



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

TAMANHO DO GENOMA E QUALIDADE
PÓS-COLHEITA DE ACESSOS DE UMBUZEIROS

RITA DE CÁSSIA SANTOS NUNES

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2024

RITA DE CÁSSIA SANTOS NUNES

**TAMANO DO GENOMA E QUALIDADE PÓS-COLHEITA
DE ACESSOS DE UMBUZEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: *D.Sc.* Cláudio Lúcio Fernandes Amaral

Coorientadora: *D.Sc.* Adriana Dias Cardoso

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2024

N928t

Nunes, Rita de Cássia Santos.

Tamanho do genoma e qualidade pós-colheita de acessos de umbuzeiros. /
Rita de Cássia Santos Nunes, 2024.

72f.

Orientador (a): D. Sc. Cláudio Lúcio Fernandes Amaral.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2024.

Inclui referência F. 58 – 60.

1. *Spondias tuberosa*. 2. DNA - Conteúdo. 3. Extrativismo. 4. Qualidade de frutos. I. Amaral, Cláudio Lúcio Fernandes. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 634.442




UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia Campus
de Vitória da Conquista, BA.

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “TAMANHO DO GENOMA E PÓS-COLHEITA DE ACESSOS DE UMBUZEIROS”,

AUTOR (A): Rita de Cássia Santos Nunes

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:


Documento assinado digitalmente
S AMARAL
1300
iti.gov.br

Cláudio Lúcio Fernandes Amaral, D.Sc. (UESB)

gov.br

Documento assinado digitalmente

CRISTIANE MARTINS VELOSO
Data: 31/07/2024 18:15:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cristiane Martins Veloso, D.Sc. (UESB)

gov.br

Documento assinado digitalmente

SAULO MARÇAL DE SOUSA
Data: 01/08/2024 07:17:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Saulo Marçal de Sousa, D.Sc. (UFJF)

Data de realização: 31 de Julho de 2024.

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil
Telefone: (77) 3425-9383, e- mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

DEDICATÓRIA

*A Deus, que com sua infinita bondade, me indica o caminho;
À minha amada filha Kathleen e ao meu genro Tom,
pela presença com significado de AMOR.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu tudo, por toda Sua bondade, paciência e misericórdia, por me abençoar e me sustentar em todo esse percurso;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pela disponibilização de recursos físicos e financeiros para a realização da pesquisa;

À coordenação e a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, que contribuíram com meu crescimento profissional e humano e pela oportunidade concedida;

Ao meu orientador, Prof. Cláudio Lúcio Fernandes Amaral, minha gratidão por ter aceitado a orientação, pelo conhecimento partilhado, auxílio nas necessidades e pela confiança depositada;

À minha coorientadora, Prof^a Adriana Dias Cardoso, que sempre me estendeu a mão nessa jornada acadêmica. Agradeço profundamente pela confiança, paciência, dedicação, pelos conhecimentos e experiências partilhados, pelas parcerias conquistadas, pelo companheirismo no percurso e pela amizade que se fortaleceu nos últimos anos. Admiro e respeito seu profissionalismo, sua energia, bondade e cuidado;

Ao Prof. Alcebíades Rebouças São José, pelo incentivo, apoio, paciência, partilha de experiência profissional e participação em todas as etapas; pela generosidade na disponibilidade das instalações, materiais e reagentes da Biofábrica, pela confiança e amizade. Sua presença agregadora nas viagens e no cotidiano fez muita diferença;

Ao Prof. Ramon Correia de Vasconcelos, pela insistência perseverante, pelo incentivo constante, força, confiança e amizade. Foi quem primeiro me motivou a fazer esse mestrado. Seu entusiasmo pelo conhecimento e pela docência é contagiante. Gratidão por tudo e admiração por seu profissionalismo e desprendimento;

À Marília Alves, pelo auxílio valioso na realização e interpretação das análises estatísticas, na elaboração dos gráficos e pelo tempo generosamente ofertado nessa etapa final;

Aos produtores rurais Abmário Ribas (Zé de Lé), José Oliveira e Aurécio Santos e suas famílias, pela generosa disponibilização do tempo, dos frutos de umbu e outros materiais vegetais utilizados nesta pesquisa;

Às minhas amigas companheiras de mestrado Bárbara e Jaqueline, pelo companheirismo, bom-humor, tolerância, por todo o carinho, amizade, solidariedade e pela partilha de momentos bons e difíceis. Gratidão;

À querida Jamire, por todo auxílio, cuidado, apoio e amizade durante todo esse período de trabalho na Biofábrica; e aos bolsistas: Livia, Lucas, Fernanda, Cleiton, Jasiquele e Luana, que contribuíram muito durante a realização das coletas e análises desta pesquisa. Obrigada pela força!

Ao professor Saulo Marçal Sousa, com sua equipe do Laboratório de Biologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, que generosamente nos acolheu, realizou a quantificação do DNA das amostras e contribuiu com o raciocínio sobre genética;

Aos professores Cristiane Martins Veloso e Leandro Santos, pelo conhecimento partilhado, solidariedade e valioso auxílio;

Ao meu nobre amigo Eduardo Ganem, que me apresentou o umbu como uma joia do sertão, fonte promissora de renda e permanência da família sertaneja na sua terra de origem. Obrigada, Du!

Ao meu nobre colega, chefe e amigo Wilson Moura Filho, por todo apoio, incentivo, solidariedade e amizade, sem o qual não haveria possibilidade de realizar este trabalho;

A Bruno e demais funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela qualidade do suporte oferecido para todos os discentes;

Aos demais queridos amigos e colegas da Uesb: Juliane, Zilda, Alceste, Dui, Manuelinho, Murilo, Luana e demais funcionários da instituição que me apoiaram e estenderam a mão quando precisei;

À equipe do Laboratório de Química III, especialmente, Jaqueline, Matheus e Eduardo Bruno, pelos empréstimos de material, conhecimentos metodológicos e experiências compartilhadas nas análises de pós-colheita;

A todos os meus colegas da Pós-Graduação em Agronomia, pela alegria da acolhida e da convivência;

Aos professores da banca examinadora, que muito contribuíram com conhecimento e dedicaram esse tempo especial para avaliação do trabalho;

À minha amada filha Kathleen e meu querido genro Tom, pela presença afetuosa, sabedoria, ouvidos pacientes, os quais, presentes ao meu lado, me fortalecem e compartilham comigo todos os desafios e alegrias da vida. O amor que vocês me dão é pura graça;

À minha amada mãe, Neilva, meus queridos irmãos, irmãs, cunhados e sobrinhos, que sempre me apoiaram em tudo na minha caminhada acadêmica e jornada da vida, que rezam por mim e me desejam todo o bem;

Aos meus amigos: Maria do Carmo, Vilma, Elton Quadros, Cristiano, Jaqueline, Rosângela e afilhados Lucas e Eric, pelas orações, amizade sincera, pela força e palavras de motivação;

Aos queridos colegas e amigos do Instituto de Educação Euclides Dantas e da Paróquia Nossa Senhora das Graças, pelas palavras de ânimo e amizade;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que essa conquista fosse alcançada.

Muito obrigada!

*Deus contemplou toda a sua obra, e viu
que tudo era muito bom.*

Gênesis 1:31

RESUMO

NUNES, R. C. S. **Tamanho do genoma e qualidade pós-colheita de acessos de umbuzeiros**. Vitória da Conquista - BA: UESB, 2024. (Dissertação, Mestrado em Agronomia - Área de concentração em Fitotecnia*).

O umbuzeiro é uma fruteira nativa do Brasil que representa um importante papel socioeconômico e ecológico e tem despertado o interesse de centros de pesquisa, produtores e agroindústrias pela identificação de materiais promissores. No entanto, em virtude da alta variabilidade genética da espécie, há muitas lacunas que necessitam ser preenchidas, como a relação entre o tamanho do genoma e a qualidade pós-colheita dos frutos. O objetivo deste trabalho foi caracterizar diferentes acessos de umbuzeiros quanto à qualidade dos frutos e sua relação com o conteúdo de DNA. O estudo foi conduzido, inicialmente, no campo, para identificação de dezoito acessos de umbu em municípios do Sudoeste da Bahia, e, também, coleta de material vegetal que foi encaminhado para avaliações em laboratório. Coletas de folhas jovens de cada acesso foram realizadas para a realização da quantificação do conteúdo de DNA por citometria de fluxo. Os frutos colhidos no estágio de maturação “inchado” foram encaminhados ao laboratório para análises físicas e químicas. Na caracterização física dos frutos, foi mensurada a biometria dos frutos: diâmetros longitudinal, transversal (largura e espessura), bem como as massas do fruto, da polpa, da casca e do endocarpo, além da cor da casca e da polpa. Para a determinação das características químicas, foram avaliadas: sólidos solúveis, pH; acidez titulável; vitamina C, compostos fenólicos totais. Ainda foi realizada análise de rendimento de polpa. Os dados obtidos foram submetidos à análise multivariada, utilizando-se a técnica da análise dos componentes principais (CPs). Para as avaliação do conteúdo de DNA, foi realizada a análise de variância e as médias comparadas pelo teste *Student-Newman-Keuls* a 5% de probabilidade. Os componentes principais CP1 e CP2 explicaram 70,83% da variância total dos dados, excetuando cor e DNA; e 60,88% das variáveis. Quanto ao conteúdo de DNA, observou-se que os acessos podem ser classificados em três grupos, sendo aquele que apresenta tamanho genômico $\leq 1,2$ pg; outro grupo intermediário com 1,38 a 1,58pg; e o superior, com $>1,8$ pg de DNA nuclear. Verificou-se variabilidade fenotípica entre os acessos avaliados, para as características físicas e químicas, sendo que a massa do fruto variou de 10,08 a 102,63g; SS e AT variaram entre os acessos, de 7,2 a 13,6 °Brix e 1,21 a 3,84%, respectivamente. Os acessos se agruparam quanto aos diferentes índices de vitamina C ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), que variaram de 12,2 a 41,6, compostos fenólicos (28,06 a 91,57 $\text{mg EAG } 100\text{g}^{-1}$) e razão AT/SS (2,48 a 9,29). Há divergência no tamanho do genoma entre grupos de acessos de umbuzeiros e variabilidade nos atributos físicos e químicos dos frutos, o que se torna relevante para o melhoramento da espécie.

Palavras-chave: *Spondias tuberosa*; DNA; extrativismo; qualidade de frutos.

* **Orientador:** Prof. DSc. Cláudio Lúcio Fernandes Amaral, UESB e **Coorientadora:** Prof^a. DSc. Adriana Dias Cardoso, UESB.

ABSTRACT

NUNES, R.C.S. **Genetic characterization and postharvest quality of accesses of umbuzeiros.** Vitória da Conquista – BA: UESB, 2024. (Dissertation, Master's degree in Agronomy, Crop Science Concentration Area).*

The umbu tree (*Spondias tuberosa*) is a fruit tree native to Brazil that plays an important socioeconomic and ecological role and has attracted the interest of research centers, producers, and agroindustries for the identification of promising materials. However, due to the high genetic variability of the species, there are many gaps that need to be filled, such as the relationship between genome size and post-harvest fruit quality. The aim of this study was to characterize different accessions of umbu tree in terms of fruit quality and its relationship with DNA content. The study was initially conducted in the field to identify eighteen umbu accessions in municipalities in the Southwest of Bahia, and also to collect plant material for laboratory evaluations. Young leaf samples from each accession were collected for DNA content quantification using flow cytometry. Fruits harvested at the "underripe" maturation stage were sent to the laboratory for physical and chemical analyses. Physical characterization of the fruits included measuring fruit biometrics: longitudinal and transverse diameters (width and thickness), as well as the mass of the fruit, pulp, peel, and endocarp, and the color of the peel and pulp. For chemical characteristics, the following were evaluated: soluble solids, pH, titratable acidity, vitamin C, and total phenolic compounds. Pulp yield analysis was also performed. The obtained data were subjected to multivariate analysis using Principal Component Analysis (PCA). For DNA content evaluation, analysis of variance was performed and means were compared using the Student-Newman-Keuls test at a 5% probability level. Principal components CP1 and CP2 explained 70.83% of the total variance of the data, excluding color and DNA. CP1 and CP2 accounted for 60.88% of the variables. Regarding DNA content, it was observed that accessions could be classified into three groups: one with a genomic size ≤ 1.2 pg, another intermediate group with 1.38 to 1.58 pg, and the superior group with > 1.8 pg of nuclear DNA. Phenotypic variability was observed among the accessions for physical and chemical characteristics, with fruit mass ranging from 10.08 to 102.63 g, soluble solids (SS) and titratable acidity (AT) varying among accessions from 7.2 to 13.6 °Brix and 1.21 to 3.84%, respectively. Accessions were grouped based on different vitamin C indices (mg 100g⁻¹), ranging from 12.2 to 41.6, phenolic compounds (28.06 to 91.57 mg EAG 100g⁻¹), and the AT/SS ratio (2.48 to 9.29). There is divergence in genome size between groups of umbu tree accessions and variability in the physical and chemical attributes of the fruits, which becomes relevant for the improvement of the species.

Keywords: *Spondias tuberosa*; DNA; extractivism; fruits quality.

* **Advisor:** Prof. D.Sc. Cláudio Lúcio Fernandes Amaral, UESB e **Coadvisor:** Prof^a. D.Sc. Adriana Dias Cardoso, UESB

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Umbuzeiros. Acesso 5 cultivado no município de Anagé (A) e acesso 9 no município de Aracatu (B), Bahia.30
- Figura 2 – Coleta de folhas jovens dos acessos de umbuzeiros no município de Aracatu, Bahia, (A), acondicionamento das folhas em caixa isolante térmica (B) e preparação de folhas para envio ao laboratório.....30
- Figura 3 – Coleta de frutos do acesso 10 em Aracatu, BA (A). Avaliação de comprimento do fruto (B). Fruto do acesso 6, Anagé, BA. Frutos de acessos de umbuzeiros dos municípios de Aracatu e Caraíbas, BA (D). Polpa, casca e endocarpo do acesso 16.....31
- Figura 4 – Histogramas representativos de citometria de fluxo de quatro acessos de *Spondias tuberosa* Arr. Câm. comparado com *Pisum sativum* como padrão de referência (2C=9,09pg).....35
- Figura 5 – Correlação de Pearson das características CF: comprimento do fruto; LF: largura do fruto; EF: espessura do fruto; MF: massa do fruto; MC: massa da casca; MP: massa da polpa; ME: massa do endocarpo; SS: sólidos solúveis; pH; AT: acidez titulável (%); Razão SS/AT; RP: rendimento de polpa; IT: índice tecnológico; Vit. C: CFEN: compostos fenólicos; L*C: luminosidade da casca; a*C: coordenada de cor a* da casca; b*C: coordenada de cor b* da casca; °hC: ângulo hue da casca; L*P: luminosidade da polpa; a*C: coordenada de cor a* da polpa; b*C: coordenada de cor b* da polpa; °hC: ângulo hue da polpa.....40
- Figura 6 – Características físicas de frutos de acessos de umbu oriundos dos municípios de Anagé, Aracatu e Caraíbas, Bahia (A e B); aferição da massa do fruto (C); separação da polpa, casca e endocarpo (D). 44
- Figura 7 – Análise de componentes principais (ACP), com variáveis físicas e químicas representadas pela cor preta, sendo: Comprimento do fruto (CF); Largura do fruto (LF); Espessura do fruto (EF); Massa do fruto (MF); Massa da polpa (MP); Massa da casca (MC); Rendimento de polpa (RP); pH; Sólidos solúveis (SS); Acidez titulável (AT);

Índice tecnológico (IT); Ratio; Vitamina C (Vit C) e Compostos fenólicos (Cfen) e pela coloração vermelha os acessos de umbu numerados de 1 a 13, 16 e 17, 21, 22 e 23 dos municípios de Anagé, Aracatu e Caraíbas, Bahia.....	51
Figura 8 – Frutos em cacho produzidos pelo acesso 7, Anagé-BA.	55
Figura 9 – Análise de componentes principais (ACP) para as coordenadas de cor (sistema CIEL*a*b*), representadas pela cor preta, sendo L*C: luminosidade da casca; a*C: coordenada de cor a* da casca; b*C: coordenada de cor b* da casca; °hC: ângulo hue da casca; L*P: luminosidade da polpa; a*C: coordenada de cor a* da polpa; b*C: coordenada de cor b* da polpa; °hC: ângulo hue da polpa e coloração vermelha para os acessos numerados de 1 a 13, 16 e 17, 21,22 e 23 dos municípios de Anagé, Aracatu e Caraíbas.	57
Figura 10 – Frutos dos acessos A6 (A) e A4 (B).	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos estádios de maturação do fruto do umbuzeiro, segundo a coloração da casca	23
Tabela 2 – Dados climáticos dos municípios baianos e localização geográfica das propriedades onde foram realizadas as coletas.....	29
Tabela 3 – Análise descritiva das características do conteúdo de DNA nuclear de dezesseis acessos de umbu.....	36
Tabela 4 – Conteúdo de DNA de acessos de <i>Spondias tuberosa</i> Arruda Câmara.	38
Tabela 5 – Análise descritiva das características físicas e químicas de frutos de umbu.. ..	42
Tabela 6 – Análise descritiva das características de cor de frutos de umbu.....	48
Tabela 7 – Autovalores e proporção acumulada de análise do componente principal para as características físicas, químicas e físico-químicas de frutos de umbu.	50
Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson para os parâmetros comprimento (CF), largura (LF), espessura (EF) do fruto, massas do fruto (MF), da casca (MC), da polpa (MP) e endocarpo (ME), conteúdo de sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT), SS/AT (Ratio), ácido ascórbico (Vit. C), compostos fenólicos totais (Cfen), rendimento de polpa (RP) e índice tecnológico (IT) para os componentes principais CP1 e CP2. ...	50
Tabela 9 – Autovalores e proporção acumulada de análise do componente principal para as características de cor dos frutos de umbu.....	56
Tabela 10 – Coeficientes de correlação de Pearson para as coordenadas de cor luminosidade da casca (L*C), a* da casca (a*C); b* da casca (b*C), ângulo hue da casca (°hC), luminosidade da polpa (L*P), a* da polpa (a*C), b* da polpa (b*C) e ângulo hue da polpa (°hC) para os componentes principais CP1 e CP2	56

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DCFI	2,6 – dicolorofenol indofenol
A1	Acesso 1
AT	Acidez Titulável
ACP	Análise de Componentes Principais
h°	Ângulo Hue
AOAC	<i>Association Official Analytical Chemists</i>
CV	Coeficiente de variação
CP	Componente Principal
CFEN	Compostos Fenólicos
CF	Comprimento do Fruto
a*C	Coordenada a* da Casca
b*C	Coordenada b* da Casca
a*P	Coordenada a* da Polpa
b*P	Coordenada b* da Polpa
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i>
EAG	Equivalente de Ácido Gálico
EP	Espessura do Fruto
FTV	Fruto Totalmente Verde
FPM	Fruto Parcialmente Maduro
FPM	Fruto Totalmente Maduro
NaOH	Hidróxido de sódio
IT	Índice Tecnológico
L*C	Luminosidade da Casca
L*P	Luminosidade da Polpa
MC	Massa da Casca
ME	Massa do Endocarpo
MF	Massa do Fruto
MP	Massa da Polpa
pH	Potencial Hidrogeniônico
RP	Rendimento de Polpa
SS	Sólidos Solúveis

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Importância econômica do umbuzeiro.....	17
2.2	Aspectos gerais do umbuzeiro.....	18
2.3	Características físicas e químicas dos frutos de umbu.....	20
2.4	Características genéticas do umbuzeiro	25
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Local.....	29
3.2	Material experimental.....	29
3.3	Quantificação de DNA por citometria de fluxo.....	31
3.4	Caracterização da qualidade pós-colheita de frutos.....	32
3.4.1	Caracterização física.....	32
3.4.2	Coloração dos frutos.....	32
3.4.3	Sólidos solúveis (SS), pH e acidez titulável (AT).....	33
3.4.4	Conteúdo de ácido ascórbico (vitamina C).....	33
3.4.5	Compostos fenólicos totais.....	34
3.4.6	Outros cálculos realizados.....	34
3.5	Análise estatística.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	Análise de conteúdo de DNA dos acessos de umbu.....	35
4.2	Correlação de Pearson entre conteúdo de DNA e características físicas e químicas de umbu.....	39
4.3	Caracterização de pós-colheita.....	41
4.3.1	Características físicas dos frutos.....	42
4.3.2	Características químicas dos frutos.....	44
4.3.3	Cor na casca e da polpa	48

4.4	Características de pós-colheita e suas relações com os acessos de umbu.....	49
4.5	Variáveis de cor na casca e polpa de frutos de umbu.....	56
5.	CONCLUSÕES.....	59
6.	REFERÊNCIAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que abriga várias espécies vegetais endêmicas, dentre as quais se destaca o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Cam), frutífera pertencente à família *Anacardiaceae* e bastante popular na região Nordeste do Brasil.

