de plantas, a teofilina é um produto da degradação da cafeína e é prontamente convertida em ureídeos, não se acumulando nos tecidos vegetais (ASHIHARA et al., 2017).

No café, os níveis de cafeína podem variar entre as espécies *Coffea arábica* (com 1,8%) e *Coffea robusta* (2,9%) (ADNAN, et al., 2020). Sendo encontrado até café descafeinado da espécie *C. arabica* (SILVAROLLA; MAZZAFERA; FAZUOLI, 2004). Pesquisas realizadas por Niemenak et al. (2008) revelaram variabilidade nos teores de cafeína nas sementes de *Cola acuminata* e *C. anomala*, variando de 0,7 a 1,4%, e também em teobromina, variando de 0,04 a 0,06%. Por outro lado, as metilxantinas são mais predominantes nas folhas secas de mate, onde a cafeína não foi detectada em algumas espécies, enquanto a teobromina varia de 0,5% a 0,9% (ASHIHARA et al., 2017). Em relação ao gênero *Paullinia*, Weckerle et al. (2003) identificaram teores de cafeína (4,28%) e teobromina (0,015%). enquanto a *Paullinia cupana* é reconhecida pela acumulação de cafeína, especialmente em suas sementes maduras (SCHIMPL et al., 2014), dessa forma registra-se que os genótipos de guaranazeiro apresentam um teor mais elevado de cafeína em comparação com outras espécies.

Além dos flavonoides, diversas substâncias provenientes do metabolismo secundário das plantas têm sido exploradas como aditivos farmacêuticos. Destaca-se, no presente contexto, o ácido gálico (LOCATELLI, 2012). O ácido gálico é um fenol de ocorrência natural em plantas, obtido por meio da hidrólise dos taninos, apresentando diversas atividades farmacológicas (INOUE et al.,1995). Os derivados este composto são amplamente utilizados na indústria alimentícia, como antioxidantes e na indústria de cosméticos e farmacêutica, estudos demonstram que estes compostos apresentam potentes atividades terapêuticas incluindo propriedades anticarcinogênica, antimicrobiana, anti-viral, atuando como sequestradores de espécies reativas de oxigênio (OW & STUPANS, 2003; SAVI et al., 2005). Neste contexto, nossa descoberta torna-se importante, uma vez que o ácido gálico emerge como um composto de grande relevância na indústria. Portanto, torna-se imperativo conduzir futuros trabalhos que explorem a aplicação desse novo composto. Essa abordagem investigativa não apenas aprofundará nosso entendimento, mas também contribuirá significativamente para o avanço do conhecimento sobre essa cultura no estado da Bahia.

O padrão de correlações negativas entre os compostos químicos e a maioria das variáveis biométricas de frutos e sementes de guaraná pode sugerir que quanto menor for a massa do fruto e da semente, maiores serão os teores de metilxantinas e taninos. Da mesma forma, à medida que as dimensões dos frutos e sementes aumentam, os teores desses compostos tendem a diminuir. Os padrões de correlação apresentados podem desempenhar um papel importante na seleção indireta em processos de melhoramento, sendo que para não perder potenciais recombinantes nas etapas iniciais de melhoramento a seleção direta nesses dois grupos de variáveis deve ser considerada. Um estudo conduzido por Teixeira (2011) para a espécie *Coffea arabica* identificou padrão contrastante, revelando correlações positivas e significativas entre a cafeína e características morfoagronômicas em acessos no estado juvenil.

Os resultados da análise de correlação entre os compostos químicos e as variáveis dos frutos e sementes mostram uma relação consistente com as médias apresentadas na análise de variância para cada procedência (Tabela 3). A procedência de Igrapiúna exibiu as médias mais baixas em relação à biometria; no entanto, esse município apresentou as melhores médias em relação aos compostos químicos. Isso sugere que, à medida que as massas dos frutos e sementes diminuem e suas dimensões se tornam menores, os níveis de metilxantinas e taninos tendem a aumentar. Recomenda-se a inclusão de estudos que analisem as relações entre compostos químicos e a biometria de frutos e sementes, uma vez

que tal abordagem é escassa na literatura para o material vegetal em estudo. Essa adição fortalecerá as informações descobertas em nosso estudo.

As correlações positivas identificadas entre a (CF) e tanto (NSF) quanto o (RW) podem estar associadas à produtividade. É possível inferir que um aumento no rendimento de (RW) resulta em um maior número de frutos e sementes. Nina et al. (2020) investigaram a relação entre a cafeína e a produtividade, revelando uma correlação positiva significativa (0,630). Um dos parâmetros cruciais na avaliação de um material genético é o índice de sementes, destacando-se como uma variável de alta relevância para o aumento da produtividade (FAJARDO et al., 2022).

A correlação positiva entre a cafeína e a catequina demonstrada em nosso estudo foram diferentes as observadas por Nina et al. (2020), os quais identificaram correlações negativas entre esses compostos (-0,5064). No entanto, esses autores encontraram uma relação positiva entre a cafeína e a teobromina, concordando com nossas descobertas (Figura 1). Por outro lado, Nakamura et al. (2009) observaram uma correlação negativa entre a teobromina e a cafeína (-0,58), indicando uma relação inversamente proporcional entre esses compostos em plantas de mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). Este padrão foi corroborado por Cardozo Junior et al. (2010), que também identificaram uma correlação negativa entre cafeína e teobromina (-0,84) em progênies de erva-mate. Essas diferenças nas correlações fenotípicas entre a teobromina e a cafeína em guaraná e erva-mate constituem evidências adicionais das variações no metabolismo das metilxantinas entre essas espécies (NINA et al 2020)

O conteúdo das metilxantinas tem sido relatado como variável, dependendo das condições edafoclimáticas e da interação com o genótipo (FEBRIANTO e ZHU, 2022). Fajardo et al. (2022) destacaram que a relação TB/CF é um parâmetro relevante para classificar e conhecer os diferentes genótipos. A biossíntese de cafeína (CF) e teobromina (TB) é predominantemente regulada pela expressão gênica e pela síntese enzimática, assemelhando-se ao processo de biossíntese de outros metabólitos secundários. Alterações nas taxas de expressão gênica a nível transcricional, na quantidade e na atividade das enzimas-chave da biossíntese, bem como no acúmulo de CF, estão associadas a modificações fisiológicas, incluindo aquelas observadas no guaraná (ASHIHARA et al., 2017).

A separação em dois grupos, com base nos compostos químicos analisados, indica a presença de diversidade genética em relação a esses cinco compostos. Os genótipos IGP1G6 e IGP1G9, apesar de compartilharem a mesma procedência apresentaram a maior

divergência. Genótipos que demonstrem superioridade podem representar possíveis acessos promissoras para banco de germoplasma em programas de melhoramento, proporcionando resultados benéficos para os produtores locais (RODRÍGUEZ-MEDINA et al., 2019). Genótipos de uma determinada procedência com uma variação genética que apresenta altos rendimentos pode não demonstrar o mesmo desempenho em outra (HERNÁNDEZ et al., 2021). Em contraste, os demais genótipos demonstraram similaridade, evidenciando uma variabilidade genética reduzida entre eles, mesmo quando originários de procedências distintas. Esses resultados sugerem que a diversidade observada está dentro dos genótipos provenientes da mesma procedência, levantando a possibilidade de uma maior variabilidade intra-populacional (dentro da procedência) do que interpopulacional (entre procedências) (NINA et al., 2020).

Os resultados de nossa pesquisa concordam com as descobertas por outros estudos que avaliaram os mesmos compostos químicos em guaranazeiros, constatando reduzida variabilidade. Atroch et al. (2010) e Nascimento Filho et al. (2001) investigaram características morfológicas e a produtividade de sementes secas em 148 clones de guaranazeiros, concluindo que a divergência genética entre eles não é grande, já que os genótipos analisados formaram apenas dois grupos. Essas informações corroboram com os resultados apresentados no capítulo I, onde os 21 genótipos formaram também apenas dois grupos. Tais informações são valiosas para o programa de melhoramento genético do guaraná, visando a utilização de genótipos divergente em cruzamentos para proporcionar os benefícios da heterose, visando o aumento da produtividade e dos teores de metilxantinas e fenólicos.

5. CONCLUSÕES

A análise de diversidade genética dos genótipos de guaranazeiro, evidencia que a variação genética está presente, principalmente dentro das procedências.

Os genótipos IGP1G6, IGP1G8 e IGP1G9 apresentaram as concentrações mais elevadas de cafeína.

Frutos e sementes de guaranazeiro menores tendem a ter maiores teores dos compostos bioativos.

Além das metilxantinas e fenólicos previamente conhecidos, a análise cromatográfica identificou um sexto composto químico, que é sugerido como ácido gálico. Esta descoberta contribui para a compreensão da composição química das sementes de guaraná.

6. REFERÊNCIAS

ADNAN, A. et al. Reliable discrimination of green coffee beans species: A comparison of UV-Vis-based determination of caffeine and chlorogenic acid with non-targeted near-infrared spectroscopy. **Foods**, v. 9, n. 6, p. 788, 2020. https://doi/10.3390/foods9060788.

ARANTES, L. P. et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) attenuates methylmercury-induced toxicity in *Caenorhabditis elegans*. **Toxicology research**, v. 5, n. 6, p. 1629-1638, 2016. https://doi.org/ https://doi.org/10.1039%2Fc6tx00161k.

ASHIHARA, H. et al. Xanthine alkaloids: occurrence, biosynthesis, and function in plants. **Progress in the chemistry of organic natural products 105**, p. 1-88, 2017.https://doi.org/10.1007/978-3-319-49712-9_1.

ATROCH, A. L. et al. Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro. Revista de Ciências Agrárias, v. 53, n. 2, p. 123–130, 2010.

ATROCH, A. L. et al. Domestication and breeding of the guaraná tree. **Domestication and Breeding: Amazonian Species, Federal University of Viçosa, Viçosa**, p. 333-360, 2012.

ATROCH, A. L.; DO NASCIMENTO FILHO, F. J. Guarana—*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke. In: **Exotic Fruits**. Academic Press, 2018. p. 225-236.http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00029-0.

BRASILEIRO, B. P. et al. Simulated individual best linear unbiased prediction versus mass selection in sugarcane families. **Crop Science**, v. 56, n. 2, p. 570-575, 2016.https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0199.

CARDOZO J. E. L. et al. Quantitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 171-177, 2010.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000200008.

CORREA, A. M. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 59, p. 88-94, 2012.https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000100013.