O umbuzeiro produz frutos que têm conquistado a aceitação de consumidores de comunidades locais, grandes centros urbanos, nacionais e internacionais, não apenas por suas características sensoriais, mas também por suas propriedades nutricionais e funcionais, o que tem despertado o interesse de produtores para o cultivo comercial.

A maior população de plantas de umbuzeiros está presente em todo o Nordeste, no semiárido e no norte de Minas Gerais, porém, a maior produção se concentra no estado da Bahia, com 5.753 toneladas, sendo responsável por 80% da produção nacional de umbu (IBGE, 2024).

É comum observar, nos centros de comercialização dessa fruta, uma diversidade de frutos com diferenças nos seus atributos morfológicos e sensoriais. Frutos ovais e redondos, lisos e pilosos, pequenos, médios, grandes e gigantes, variando de menos de 10g a mais de 100g, com diferentes teores de sólidos solúveis, têm sido comercializados a cada safra (Neves, 2023; Donato et al., 2024; Rodrigues et al., 2024), apresentando alta variabilidade genética, característica comum dessa relevante cultura.

Apesar da exploração econômica do umbuzeiro ser predominante na região Nordeste, faz-se necessário ampliar os estudos acerca desse recurso genético, possibilitando melhor aproveitamento das potencialidades dessa espécie de grande valor socioeconômico, ambiental e nutricional. É importante selecionar plantas nativas que produzem frutos de tamanhos superiores e de elevado valor comercial para cultivo, como também, preservar outros materiais genéticos das regiões de origem com finalidade de evitar erosão genética e, também, identificar genótipos potenciais para o mercado de frutos.

As estratégias para conservação de uma espécie de importância agrônômica definida e/ou com potencial econômico, assim como sua utilização em programas de melhoramento genético, demandam, entre outros fatores, do conhecimento sobre as formas de acasalamento entre indivíduos e da sua constituição genômica. O umbu é uma espécie, predominantemente, de fecundação cruzada com variabilidade genética elevada,

verificada pela diferença na quantidade de DNA entre indivíduos de uma mesma população (Santos et al., 2021), indicando a ocorrência de poliploidia natural dentro da espécie (Santos, 2008).

A poliploidia é considerada um dos eventos mais importantes no processo de evolução vegetal e refere-se à duplicação do genoma ou à formação de mais de dois conjuntos completos de cromossomos por núcleo celular. Poliploides podem surgir dentro de uma espécie ou quando duas espécies se hibridizam, sendo a última mais comum na natureza (Tate et al., 2005; Soltis e Soltis, 2009; Heslop-Harrison et al., 2023).

Uma consequência amplamente conhecida da poliploidização é o efeito “giga” que se trata do incremento nos órgãos de plantas causado pelo aumento no número de cópias de genes (Sattler et al., 2016). O aumento do tamanho de órgãos, a exemplo dos frutos, como consequência da poliploidia, desperta interesse para uso agrícola. Assim, o conhecimento dos diferentes tamanhos do genoma da espécie, obtido pelo conteúdo do DNA, é útil para a agricultura como ferramenta importante na seleção de indivíduos e no melhoramento da cultura.

Apesar da existência de alguns estudos de caracterização dos frutos e do lançamento recente dos primeiros cultivares comerciais, há carência de recomendação específica de acessos para uso em escala produtiva ou para uso específico do fruto. Nesse sentido, a caracterização morfológica, química e genética de diferentes acessos do umbuzeiro permitem disponibilizar informações úteis sobre o potencial genético da espécie, além de estimar a diversidade genética do germoplasma disponível, visando facilitar estudos futuros de conservação da espécie. Assim, objetivou-se caracterizar diferentes acessos de umbuzeiros quanto à qualidade dos frutos e sua relação com o conteúdo de DNA.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica do umbuzeiro

O Brasil ocupa a terceira posição no *ranking* dos maiores produtores de frutas no mundo, com produção em torno de 42 milhões de toneladas produzidas, superada apenas pela China e Índia (FAO, 2024). O país superou o recorde de exportação de frutas no ano de 2023 (SECEX, 2024), ressaltando a importância do setor para a economia brasileira.

O Nordeste brasileiro tem ganhado grande notoriedade no setor da fruticultura, evidenciado pelos dados atuais, os quais indicam que, aproximadamente, 52% das áreas cultivadas com fruticultura no Brasil estão nessa região. Uma das explicações para o desempenho da fruticultura no Nordeste são as condições de luminosidade, temperatura e umidade relativa do ar, que conferem à região vantagem comparativa em relação ao Sul e Sudeste do país para o cultivo de várias culturas (Vidal, 2016; Vidal, 2022).

Apesar da ascensão da fruticultura nordestina no cenário do agronegócio brasileiro, há um potencial pouco explorado de suas riquezas naturais, representado pela grande diversidade de espécies frutíferas nativas e exóticas, bem adaptadas às suas condições edafoclimáticas, a exemplo do umbuzeiro (Ribeiro et al., 2017; Freitas et al., 2024). As frutas tropicais nativas, como o umbu, comercializadas no mercado local brasileiro, são pouco estudadas quanto aos seus constituintes químicos e potencial nutritivo e tecnológico, especialmente as frutas da Caatinga, o que dificulta sua introdução no mercado e industrialização (Zeraik et al., 2016). Esta espécie, em processo de domesticação, tem importância econômica considerável, que vem sendo comprovada devido à demanda por produtos processados e seus frutos *in natura* comercializados em feiras regionais, vendedores ambulantes e supermercados (Saturnino e Souza, 2019).

Os frutos adquiridos pela prática extrativista são utilizados na alimentação animal e humana por apresentarem papel importante na nutrição, principalmente, como fonte de sais minerais e vitaminas e, também, como complemento de renda, uma vez que apresentam valor comercial no mercado interno, sobretudo para a agroindústria (Araújo et al., 2016). Alguns fatores, como sua distribuição geográfica concentrada na região Semiárida, a produção que é ainda realizada, em maior parte, de forma extrativista (Alves et al., 2020), além dos poucos trabalhos desenvolvidos com a espécie, a exemplo das práticas de cultivo, são limitantes para o crescimento e difusão da cultura (Guimarães et al., 2023).

Não obstante, devido aos resultados de pesquisa sobre a variabilidade genética no

tamanho, na forma, na massa e nas propriedades físicas e químicas dos frutos, o interesse por essa espécie aumentou consideravelmente. Isto proporcionou a instalação de minifábricas de processamento e beneficiamento, tendo como objetivo a produção de polpa de fruta, sorvetes, doce, geleia, licor e cerveja artesanal, direcionada para o mercado regional, nacional e também para exportação, representando grande potencial socioeconômico para a região (Silva et al., 2015; Pereira et al., 2021).

Ainda são incipientes as informações sobre a comercialização do umbu e a área cultivada, sendo que a maior parte dos dados obtidos refere-se à coleta extrativista, que contribui para seu declínio e perda da diversidade (Mertens et al., 2017; Donato et al., 2024), que pode levar à extinção. A comercialização dos frutos de umbu é uma das poucas alternativas econômicas da população residente da Caatinga, pois o uso de recursos naturais da localidade apresenta desafios, principalmente, em regiões dependentes de pluviosidade, e o umbuzeiro tem a capacidade de produzir uma expressiva quantidade de frutos de alto valor nutricional em condições climáticas extremas (Araújo et al., 2016).

Considerando a grande relevância socioeconômica do umbuzeiro para a região Semiárida, torna-se imprescindível o estabelecimento de incentivos e estudos voltados para essa espécie. Com seu sabor marcante e potencial para fins agroindustriais, o umbuzeiro é uma planta que merece respaldo e atenção do mercado de frutíferas (Ribeiro et al., 2019).

2.2 Aspectos gerais do umbuzeiro

O umbuzeiro é uma planta típica do sertão e tem sua origem na região semiárida do Nordeste brasileiro. O fruto, de nome umbu ou imbu, é originário do tupi-guarani ‘y-mb-u’, que significa “árvore que dá de beber” (Saturnino et al., 2019). É uma espécie xerófila, pertencente à família *Anacardiaceae*, a qual abriga 70 gêneros e cerca de 700 espécies, dentre os quais 14 gêneros e 56 espécies ocorrem no Brasil (Souza e Lorenzi, 2012), sendo a *Spondias tuberosa* Arruda Câmara endêmica da Caatinga (Santos et al., 2021).

As espécies do gênero *Spondias*, encontradas no Brasil, compreendem um total de nove táxons, sendo sete nativas (Mitchell e Daly, 2015; Machado et al., 2015). Além do umbuzeiro, são registradas: *S. mombin* (cajazeira), *S. purpurea* (serigueleira), *S. bahiensis* (umbucajazeira), *S. dulcis* (cajaraneira) (Saturnino et al., 2019). A espécie *Spondias tuberosa* Arruda Câmara cresce espontaneamente nas regiões do agreste

piauiense, até o norte do estado de Minas Gerais, e nas caatingas baiana, alagoana e pernambucana, onde ocorre a maior concentração da planta (Cangussu et al., 2021; Neves, 2023).

O umbuzeiro é uma árvore frutífera, com porte variando de 4 a 7 m de altura, e copa ampla e umbeliforme formada por grande número de galhos curtos e entrelaçados. Apresenta sistema radicular, que atinge a profundidade de 1 a 1,5 m, e longas raízes laterais, espalhadas e superficiais, concentradas na região de projeção da planta (Oliveira et al., 2018).

A espécie possui mecanismos adaptativos de tolerância às condições estressantes de déficit hídrico impostas pela sazonalidade (Costa, 2023). Nas raízes, são encontradas túberas ou batatas (xilopódios) que se caracterizam como intumescências, constituídas de tecido lacunoso e celulósico (Santos et al., 2020; Costa, 2023). A principal função dessas estruturas é o armazenamento de água, minerais e outros solutos importantes para a manutenção de um balanço hídrico favorável, sob condições de deficiência hídrica (Oliveira et al., 2019; Nascimento e Campos, 2021).

As folhas são compostas, peciolados, com folíolos de 2 a 4 cm de comprimento e 2 a 3 cm de largura, podendo assumir formato mais elíptico ou ovalado, com margens serrilhadas ou lisas (Donato et al., 2019).

As flores estão reunidas em inflorescências terminais, do tipo panícula, composta por nove fascículos opostos, que contêm, em média, 11 flores. O tamanho e o número do fascículo diminui da base para o ápice da inflorescência. As inflorescências são compostas por 40% de flores hermafroditas e 60% de flores funcionalmente masculinas, que apresentam gineceu rudimentar, sendo a espécie considerada andromonoica (Pires et al., 2020).

Sendo classificada como uma planta decídua, o umbu perde suas folhas no período de seca do inverno e inicia a floração e frutificação utilizando as reservas acumuladas nos xilopódios, como água e nutrientes (Brito et al., 2024). A floração pode estender-se de agosto a março, a depender da região, e a frutificação de dezembro a maio. Embora exista sincronismo da produção em uma mesma região, há acessos mais precoces e outros tardios quanto ao florescimento e produção (Lins Neto, et al., 2013; Donato et al., 2019).

As fases fenológicas do umbuzeiro podem ser consideradas anuais, visto que a produção de frutos ocorre durante um curto período durante o ano. A sazonalidade

que a espécie apresenta é comum para espécies nativas da Caatinga, onde o fator principal de influência é a precipitação pluviométrica da região (Alves et al., 2020; Sales et al., 2024).

A frutificação é abundante com grande variabilidade na produção de frutos por planta. Ocorre, em média, 25 dias após o florescimento, enquanto a maturação dos frutos acontece em 120 dias. A produtividade depende do regime pluviométrico, porém, a possibilidade de irrigação na fase reprodutiva pode aumentar a produtividade e a produção de frutos compatíveis com seu potencial genético, bem como pode promover a antecipação do florescimento e diminuição da sazonalidade (Lima Filho e Aidar, 2016).

O fruto é carnoso do tipo drupa, com formato arredondado, ovoide ou oblongo e casca glabra ou levemente pilosa, de coloração amarelo-esverdeado e endocarpo de tamanho variado (Mertens et al., 2015; Santos et al., 2019). A polpa é suculenta e macia, de sabor doce-ácido com massa fresca total que pode variar de 5 a mais de 100g (Dantas Junior, 2008; Souza et al., 2021; Donato et al., 2024).

Estudos realizados por Costa et al. (2015) demonstram que o umbuzeiro apresenta variação fenotípica que influencia as características físicas, como rendimento de polpa, tamanho da semente e diâmetro do fruto.

2.3 Características físicas e químicas dos frutos de umbu

A caracterização morfológica é a primeira realizada no germoplasma, sendo efetuada com base em observações (variáveis qualitativas) ou mensurações (variáveis quantitativas) de vários caracteres morfológicos, facilmente diferenciáveis a olho nu, denominados de descritores morfológicos (Burle e Oliveira, 2010).

Existem fatores que podem influenciar as características físicas de frutos, dentre os quais se pode citar: genética, condições edafoclimáticas, pós-colheita, entre outros (Santos et al., 2019). A ampla variação fenotípica existente entre plantas constitui-se em um importante indicador de variabilidade genética (Bandeira Neto et al., 2023) e essa variabilidade, dentro e entre populações naturais de umbuzeiros, determina a existência de frutos com características particulares (Lima, et al., 2018).

A caracterização biométrica de frutos e sementes tem sido um valioso instrumento utilizado na fruticultura para obtenção de dados ecológicos de grupos de plantas de diferentes regiões geográficas onde o ambiente pode exercer influência sobre fenótipos

(Conceição e Barros, 2020). Essa técnica permite determinar variações genéticas dentro e entre populações de uma mesma espécie, bem como verificar a relação dos fatores ambientais com essas variações observadas nos indivíduos (Araújo et al., 2014; Souza e Cavalcante, 2019), além de fornecer informações que poderão contribuir para a conservação e exploração econômica da espécie (Sobrinho et al., 2017; Pereira et al., 2021; Bandeira Neto et al., 2023).

O conhecimento da variabilidade genética existente na espécie é necessário para subsidiar estratégias de investigação e coleta de genótipos e, após a caracterização morfológica, poderão ser selecionados preliminarmente aqueles genótipos promissores para uso comercial das frutas, bem como para estudos biomoleculares e conservação de genes (Pereira et al., 2021). São desejadas no melhoramento genético características como maior tamanho de fruto, maior rendimento de polpa, redução do tamanho do caroço, dentre outras (Costa et al., 2015; Souza et al., 2021).

Segundo Santos et al. (2019), as características físicas, químicas e nutricionais dos frutos de uma determinada espécie podem variar não apenas em função do seu potencial genético, como também devido ao local ou região de cultivo, às práticas culturais, época de colheita, estágio de maturação, entre outros. De modo geral, a qualidade dos frutos é determinada pelos seus caracteres físicos, que correspondem à aparência externa, tamanho, espessura, forma do fruto, consistência e cor da casca (Pereira et al., 2021; Saraiva., 2022). Esses atributos são importantes, pois interfere na escolha do consumidor. O tamanho é avaliado pelas dimensões (circunferência, diâmetro, comprimento e largura) e a forma pela relação entre os diâmetros ou por outras características peculiares da espécie ou cultivar (Chitarra e Chitarra, 2005; Conceição e Barros, 2020).

Trabalhos desenvolvidos em algumas localidades relatam a variabilidade nas características morfológicas de frutos de umbuzeiro. Saraiva et al. (2022) avaliaram frutos de quatorze matrizes da região do Cariri Paraibano, no município de Serra Branca, e observaram variabilidade na forma, tamanho, cor e pilosidade dos frutos. Costa et al. (2015), comparando 58 acessos de umbu em diferentes municípios da Paraíba e Rio Grande do Norte, encontraram grande variabilidade no tamanho dos frutos de umbuzeiros, ao mensurar massa, comprimento e diâmetro, corroborando as observações de Pereira et al. (2021).

No estudo de Costa et al. (2015), para as características comprimento, largura e massa do fruto, os componentes que mais contribuíram para a variação total foram, primeiramente, os frutos dentro dos acessos, depois os acessos dentro dos municípios,

seguidos da variação entre municípios.

O tamanho do fruto é a característica de maior interesse para consumo *in natura*, uma vez que frutos maiores são mais atrativos ao consumidor (Costa et al., 2015; Conceição e Barros, 2020). Pereira et al. (2021) afirmam que a grande variação encontrada na massa de frutos, em diversos estudos, pode estar relacionada às características de maturação fisiológica (tardia ou precoce) e ao crescimento dos frutos de cada genótipo, ao período entre a colheita e avaliação dos frutos e às condições edafoclimáticas, como o índice pluviométrico anual e condições de solo. No entanto, Moreira (2022), ao avaliar frutos de umbu coletados no mesmo local, de forma semelhante, e cultivados nas mesmas condições de clima e solo para todos os genótipos avaliados, concluiu que as diferenças físicas e químicas dos frutos podem ser atribuídas às características genéticas de cada genótipo analisado.

A variabilidade fenotípica está relacionada às características morfológicas dos frutos (Costa et al., 2015), todavia, outras características têm sido relatadas. A coloração da casca dos frutos é outro atributo físico importante, por ser considerada uma ferramenta visual de indicação da maturidade e que sofre variação também entre os diferentes genótipos da espécie (Cangussu et al., 2021; Saraiva et al., 2022). Os pigmentos responsáveis pela coloração são principalmente as clorofilas e carotenoides (Santos et al., 2021). No entanto, há frutos que apresentam coloração arroxeadada, desde o pedúnculo até a região mediana, devido à presença de antocianinas. Os frutos, inicialmente verdes, à medida que amadurecem sofrem degradação das clorofilas, ao tempo em que os carotenoides vão se tornando prevalentes na casca (Lima e Castricini, 2019).