EPSKAMP, S. et al. qgraph: Network visualizations of relationships in psychometric data. **Journal of statistical software**, v. 48, p. 1-18, 2012.https://doi.org/10.18637/jss.v048.i04.

ESCOBAR, J. R.; COSTA, P. R.; Castro da.; CORRÊA, M. P. F. **Variação do teor de cafeína na semente de guaraná, em progênies de polinização aberta**. 1985.

FAJARDO, J. G. B. et al. Antioxidant activity, total polyphenol content and methylxantine ratio in four materials of Theobroma cacao L. from Tolima, Colombia. **Heliyon**, v. 8, n. 5, 2022.

FEBRIANTO, NA.; ZHU, F. Composição de metilxantinas, polifenóis, chave voláteis odoríferos e minerais em 22 grãos de cacau obtidos de diferentes origens geográficas. LWT (Lebensm.-Wiss. & Technol.) 153, 2022.

GOWER, J.C. Properties of Euclidean and non-Euclidean distance matrices., **Linear Algebra Appl**, vol. 67, p. 81–97, 1985.https://doi.org/10.1016/0024-3795(85)90187-9.

HERNÁNDEZ, M. del P. L. et al. Estudio morfoagronómico de materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes zonas productoras en Colombia. **Ciencia y Agricultura**, v. 18, n. 3, p. 98-109, 2021.https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12570.

INOUE, M. et al. Selective induction of cell death in cancer cells by gallic acid. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v. 18, n. 11, p. 1526-1530, 1995. https://doi / https://doi.org/10.1248/bpb.18.1526.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2008. p. 101-179.

LOCATELLI, C. Derivados sintéticos do ácido gálico: compostos de baixa toxicidade e importantes propriedades entitumorais em modelos in vitro e in vivo. 2012.

LYRA, M. B. Aspectos bromatológicos do guaraná. Arquivos de Bromatologia, v. 1, p. 33– 45, 1953.

MACHADO, K. N. et al. A rapid simultaneous determination of methylxanthines and proanthocyanidins in Brazilian guaraná (*Paullinia cupana* Kunth.). **Food chemistry**, v. 239, p. 180-188, 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.089.

MAJHENIC, L.; SKERGET, M.; KNEZ, Z. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. **Food chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1258-1268, 2007. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.074.

MARQUES, L. L. M. et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) seeds: Selective supercritical extraction of phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 212, p. 703-711, 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.028.

MARQUES, L. L. M. et al. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant–a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 1, p. 77-110, 2019.https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.08.007.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H**.** Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas.** 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 225-274.

NAKAMURA, K. L. et al. Genetic variation of phytochemical compounds in progenies of Ilex *paraguariensis* St. Hil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. 2, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Clones de guaranazeiro para o estado do Amazonas. Comunicado técnico: Comunicado Técnico 01). Manaus: **Embrapa**, 1999.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 501-506, 2001.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300014.

NASCIMENTO, M. M. et al. Optimization of chromatographic separation and classification of artisanal and fine chocolate based on its bioactive compound content through multivariate statistical techniques. **Microchemical Journal**, v. 152, p. 104342, 2020. https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104342.

NIEMENAK, N. et al. Purine alkaloids and phenolic compounds in three Cola species and *Garcinia kola* grown in Cameroon. **South African Journal of Botany**, v. 74, n. 4, p. 629-638, 2008.https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.03.003.

NINA, N. V. dos. S. et al. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial characters. **Crop science**, v. 61, n. 1, p. 443-455, 2020. https://doi.org/ 10.1002/csc2.20331.

OLIVEIRA, R. A. de et al. Procedimento Blupis e seleção massal em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, p. 796-800, 2011. https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400010.

PICHERSKY, E.; LEWINSOHN, E. Convergent evolution in plant specialized metabolism. **Annual review of plant biology**, v. 62, p. 549-566, 2011.https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103814.

R CORE TEAM R. A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2021. URL https://www.R-project.org.

RODRIGUEZ-MEDINA, C. et al. Cacao breeding in Colombia, past, present and future. **Breeding Science**, v. 69, n. 3, p. 373-382, 2019.https://doi.org/10.1270/jsbbs.19011.

RUCHEL, J. B. et al. Guarana (*Paullinia cupana*) ameliorates memory impairment and modulates acetylcholinesterase activity in Poloxamer-407-induced hyperlipidemia in rat brain. **Physiology & behavior**, v. 168, p. 11-19, 2017.https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.10.003.

RUCHEL, J. B. et al. Hypercholesterolemia and ecto-enzymes of purinergic system: effects of *Paullinia cupana*. **Phytotherapy Research**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2016.https://doi.org/10.1002/ptr.5499.

SALOMÃO-OLIVEIRA, A. et al. Benefits and effectiveness of using *Paullinia cupana*: a review article. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 6, n. 8, p. 497-503, 2018. https://doi.org/10.12691/jfnr-6-8-2.

SANTANA, A. L.; MACEDO, G. A. Health and technological aspects of methylxanthines and polyphenols from guarana: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 47, p. 457-468, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.048.

SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: revisiting a highly caffe inated plant from the Amazon. **Journal of ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013. http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2013.08.023.

SCHIMPL, F. C. et al. Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. **Phytochemistry**, v. 105, p. 25-36, 2014. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.04.018.