A qualidade dos frutos é determinada também por componentes de valor nutricional e funcional, além dos aspectos de segurança (Lima et al., 2018). O umbu apresenta características químicas apreciáveis e de grande importância para a industrialização na forma de néctares, sucos, geleias, entre outros, sendo que as variáveis que mais interessam à indústria de processamento de frutos são a acidez e o teor de sólidos solúveis (Freitas et al., 2024; Rodrigues et al., 2024).

De modo geral, os dados da literatura mostram que há grande variabilidade em relação às características físico-químicas da fruta, provavelmente devido à diversidade fenotípica dos umbus e às diferenças metodológicas, especialmente no que se refere à padronização do estágio de maturação para a análise (Costa et al., 2015).

O fruto, após colhido, passa por alterações físicas, químicas, fisiológicas e biológicas, que estão diretamente ligadas à qualidade final do produto, seja *in natura* ou

processado (Silveira et al., 2024). Durante esse processo, ocorrem o acúmulo de sólidos solúveis, com destaque para os açúcares, e degradação de ácidos orgânicos, amido e compostos pécnicos (Lima et al., 2018). O umbu possui curta vida útil após a colheita, sendo necessário conhecimento sobre a maturação ideal de colheita e práticas eficientes na manutenção da qualidade dos frutos destinados ao consumo *in natura* (Freitas e Oliveira, 2021). Sendo o umbu um fruto climatérico, no processo de maturação, as mudanças são influenciadas pelo padrão respiratório, no entanto, ainda não há definição sobre a caracterização dos estádios de maturação dos frutos a partir da colheita (Lima e Castricini, 2019). Para frutos de umbu, Menezes et al. (2017) estabeleceram três estádios de maturação (verde, “de vez” e maduro), enquanto Campos et al. (2018) propuseram cinco, conforme tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos estádios de maturação do fruto do umbuzeiro, segundo a coloração da casca

Escala	Estádio de maturação	Características
1	1FTV-F	Fruto totalmente verde - figa
2	2 FTV-D	Fruto totalmente verde – de vez
3	3 FTV-In	Fruto totalmente verde – inchado; início da pigmentação
4	4FPA-M	Fruto com predominância do amarelo; maduro
5	5FTA- M	Fruto totalmente amarelo; totalmente maduro

Campos et al. (2018).

Na polpa dos frutos, há vários compostos químicos que atribuem importantes características, a exemplo do sabor. O sabor agridoce do umbu é considerado exótico, em virtude da combinação de açúcares, acidez e compostos fenólicos. Os sólidos solúveis têm seus teores afetados pelas mudanças que os frutos sofrem ao longo do seu desenvolvimento (Menezes et al., 2017; Cangussu et al., 2021 Rodrigues et al., 2024).

O teor de sólidos solúveis é uma característica relevante a ser analisada em frutas e seus derivados, que é utilizado como índice de maturidade, doçura e quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas, como açúcares, ácidos fenólicos, pectinas, vitaminas e demais compostos (Castro et al., 2015). Por conseguinte, sua mensuração torna-se de suma importância para a avaliação da qualidade das frutas *in natura*, e dos produtos derivados.

O rápido aumento dos sólidos solúveis é uma das principais mudanças durante a

maturação do umbu, que podem atingir cerca de 10 °Brix nos frutos maduros (Dutra et al., 2017), 11-12 °Brix (Campos et al., 2018), embora haja genótipos com teores superiores a 15 °Brix, atribuídos à variabilidade genética (Chaves Neto e Silva, 2019; Lima e Castricini, 2019).

Os açúcares são os componentes proporcionalmente mais importantes dos SS, podendo variar de 3 a 10g 100g⁻¹. A elevação nos teores de açúcares no umbu, com o avanço da maturação, ocorre da degradação do amido acumulado na polpa do fruto ao longo do seu desenvolvimento. Portanto, o teor de amido difere entre frutos em diferentes estádios de maturação (Lima e Castricini, 2019).

Os ácidos orgânicos são compostos que também estão relacionados ao sabor da fruta, sendo que, durante a maturação dos frutos, sua degradação se intensifica. Na polpa do umbu, o ácido orgânico predominante é o cítrico, por isso, as variações da acidez são medidas com base nesse ácido (Lima e Castricini, 2019). Frutos com percentuais de acidez titulável superiores a 1% são de interesse da indústria, uma vez que minimizam a utilização de ácido para padronização da polpa (Dutra et al., 2017), algo comum nessa espécie, como revelado em alguns estudos, seja em frutos com diferentes estádios de maturação (2,05 a 2,25%) ou de diferentes localidades (1,84 a 2,91%) (Dutra et al., 2017; Menezes et al., 2017).

O umbu é um fruto de importante valor alimentar para as populações nordestinas, entre outros fatores, pelo seu elevado valor nutricional, sendo fonte de vitaminas do complexo B, A e, principalmente, vitamina C, além de minerais como cálcio, fósforo e ferro (Campos et al., 2018). O ácido ascórbico (vitamina C) é um outro ácido orgânico importante para a qualidade dos frutos, cuja concentração também varia entre diferentes genótipos e tem sido alvo de muitos estudos com umbu (Bastos et al., 2016; Menezes et al., 2017; Santos et al., 2021). O avanço da maturação dos frutos também pode contribuir para a variação na concentração de vitamina C, tendo sido observada redução significativa do ácido ascórbico com a maturação (Rodrigues et al., 2024). Segundo Brasil (2018), o umbu também possui em sua composição as vitaminas B1 (0,05 mg 100 g⁻¹), B2 (0,06 mg 100 g⁻¹) e B6 (0,03 mg 100 g⁻¹).

O alto potencial antioxidante do umbu está associado ao seu teor de compostos fenólicos (Zeraik et al., 2016). Os compostos fenólicos têm sido muito estudados por sua atividade antioxidante, antibacteriana, efeito protetor para doenças cardiovasculares, por estarem associados à redução de biomarcadores inflamatórios e à redução do risco de desenvolver diabetes e câncer (Durazzo et al., 2019; Rodrigues et al., 2024). Silveira et

al. (2023) identificaram e quantificaram, pela primeira vez, um total de 19 compostos fenólicos da fração extraível e não extraível da polpa do umbu. Constataram, também, que as características do umbu, quanto ao perfil fenólico, composição volátil e compostos odorativos, abrem perspectivas para a utilização dessa matéria-prima em cosméticos, produtos farmacêuticos, além de seu uso como ingrediente em alimentos e na produção de bebidas.

Em virtude da grande variabilidade genética entre diferentes acessos de umbuzeiro, a qualidade física e química, observada em diversos trabalhos, tem sido diversa. No estudo de Lima et al. (2018), por exemplo, foi verificada a variação de massa por fruto entre 88 e 100 g, sólidos solúveis entre 8 e 15 °Brix, acidez entre 0,5 e 1,5% de ácido cítrico e concentração de ácido ascórbico entre 10 e 40 mg.100g⁻¹, o que demonstra a necessidade de caracterização genética desses materiais para fins comerciais.

2.4 Características genéticas do umbuzeiro

O umbuzeiro, assim como outras espécies do gênero *Spondias*, apresenta número haploide $n = 16$ e somático $2n = 32$ cromossomos (Pedrosa et al., 1999; Santos, 2020). Esta espécie é predominantemente de fecundação cruzada, com taxa de cruzamento aparente de 80%, segundo estimativas obtidas de marcadores enzimáticos em diferentes populações (Balbino et al., 2019; Santos et al., 2021). Caracterizado com sistema sexual andromonoico, com dois tipos de flores, hermafroditas e masculinas no mesmo indivíduo, inflorescências são do tipo panícula e apresentam, em média, 155 flores, sendo 50% hermafroditas e 50% masculinas (Saturnino et al., 2019; Pires et al., 2020). Drummond et al. (2016) registraram que essa anacardiácea é prevalentemente xenogâmica e necessita de insetos para garantia de seu sucesso reprodutivo. Essas características reprodutivas da espécie contribuem para a alta variabilidade genética de suas populações.

Em espécies vegetais que apresentam comportamento alógamo, a exemplo do umbuzeiro, são encontradas maior variabilidade genética dentro de populações locais do que entre regiões e entre áreas, o que deve ser comprovado em agrupamentos específicos de indivíduos amostrados numa mesma região (Oliveira et al., 2004; Reis e Grattapaglia, 2004). Santos et al. (2021) observaram que a variabilidade genética do umbuzeiro não se encontra distribuída de modo uniforme em todo o Semiárido brasileiro, mas, sim, em regiões ecogeográficas.

A divergência genética é um importante requisito para a evolução das espécies,

uma vez que a seleção natural só ocorre, quando existe variabilidade para ser selecionada (Jiménez e Collada, 2000). Estudos visando estimar a variabilidade genética em acessos de *S. tuberosa*, oriundos de diferentes locais, podem ser de grande importância para formar uma base para o programa de melhoramento genético da espécie, uma vez que possibilitará identificar indivíduos com características promissoras que possam ser utilizadas para chegar em genótipos com maior produção, maior tamanho do fruto, maior teor de compostos bioativos, entre outros (Santos, 2020).

No centro de diversidade do umbu, no Brasil, são encontradas plantas com muitas diferenças morfológicas (Pereira et al., 2021; Saraiva et al., 2022). Observa-se variabilidade entre diferentes acessos, por exemplo, quanto à pilosidade, quanto ao tipo de fruto, no que concerne às suas diferentes características de cor, sabor, diâmetro, massa, rendimento etc. (Donato et al., 2019). Essa diversidade entre acessos tem sido relatada quanto aos atributos físicos e químicos dos frutos (Santos et al., 2019; Silva et al., 2024).

Com o objetivo de conservar a variação genética de umbu, a Embrapa Semiárido estabeleceu, em 1994, uma coleção de germoplasma (Banco de Germoplasma de Umbuzeiro - BGU) em seu campo experimental, o que estimulou a realização de vários estudos sobre a caracterização de diferentes acessos de umbu de diversas localidades (Donato et al., 2019), tendo sido possível identificar a ampla variabilidade a partir das observações de indivíduos com frutos geminados, outros com 25 frutos dispostos em cacho e indivíduos com frutos variando de 3,0 g até 96,0 g (Santos, 2008).

Alguns estudos têm caracterizado geneticamente o gênero *Spondias*, seja por meio da citogenética, na caracterização cromossômica (Pedrosa, et al., 1999) ou pelos métodos FISH, hibridização *in situ* fluorescente (Almeida, Carvalho e Guerra, 2007), da quantificação do DNA por citometria de fluxo (Santos, 2008), da filogenia molecular (Machado et al., 2015; Silva et al., 2015), filogeografia (Balbino et al., 2018) da montagem completa do genoma do cloroplasto (Santos e Almeida, 2019) ou da sequência de genomas mitocondriais (Martins et al., 2019).

Os genomas das plantas variam em tamanho e complexidade, devido, em parte, à poliploidização (Lopes et al., 2020). O tamanho do genoma é um traço muito importante nos seres vivos e está frequentemente correlacionado com muitas características bióticas e abióticas, e influencia o fenótipo, quer seja pela expressão do seu conteúdo ou pelos seus efeitos físicos (Bourge et al., 2018). Os poliploides surgem da duplicação completa do genoma (Westermann et al., 2024) dentro da espécie (autopoliploidia) ou pela hibridização de duas espécies (alopoliploidia), sendo esta última mais comum na natureza

(Tate et al., 2005 ; Soltis e Soltis, 2009).

Poliploides podem surgir pela duplicação de cromossomos em células meristemáticas, ou sexualmente pela fusão de gametas citologicamente não reduzidos. Células poliploides ocorrem frequentemente entre células diploides nos tecidos vegetativos da maioria das plantas (Sattler et al., 2016). Em geral, os aloploiploides são originados pela duplicação de genomas diferentes, normalmente após um evento de hibridação (Qiu et al., 2020). A hibridação seguida de poliploidia foi importantíssima na evolução, pois a duplicação cromossômica restaura a fertilidade nos híbridos, regularizando o pareamento meiótico (Stebbins, 1971).

O conhecimento do número de cromossomos é muito importante no melhoramento genético (Akbarzadeh et al., 2021) e a medição do tamanho do genoma pode ser usada para estimar o grau de ploidia (Reis et al., 2014). A citometria de fluxo tornou-se um dos métodos de eleição para medir o conteúdo de DNA de uma célula e tem sido rotineiramente utilizada para verificar o nível de ploidia das plantas-mãe e dos progenitores (Sliwinska, 2018).

O efeito da poliploidia nas plantas resulta, geralmente, no aumento de tamanho das estruturas vegetativas, fenômeno denominado vulgarmente de gigantismo (Carvalho et al., 2018), mas, também, a frequente resistência a tensões do clima, como a seca (Westermann et al., 2024). Em geral, células poliploides apresentam aumento no tamanho, sendo que algumas atingem tamanhos maiores do que as células diploides, com aumentos correspondentes no DNA genômico. Entretanto, embora o aumento do conteúdo de DNA seja consistentemente associado ao aumento do tamanho da célula, não há uma proporção absoluta entre o tamanho nuclear e o tamanho da célula (Frawley e Orr-Weaver, 2015). Esse efeito pôde ser verificado em umbuzeiros, cuja quantificação do conteúdo total de DNA pela técnica da citometria de fluxo determinou que acessos de frutos gigantes apresentam 50% a mais de DNA, em comparação àqueles que produzem frutos de 20 g, sugerindo que a poliploidia natural é comum nessa espécie (Santos, 2008).

As condições naturais dos trópicos podem favorecer a formação de poliploidia (Reis et al., 2014). No entanto, há poucos exemplos de ocorrência de autoploidia natural em vegetais investigados e documentados nas regiões tropicais, sendo mais comum em plantas de regiões temperadas (Husband et al., 2013; Reis et al., 2014; Lopes et al., 2020).

O conhecimento da diversidade de genótipos de umbu existentes, da conservação e caracterização desses recursos pode contribuir para a identificação de formas mais

eficazes de aproveitamento para fins econômicos (Santana et al., 2024). Alguns autores relatam a ocorrência natural de alguns materiais genéticos bastante diferentes e promissores quanto ao tamanho dos frutos que compõem coleções dos bancos de germoplasma (Donato et al., 2019; Santos et al., 2019; Donato et al., 2024), além de outros que carecem de caracterização e identificação. Embora a maior parte da literatura descreva que a massa do fruto varie entre 10 e 20g, há registros que apontam variação entre 5,5 g e 130g, diâmetro entre 2 e 5 cm (Saturnino et al., 2019; Rodrigues et al., 2024).

A elevada variabilidade genética pode influenciar características físicas do fruto, como tamanho e rendimento de polpa (Costa et al., 2015). Alguns estudos têm sido desenvolvidos para avaliação de diferentes acessos de umbuzeiros, identificados pela Epamig e Embrapa (BGU). Dentre as características avaliadas, a massa média dos frutos, verificada por Saturnino e Gonçalves (2011), em diferentes safras, variou de 32,61g (Epamig-17) a 88,78g (Epamig-32), sendo que, de 32 acessos avaliados, 19 apresentaram frutos maiores ou igual a 50g, considerados grandes, enquanto 7 expressaram massa média de fruto maior ou igual a 70g, considerados gigantes. O rendimento de polpa desses frutos foi superior em 52%.

A prospecção de genótipos de umbuzeiro com características promissoras para o melhoramento genético e posterior recomendação para fins de cultivo comercial requerem a avaliação das plantas *in situ*, além de outros aspectos, como o levantamento das condições de solo e de clima, sistema de produção (Saturnino et al., 2019), tolerância a estresses bióticos e abióticos, entre outros (Donato et al., 2019). A variância fenotípica existente é influenciada por elementos ambientais não controlados, pelo solo, pelo clima, pela condição de antropização, pela idade das plantas e também pelas próprias diferenças genéticas entre elas. Considerando a parte herdável da variância, é possível realizar a seleção das plantas mais produtivas e com frutos de melhor qualidade (Ganga et al., 2010; Costa et al., 2015).

Apesar do lançamento recente de quatro cultivares pela Embrapa, há carência de recomendação específica de materiais genéticos adequados para os diferentes mercados do fruto. É, portanto, necessária a caracterização genética e fenotípica mais detalhada e específica dos acessos para subsidiar futuras seleções para cultivo comercial, com finalidade de utilização dos frutos no consumo *in natura* ou processados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O trabalho foi dividido em duas etapas, sendo uma realizada no Laboratório Biofábrica, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* de Vitória da Conquista, e outra no Laboratório de Genética e Biotecnologia, da Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, no período de agosto de 2022 a maio de 2024.

3.2 Material experimental

O material experimental consistiu em folhas jovens e maduras e frutos de umbu coletados de dezoito acessos, localizados em três municípios da região Sudoeste da Bahia (Anagé, Aracatu e Caraíbas).

A coleta dos materiais analisados foi realizada em dezoito árvores matrizes, consideradas como diferentes acessos de propriedades privadas (Figura 1), sendo nove plantas localizadas no município de Anagé, seis no município de Aracatu e três no município de Caraíbas. Os dados de clima e localização geográfica das propriedades estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Dados climáticos dos municípios baianos e localização geográfica das propriedades onde foram realizadas as coletas

Município	Classificação climática	Localização
Anagé	Clima semiárido quente, BSh	14°39'36.6"S 41°03'35.7"W
Aracatu	Clima semiárido quente, BSh	14°22'44.9"S 41°05'06.9"W
Caraíbas	Clima semiárido quente, BSh	14°34'11.2"S 41°09'09.7"W

Classificação climática de Köppen (<https://koppenbrasil.github.io>, 2024).

Em cada árvore, foram coletadas, inicialmente, as folhas para avaliações da quantidade de DNA na primavera, as quais foram acondicionadas em sacos de polietileno, com algodão umedecido e encaminhadas para o Laboratório Biofábrica, onde foram preparadas para serem enviadas para o Laboratório de Genética e Biotecnologia (Figura 2).



Figura 1. Umbuzeiros. Acesso 5 cultivado no município de Anagé (A) e acesso 9 no município de Aracatu (B), Bahia, Brasil.



Figura 2. Coleta de folhas jovens dos acessos de umbuzeiros no município de Aracatu, Bahia, (A), acondicionamento das folhas em caixa isolante térmica (B) e preparação de folhas para envio ao laboratório (C).

Em etapa posterior, nos meses de dezembro a março, período do verão no hemisfério sul, foram colhidos e selecionados 50 frutos sem defeitos ou manchas da parte mediana da projeção externa da copa de umbuzeiros, em estágio de maturação 3FTV-In,

segundo a escala de Campos et al. (2018) (Tabela 1).

Após a coleta, os frutos foram encaminhados ao Laboratório Biofábrica para preparação das amostras e análises físicas e químicas dos frutos (Figura 3).