SILVA, G. et al. 1H quantitative nuclear magnetic resonance and principal component analysis as tools for discrimination of guarana seeds from different geographic regions of Brazil. **Magnetic Resonance in Food Science 2016 Proceedings**, v. 1, p. 21-25, 2016. https://doi.org/10.1255/mrfs.5.

SILVA, G. S. et al. Chemical profiling of guarana seeds (*Paullinia cupana*) from different geographical origins using UPLC-QTOF-MS combined with chemometrics. **Food Research International**, v. 102, p. 700-709, 2017.https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.055.

SILVAROLLA, M. B.; MAZZAFERA, P.; FAZUOLI, L. C. Plant biochemistry: A naturally decaffeinated *arabica* coffee. Nature, v. 429, p. 826, 2004.

SMITH, N.; ATROCH, A. L. Guarana's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-based complementary and alternative medicine**, v. 7, p. 279-282, 2010. https://doi.org/10.1093/ecam/nem162.

SNEATH, P.H.; SOKAL, R.R. **Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification**. 1st Edition, W. H. Freeman, San Francisco. 1973.https://doi.org/10.1002/9781118960608.bm00018.

TEIXEIRA, A. L. **Quantificação da cafeína e seleção precoce para produção em *Coffea arabica*** L. 2011.

WECKERLE, C. S.; STUTZ, M. A.; BAUMANN, T. W. Purine alkaloids in *Paullinia*. **Phytochemistry**, v. 64, n. 3, p. 735-742, 2003.https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00372-8.

7. CONCLUSÃO GERAL

As análises estatísticas realizadas demonstraram ser apropriadas para identificar informações relevantes destinadas a subsidiar futuros trabalhos de melhoramento genético do guaranazeiro, especialmente no que concerne aos atributos agronômicos de relevância econômica. Resultados relacionados à correlação entre variáveis de fácil observação irão desempenhar um papel crucial nas estratégias de seleção indireta, beneficiando especialmente os pequenos produtores que almejam explorar o potencial econômico desta espécie. A identificação de um conjunto apropriado de variáveis capazes de discriminar as matrizes também promoverá eficiência no processo de seleção. A obtenção de informações relativas à divergência entre os locais e entre os genótipos assume importância fundamental na orientação da coleta de material genético de guaraná.

8. REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

ANTUNES, P. B. **Análise comparativa das frações polpa, casca, semente e pó comercial do guaraná (*Paullinia cupana*): caracterização química e atividade antioxidante in vitro**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARAGÃO, N. M.; VELOSO, M. C. da C.; ANDRADE, J. B. de. Validação de métodos cromatográficos de análise: um experimento de fácil aplicação utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os princípios da" Química Verde" na determinação de metilxantinas em bebidas. **Química Nova**, v. 32, p. 2476-2481, 2009.https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000900043.

ARAÚJO, J. A. et al. Avaliação físico-química do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó utilizado na produção de bebidas estimulantes comercializadas em Zé Doca – MA. **Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Maceió, AL**. 2010.

ARRIEL, E. F. et al. Divergencia genética entre matrices de faveleira usando caracteres biométricos de frutos e sementes. **Revista Caatinga**, v. 18, n. 4, p. 219-225, 2005.

ATROCH, A. L. **Avaliação e seleção de progênies de meios irmãos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)** utilizando caracteres morfo-agronômicos. 2009. Tese (Genética, Conservação e Biologia Evolutiva), Universidade federal do amazonas, 2009.

ATROCH, A. L. et al. Domesticação e melhoramento do guaranazeiro. **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas,** pgs. 337-365, 2009. https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/33968.

ATROCH, A. L. et al. Domesticação e melhoramento do guaranazeiro. **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas, pgs. 337-365**, 2009.

ATROCH, A. L. et al. Domestication and breeding of the guaraná tree. **Domestication and Breeding: Amazonian Species, Federal University of Viçosa, Viçosa**, p. 333-360, 2012.

ATROCH, A. L.; DE RESENDE, M.D.V.; DO NASCIMENTO FILHO, F.J. Seleção clonal em guaranazeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, n. 41, p. 193-201, 2004.

ATROCH, A. L.; DO NASCIMENTO FILHO, F. J. Guarana—*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke. In: **Exotic Fruits**. Academic Press, 2018. p. 225-236.https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00029-0.

ATROCH, A. L.; DO NASCIMENTO FILHO, F. J.; PEREIRA, JCR. **BRS Noçoquém: primeira cultivar de guaranazeiro de reprodução via sementes para cultivo no estado do Amazonas**, 2015.

BACAXIXI, P. et al. A soja e seu desenvolvimento no melhoramento genético. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, n. 20, 2011.

BAQUEIRO, A. U. P. et al. Potencial de indicação geográfica para o guaraná de Taperoá-Bahia. In: **10th International Symposium on Technological Innovation**, 2019. https://doi.org/10.7198/S2318-3403201900010864.

BENTES, J. LS.; MATSUOKA, K. Histologia da interação *Colletotrichum guaranicola* e *Paullinia cupana* var. *sorbilis* em clones resistente e suscetível. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 7 1-77, 2002.https://doi.org/10.1590/S0100-41582002000100011.

BETTENDORFF, J. F. Crônica dos padres da Companhia de Jesus no Estado do Maranhão. **Belém: Fundação Cultural do Pará Tancredo Neves/Secretaria de Estado da Cultura**, p. 147-300, 1990. 115.