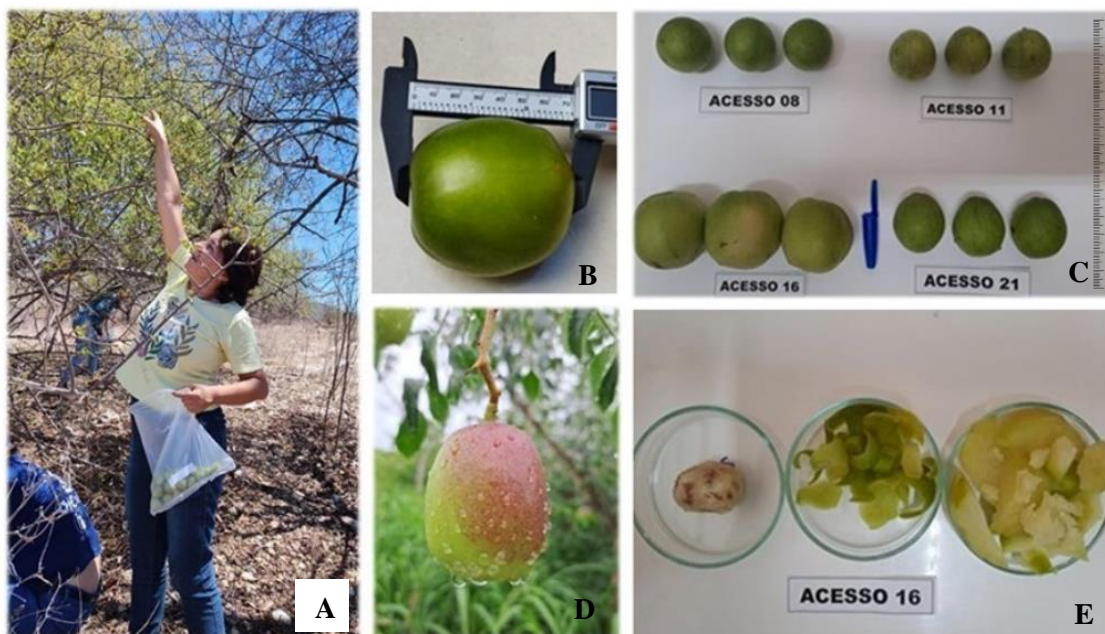


Figura 3. Coleta de frutos do acesso 10 em Aracatu, BA (A). Avaliação de comprimento do fruto (B). Frutos de acessos de umbuzeiros dos municípios de Aracatu e Caraíbas, BA (C). Fruto do acesso 6, Anagé, BA (D). Polpa, casca e endocarpo do acesso 16 (E).

3.3 Quantificação de DNA por citometria de fluxo

A determinação do conteúdo de DNA foi realizada pela técnica da citometria de fluxo. Para estimar a quantidade de DNA, tecidos foliares de acessos de umbuzeiros, provenientes de três municípios baianos, foram coletados e encaminhados ao laboratório para as avaliações, onde foram realizadas as macerações para obtenção de suspensões de núcleos de folhas jovens, preparadas por meio de maceração (Dolezel et al., 2007) com uma lâmina de aço descartável, em tampão de isolamento WPB. A suspensão gerada foi filtrada em membrana de nylon, com malha de 50 μm para a remoção de fragmentos de células e restos de tecidos. À suspensão celular foi adicionado 25 μL iodeto de propídio ($10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e o padrão interno *Pisum sativum* L. (9,09 picogramas de DNA) para comparação. Pelo menos 10.000 núcleos foram analisados por amostra, sendo que a quantidade de DNA foi avaliada no equipamento CytoFLEX (Beckman & Coulter), conforme Dolezel et al. (2007). Cada saída do histograma de citometria de

fluxo do *software Cell Quest* foi analisada, usando-se *WinMDI 2.8 software* (disponível em: <http://facs.scripps.edu/software.html>). A quantidade (pg) de cada amostra foi estimada pela intensidade de fluorescência relativa da amostra e pelo padrão de referência interno (*Pisum sativum* L.). Cada acesso foi medido três vezes por este método.

3.4 Caracterização da qualidade pós-colheita de frutos

3.4.1 Caracterização física

Cada acesso foi caracterizado quanto aos parâmetros físicos dos frutos, tendo sido utilizados 50 frutos de cada planta matriz para as seguintes avaliações de biometria:

- a) Comprimento do fruto (CF), Largura do fruto (LF), Espessura do fruto (EF), determinados com auxílio de paquímetro digital, com precisão de 0,05 mm, e expressos em cm;
- c) Massa do fruto (MF): obtida por meio de pesagem individual do fruto em balança e expressa em gramas.

Para as demais avaliações físicas, foi retirada uma amostra de 20 frutos de cada acesso, os quais foram descascados manualmente para a determinação de:

- d) Massa da polpa (MP): obtida pela pesagem da polpa de cada fruto, separada da casca;
- e) Massa da casca (MC): pesagem da casca de frutos;
- f) Massa média do endocarpo (ME): pesagem do endocarpo, expressa em gramas.

3.4.2 Coloração dos frutos

A cor da casca e da polpa dos frutos foram determinadas utilizando-se o colorímetro (CR400, Konica Minolta, Osaka, Japão). Foi adotado o sistema CIElab para medir a luminosidade (L^* 0: escuro, 100: branco), a^* (valor negativo: verde, valor positivo: vermelho) e b^* (valor negativo: azul, valor positivo: amarelo). Os valores de L^* , a^* e b^* foram obtidos por duas leituras na região equatorial da casca do fruto e duas leituras na polpa. Além disso, o ângulo Hue (h°) foi calculado conforme equações 1 e 2.

$$h^\circ = \arctan (b^* / a^*) \text{ quando } a > 0 \text{ e } b \geq 0 \quad (1)$$

$$h^\circ = 180 + \arctan (b^* / a^*) \text{ quando } a < 0 \quad (2)$$

3.4.3 Sólidos solúveis (SS), pH e acidez titulável (AT)

O teor de SS foi determinado utilizando-se um refratômetro digital (ATTO Instruments, WYT-4, Hong Kong), segundo o método nº 932.12 da AOAC (2016) e expressos em °Brix. Para a determinação dos SS, a polpa das frutas foi triturada em mixer e filtrada em peneira fina. Em seguida, três gotas do filtrado foram colocadas no aparelho. O refratômetro foi zerado, utilizando-se água destilada.

Para a determinação do pH das amostras, o extrato das frutas triturado foi separado em recipientes menores e medido com um potenciômetro digital (método nº 981.12) (AOAC, 2016).

A acidez titulável foi determinada pelo método meio da titulação, com solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, utilizando-se fenoftaleína a 1% como indicador ácido-base, de acordo com o método seguido pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados expressos em g, equivalente de ácido cítrico por 100 g de fruta, foram convertidos em percentual (%).

Ao final, a razão (SS/AT) foi obtida pela relação direta dos valores de sólidos solúveis e acidez titulável.

3.4.4 Conteúdo de ácido ascórbico (vitamina C)

A determinação do conteúdo de vitamina C foi realizada por meio da metodologia proposta por Oliveira (2010), obtida pela reação do ácido ascórbico com o 2,6-diclorofenol indofenol sódico (DCFI) e, posterior, leitura espectrofotométrica (520 nm). O método baseia-se na redução do DCFI, ocasionando a alteração da coloração azul, quando oxidado, para uma coloração rosa-arroxeadas, quando reduzido. Foi utilizada a solução de DCFI, preparada na concentração de 12 mg.mL⁻¹ do reagente P.A., dissolvida em água destilada aquecida a 60 °C, com posterior filtragem. Ainda foi utilizada solução de ácido oxálico 0,4% (0,4g/100. mL⁻¹).

Para determinação do conteúdo de vitamina C, inicialmente foi feita a pesagem de 7 g da polpa processada das frutas, a qual foi diluída em ácido oxálico 0,4%, filtrada e reservada para utilização posterior na leitura pelo espectrofotômetro.

Para zerar o espectrofotômetro, utilizou-se o branco geral e as duas amostras com DCFI para a leitura. O branco geral foi preparado utilizando-se 1 mL de ácido oxálico 0,4% e 9 mL de água destilada em um tubo, e outros dois tubos foram preparados com 1 mL de ácido oxálico 0,4% e 9 mL de DCFI.

Após as leituras das amostras de ácido oxálico com DCFI, foi adicionado aos

tubos com as amostras uma pequena pitada de ácido ascórbico P.A até que as amostras ficassem sem cor, e, posteriormente, procedeu-se as leituras. Ainda foi necessária e preparada uma curva de calibração do ácido ascórbico para a quantificação da vitamina C. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa.

3.4.5 Compostos fenólicos totais

Para a determinação do conteúdo de compostos fenólicos totais, foi adotada a metodologia ISO (2005), utilizando-se solução de Folin-Ciocalteu a 10% (10mL/100mL) e carbonato de sódio a 7,5%. Foi utilizado 10g de cada amostra de fruto processado, acrescentado de álcool etílico a 70% em três ciclos de 15 minutos, em banho ultrassônico a 40kHz. Em seguida, foi obtido um extrato filtrado de cada amostra, onde foram adicionadas as soluções de Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio, de acordo com a metodologia. A leitura foi realizada em espectrofotômetro, no modo absorvância a 765 nm. Os resultados foram com uma curva padrão de ácido gálico, preparada previamente e expressos em mg, equivalentes de ácido gálico por 100g de frutos (mg EAG 100g⁻¹).

3.4.6 Outros cálculos realizados

- a) Rendimento da polpa (RP): obtido pela divisão entre a massa da polpa e a massa do fruto, multiplicado por 100, expresso em percentagem;
- b) Índice tecnológico (IT): resultante da equação:

$$IT = (\text{sólidos solúveis} \times \text{massa da polpa}) / 100.$$

3.5 Análise estatística

A análise descritiva de todos os conjuntos de dados foi realizada por meio de estatística clássica, determinando-se os valores máximos e mínimos; e calculando-se a média, mediana e coeficiente de variação das características físicas e químicas dos frutos de umbu.

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para agrupar e avaliar a relação entre as características físicas e físico-químicas dos frutos de umbu, bem como a relação destas com os acessos provenientes de cada município avaliado.

A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação entre o conteúdo de DNA e as características físicas e químicas dos frutos de umbu. Para comparar as quantidades de DNA dos acessos, primeiramente, o conjunto de dados foi

testado para as suposições da análise paramétrica, pelo teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade de variâncias pelo Levene; uma vez que essas foram atendidas, a análise de variância foi realizada pelo teste F, ao nível de significância de 5%, e as médias comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls, ao nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de conteúdo de DNA dos acessos de umbu

A análise do conteúdo de DNA foi realizada em quase todas as amostras, com exceção das amostras dos acessos 13 e 23, devido ao fato de não apresentarem condições para determinação do seu conteúdo genômico, em virtude da rápida degradação dos tecidos foliares no transporte ao laboratório, apesar de sucessivas tentativas.

Na Figura 4, são apresentados três histogramas, resultantes da análise do conteúdo de DNA nuclear feito a partir da citometria de fluxo dos acessos A3, A12 e A16, com dois picos distintos.

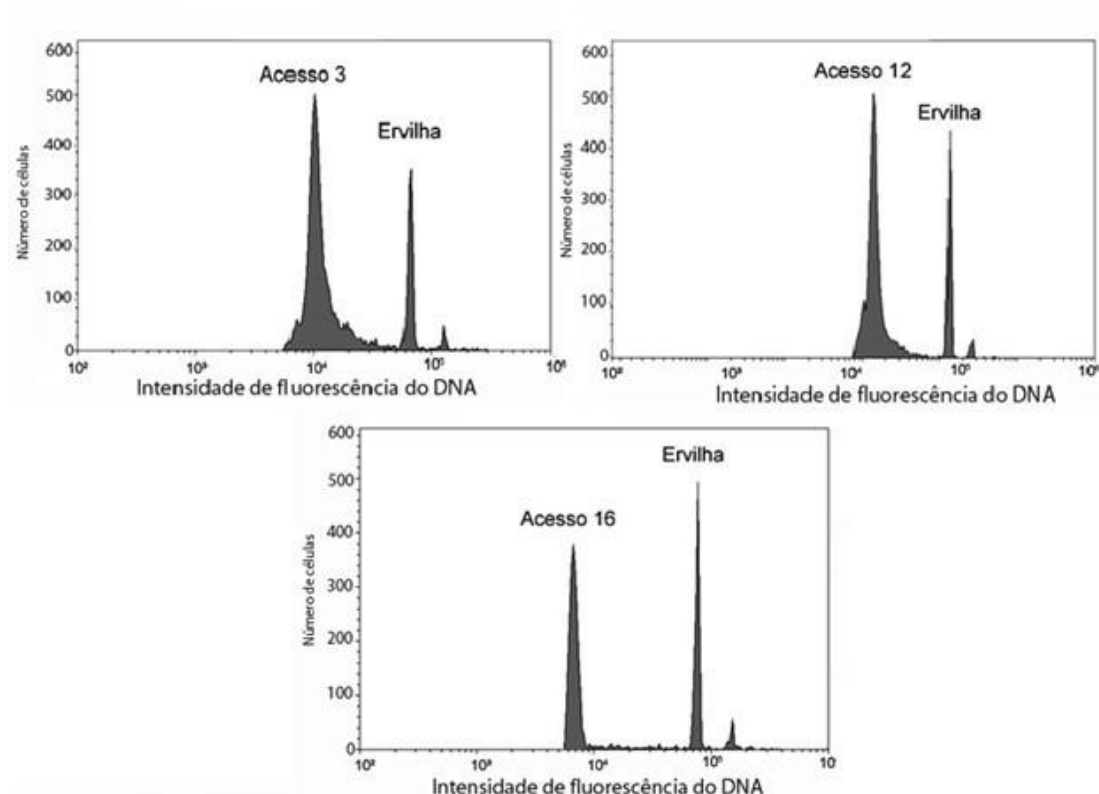


Figura 4. Histogramas representativos de citometria de fluxo de três acessos de *Spondias tuberosa* Arr. Câm. comparado com *Pisum sativum* como padrão de

referência (2C=9,09pg).

O primeiro pico representa os núcleos do acesso de umbu avaliado, enquanto o direito representa o padrão de referência utilizado, que foi a ervilha (*Pisum sativum*). A quantidade de DNA nuclear (valor = 2C) ou o tamanho do genoma foi mensurado em picogramas (1×10^{-9} g) ou em pares de megabases (Mbp, onde 1pg = ~978 Mbp) (Dolezel et al., 2007).

Os histogramas dos acessos A3, A12 e A16 são representativos de todo o conjunto de acessos e se destacam por quantidades distintas de DNA nuclear.

Os dados de conteúdo de DNA de 16 acessos avaliados foram submetidos à análise multivariada, entretanto, não se correlacionaram com os componentes principais. O resultado da análise descritiva está apresentado na Tabela 3, na qual pode ser verificada a dispersão da média para o conteúdo de DNA dos acessos de umbu avaliados. Observa-se que o coeficiente de variação foi pequeno para a quantidade de DNA de cada acesso, sendo o maior percentual (CV=13,1%) encontrado no acesso A4. A menor dispersão foi verificada no acesso 22 (CV=2,1%), demonstrando confiabilidade na avaliação.

Tabela 3. Análise descritiva das características do conteúdo de DNA nuclear de dezesseis acessos de umbu

Acessos	Mínima	Máxima	Média	Mediana	CV (%)
A1	0,87	0,92	0,903	0,92	3,2
A2	1,35	1,46	1,413	1,43	4,0
A3	1,30	1,48	1,383	1,37	6,6
A4	1,83	2,34	2,04	1,95	13,1
A5	1,11	1,24	1,197	1,24	6,3
A6	1,42	1,73	1,577	1,58	9,8
A7	0,87	1,00	0,93	0,92	7,1
A8	1,70	1,98	1,853	1,88	7,7
A9	0,94	1,12	1,033	1,04	8,7
A10	1,05	1,12	1,077	1,06	3,5
A11	0,81	0,98	0,903	0,92	9,5
A12	1,77	1,98	1,877	1,88	5,6
A21	0,85	0,95	0,900	0,90	5,6
A16	0,76	0,88	0,827	0,84	7,4
A17	0,87	0,95	0,913	0,92	4,4
A22	1,15	1,20	1,177	1,18	2,1

* Acessos numerados de 1 a 22 provenientes dos municípios de Anagé, Aracatu e Caraíbas, Bahia, Brasil.

Na Tabela 4, é possível verificar que, dentre os dezesseis acessos avaliados,

apenas três se destacaram (A4, A8 e A12) pelo tamanho do genoma e se diferiram dos demais por apresentarem conteúdos de DNA acima de 1,8pg. Os acessos A2, A3 e A6 apresentaram conteúdo de DNA intermediário, menor que o grupo anterior, entre 1,38 e 1,58pg, enquanto os demais acessos não se diferiram entre si quanto ao conteúdo genômico, contendo próximo de 1,0 pg. O acesso 16 é aquele que contém quantidade mais discreta de DNA, de 0,83pg .

Os dados obtidos são muito importantes para o estudo da espécie *Spondias tuberosa* Arr. Câm., cujo genoma foi classificado por Martins (2019) como pequeno, por causa do tamanho, que varia de 0,98 a 1,08pg em indivíduos diploides.

A significância para a quantidade de DNA indica que os acessos se distinguem quanto ao tamanho do genoma. Assim, é possível verificar que os dezesseis acessos avaliados se agruparam em três grupos distintos em relação ao conteúdo de DNA. Os acessos 3, 12 e 16, cujos histogramas foram utilizados na Figura 4, representam esses três grupos distintos, cujo conteúdo de DNA foi significativamente diferente entre si.

Com base nessas informações, os dados obtidos neste estudo podem sugerir que os acessos A2, A3, A4, A6, A8 e A16 apresentam níveis de ploidia superiores aos demais (Tabela 3), uma vez que seu conteúdo de DNA estimado é superior ao registrado para a espécie. Esses resultados são muito importantes para o estudo da espécie e indicam a necessidade de estudos mais aprofundados na área da citogenética, como a quantificação dos cromossomos para investigação sobre os possíveis níveis de ploidia, os quais podem auxiliar programa de melhoramento da espécie.

Em adição, a poliploidia é um evento comum em angiospermas (Yali, 2022) e em espécies do gênero *Spondias* (Martins, 2018). Sendo o umbu uma espécie alógama, cuja ocorrência de poliploidia foi anteriormente apontada (Santos, 2008), torna-se necessário identificar esses acessos poliploides e verificar as consequências para possível seleção de materiais de interesse agrônomo e comercial.

Observa-se, também, na Tabela 4, que os acessos A5 e A16 apresentam tamanho genômico de 1,20pg e 0,83pg, respectivamente, discretamente acima e abaixo da quantidade para indivíduos 2C, mas o tamanho dos seus frutos foi classificado como gigante e grande, respectivamente, contrariando os relatos sobre o efeito giga em poliploides. Souza (2008) registrou que plantas de frutos gigantes (> 70g) apresentam 50% a mais de DNA em relação às plantas que produzem frutos de 20g, no entanto, os dados apontam que nem todos os acessos gigantes apresentam maior conteúdo genômico. Por outro lado, os acessos A8 e A12, que produzem frutos menores (<20g), apresentam

maior conteúdo de DNA, de 1,85 e 1,88pg, respectivamente, o que corresponde a cerca de 80% mais de DNA em relação ao conteúdo de indivíduos diploides.