BHANDARI, H. R. et al. Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. **Adv. Plants Agric. Res**, v. 7, n. 3, p. 279-286, 2017.http://doi.org/10.15406/apar.2017.07.00255.

BIZZOTTO, C. S. **Metilxantinas por eletroforese capilar: desenvolvimento, otimização e validação de método. aplicação em café descafeinado e outras bebidas**, 2010. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

BOREM, A. **Melhoramento de plantas**. UFV, Vic¸osa, 547p. 1997.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHE-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Oficina de Textos, 2021.

BUENO, L.C., de.; MENDES, A.N.G., CARVALHO, S.P. de, 2001. **Melhoramento genético de plantas: princı´pios e procedimentos**. UFLA, Lavras, 282 p.

CARVALHO, J. M. et al. Effect of processing on physicochemical composition, bioactive compounds and enzymatic activity of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) tropical juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 1182-1187, 2015. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1100-1.

CARVALHO, L. P. de et al. Analysis of the genetic diversity among accessions of cotton germplasm collection. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1149-1155, 2003. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001000003.

CASTRO A.M.G. **Nutrição e adubação do cultivo do guaraná,** (Revisão bibliográfica, p.1-19, 1974).

CATÃO, E. CP. et al. Soil acidobacterial 16S rRNA gene sequences reveal subgroup level differences between savanna-like cerrado and Atlantic Forest Brazilian biomes. **International journal of microbiology**, v. 2014, 2014.https://doi.org/10.1155/2014/156341.

CLEMENT, C. R. et al. Origin and domestication of native Amazonian crops. **Diversity**, v. 2, n. 1, p. 72-106, 2010.https://doi.org/10.3390/d2010072.

COSTA, G. S. M. Determinação de Antioxidantes por Cromatografia Líquida de Alta Pressão com Detecção Electroquímica, 2010.

CRUZ, C. D.; SOUZA CARNEIRO, P. C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramiento genético**. Universidad Federal de Vidcosa, 2006.

DA SILVA, A. S. et al. Dendê de Valença e guaraná de Taperoá: potenciais de indicação geográfica no território do Baixo Sul da Bahia. **Cadernos de Prospecção**, v. 8, n. 2, p. 375-375, 2015. https://doi.org/10.9771/S.CPROSP.2015.008.042.

DALONSO, N.; DE OLIVEIRA, P. C. L. Guarana powder polysaccharides: characterisation and evaluation of the antioxidant activity of a pectic fraction. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1804-1812, 2012. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.088.

DANTAS, A. M. et al. Avaliação da bioacessibilidade de compostos fenólicos de polpas de frutas nativas e exóticas oriundas dos distintos biomas brasileiros. 2018.

DE OLIVEIRA, C. Je.; BRITO, G. N. S.; SANTANA, G. M. Competitividade da cadeia produtiva do Guaraná da Bahia. **Revista de Estudos Sociais**, v. 24, n. 48, p. 51-68, 2022.

DE PASCUAL-TERESA, S.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. Flavanols and anthocyanins in cardiovascular health: a review of current evidence. **International journal of molecular sciences**, v. 11, n. 4, p. 1679-1703, 2010. https://doi.org/10.3390/ijms11041679.

DERKACH, T.; TARASENKO, H. Chemistry of medicinal plants as an integral part of ecological education. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2021. p. 11015. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128011015.

DOS SANTOS, D. K. N. et al. Incidência de doenças causadas por fungos em guaranazeiros em propriedades rurais de Urucará, Amazonas Incidence of diseases caused by fungi in guarana plants in rural properties of Urucará, Amazonas. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 27281-27295, 2022.https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-300.

DUVICK, D. N. Genetic enhancement and plant breeding. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Ed.). **Advances in new crops**. Portland: Timber Press, 1990. p. 90-96.

ELIAS, H. T. et al. Genetic variability in traditional germplasm of common black beans in Santa Catarina State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1443-1449, 2007.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000011.

ELIAS, H. T. et al. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1443-1449, 2007.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000011.

Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola – EBDA. **Câmara Setorial do Guaraná da Bahia. Taperoá/BA**, 2013. Disponível em: http://www.bahia.ba.gov.br/2013/10/noticias/agricultura/camara-setorial-do-guarana-discute-programa-de-desenvolvimento-estadual/.

FAJARDO, J. D. V. Caracterização morfoagronômica de progênies de guaranazeiro. 2016.

FAJARDO, J. D. V. et al. Characterization and genetic diversity between guarana progenies. **Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura**, v. 94, n. 2, p. 102-116, 2019.https://doi.org/10.37856/bja.v94i2.3284.

FALEIRO, F. G.; NETO, A. L.; RIBEIRO J, W. Q. **Pré-melhoramento, melhoramento e pós-melhoramento: estratégias e desafios**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008., 2008.

FALEIRO, F. G.; NETO, A.; JUNIOR, WQR. Pré-melhoramento, melhoramento, pós-melhoramento: estratégias e desafios Planaltina: **Embrapa**. 183p. 2008.

FERRÃO, R. G. et al. **Melhoramento genético de Coffea canephora**, 2015.