Tabela 4. Conteúdo de DNA de acessos de *Spondias tuberosa* Arruda Câmara

Acesso	Quantidade de DNA (pg)	Classificação do fruto
A1	0,90 d	Pequeno
A2	1,41 b	Médio
A3	1,38 b	Médio
A4	2,04 a	Gigante
A5	1,20 cd	Gigante
A6	1,58 b	Gigante
A7	0,93 d	Pequeno
A8	1,85 a	Pequeno
A9	1,03 d	Pequeno
A10	1,08 d	Pequeno
A11	0,90 d	Pequeno
A12	1,88 a	Pequeno
A21	0,90 d	Médio
A16	0,83 d	Grande
A17	0,91 d	Médio
A22	1,18 cd	Pequeno

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls ao nível de significância de 5%. Classificação dos frutos: Gigante (>70g), Grande (50-70g), Médio (21-49g); Pequeno (até 20g) (Adaptado de Neves, 2023).

É comum esperar que um indivíduo poliploide possua genoma maior que aquele que lhe deu origem, contudo, há registros de perda de DNA nos eventos da poliploidização. A variabilidade no tamanho do genoma pode ser consequência da poliploidia e da mudança de sequências de DNA repetitivo (Moura, 2018). As variações dentro e entre níveis ploideais podem ser explicadas pela ocorrência de rearranjos genômicos, como a reestruturação cromossômica ou as alterações cromossômicas, como inversão e deleção (Solstis e Solstis, 2009; Reis et al., 2014).

Outro aspecto observado em indivíduos poliploides refere-se ao fato de que o efeito giga, decorrente da duplicação ou aumento do genoma, nem sempre ocorre em órgãos vegetais de interesse, uma vez que a resposta à poliploidização pode variar e afetar outros órgãos vegetais (Sattlet et al., 2016). De qualquer modo, os estudos citogenéticos permitem a obtenção de informações básicas para a caracterização citológica, encontrando diferenças entre as espécies (Jara-Seguel et al., 2021). A estimativa da quantidade de DNA é importante no melhoramento genético de plantas, por ser reconhecida para caracterização genômica, auxiliar estudos evolutivos, verificar níveis de

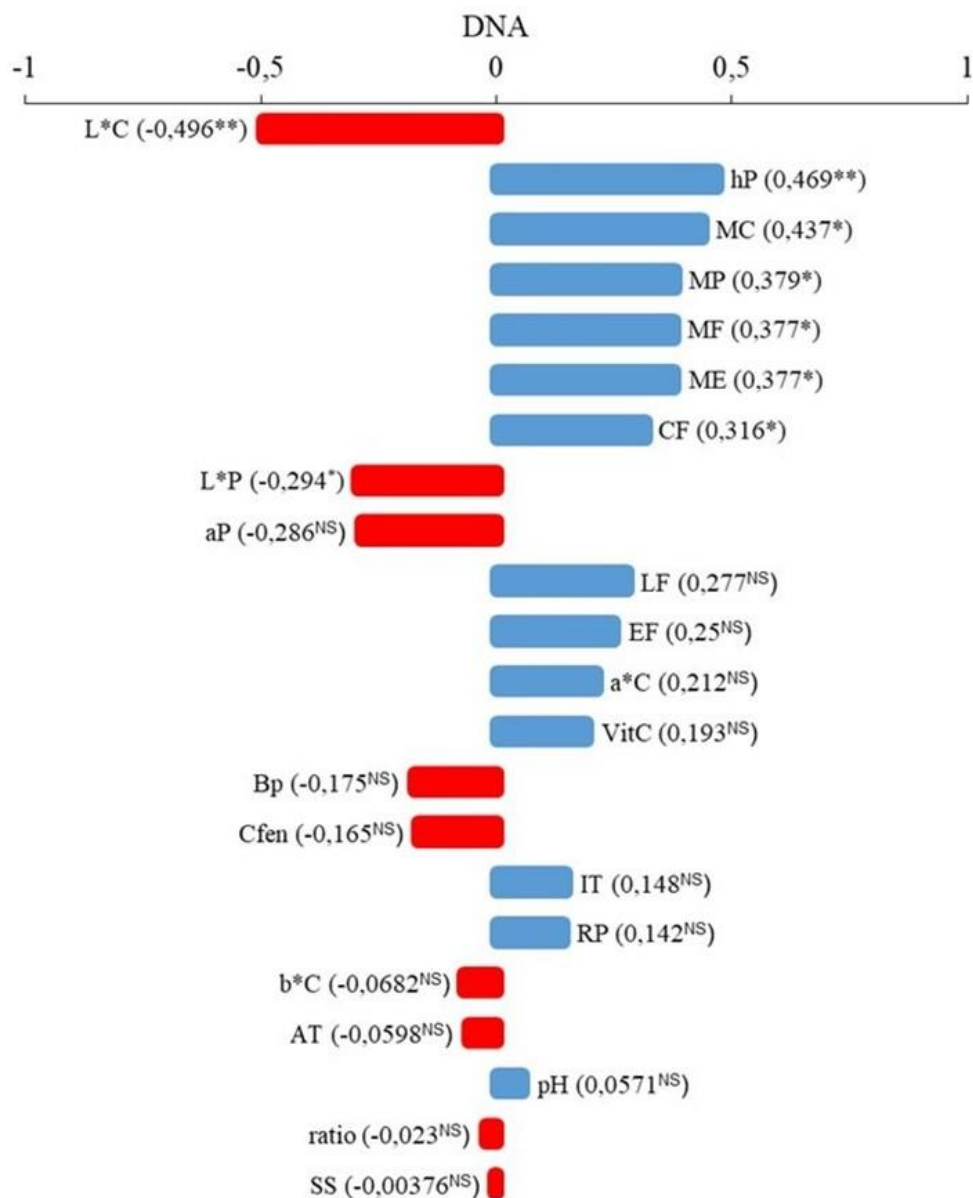
ploidia em resultados de cruzamentos, entre outras finalidades (Pessoa-Filho et al., 2017; Sliwinska, 2018).

4.2 Correlação de Pearson entre conteúdo de DNA e características físicas e químicas de frutos de umbu

Ao aplicar a análise multivariada para as variáveis físicas e químicas e conteúdo de DNA dos acessos avaliados, foi verificada a ausência de correlação do DNA com os componentes principais. Sendo assim, foi efetuada a correlação de Pearson entre o conteúdo de DNA e as demais variáveis, cujos resultados estão apresentados na Figura 5.

Verificou-se que o conteúdo de DNA dos acessos avaliados apresenta correlação positiva com as características físicas relacionadas à massa e comprimento do fruto. Portanto, à medida que há um incremento no conteúdo de DNA nuclear, os frutos produzidos são maiores. Esse efeito tem sido mais amplamente notado em espécies vegetais, de modo geral, como consequência da poliploidização, cujo efeito “giga” que se trata do incremento nos órgãos de plantas, é causado pelo aumento no número de cópias de genes (Sattler et al., 2016).

No entanto, esse efeito não foi observado em todos os acessos, uma vez que os acessos A8 e A12, embora tenham frutos pequenos, contêm uma quantidade de DNA maior (Tabela 4). Dessa forma, para avaliar a ocorrência de poliploidia nos acessos avaliados, será necessária a realização de estudos citogenéticos para determinar o número de cromossomos a partir das células meristemáticas radiculares, o que não foi possível neste estudo, sendo necessário prosseguir com as investigações. Ainda é difícil estimar a frequência global de variação de ploidia dentro de uma espécie vegetal porque a maioria das espécies não foi investigada com detalhes suficientes para descrever com confiança sua composição de ploidia (Reis et al., 2014).



** , * Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente; ns: não significativo a 5 % de probabilidade.

Figura 5. Correlação de Pearson das características CF: comprimento do fruto; LF: largura do fruto; EF: espessura do fruto; MF: massa do fruto; MC: massa da casca; MP: massa da polpa; ME: massa do endocarpo; SS: sólidos solúveis; pH; AT: acidez titulável (%); ratio SS/AT; RP: rendimento de polpa; IT: índice tecnológico; Vit. C: CFEN: compostos fenólicos; L*C: luminosidade da casca; a*C: coordenada de cor a* da casca; b*C: coordenada de cor b* da casca; °hC: ângulo hue da casca; L*P: luminosidade da polpa; a*C: coordenada de cor a* da polpa; b*C: coordenada de cor b* da polpa; °hC: ângulo hue da polpa.

Quanto às características químicas e físico-químicas, não houve correlação com o conteúdo de DNA, o que significa a inexistência da influência do tamanho do genótipo sobre a qualidade química dos frutos nos acessos avaliados. A avaliação da qualidade química dos frutos de diferentes genótipos de umbu foram realizadas por vários autores (Dutra et al., 2017; Fonseca et al., 2017; Donato et al., 2019; Lima e Castricini, 2019), que sugeriram a existência de variabilidade fenotípica e genética quanto aos parâmetros de qualidade, todavia, não há estudos que correlacionem esses parâmetros com o tamanho do genoma.

A ausência de correlação entre os distintos conteúdos de DNA e as características de qualidade dos frutos pode estar relacionada a uma possível expressão gênica diferencial, sendo necessário averiguar como e quanto os genes se expressam em resposta aos fatores ambientais nessa espécie.

Por outro lado, Ferrer et al. (2019) afirmam que a ocorrência de poliploidia pode causar não apenas o gigantismo em estruturas vegetativas e reprodutivas de plantas, mas a superexpressão genética também pode promover o incremento na síntese de compostos químicos úteis e contribuir para a seleção de poliploides pelas características dos frutos. Logo, são necessários mais estudos para avaliar a expressão genotípica da espécie.

4.3 Caracterização de pós-colheita

As medidas estatísticas de posição (média e valores de mediana) e de dispersão (coeficientes de variação - CV) para os dados obtidos estão apresentados na Tabela 5. Observou-se a existência de variabilidade entre os acessos, para as características avaliadas, tendo sido possível observar que as maiores dispersões, em torno dos valores médios, ocorreram para as características físicas dos frutos.

A variável que mais contribuiu para a divergência fenotípica entre os acessos foi a massa da polpa, cuja dispersão observada foi de 81,9%, seguida da massa do fruto (CV=76,3%), massa da casca (CV=66,9%) e massa do endocarpo (CV=61,5%) (Tabela 5). As dispersões mais baixas foram observadas nas variáveis pH (CV=8,9%), rendimento de polpa (CV=10,9%) e alguns componentes da cor, como valores de °h da casca e da polpa dos frutos (CV=3,10 e 2,98%, respectivamente). Esses resultados indicam que as características físicas de massa e comprimento do fruto podem estar sendo influenciadas pela interação genótipo com o ambiente. Essa interação exerce papel fundamental na manifestação fenotípica e pode influenciar de forma marcante no processo de seleção dos materiais genéticos a serem cultivados pelos produtores. Além disso, há também a

possibilidade da ocorrência da poliploidia nos acessos que produzem frutos gigantes, sendo necessário comprovar com a quantificação cromossômica.

Tabela 5. Análise descritiva das características físicas e químicas de frutos de umbu

Variável	Mínima	Máxima	Média	Mediana	CV (%)
CF (cm)	28,92	58,52	39,18	35,98	22,8
LF (cm)	25,24	54,54	37,01	34,24	23,8
EF (cm)	24,32	51,35	35,18	32,53	23,3
MF (g)	10,08	102,63	35,53	24,67	75,3
MC (g)	1,50	11,87	4,68	3,26	66,9
MP (g)	5,81	77,78	26,24	16,65	81,9
ME (g)	1,79	11,45	4,43	3,35	61,5
pH	2,36	3,60	2,70	2,72	8,9
AT (%)	1,21	3,84	2,10	2,11	29,3
SS (°Brix)	7,20	13,60	10,58	10,8	13,2
SS/AT	2,48	9,29	5,50	4,85	35,3
RP (%)	52,38	83,56	70,48	71,71	10,9
IT	4,76	10,94	7,49	7,42	18,1
VIT.C (mg 100g ⁻¹)	12,20	41,6	28,37	27,25	26,6
CFEN (mg EAG 100g ⁻¹)	28,06	91,57	54,86	48,3	34,9

CF: comprimento do fruto; LF: largura do fruto; EF: espessura do fruto; MF: massa do fruto; MC: massa da casca; MP: massa da polpa; ME: massa do endocarpo; SS: sólidos solúveis; pH; AT: acidez titulável; RP: rendimento de polpa; IT: índice tecnológico; Vit. C: vitamina C; CFEN: compostos fenólicos.

4.3.1 Características físicas dos frutos

As avaliações de comprimento longitudinal (CF) e transversal (LF e EF) apresentaram considerável variação em virtude da variabilidade fenotípica observada na espécie. A dispersão da média foi muito próxima para as três características (22,8% a 23,8%), indicando variação proporcional e homogênea entre elas (Tabela 5). Em umbuzeiros, tem sido relatado por alguns autores a diferença encontrada nas dimensões dos frutos de diferentes localidades (Costa et al., 2015; Dutra et al., 2017; Pereira et al., 2021).

As massas dos componentes do fruto também apresentaram grande variação. A massa dos frutos dos acessos avaliados variou de 10,08g a 102,63g (Tabela 5). Essa amplitude da massa média dos frutos foi superior à encontrada por Costa et al. (2015), que relatou ter encontrado frutos pesando entre 9,96 e 20,99g. Entretanto, os valores obtidos neste estudo estão de acordo com os observados por Saturnino et al. (2019), os quais apontaram a existência de frutos de tamanho pequeno a gigantes, variando de 5,5 a

130g. Essa variação encontrada no trabalho pode estar relacionada à divergência genética dentro da espécie que contribui para o surgimento de umbuzeiros que produzem frutos muito pequenos àqueles de tamanho gigante, superiores a 70g.

Na Figura 6, é possível observar a divergência fenotípica entre alguns acessos avaliados. A massa do fruto, por exemplo, é uma característica de grande interesse, uma vez que o umbu é, majoritariamente, comercializado *in natura* e frutos maiores são mais atrativos ao consumidor. Segundo Stiletto e Trestini (2021), o consumidor estabelece alguns parâmetros de qualidade, como tamanho, cor, sabor, aroma, rendimento de polpa e outros atributos da fruta.

As massas da casca, da polpa e do endocarpo acompanharam a mesma expressão fenotípica da massa do fruto, de modo que frutos maiores também apresentam valores superiores para essas variáveis, inclusive para o endocarpo (Tabela 5). De modo geral, os frutos de umbu apresentam percentuais de polpa acima de 60% (Neves, 2023; Donato et al., 2019), o que é desejável para melhor aproveitamento. Quanto à proporção de epicarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo (caroço), a literatura apresenta variação nos resultados de alguns autores em frutos de umbuzeiros. Segundo Rodrigues et al. (2024), os frutos apresentam proporção de 10% de endocarpo, 22% de casca e 68% de polpa. No entanto, há registros de variação nessas proporções na literatura de 7,23% a 13,7% para massa do endocarpo; de 11,6% a 14,2% para massa da casca; e 51,59% a 77,88% para massa da polpa em frutos de massa média acima de 33,0g, respectivamente (Santos et al., 2019), corroborando os resultados deste estudo que evidenciam percentuais de 12,5%, 13,3% e 74,2% para endocarpo, casca e polpa, respectivamente, e massa média de 35,53g. Os percentuais de casca e endocarpo são inversamente proporcionais ao percentual da polpa, uma vez que, em frutos maiores, a participação percentual de casca e endocarpo torna-se menor (Saraiva et al., 2022).

A divergência nos percentuais de massa da casca e da polpa dos frutos encontrada na literatura também pode ocorrer por causa do estágio de maturação nos quais os frutos são avaliados, uma vez que frutos verdes apresentam massa de polpa maior em relação aos frutos “inchados” e maduros (Menezes et al., 2017). Possivelmente, a diferença observada neste estudo é oriunda da divergência genética entre os acessos, uma vez que houve padronização quanto ao estágio de maturação dos frutos avaliados na coleta.



Figura 6. Características físicas de frutos de acessos de umbu oriundos dos municípios de Anagé, Aracatu e Caraíbas, Bahia (A e B); aferição da massa do fruto (C); separação da polpa, casca e endocarpo (D).

O formato do fruto é outra característica física de interesse comercial. Neste estudo, a relação entre a média da largura do fruto e seu comprimento é acima de 0,9, o que indica uma tendência para a ocorrência de frutos ovais e arredondados nos acessos avaliados. Essa é uma característica desejável para seleção porque as indústrias têm preferência por esses formatos que facilitam o processamento dos frutos (Santos et al., 2019).

Vale ressaltar que a massa do endocarpo e da polpa, como variável primária, e a largura do fruto, como variável secundária, são os caracteres mais importantes para a seleção de umbuzeiros que produzem frutos de tamanho maior (Neves, 2023).

4.3.2 Características químicas dos frutos

Entre as variáveis de natureza química avaliadas, o pH foi a que se apresentou mais homogênea e, conseqüentemente, com menor coeficiente de variação, com mínima

e máxima de 2,36 e 3,6, respectivamente. O pH em frutos de umbu pode variar entre 1,0 a pouco mais de 3,0 (Donato et al., 2019; Xavier, 2019). No processamento de frutos, valores de pH baixos limitam o crescimento de microrganismos, favorecem a conservação dos alimentos, mantendo sua qualidade nutricional. Por outro lado, valores mais altos de pH são preferidos para o consumo *in natura* pela menor acidez (Santos, et al., 2019; Alves et al., 2020).

Em geral, a variabilidade nas características químicas verificadas em frutos de umbu deve-se, provavelmente, à diversidade fenotípica, uma vez que há diferenças nos frutos avaliados

A acidez titulável (AT) e o pH são os principais parâmetros utilizados para medir a acidez de frutos. A acidez titulável determina o percentual de ácidos orgânicos presentes na fruta, os quais se encontram dissolvidos nos vacúolos celulares. De modo geral, seus teores diminuem com a maturação, uma vez que são utilizados como substratos no processo respiratório ou de conversão em açúcares (Chitarra e Chitarra, 2005). A média encontrada neste estudo foi de 2,10% de ácido cítrico, embora tenha havido uma variação mais ampla, de 1,21% a 3,84%. É comum haver variações percentuais desse indicador em frutos de umbu, sendo a variabilidade genética responsável pela variação de 0,69% a 2,04% para AT (Lima e Silva, 2016), assim como diferenças obtidas em avaliações de frutos com índices de maturação diferentes (Menezes et al., 2017).

De qualquer modo, frutos que apresentam AT superior a 1,00% são os de maior interesse para a agroindústria, pois minimizam a necessidade da adição de ácido cítrico para padronização da polpa e inibem o desenvolvimento de microrganismos (Chaves Neto e Silva, 2019), sendo o umbu um fruto que atende naturalmente a esses padrões industriais. Nesta pesquisa, todos os valores observados foram superiores a 1%, indicando que esses materiais genéticos têm potencial para processamento industrial.

O teor de sólidos solúveis (SS) é outro indicador da qualidade dos frutos. Ele é constituído, em sua maior parte, pelos açúcares redutores (Menzel, 2022), que aumentam de valor à medida que os açúcares vão se acumulando na fruta com a maturação. Assim, os SS são utilizados como indicadores de maturidade e de qualidade da fruta por exercerem um importante papel no sabor (Motta et al., 2015). Conforme apresentado na Tabela 3, a média encontrada neste estudo foi de 10,58 °Brix. O umbu pode apresentar SS abaixo de 10 °Brix, conforme relatos de Dutra et al. (2017), Menezes et al. (2017), Donato et al. (2019) e Santos et al. (2019), o que demonstra ser o umbu uma fruta não muito doce. De acordo com Brasil (2018), as polpas de umbu devem ter pH acima de 2,4,

teor de sólidos solúveis acima de 8,5 e acidez total de pelo menos 1,4. Além disso, frutos mais homogêneos, quanto aos padrões de qualidade, são mais recomendados para comercialização.

Neste estudo, a maioria dos acessos avaliados apresentaram SS dentro dos parâmetros industriais desejados. Todavia, é preciso considerar que as diferenças nos teores de SS encontrados nos frutos podem ser ocasionadas não apenas pela divergência entre acessos, mas também pela diferença na qualidade dos frutos e por aspectos pré-colheita. Assim, há genótipos que apresentam, no estágio de maturação fisiológica, 7-8 °Brix; outros, 9 °Brix; e, ao final da maturação, atingem os primeiros 10-12 °Brix; e os demais, teores acima de 13-15 °Brix (Lima e Castricini, 2019).

A razão SS/AT tem sido adotada como índice de maturidade comercial de frutos. Apesar dos açúcares representarem aproximadamente 85 a 90% do SS, outras substâncias também se encontram dissolvidas na polpa, como vitaminas, fenólicos, pectinas, ácidos orgânicos, entre outras (Chitarra e Chitarra, 2005). O aumento do SS e redução da AT na maturação resulta em aumento na razão SS/AT, que está associada à aceitação dos frutos pelo consumidor e é altamente influenciado pelo genótipo (Santos et al., 2019).

Na presente pesquisa, o valor médio da razão SS/AT encontrada de 5,50 (Tabela 5) foi semelhante ao verificado por Menezes et al. (2017) em frutos com mesmo estágio de maturação “de vez”, e superior ao encontrado por Costa et al. (2021) que obtiveram 4,0. Valores de SS/AT superiores e variáveis em umbu têm sido relatados em estudos que avaliaram diferentes estádios de maturação (Silva et al., 2017; Rocha et al., 2024), sendo característica interessante para seleção. O alto coeficiente de variação para a razão SS/AT, de 35,3% (Tabela 3), pode indicar diferença genotípica entre os acessos avaliados.

O índice tecnológico (IT) nos frutos de umbu variou entre 4,47 a 10,94, com média de 7,49. Os índices verificados neste trabalho apresentaram maior dispersão da média (CV=18,1%) do que nos resultados obtidos por Santos et al. (2019), cujos índices variaram de 5,2 a 6,2 (CV=8,3%). Todavia, aqueles autores avaliaram apenas quatro acessos, o que pode explicar essa diferença. De qualquer modo, considerando que valores de IT acima de 4,4% são mais desejados pela indústria por concentrarem maior conteúdo de açúcares, os frutos deste estudo têm potencial tecnológico industrial.

Com relação aos compostos que apresentam atividade antioxidante, os níveis de vitamina C (ácido ascórbico) e de compostos fenólicos presentes na polpa, assim como outros bioativos, são importantes do ponto de vista nutricional. Quanto à concentração de ácido ascórbico, verifica-se que o umbu é uma fruta que pode apresentar conteúdo

razoável desse bioativo, embora tenha ocorrido ampla variação entre os acessos, de 12,2 a 41,6 mg.100⁻¹ de ácido ascórbico (Tabela 5). Esses valores encontrados corroboram outros resultados encontrados na literatura científica, nos quais são relatados conteúdos de 9,38 a 42,46 mg.100g⁻¹ (Campos et al., 2018; Muniz et al., 2020; Faustino et al., 2023). Dantas Júnior (2008) relatou ter observado frutos com concentrações superiores a 55 mg.100g⁻¹ de ácido ascórbico, semelhante ao encontrado em outras frutas cítricas, como a laranja (Diniz e Oliveira, 2015).

A ampla variação que pode ocorrer nas concentrações de ácido ascórbico na polpa do umbu pode estar relacionada a fatores como clima, solo e práticas agrícolas (Ribeiro et al., 2019). Além desses fatores, Minutolo et al. (2020) apontam que a variação quantitativa de ácido ascórbico em órgãos comestíveis está relacionada ao número de genes que pode exercer influência direta ou indireta no metabolismo. Em geral, frutos de umbu mais verdes concentram teores maiores dessa vitamina, que diminui à medida que a maturação avança (Campos et al., 2018). Em virtude dos baixos níveis de ácido ascórbico na polpa do umbu, diferentemente do que ocorre na casca, possivelmente sua capacidade antioxidante pode ser atribuída, principalmente, à presença de polifenóis (Melo e Andrade, 2010).

Quanto às concentrações de compostos fenólicos, foi possível observar, nesta pesquisa, que a polpa do umbu tem variável concentração desse bioativo, conforme visto por outros autores (Campos et al., 2018; Rodrigues et al., 2024). Observa-se, na Tabela 3, que a média obtida na polpa dos frutos de umbu avaliados (54,86 mg EAG. 100g⁻¹) é muito próxima da média encontrada por Silva et al. (2018) e Muniz et al. (2020), de 59,0 e 48,0 mg EAG. 100g⁻¹, respectivamente. Por outro lado, os acessos não apresentaram desempenho semelhante, pois o conteúdo de compostos fenólicos totais dos acessos A10 e A11 foi superior a 85,8 mg EAG. 100g⁻¹, chegando a 91,57 mg EAG. 100g⁻¹ no A9, corroborando os achados de Gondim (2012), o que torna válido considerar esse parâmetro de qualidade para seleção de genótipos promissores. A concentração desses compostos fenólicos, verificada neste estudo, cuja variação foi de 28,06 a 91,57 mg EAG. 100g⁻¹, indica a existência de variabilidade genética para esta característica.

A concentração de fenólicos totais é maior na casca dos frutos em comparação com a polpa (Ribeiro et al., 2019), embora Campos et al. (2018) tenham relatado resultados inversos. Os compostos fenólicos podem estar associados com carboidratos (simples e complexos), lipídios, ácidos orgânicos, e alguns também podem estar ligados aos componentes da parede celular (Boeing et al., 2022). Vários fatores afetam o conteúdo

de metabólitos secundários nas plantas, incluindo fatores genéticos, ontogenéticos, morfogenéticos e ambientais (Kubola e Siriamornpun, 2011). Variações no conteúdo de compostos bioativos em frutos de *S. tuberosa* Arr. Câm. pode ser explicada pela ação desses fatores.

4.3.3 Cor da casca e da polpa

Do ponto de vista físico-químico, a cor é o resultado da interação entre a luz e os pigmentos pelos quais a energia é absorvida e emitida como radiações complementares não absorvidas na região dos comprimentos de onda que os olhos humanos são capazes de perceber. Os pigmentos, por sua estrutura química, são capazes de absorver e emitir apenas comprimentos de onda específicos, dando, assim, um atributo de cor bem definido ao material em si (Cairone et al., 2020). Entre os diferentes sistemas que podem ser usados para avaliação da qualidade da cor, o CIEL*a*b* foi sugerido como o melhor para a quantificação de cores em alimentos com superfícies curvas (Scalisi et al., 2022).

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), os principais pigmentos responsáveis pela aparência colorida das frutas são a clorofila (azul-esverdeado ao verde-amarelado), carotenoides (vermelho, laranja, amarelo ou marrom) e flavonoides ou antocianinas (azul, vermelho, púrpura e amarelo). No fruto do umbu, a cor da casca é um dos principais atrativos visuais, principalmente por ser um indicativo de qualidade referente ao estágio de maturação dos frutos, caracterizado por seu tom verde amarelado (Saraiva et al., 2022).

Na avaliação dos frutos, foram mensurados parâmetros como a luminosidade (L*), além das coordenadas verde/vermelho (a*) e amarelo/azul (b*) e o ângulo hue (°h) (Tabela 6).

Tabela 6. Análise descritiva das características de cor de frutos de umbu

Variável	Mínima	Máxima	Média	Mediana	CV (%)
L*C	47,63	66,92	56,64	56,90	8,5
a*C	-16,21	-5,90	-12,33	-12,7	15,4
b*C	22,51	35,32	30,39	30,90	10,0
°hC	100,86	118,28	112,14	112,74	3,10
L*P	46,04	67,83	56,67	57,63	9,2
a*P	-12,56	10,88	-8,45	-8,65	36,9
b*P	23,40	41,91	29,48	29,33	12,8
°hP	100,53	113,10	106,91	107,13	2,98

L*C: luminosidade da casca; a*C: coordenada de cor a* da casca; b*C: coordenada de cor b* da casca; °hC: ângulo hue da casca; L*P: luminosidade da polpa; a*P: coordenada de cor a* da polpa; b*P: coordenada de cor b* da polpa; °hP: ângulo hue da polpa.

Os valores de luminosidade da casca (CV=8,5%) e da polpa (CV=9,2%) dos frutos pouco variaram entre os acessos avaliados, no entanto, os valores de a^* na casca e na polpa foram mais dispersos (CV = 15,4 e 36,9%, respectivamente), o que evidencia a diferença na coloração dos frutos dos acessos avaliados (Tabela 6). A ocorrência de frutos com tonalidade avermelhada, na parte superior da casca, provavelmente, contribuiu para a variação obtida para coordenada a^* . Da mesma forma, a dispersão verificada na polpa para essa coordenada é resultante da diferença de tonalidade do verde, com tendência ao verde-amarelo em alguns frutos.

A variação na coloração da casca pode ser confirmada por Saraiva et al. (2022) que, ao avaliarem frutos de umbu de catorze matrizes, constataram que a variação de cor dos frutos de diferentes plantas é considerável e pode ser uma importante ferramenta para o manejo de qualidade e exploração dessa fruta. Os pigmentos responsáveis pela cor do umbu são, em geral, clorofilas e carotenoides. No entanto, há acessos que apresentam áreas de coloração arroxeadas no ápice, a partir do pedúnculo, atingindo a região mediana do fruto, conforme observado em alguns materiais genéticos avaliados. Essa coloração arroxeadas deve-se à presença de antocianinas, que podem ocupar proporção variada da superfície da casca (Lima e Castricini, 2019). Antocianinas são pigmentos flavonoides, cuja síntese tem sido investigada em vegetais e envolve a expressão coordenada de muitos genes e fatores de transcrição. Esses pigmentos, classificados no grupo dos compostos fenólicos, podem ser encontrados em maior quantidade na casca do que na polpa de alguns frutos (Ketsa e Warrington, 2024).

A coordenada L^* da polpa e da casca é indicativa de intensidade de luz. Durante o amadurecimento, as coordenadas L^* e b^* tendem a diminuir, o que implica em frutos com cores mais escuras (Nuncio-Jáuregui et al., 2014).

4.4 Características de pós-colheita e suas relações com os acessos de umbu

A relação entre os dezoito acessos de umbu com as características de pós-colheita avaliadas foi obtida pela análise de componentes principais (ACP) e considerou os dois primeiros fatores que acumularam autovalor de 70,8% (Tabela 7). O primeiro e o segundo componentes principais são resultado da combinação das 15 variáveis estudadas e ambas explicaram 52,9% e 17,9% da variância dos dados, respectivamente.

Tabela 7. Autovalores e proporção acumulada de análise do componente principal para as características físicas, químicas e físico-químicas de frutos de umbu

Componente	Autovalores	Proporção	Proporção acumulada
1	7,939275	0,5293	0,5293
2	2,684729	0,1790	0,7083
3	1,689623	0,1126	0,8209
4	1,138454	0,0759	0,8968
5	0,702826	0,0469	0,9437
6	0,381434	0,0254	0,9691
7	0,254965	0,0170	0,9861
8	0,065906	0,0044	0,9905
9	0,051535	0,0034	0,9939
10	0,033862	0,0023	0,9962
11	0,025514	0,0017	0,9979
12	0,014375	0,0010	0,9988
13	0,01180	0,0008	0,9996
14	0,004895	0,0003	0,9999
15	0,000807	1	

O primeiro componente (CP1) foi positivamente correlacionado com nove das características avaliadas e negativamente com SS, pH, razão SS/AT e compostos fenólicos (Tabela 8).

Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson para os parâmetros comprimento (CF), largura (LF), espessura (EF) do fruto, massas do fruto (MF), da casca (MC), da polpa (MP) e endocarpo (ME), conteúdo de sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT), SS/AT (Ratio), ácido ascórbico (Vit. C), compostos fenólicos totais (CFen), rendimento de polpa (RP) e índice tecnológico (IT) para os componentes principais CP1 e CP2

	Características físicas							
	CF	LF	EF	MF	MC	MP	ME	
CP1	0,974**	0,978**	0,964**	0,984**	0,973**	0,981**	0,951**	
CP2	0,105 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,118 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,104 ^{ns}	0,139 ^{ns}	0,057 ^{ns}	
	Características químicas e outras							
	SS	pH	AT	Ratio	Vit C	CFen	RP	IT
CP1	-0,354**	-0,34**	0,478**	-0,59**	-0,13 ^{ns}	-0,35**	0,575**	0,116 ^{ns}
CP2	0,611**	0,010 ^{ns}	0,609**	0,651**	0,592**	0,406**	0,565**	0,775**

*: Significativo (p<0,05); **: Significativo (p<0,01); ^{ns}: Não significativo (p>0,05).

Segundo Cruz e Carneiro (2003), a análise de componentes principais pode ser utilizada na identificação das variáveis de maior e menor contribuição para variação

Percebe-se que o acréscimo no volume do fruto influencia diretamente as demais características físicas, inclusive a massa do endocarpo.

Chaves Neto e Silva (2019) encontraram correlações positivas da massa do fruto com o comprimento e diâmetro de frutos, indicando que as duas últimas características estão diretamente relacionadas com a massa do fruto. Essa correlação positiva também foi constatada entre diâmetros longitudinal e transversal para a massa dos frutos e rendimento da polpa (Pereira et al., 2021; Sales et al., 2024). Quando essas correlações são positivas e de alta magnitude, os caracteres podem ser considerados uma única unidade de seleção (Costa et al., 2015).

Ainda analisando as correlações do CP1, observa-se que o pH ocupa o eixo negativo desse componente (Figura 7) e correlacionou-se negativamente com o componente, o que indica que frutos de maior tamanho apresentaram valores mais baixos de pH, portanto, níveis de acidez mais elevados.

O pH é uma característica importante de avaliação da qualidade do fruto, uma vez que exerce influência sobre seu tempo de conservação ao limitar o desenvolvimento de microrganismos e influenciar a atividade enzimática, sem promover alterações no sabor-odor de produtos processados de frutas (Dutra et al., 2017). O avanço da maturação pode aumentar os valores de pH dos frutos por causa das atividades enzimáticas e senescência e diminuir a acidez (Chavan et al., 2023), sendo recomendável colher os frutos em estádios menos avançados de maturação, sobretudo por ser o umbu um fruto climatérico com elevada taxa respiratória (Menezes et al., 2017).

Ao analisar as características químicas dos frutos, verificou-se que estas ocupam o eixo negativo do CP1 e positivo do CP2 (Figura 7). Embora a correlação de Pearson tenha sido significativa para os dois componentes principais ($p < 0,01$), os autovetores indicaram que o CP2 foi o componente que melhor explicou essas variáveis. Dessa forma, os frutos que apresentaram maiores teores de sólidos solúveis (SS) também apresentaram maiores valores de ratio (SS/AT), vitamina C e compostos fenólicos.

A correlação positiva entre SS e ratio é uma resposta esperada no processo de avanço da maturação fisiológica dos frutos, quando ocorre a transformação de ácidos orgânicos em açúcares ao longo do processo de amadurecimento, ocasionando a redução da acidez à medida que há acréscimo na disponibilização de açúcares. É importante compreender que todas as moléculas solúveis em água, como açúcar, ácidos, vitaminas e os minerais, são chamados de sólidos solúveis (Chavan et al., 2023), embora os açúcares contribuam com maior percentual para esse parâmetro de qualidade (Chitarra e Chitarra,

2005).

A correlação positiva entre os atributos de vitamina C, compostos fenólicos, SS e ratio, no CP2, indica que é característica dos acessos. De modo geral, observou-se que os frutos com valores superiores para ratio apresentaram maiores conteúdos de ácido ascórbico e compostos fenólicos totais. Portanto, nesses acessos, os valores mais elevados para ratio estão associados a maiores conteúdos de vitamina C e compostos fenólicos totais.

O conteúdo de ácido ascórbico nas células vegetais é atribuído ao genótipo de cada espécie e são controlados por processos que ocorrem no desenvolvimento (Martí et al., 2018; Zheng et al., 2022). Variações entre frutas são verificadas em função das fases de desenvolvimento do fruto, havendo diminuição, aumento ou picos na concentração desse nutriente que está relacionado diretamente com a expressão de genes, que podem sintetizar como degradar a molécula, ativando e desativando enzimas responsáveis por esses processos (Liang et al., 2017).

O ácido ascórbico também pode ter sua síntese afetada pela combinação de fatores ambientais, como temperatura e índice pluviométrico. Essa molécula desempenha um papel importante na resistência dos vegetais ao estresse oxidativo, a exemplo daqueles causados por fatores abióticos (Araújo et al., 2012; Seminario et al., 2017). Portanto, a diferença entre os acessos, quanto ao seu conteúdo, sugere a necessidade de outros estudos para avaliar o metabolismo de síntese desses compostos de importância funcional em umbuzeiros.

Compostos bioativos presentes nas frutas, a exemplo dos fenólicos e ácido ascórbico, têm propriedades antioxidantes que vêm despertando interesse de pesquisadores. Embora alguns compostos bioativos estabeleçam correlações positivas entre si, pouco tem sido relatada a existência de correlações positivas entre compostos fenólicos totais e ácido ascórbico em vegetais, como ocorrido em frutos deste estudo. No entanto, correlação positiva entre esses componentes foram verificadas por Souza et al. (2018) em uvas, o que sugere que essa correlação tenha sido ocasionada por outros fatores nos acessos estudados.

A atividade antioxidante dos vegetais pode ser afetada por fatores ambientais que podem alterar o conteúdo de compostos responsáveis por essa atividade, a exemplo de alguns compostos fenólicos (Martí et al., 2017). Todavia, alguns desses compostos podem não ser afetados pelas alterações nos fatores abióticos, tal como o conteúdo de tanino (Araújo et al., 2012). Com base nisso, é válido avaliar o conteúdo das moléculas químicas

que compõem esse grupo de bioativos em frutos de diferentes matrizes e diferentes condições ambientais, a fim de se obter respostas mais detalhadas de sua qualidade funcional entre os genótipos.