FERREIRA, F. A. M. et al. Guaraná (*Paullinia cupana* Kunth), marapuama (*Ptychopetalum olacoides Benth*.), genciana (*Gentiana lutea* L.), quassia (*Quassia amara* L.) e suas propriedades: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e21711224592-e21711224592, 2022.https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.24592.

FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, the time machine of the Sateré-Mawé. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, p. 55-85, 2016. https://doi.org/10.1590/1981.81222016000100005.

FIRMO, W. da C. A. et al. CONTEXTO HISTÓRICO, USO POPULAR E CONCEPÇÃO CIENTÍFICA SOBRE PLANTAS MEDICINAIS. Cadernos De Pesquisa.2012. Recuperado de http://cajapio.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/746.

FREITAS, Ricardo Galvão de et al. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de Eucalyptus urograndis cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, v. 33, p. 255-263, 2009.https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000200007.

GASPAROTTO, L.; BENTES, JL da S.; DE ARRUDA, M. R. **Doenças do guaranazeiro**, 2020.

GONÇALVES, G. M. et al. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 193-198, 2007.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000011.

GOVINDARAJ, M.; VETRIVENTHAN, M.; SRINIVASAN, M. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. **Genetics research international**, v. 2015, 2015. Volume 2015.http://doi.org/10.1155/2015/431487.

Instituto brasileiro de geografia e estatística - IBGE, Levantamento Sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, Ilheus Bahia, 2022. Disponivem em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques. Acceso em: 30 Jan. 2023.

KHAN, H. Medicinal plants in light of history: recognized therapeutic modality. **Journal of evidence-based complementary & alternative medicine**, v. 19, n. 3, p. 216-219, 2014.https://doi.org/10.1177/2156587214533346.

KURI, C. M. B. et al. The GuaranIndustry In Brazil. **International Business & Economics Research Journal (IBER)**, v. 7, n. 5, 2008.https://doi.org/10.19030/iber.v7i5.3258.

LAURINDO, B. S. et al. Hybridization potential among tomato accessions for pre-breeding for resistance to late blight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 27-34, 2016.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000100004.

LIDILHONE, H.; GENISE, V. S.; NEUSA, T. *Paullinia cupana* Kunth (*Sapindaceae*): A review of its ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology. Journal of Medicinal Plants Research, v. 7, n. 30, p. 2221–2229, 10 ago. 2013. https://doi.org/10.5897/JMPR2013.5067.

LIMA, N. da S. et al. Modulatory effects of guarana (*Paullinia cupana*) on adipogenesis. **Nutrients**, v. 9, n. 6, p. 635, 2017.https://doi.org/10.3390/nu9060635.

MACEDO, M. C. et al. Biometria de frutos e sementes e germinação de *Magonia pubescens* ST. Hil (*Sapindaceae*). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 202-211, 2009.

MACHADO, H. et al. Flavonóides e seu potencial terapêutico. **Boletim do Centro de Biologia da Reprodução (Descontinuada)**, v. 27, n. 1/2, 2008.

MACHADO, K. N. et al. A rapid simultaneous determination of methylxanthines and proanthocyanidins in Brazilian guaraná (*Paullinia cupana* Kunth.). **Food chemistry**, v. 239, p. 180-188, 2018. 10.1016/j.foodchem.2017.06.089.

MAJHENIC, L.; SKERGET, M.; KNEZ, Z. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. **Food chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1258-1268, 2007. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.074.

MARCHIORO, V. S. et al. Dissimilaridade genética entre genótipos de aveia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 285-294, 2003. https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000200006.

MARQUES, L. L. M. et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) seeds: Selective supercritical extraction of phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 212, p. 703-711, 2016. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.028.

MARQUES, L. L. M. et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) seeds: Selective supercritical extraction of phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 212, p. 703-711, 2016. https://doi.org /0.1016/j.foodchem.2016.06.028.

MARQUES, L. L. M. et al. *Paullinia cupana:* a multipurpose plant – a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia,** 2018. doi:10.1016/j.bjp.2018.08.007.

MARQUES, L. L. M. et al. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant–a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 1, p. 77-110, 2018.https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.08.007.

MARTÍNEZ, L. Sa. et al. Theobromine, caffeine, and theophylline metabolites in human plasma and urine after consumption of soluble cocoa products with different methylxanthine contents. **Food Research International**, v. 63, p. 446-455, 2014.http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.009.

MILANEZZI, G. C. Compostos bioativos em frutas exóticas brasileiras: revisão bibliográfica Bioactive compounds in brazilian exotic fruits: a literature review. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 52376-52385, 2022. https://doi.org/10.34117/bjdv8n7-24.

MONTEIRO, M. Y. Antropogeografia do Guaraná. 1965. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus. Cadernos da Amazônia**, v. 6, p. 1-84, 1965.

MOURA, M. C. et al. Algoritmo de Gower na estimativa da divergência genética em germoplasma de pimenta. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 155-161, 2010.

MOURA, M. M. et al. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 417-425, 2013. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400010.

MOURA, S. DA. S. et al. Caracterização biométrica de frutos, diásporos e sementes de Syagrus coronata (Mart.) Becc. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 701-716, 2019. http://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i3.833.

NASCIMENTO FILHO, F. J. do. et al. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 501-506, 2001.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300014.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. BRS Cereçaporanga: nova cultivar para o agronegócio do guaraná. **Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Divergência genética entre clones de guaranazeiro.**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.501-506, 2001. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300014.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. **Guaraná: BRS-Amazonas e BRS-Maués-clones para o Estado do Amazonas,** 1999.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L. Guaranazeiro. In: BRUCKNER, C.H. (Ed.). **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p.291-307.

NASCIMENTO, T. P. do. et al. Effect of thinning on flower and fruit and of edible coatings on postharvest quality of jaboticaba fruit stored at low temperature. **Food Science and Technology**, v. 33, p. 424-433, 2013. https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000071.

NASCIMENTO, W. M. O. et al. Pré-melhoramento do camucamuzeiro: estudo de parâmetros genéticos e dissimilaridade. **Revista Ceres**, v. 61, p. 538-543, 2014.http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461040013.

NASS, L. L. et al. Genetic resources: the basis for sustainable and competitive plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 75-86, 2012. https://doi.org/10.1590/S1984-70332012000500009.

NASS, L. L. et al. Pré-melhoramento de germoplasma vegetal. **Recursos genéticos vegetais. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília**, p. 683-716, 2007.

NASS, L. L.; MIRANDA FILHO, J. B.; DOS SANTOS, M. X. Uso de germoplasma exótico no melhoramento. **Recursos genéticos e melhoramento-plantas**, 2001 Acesso em: 29 dez. 2022.

NASS, L. L.; PATERNIANI, E. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 581-587, 2000.https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000300035.

NETO, N. F. de A. L.; ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Importância de caracteres morfoagronômicos no guaranazeiro por componentes principais. **Biodiversidade**, v. 19, n. 1, 2020.

NINA, N. V. dos S. et al. **Divergência genética, adaptabilidade e estabilidade e ganhos de seleção para caracteres agroindustriais de genótipos de guaranazeiro**. Dissertação de doutorado, Universidade Federal do Amazonas, 2019.

NINA, N. V. dos S. et al. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial characters. **Crop Science**, v. 61, n. 1, p. 443-455, 2020.https://doi.org/10.1002/csc2.20331.

ORTIZ, R. Germplasm Enhancement to Sustain Genetic Gains in Crop Improvement. **Contributors ix Foreword xiii**, p. 275, 2002. https://doi.org/10.1079/9780851995229.0275.

OZORIO, P. R da S.; ATROCH, A. L.; DO NASCIMENTO FILHO, F. J. Agro-morphological characterization and genetic diversity of *Paullinia cupana* var. *sorbilis*. 2019.https://doi.org/10.37856/bja.v94i3.3561.

OZÓRIO, P. R. da S. et al. **Caracterização e divergência genética entre 18 cultivares de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)**. 2013.

OZORIO, P. R.D S.; ATROCH, A. L.; DO NASCIMENTO FILHO, F. J. Agro-morphological characterization and genetic diversity of *Paullinia cupana* var. *sorbilis*. **Brazilian Journal of Agriculture,** v.94, n.3, p. 166 – 178, 2019.http://dx.doi.org/10.37856/bja.v94i3.

PATRICK, M. et al. Safety of guarana seed as a dietary ingredient: A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 67, n. 41, p. 11281-11287, 2019.https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03781.

PAZ, M. et al. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food chemistry**, v. 172, p. 462-468, 2015.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.102.

PEREIRA, J. C. R. et al. Avaliação da estabilidade fenotípica e da previsibilidade da resistência em clones de guaranazeiro a *Colletotrichum guaranicola*. 2005.

PEREIRA, J. C. R.; DE ARRUDA, M. R. **Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas**. Embrapa Amazônia Ocidental, 2007.

PEREIRA, J. CR. et al. **Cultura do guaranazeiro no Amazonas**, 2005.

PEREIRA, M. C. et al. Characterization and antioxidant potential of Brazilian fruits from the *Myrtaceae* family.**Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 12, p. 3061-3067, 2012. https://doi.org/10.1021/jf205263f.

RESENDE, R. T.; BRONDANI, C.; CHAVES, L. J. **O melhoramento na era de agricultura de precisão**, 2023.

RIBEIRO, B. D.; COELHO, M. A. Z.; BARRETO, D. W. Obtenção de extratos de guaraná ricos em cafeína por processo enzimático e adsorção de taninos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 261-270, 2012.https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000020.

RODRIGUES DA SILVA, L. et al. Flavonóides: constituição química, ações medicinais e potencial tóxico. **Acta toxicológica argentina**, v. 23, n. 1, p. 36-43, 2015.

SANTOS, G. A. N. et al. Dinâmica de metabólitos e produção de frutos durante a safra de guaraná. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e10911326371-e10911326371, 2022.http://.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26371.

SANTOS, H. M. Microwave-assisted digestion using diluted HNO 3 and H 2 O 2 for macro and microelements determination in guarana samples by ICP OES. **Food Chemistry,** 2017.https://doi:10.1016/j.foodchem.2017.12.07.

SCHIASSI, M. C. E. V. et al. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food chemistry**, v. 245, p. 305-311, 2018.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.104.

SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013. land Ltd. All rights reserved.http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2013.08.023.

SCOSSA, F. et al. The integration of metabolomics and next-generation sequencing data to elucidate the pathways of natural product metabolism in medicinal plants. **Planta medica**, v. 84, n. 12/13, p. 855-873, 2018. https://doi.org/10.1055/a-0630-1899.