O segundo componente (CP2) apresentou as maiores correlações para as variáveis AT, negativamente, e IT e ratio, positivamente (Figura 7). Essa correlação ainda pode ser interpretada pela relação com os processos fisiológicos da maturação, uma vez que o índice tecnológico está relacionado com o teor de sólidos solúveis na polpa que, junto com a acidez titulável, constituem indicadores da maturação dos frutos.

Durante o amadurecimento das frutas, ocorrem reações de síntese e degradação, promovidas pelo metabolismo do etileno e da respiração, causando alterações nas suas propriedades físicas e químicas (Fagundes et al., 2015). Na maturação ocorre a diminuição da acidez titulável, provocada pela degradação dos ácidos orgânicos, neste caso, o ácido cítrico, enquanto os sólidos solúveis sofrem acréscimo causado pela hidrólise de amido. Portanto, essa correlação negativa entre as variáveis era esperada e corrobora outros autores (Chaves Neto e Silva, 2019; Costa et al., 2021).

Observa-se, conforme o agrupamento dos acessos de umbu para as características químicas e físicas da pós-colheita, que os acessos A4, A5, A6 e A13 agruparam-se em função das características físicas dos frutos (Figura 7), o que pode ser explicado pelo fato desses mesmos acessos serem caracterizados, em sua maioria, como gigantes, uma vez que seus frutos apresentam massa média superior a 70g, maiores valores de massas de casca, polpa e endocarpo, assim como os maiores valores referentes ao tamanho. O acesso A16, embora não seja gigante, apresenta tamanho grande, acima de 50g, conforme Neves (2023).

Observando o agrupamento dos acessos no quadrante superior esquerdo, destacam-se os acessos A9, A10 e A11 em função das características químicas (Figura 7) com boa qualidade química, sendo aqueles que apresentaram maiores índices de SS, ratio, vitamina C e compostos fenólicos. Essa melhor composição química para consumo *in natura* e processamento industrial pode indicar a influência do genótipo sobre a expressão das características de qualidade dos frutos, uma vez que, na mesma propriedade, foram avaliados os acessos A8 e A21, submetidos às mesmas condições edafoclimáticas e não se agruparam da mesma forma. O acesso A7 se destacou de forma negativa, uma vez que seus frutos, além de pequenos, apresentaram menor qualidade química que os demais. Os acessos de tamanho grande e gigante A4, A5, A6, A13 e A16 não apresentaram qualidade química de excelência, embora o 6T1 tenha apresentado

desempenho superior dentro desse grupo, sendo necessário avaliá-los em anos consecutivos.

A quantidade de sólidos solúveis e açúcar nas frutas e vegetais é diretamente proporcional à sua massa, sendo o sabor da fruta diretamente afetado pelo teor de sólidos solúveis (Zhang et al., 2019). Segundo Volpe et al. (2000), a disponibilidade de água e a temperatura são fatores que exercem forte influência na qualidade da fruta. A umidade excessiva, proporcionada por longos períodos de chuva, aumenta o tamanho dos frutos como resposta fisiológica da planta, mas dilui os sólidos solúveis, ácidos e outros componentes. Por outro lado, períodos de aridez também afetam de forma adversa o desenvolvimento do fruto, a fotossíntese, com menor acúmulo de amido e, conseqüentemente, menor conteúdo de açúcar (Medyouni et al., 2021).

Destaca-se entre os genótipos avaliados, os acessos A7 e A12, que além de apresentarem as menores massas de fruto, 12,1g e 10,9g, respectivamente, apresentaram característica peculiar quanto à frutificação que ocorre em cachos. O acesso A7 (Figura 8) produz maior número de frutos por cacho. Lima e Castricini (2019) apresentaram o genótipo BGU47, que apresenta frutificação em formato de cacho, parecido com o acesso A7.



Figura 8 - Frutos em cacho produzidos pelo acesso 7, Anagé-BA.

4.3 Variáveis de cor na casca e polpa de frutos de umbu

A análise de componentes principais (ACP) para as características de cor dos frutos considerou os dois primeiros fatores que acumularam autovalor de 60,88% (Tabela 9). O primeiro e o segundo componentes principais são resultados da combinação das 8 variáveis estudadas e ambas explicaram 41,12% e 19,76% da variância, respectivamente.

Tabela 9. Autovalores e proporção acumulada de análise do componente principal para as características de cor dos frutos de umbu

Componente	Autovalores	Proporção	Proporção acumulada
1	3,289758	0,4112	0,4112
2	1,580463	0,1976	0,6088
3	1,198077	0,1498	0,7585
4	0,69074	0,0863	0,8449
5	0,619144	0,0774	0,9223
6	0,375415	0,0469	0,9692
7	0,176026	0,022	0,9912
8	0,070378	1	

O primeiro componente (CP1) correlacionou-se positivamente com as variáveis luminosidade da casca e da polpa (L*C e L*P) e a coordenada b* da casca dos frutos, e negativamente com os ângulos de tonalidade (°hue) da casca e da polpa (Figura.9). O segundo componente (CP2) se correlacionou com o ângulo hue da casca (°hC) e negativamente com a coordenada a* da casca (Tabela 10).

Tabela 10. Coeficientes de correlação de Pearson para as coordenadas de cor luminosidade da casca (L*C), a* da casca (a*C); b* da casca (b*C), ângulo hue da casca (°hC), luminosidade da polpa (L*P), a* da polpa (a*P), b* da polpa (b*P) e ângulo hue da polpa (°hP) para os componentes principais CP1 e CP2

	Características químicas e outras							
	L*C	a*C	b*C	°hC	L*P	a*P	b*P	°hP
CP1	0,706**	0,328**	0,627**	-0,75**	0,831**	0,443**	0,459**	-0,79**
CP2	-0,128 ^{ns}	-0,90**	0,446**	0,478**	0,317**	0,133**	0,445**	0,077 ^{ns}

*: Significativo (p<0,05); **: Significativo (p<0,01); ^{ns}: Não significativo (p>0,05).

O posicionamento das coordenadas b* no eixo positivo da CP1 está relacionado com a coloração amarelada da casca e da polpa dos frutos, uma vez que maiores valores de b* ocorrem em frutos de cor amarela. Os acessos que se agrupam com essa

característica de cor apresentaram maiores valores para essa coordenada. Os acessos A8 e A21 apresentaram menor tendência para essa coloração na casca e na polpa.

Em relação à luminosidade (L^*C e L^*P), houve similaridade entre essas características que se correlacionaram de forma negativa com os acessos de frutos maiores, indicando que esses genótipos se agruparam e se caracterizam por casca e polpa mais escura (Figura9). Todavia, o acesso A8 foi o que apresentou menor intensidade de luz em relação aos demais. Como a coordenada L^* da polpa e da casca é indicativa de intensidade de luz, a redução dos valores das coordenadas L^* e b^* implicam em frutos com cores mais escuras (Nuncio-Jáuregui et al., 2014).

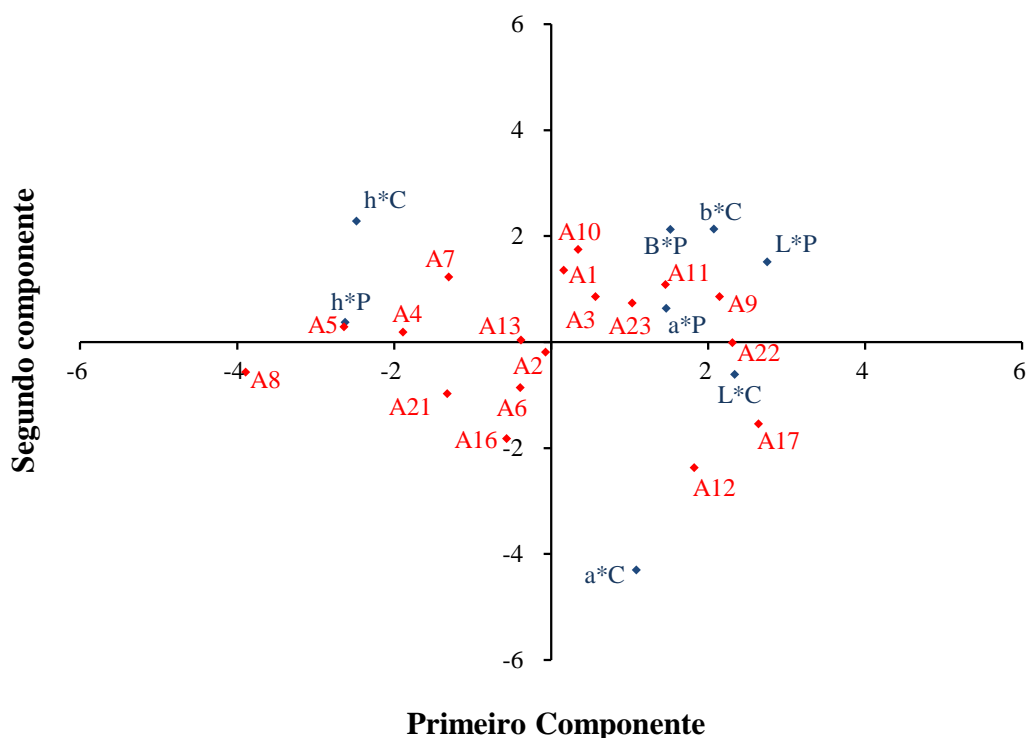


Figura 9. Análise de componentes principais (ACP) para as coordenadas de cor (sistema CIEL*a*b*), representadas pela cor preta, sendo L^*C : luminosidade da casca; a^*C : coordenada de cor a^* da casca; b^*C : coordenada de cor b^* da casca; h^*C : ângulo hue da casca; L^*P : luminosidade da polpa; a^*C : coordenada de cor a^* da polpa; b^*C : coordenada de cor b^* da polpa; h^*C : ângulo hue da polpa e coloração vermelha para os acessos numerados de 1 a 13, 16 e 17, 21,22 e 23 dos municípios de Anagé, Aracatu e Caraíbas.

Com relação ao segundo componente principal (CP2), foi possível verificar que houve correlação negativa entre os valores de a^*C e h^*C . Portanto, os frutos com maiores

valores do ângulo hue ($^{\circ}\text{hC}$) apresentaram valores mais negativos para a coordenada a^* , o que demonstra que esses acessos tenderam para uma coloração de casca de verde mais intenso. De modo geral, essa coordenada é utilizada para avaliar o grau de maturação dos frutos, no entanto, considerando a padronização do estágio de maturação dos acessos avaliados, a diferença nessas coordenadas pode ser um indicativo de variabilidade fenotípica entre eles.

Por outro lado, os frutos dos acessos que apresentaram valores menos negativos, como o A12 e A17 para a coordenada a^* , apresentaram menores valores do ângulo hue, o que indica uma coloração verde-amarelada da casca. Essa menor predominância de verde, observada nos frutos, pode estar diretamente relacionada ao menor teor de clorofila nas suas cascas (Ribeiro et al. 2019), indicando que, nesses acessos, há maior degradação de clorofilas na casca nesse estágio de maturação.

Verificou-se a presença de coloração arroxeadada no ápice até a região mediana dos frutos do acesso A6, diferentemente de outros frutos (Figura 10). Durante a maturação, é comum ocorrer a degradação das clorofilas dos frutos, revelando pigmentos que estavam mascarados pela clorofila, como as antocianinas e carotenoides (Chen et al., 2022).



Figura 10 - Frutos dos acessos A6 (A) e A4 (B).

A degradação das clorofilas dos frutos pode ser acelerada pela presença do etileno, além da ação de outros fatores, como temperaturas mais altas e presença de luz. De qualquer modo, essa característica de cor, presente apenas em alguns materiais genéticos, provavelmente, indica expressão genética diferenciada. Um estudo com variedades de frutas de cor verde da mesma família do umbu constatou que a expressão de genes envolvidos na biossíntese de carotenoides e antocianinas, durante o período de

amadurecimento dos frutos, foi baixo, contribuindo para menor teor de carotenoides e antocianinas na casca, o que pode ser a principal razão para a retenção da cor da casca nesses genótipos (Karanjalker et al., 2018).

5. CONCLUSÕES

Os umbuzeiros apresentam variabilidade fenotípica expressa nos caracteres físicos e químicos dos frutos, o que é fundamental para sua conservação e seleção para utilização em programas de melhoramento.

Os frutos de umbu, de modo geral, possuem características químicas aceitáveis para o processamento industrial, no entanto, por apresentarem maior tamanho, os acessos A4, A5, A6 e A13 são mais adequados para consumo *in natura*, como frutos de mesa, e podem ser selecionados por essa característica de grande interesse.

Há divergência no tamanho genoma entre grupos de acessos de umbuzeiros, o que é altamente relevante para o melhoramento da espécie.

6. REFERÊNCIAS

- Almeida, C. C. S.; Carvalho, P. C. L.; Guerra, M. Karyotype differentiation among *Spondias* species and the putative hybrid umbu-cajá (Anacardiaceae). **Botanical Journal of the Linnean**, v. 155, n. 1, p. 541-547, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00721.x>
- Alves, T. P.; Silva, R. A. C. da.; Santos, N. S.; Silva, J. C. de S.; Dantas, F. A. L. Qualidade pós-colheita de frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) armazenados sob atmosfera modificada. *Diversitas Journal*, v. 5, n. 3, p: 1523-1535, 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i3-1193
- Akbarzadeh, M.; Van Laere, K.; Leus, L.; De Riek, J.; Van Huylenbroeck, J.; Werbrouck, S.P.O.; Dhooche E. Can knowledge of genetic distances, genome sizes and chromosome numbers support breeding programs in hardy geraniums? **Genes**, v.12, n.5, 730, 2021. <https://doi.org/10.3390/genes12050730>
- Aoac - **Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of AOAC International**, 20th Edition, Gaithersburg, USA, 2016.
- Araújo, D.; Sebben, A. M.; Zanatto, A. C. S.; Zanata, M.; Morais, E; Moraes, M. L. T.; Freitas, M. L. M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Astronium graveolens* Jacq. (Anacardiaceae). **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 61-68, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602014000100008>
- Araújo, F. P.; Aidar, S. T.; Matta, V. M.; Monteiro, R. P.; Melo, N. F. **Extrativismo do umbu e alternativas para a manutenção de áreas preservadas por agricultores familiares em Uauá, BA**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 21 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 272). 2016.
- Araújo, T. A. S.; Almeida E Castro, V. T. De; Amorim, E. L.; Albuquerque, U. P. Habitat influence on antioxidant activity and tannin concentrations of *Spondias tuberosa*. **Pharmaceutical Biology**, v. 50, n. 6, p. 754-759, 2012. <https://doi.org/10.3109/13880209.2011.630673>
- Balbino, E.; Caetano, B.; Almeida, C. Phylogeographic structure of *Spondias tuberosa* Arruda Câmara (Anacardiaceae): seasonally dry tropical forest as a large and continuous refuge. **Tree Genet Genomes**, v. 14, n. 5, p. 1 – 8, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1279-4>
- Balbino, E., Martins, G., Morais, S., & Almeida, C. Genome survey and development of 18 microsatellite markers to assess genetic diversity in *Spondias tuberosa* Arruda Câmara (Anacardiaceae) and crossamplification in congeneric species. **Molecular Biology Reports**, 46(3), 3511-3517, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04768-w>
- Bandeira Neto, N. C.; Sousa Ramos Filho, F. L. Rendimento de polpa e morfometria de frutos e sementes em progênies de camucamuzeiro (*Myrciaria dubia*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 2, p. 339 – 345, 2023. <http://dx.doi.org/10.5965/223811712222023339>

Bastos, J. S.; Martínez, E. A.; Souza, S. M. A. Características físico-químicas da polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) comercial: efeito da concentração. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.3, n.1, p. 11-16, 2016. <http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v3i1.48>

Boeing, A. H., Longo, C., & Kuhnen, S. **Perfil de compostos fenólicos solúveis e insolúveis e atividade antioxidante em farinhas de variedades crioulas de milho após processamento térmico para produção de polenta**. In: Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas, v. 3, pp. 179-194, 2022. Editora Científica Digital.

Bourge, M.; Brown, S. C.; Siljak-yakovlev, S. Flow cytometry as tool in plant sciences, with emphasis on genome size and ploidy level assessment. **Genetics & Applications**, v. 2, n.2, p. 1, 2018. <https://doi.org/10.31383/ga.vol2iss2pp1-12>.

Brasil - Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 37**, de 1 de outubro de 2018.

Burle, M. L.; Oliveira, M. S. P. de. **Manual de curadores de germoplasma-Vegetal: caracterização morfológica**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 15p.
Cairone, F.; Carradori, S.; Locatelli, M.; Casadei, M. A.; Cesa, S. Reflectance colorimetry: a mirror for food quality—a mini review. **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 1, p. 259–272, 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-019-03345-6>

Campos, C. O, Lopes, T. D. V. C.; Monteiro, G. C.; Lima, G. P. P. Caracterização de umbu (*Spondia tuberosa*) durante seu desenvolvimento. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 19, n. 2, p. 1 – 8, 2018.

Cangussu, L. B.; Fronza, P.; Franca, A. S.; Oliveira, L. S. Chemical Characterization and Bioaccessibility Assessment of Bioactive Compounds from Umbu (*Spondias tuberosa* A.) Fruit Peel and Pulp Flours. **Foods**, v.10, 2597, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10112596>

Chavan, P.; Lata, K.; Kaur, T.; Jambrak, A. R.; Sharma, S.; Roy, S.; Sinhmar, A.; Thory, R.; Singh, G. P.; Aayush, K.; Rout, A. Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 30, n. 418, 135916, 2023. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135916>

Chaves Neto, J. R.; Silva, S. M. Caracterização física e físico-química de frutos de *Spondias dulcis* parkinson de diferentes microrregiões do estado da Paraíba. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, p. 18–28, 2019. <http://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n2.a28>

Chen, M.; Gu, H.; Wang, L.; Shao, Y.; Li, R.; Li, W. Exogenous ethylene promotes peel color transformation by regulating the degradation of chlorophyll and synthesis of anthocyanin in postharvest mango fruit. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, n. 1, 911542.

2022. <http://doi.org/10.3389/fnut.2022.911542>

Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. **Pós-colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2d. Lavras: UFLA/FAEPE, 2009. 523 p.

Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros. 2024. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 30 mai. 2024.

Conceição, M.J.F.; Barros, R.P. Biometria de frutos e sementes comercializados em feiras livres. **Revista da Universidade Estadual de Alagoas**, v.12, n. 3, p.16-31, 2020. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v12i3.230>

Costa, F. R.; Rêgo, E. R.; Rêgo, M. M.; Neder, D. G.; Silva, S. M.; Schunemann, A. P. P. Análise biométrica de frutos de umbuzeiro do semiárido brasileiro. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 682- 690, 2015. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22844>

Costa, N. P.; Luz, T. L. B.; Gonçalves, E. P.; Bruno, R. L. A. Caracterização físico-química de frutos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.), colhidos em quatro estádios de maturação. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 2, p. 65-71, 2004.

Costa, R. S.; Ataíde, E. M.; Bastos, D. C. Caracterização física e química de frutos de umbugueira (*Spondias* sp.) no semiárido pernambucano. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e236101724838, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24838>

Cruz, C. D.; Carneiro, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético, Viçosa, MG, UFV, vol. 2, cap. 6, 357-434 p., 2003.