Secretaria de Agricultura da Bahia- SEAGRI/BA. **SEAGRI mostra trabalho da EBDA com produtores de guaraná na FENAGRO**. 2011. Disponível em: http://www.bahiaja.com.br/economia/noticia/2011/11/30/seagri-mostra-trabalho-da-ebda-com-produtores-de-guarana-na-fenagro,42974,0.html> Acesso em 22 de setembro de 2022.

SHI, M. et al. Molecular epidemiology of PRRSV: a phylogenetic perspective. **Virus research**, v. 154, n. 1-2, p. 7-17, 2010. http://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.08.014.

SILVA, E. F. da. et al. **Diversidade genética do programa de melhoramento do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)**, utilizando marcadores Trap e Srap. 2014.

SILVA, M. A. M. et al. Divergência genética entre acessos de guaranazeiro por meio de descritores morfológicos. **Revista Ouricuri**, v. 10., n. 1, p. 027-037, 2020.https://doi.org/10.29327/ouricuri.10.1-7.

SILVA, N. C. S. et al. A utilização de plantas medicinais e fitoterápicos em prol da saúde. **Única cadernos acadêmicos**, v. 3, n. 1, 2017.

SMITH, N.; ATROCH, A. L. Guarana's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-based complementary and alternative medicine**, v. 7, n. 3, p. 279-282, 2010. https://doi.org 10.1093/ecam/nem162.

SOBREIRA, F. M. Divergência genética entre acessos de abóbora para estabelecimento de coleção nuclear e pré-melhoramento para óleo funcional, 2013.

SOUSA, A. M.; OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T. Divergência genética entre acessos de açaizeiro do tipo branco com base em caracteres morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 751-760, 2017. http://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900007.

SOUSA, N. R. **Variabilidade genética e estimativas de parâmetros genéticos em germoplasma de guaranazeiro**. Lavras: UFLA, 2003. 99p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

SOUSA, S. A. et al. Determinação de taninos e metilxantinas no guaraná em pó (*Paullinia cupana* Kunth, Sapindaceae) por cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p. 866-870, http://doi.org/2010.10.1590/S0102-695X2011005000001.

SOUTO, P. C. et al. Caracterização de frutos, sementes e qualidade fisiológica de sementes de mungumba submetidas à secagem. **Magistra**, v. 29, n. 2, p. 182-191, 2017.

SOUZA, A. G. C. et al. Fruteiras da Amazônia. Brasília: EMBRAPASPI/; Manaus: EMBRAPA-CPAA. 204p**. Biblioteca Botânica Brasilia**, 1996.

SOUZA, S. Embrapa vai lançar novas cultivares de guaraná e seleciona produtores. **PortalEMBRAPA, Notícias, Brasília**, v. 19, 2013.

SUDRÉ, C. P. et al. Divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão utilizando técnicas multivariadas. **Horticultura brasileira**, v. 23, p. 22-27, 2005. https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100005.

SUFRAMA. Potencialidades estudo de viabilidade econômica: Guaraná. In Superintendência da zona franca de Manaus. **Instituto superior de administração e economia ISAE/Fundação Getúlio Vargas** (FGV), 2013. Obtido em: http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/sumario/guarana.pd.

SUFRAMA. Potencialidades estudo de viabilidade econômica: Guaraná. In Superintendência da zona franca de Manaus. **Instituto superior de administração e economia ISAE/Fundação Getúlio Vargas** (FGV), 2013. Obtido em: http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/sumario/guarana.pdf.

TFOUNI, S. A. V. et al. Contribuição do guaraná em pó (*Paullinia cupana*) como fonte de cafeína na dieta. **Revista de Nutrição**, v. 20, p. 63-68, 2007.https://doi.org/10.1590/S1415-52732007000100007.

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J. O uso de marcadores moleculares no melhoramento genético de plantas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 1, p. 1-5, 2013. https://doi.org/10.18188/sap. v12i1.4552.

TRICAUD, S.; PINTON, F.; PEREIRA, H. dos S. Saberes e práticas locais dos produtores de guaraná (*Paullinia cupana* Kunth var. sorbilis) do médio Amazonas: duas organizações locais frente à inovação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, p. 33-53, 2016.https://doi.org/10.1590/1981.81222016000100004.

TRICAUD, S.; PINTON, F.; PEREIRA, H. dos S. Saberes e práticas locais dos produtores de guaraná (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis*) do médio Amazonas: duas organizações locais frente à inovação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, p. 33-53, 2016. https://doi.org/10.1590/1981.81222016000100004.

TROPICOS. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Disponível em: http:/ /www.tropicos.org/Name. Query: Sapindaceae. Acessado em 25/08/2022.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro, avanços, perspectivas e novos estudos. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015. https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n03a12.

VIEIRA, C. et al. **Divergência genética em feijoeiro em condições de inverno tropical**, 2015.https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800006.

VIEIRA, F. et al. Análise biométrica de frutos e sementes de *Bauhinia forficata* L. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 8-12, 2016.http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i3.4231.

YONEKURA, L. et al. Bioavailability of catechins from guaraná (*Paullinia cupana*) and its effect on antioxidant enzymes and other oxidative stress markers in healthy human subjects. **Food & function**, v. 7, n. 7, p. 2970-2978, 2016.https://doi.org/10.1039/c6fo00513f.