Dantas Junior, O. R. **Qualidade e capacidade antioxidante total de frutos de genótipos de umbuzeiro oriundos do semi-árido nordestino**. 2008. p. 90. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.

Diniz, A. B.; Oliveira, D. R. Composição química da laranja kinkan e de frutas cítricas. **Artigos de tema livre**, v. 10, n. 5, p. 835-844, 2015. <https://doi.org/10.12957/demetra.2015.16726>

Doležel, J.; Greilhuber, J.; Suda, J. (Eds.). **Flow cytometry with plant cells: analysis of genes, chromosomes and genomes**. John Wiley & Sons. 2007

Doležel, J.; Greilhuber, J.; Suda, J. Estimation of nuclear DNA content in plants using flow cytometry. **Nature protocols**, v. 2, n. 9, p. 2233-2244. 2007.

Donato, S. L. R.; Arantes, A. L.; Gonçalves, N. P.; Matos, F. S.; Rodrigues, M. G. V.; Saturnino, H. M. Aspectos ecofisiológicos, morfológicos, fenológicos e de produção do umbuzeiro e da umbucajazeira. 2019. **Informe Agropecuário**, v. 40, n. 309, 7-17, 2019a.

Donato, S. L. R.; Gonçalves, N. P.; Santos, L. J. S.; Saturnino, H. M.; Arantes, A. M.; Londe L. C. N.; Cardoso, M. M. Prospecção e avaliação de acessos de umbuzeiro. **Informe Agropecuário**, v.40, n.309, p.52–64, 2019.

- Donato, S. L. R.; Castricini, A.; Rodrigues, M. G. V.; de Deus, J. S.; Arantes, A. M. Pires, E. S. Proposal of classes for umbu commercialization. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.46, 2024, e-516 DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452024516>
- Drummond, M. A.; Santos, C. A. F.; Moura, M. S. B.; Cunha, T. J. F.; Araújo, J. L. P.; Oliveira, V. R.; Sá, I. B.; Taura, T. A. **Caracterização ambiental do Semiárido**. In: Umbuzeiro: Avanços e perspectivas. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. p. 17- 52.
- Durazzo, A.; Lucarini, M.; Souto, E. B.; Cicala, C.; Caiazzo, E.; Izzo, A. A.; Novellino, E.; Santini, A. Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. **Phytotherapy Research**, v. 33, n. 9, p. 2221–2243, 2019. <https://doi.org/10.1002/ptr.6419>
- Dutra, F. V.; Cardoso, A. D.; Morais, O. M.; Viana, A. E. S.; Melo, T. L.; Cardoso Júnior, N. S. Características físicas e químicas de acessos de umbuzeiros (*Spondias tuberosa* Arr. Cam). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n.4, p. 814-822. 2017. <https://doi.org/10.19084/RCA17027>
- Fagundes, C.; Moraes, K.; Pérez-Gago, M. B.; Palou, L.; Maraschin, M.; Monteiro, A. R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, n. 1, p. 73–81, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat Database Gateway**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 13 de julho de 2024.
- Faustino, C. F. A., Araújo Faustino, E. F.; Silva, R. J.; Costa, B. L.; Souza, P. A.; Silva Freitas, R. V. Avaliação do comportamento pós-colheita dos frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* L.) submetidos ao revestimento com cera de abelha e fécula de mandioca. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 2, e422778, 2023. <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i2.2778>
- Ferreira, G.R.; Fidêncio, P.H.; Castricini, A.; Andrade, R.Q.; Silvério, F.O. Volatile compounds of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda) fruits during post-harvest ripening from two accessions. *Food Science and Technology*, v.42, e108721, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.42321>
- Fonseca, N.; Machado, C. de F.; Silva Junior, J. F.; Carvalho, R. S.; Ritzinger, R.; Alves, R. M.; Maia, M. C. C. **Umbu: cajá e espécies afins: *Spondias* spp.** Embrapa Mandioca e Fruticultura-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 2017.
- Frawley, L.E.; Orr-Weaver, T. L. Polyploidy. **Current Biology**, v. 25, n. 9, R353-8, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.03.037>
- Freitas, J. S.; Novo, A. A.; Kunigami, C. N.; Moreira, D. L.; Freitas, S. P.; Matta, V. M.; Jung, E. P. Ribeiro, L. O. *Spondias tuberosa* and *Spondias mombin*: Nutritional Composition, Bioactive Compounds, Biological Activity and Technological Applications. **Resources**, v. 13, 68, 2024. <https://doi.org/10.3390/resources13050068>

Freitas, S.T.; Oliveira, V. R. **Colheita e pós-colheita de umbu para o consumo *in natura***. Circular técnica. Emprapa. Petrolina, 2021.

Ganga, R. M. D.; Chaves, L. C.; Naves, R. V.; Nascimento, J. L. Caracterização de frutos e árvores de populações naturais de *Hancornia speciosa* Gomes do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 101-113, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000019>

Gondim, P. J. S. **Identificação de carotenoides e quantificação de compostos bioativos e atividade antioxidante em frutos do gênero *Spondias***. 2012. p.104. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB.

Guimarães, R.C.; Oliveira, A. P. L. de; Conceição Junior, V.; Nunes, R. C. S.; Ganem, E. L. O.; Vieira, V. S. Projeto Umbu Gigante: Projeto Umbu gigante: estímulo ao cultivo do umbu gigante pela agricultura familiar do Território Sudoeste Baiano. **Revista Extensão & Cidadania**, [S. l.], v. 11, n. 19, p. 215-229, 2023. DOI: 10.22481/recuesb.v11i19.12381.

Heslop-Harrison, J. S. (Pat.); Schwarzacher, T.; Liu, Q. Polyploidy: its consequences and enabling role in plant diversification and evolution. **Annals of Botany**, v. 131, 1–9, 2023. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac132>

Husband, B. C.; Baldwin, S. J.; Suda, J. The incidence of polyploidy in natural plant populations: Major patterns and evolutionary processes. **Plant genome diversity**, v. 2, n. 1, p. 255–276, 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1160-4_16

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção agrícola municipal e da Silvicultura**. 2021. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>> Acesso em: 13 de Julho de 2024.

Instituto Adolfo Lutz – IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

ISO 14502. Determination of substances characteristic of green and black tea: Content of total polyphenols in tea – Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent. Hong Kong. 1:2005.

Jara-Seguel, P.; Jara-Arancio, P.; Andrade, E., Urrutia-Estrada, J., Palma-Rojas, C., Araya-Jaime, C. (2021) Cytogenetics of wild species of the Alstroemeriaceae family (Liliales). **Plant Systematics and Evolution**, v. 307, n. 34. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00606-021-01756-1>.

Jiménez, P.; Collada, C. Técnicas para la evaluación de la diversidad genética y su uso en los programas de conservación. **Forest Systems**, v. 9, n. 4, p. 237-248, 2000.

Karanjalkar, G. R.; Ravishankar, K. V.; Shivashankara, K. S.; Dinesh, M.R.; Roy, T.K.; Sudhakar Rao, D. V. A study on the expression of genes involved in carotenoids and anthocyanins during ripening in fruit peel of green, yellow, and red colored mango cultivars. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 184, n.1, p. 140 – 154, 2018.

<https://doi.org/10.1007/s12010-017-2529-x>

Ketsa, S.; Warrington, I. J. Anthocyanin physiology and biochemistry in fleshy fruit species: Mangosteen as a model. *Crop Science*, v. 64, p. 1987–2013, 2024. DOI: 10.1002/csc2.21291

Kubola, J.; Siriamornpun, S. Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng.). **Food Chemistry**, v.127, n. 3, p. 1138–1145. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>

Liang, D.; Zhu, T.; Ni, Z.; Lin, L.; Tang, Y.; Wang, Z.; Wang, X.; Wang, X.; Xiulan, L.; Xia, H. Ascorbic acid metabolism during sweet cherry (*Prunus avium*) fruit development. **PLoS One**, v. 12, n. 2, e0172818, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172818>

Lima e Castricini, 2019. Qualidade e pós-colheita do umbu. In: Lima Filho, J.M.P. **Ecofisiologia do Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arr. Câm.)** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 24p. (Embrapa Semiárido Documentos, 240).

Lima Filho, J.M.P.; Aidar, S. de T. **Ecofisiologia**. In: Drumond, M.A; Aidar, S. de T.; Nascimento, C.E. De S.; Oliveira, V.R. (Ed.). Umbuzeiro: avanços e perspectivas. Brasília: Embrapa, 2016. Cap.4, p.117-146.

Lima, M. A. C; Silva, S. M. **Qualidade e conservação pós-colheita**. In: Drumond, M. A.; Aidar, S.T.; Nascimento, C. E. S.; Oliveira, V. R.. Umbuzeiro: avanços e perspectivas. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. p. 177 – 215.

Lima, M. A. C; Silva, S. M.; Oliveira, V. R. **Umbu - *Spondias tuberosa***. In: Rodrigues, S.; Silva, E. O.; Brito, E. S. Exotic fruits reference guide. Londres: Academic press, 2018. p. 427-433.

Lima; M.A.C.; Castricini, A. Qualidade e pós-colheita do umbu. **Informe Agropecuário**. v. 40, n. 307, p. 80-90,2019

Lins Neto, E. M. F.; Almeida, A. L. S.; Peroni, N.; Castro, C. C.; Albuquerque, U. P. Phenology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) under different landscape management regimes and proposal for a rapid phenological diagnosis using local knowledge. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**. v. 9, p.1 - 13, 2013. <http://dx.doi.org/10.1186/1746-4269-9-10>.

Lopes, J. M.; Carvalho, H. H.; Zorzatto, C.; Azevedo, A. L. S.; Machado, M. A.; Salimena, F. R. G.; Grazul, R. M.; Gitzendanner, M. A.; Soltis, D. E.; Soltis, P. S.; Viccini, L. F. Genetic relationships and polyploid origins in the *Lippia alba* complex. **American Journal of Botany**, v.107, n.3, p. 466-476, 2020. <http://dx.doi.org/10.1002/ajb2.1443>

Machado, M. C.; Carvalho, P. C. L.; van den Brg, C. Domestication, hybridization, speciation, and the origins of an economically important tree crop of *Spondias* (Anacardiaceae) from the Brazilian Caatinga dry forest. **Neodiversity**, v. 8, n. 1, p. 8–

49. 2015. <http://dx.doi.org/10.13102/neod.81.2>

Martí, R.; Leiva-Brondo, M.; Lahoz, I.; Campillo, C.; Cebolla-Cornejo, J.; Roselló, S. Polyphenol and l-ascorbic acid content in tomato as influenced by high lycopene genotypes and organic farming at different environments. **Food Chemistry**, v. 239, p. 148–156, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.102>

Martins, G.; Balbino, E.; Marques, A.; Almeida, C., 2019. Complete mitochondrial genomes of the *Spondias tuberosa* Arr. Cam and *Spondias mombin* L. reveal highly repetitive DNA sequences. **Gene**, v. 720, 144026. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.144026>.

Medyouni, I.; Zouaoui, R.; Rubio, E.; Serino, S.; Ahmed, H.B.; Bertin, N. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. **Food Science & Nutrition**, v.1949–1960, 2021. DOI: 10.1002/fsn3.2160

Melo, E. A.; Andrade, R. A. M. S. Compostos bioativos e potencial antioxidante de frutos do umbuzeiro. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 3, p. 453-457, 2010.

Menezes, P. H. S.; Souza, A. A.; Silva, E. S.; Medeiros, R. D.; Barbosa, N. C.; Soria, D. G. Influência do estágio de maturação na qualidade físico-química de frutos de umbu (*Spondias tuberosa*). **Scientia Agropecuaria**, v. 8, n. 1, p. 73-78, 2017. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.01.07>

Menzel, C.M. Effect of Temperature on Soluble Solids Content in Strawberry in Queensland, Australia. *Horticulturae*, v. 8, 367, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050367>

Mertens, J.; Germer, J.; Siqueira Filho, J. A.; Sauerbonr, J. *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), a threatened tree of the Brazilian Caatinga? **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, p. 542- 552, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.18715>

Minutolo, M., Chiaiese, P., Di Matteo, A., Errico, A., and Corrado, G. (2020). Accumulation of ascorbic acid in tomato cell culture: influence of the genotype, source explant and time of in vitro cultivation. **Antioxidants**, v. 9, 222, 2020. doi: 10.3390/antiox9030222

Mitchell, J.D.; Daly, D. C. A revision of *Spondias* L. (Anacardiaceae) in the Neotropics. **PhytoKeys**, v. 55, n. 1, p. 1-92, 2015. <http://dx.doi.org/10.3897/phytokeys.55.8489>

Motta, J. D.; Queiroz, A. J. L.; Figuerêdo, R. M. F.; Sousa, K. S. M. Índice de cor e sua correlação com parâmetros físicos e físico-químicos de goiaba, manga e mamão. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.1, p.74-82, 2015. <https://doi.org/10.14295/cs.v6i1.698>

Muniz, T.; Araújo, H.; Paiva, E. G.; Oliveira, I. B. de.; Martins, M. E. D.; Cavalcanti-Mata, M.; Lisboa, H. M.; Pasquali, M. A. B. Preservation of vitamin C and phenolic compounds from Umbu(*spondias tuberosa* arr. Cam.) via spray drying. Preprints. 2020, 2020080052.doi:10.20944/preprints202008.0052.v1

Nascimento, V. T. Do; Campos, L. Z. D. O. (2021). Famine Foods: Thoughts from a

Caatinga Research Experience. In: **Local Food Plants of Brazil** (pp. 161-176). Cham: Springer International Publishing. 2021.

Neves, O. S. C. **Umbuzeiro: uma alternativa para o semiárido**. Vitória da Conquista: Edições UESB, 2023. 191p.

Nuncio-Jáuregui, N.; Calín-Sánchez, A.; Carbonell-Barrachina, A.; Hernández, F. Changes in quality parameters, proline, antioxidant activity and color of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by fruit position within tree, cultivar and ripening stage. **Scientia Horticulturae**, v.165, n. 1, p.181-189, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.021>

Oliveira, M. M.; Galvão, E. K. S.; Souza, C. L. M.; Boaventura, V. J.; Oliveira, L.M.; Castro Neto, M.T.; Pelacani, C.R. Crescimento e partição de massa seca em plantas jovens de amburana (*Amburana cearenses* (Fr. All.) AC Smith) e de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência Florestal**, v.29, n.3, p.1142-1153, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509827189>

Oliveira, L. A. **Manual de laboratório: análises físico-químicas de frutas e mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 248p.

Oliveira, V. R.; Drumond, M. A.; Santos, C. A. F.; Nascimento, C. E. S. **Spondias tuberosa: Umbu**. In: Coradin, L.; Camillo, J.; Pareyn, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste. Brasília, DF: MMA, 2018.

Oliveira, V. R.; Resende, M. D. V.; Nascimento, C. E. S.; Drumond, M. A.; Santos, C. A. F. Genetic variability of provenances and progenies of umbu tree by mixed linear model methodology (REML/BLUP). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 53-56, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000100015>

Pedrosa, A.; Gitai, J.; Silva, A. E. B. E.; Felix, L. P.; Guerra, M. Citogenética de Angiospermas coletadas em Pernambuco: V. **Acta Botanica Brasilica**, v. 13, n. 1, p. 49-60, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061999000100006>

Pereira, F. R. A.; Pereira, W. E.; Pessoa, A. M. S.; Vasconcelos, E. S. A. G. Biometry in Umbu fruits from the semi-arid region of Paraíba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n.6, e-808, 2021. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021808>

Pessoa-Filho, M.; Martins, A. M.; Ferreira, M. E. Molecular dating of phylogenetic divergence between *Urochloa* species based on complete chloroplast genomes. **Genomics**, v. 18, n. 516, 2017. DOI 10.1186/s12864-017-3904-2

Pires, E. S. Amaro, C. L.; Freitas, I. A. S.; Lima, G. H. F.; Ganem, E. L. O.; Matos, F. S. Análise de crescimento de plantas de umbuzeiro sob diferentes concentrações de giberelina. **Revista Agrarian**. v.13, n.48, p.141-150, 2020. [10.30612/agrarian.v13i48.7990](https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i48.7990)

Qio, T.; Liu, Z.; Liu, B. The effects of hybridization and genome doubling in plant evolution via allopolyploidy. **Molecular Biology Reports**, v. 47, p.5549–5558, 2020.

<https://doi.org/10.1007/s11033-020-05597-y>

Reis, A.C.; Sousa, S.M.; Vale, A.A.; Pierre, P.M.O.; Franco, A.L.; Campos, J.M.S.; Vieira, R.F.; Viccini, L.F. *Lippia alba* (Verbenaceae): A New Tropical Autopolyploid Complex?. **American Journal of Botany**, v. 101, n. 6, p. 1002-1012, 2014. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400149>

Reis, A.M.M.; Grattapaglia, D. RAPD variation in a germplasm collection of *Myracrodruon urundeuva* (Anacardiaceae), an endangered tropical tree: recommendations for conservation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.51, n. 1, p.529-538, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:GRES.0000024159.48644.e6>

Ribeiro, L. O.; Pontes, S. M.; Ribeiro, A. P de. O.; Pacheco, S.; Freitas, S. P.; Matta, V. M. Avaliação do armazenamento a frio sobre os compostos bioativos e as características físico-químicas e microbiológicas do suco de umbu pasteurizado. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 20, e2015095, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.9515>

Ribeiro, L. O.; Viana, E. S.; Godoy, R. L. O.; Freitas, S. C.; Freitas, S. P.; Matta, V. M. Nutrients and bioactive compounds of pulp, peel and seed from umbu fruit. **Ciência Rural**, v. 49, n. 4, e20180806, 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180806>

Rocha, J. P. M.; de Souza, P. A.; Silva, R. J.; Costa, B. L.; Silva Lucas, G. K. Caracterização físico-química dos frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) provenientes da cidade de Campo Redondo-RN. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v.5, n.5, e555130, 2024.

Rodrigues, N. L.; Souza, A. L. C.; Oliveira, C. C.; Carvalho, M. C. de.; Lima, B. R.; Akutsu, R. C. C. A.; Lana, V. S.; Raposo, A.; Saraiva, A.; Han, H.; Carvalho, I. M, M. Nutritional and biological attributes of *Spondias tuberosa* (Umbu) fruit: An integrative review with a systematic approach. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 130, 106196, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106196>

Sales, R. P.; Silva, L. C. da.; Neves, A. G. de S.; Fajardo, C. G.; Pinheiro, L. G.; Vieira, F. A. Addressing Conservation Needs: Genetic Diversity and Population Ecology of the Endemic Tree *Spondias tuberosa* Arruda. **Scientifica**, v.2024. n. 1, p. 5023974, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/5023974>

Santana, N. A.; Nunes, V. V.; Silva, M. S. O., Silva-Mann, R. *Spondias tuberosa* Arr. Câm.: a natural population in Sergipe - contributions to the understanding of genetic variability and conservation of the species. **Research Square**, 2024. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3835713/v1>

Santos, C. A. F.; Rodrigues, M. A.; Zucchi, M. I. Variabilidade genética do umbuzeiro no Semi-Árido brasileiro, por meio de marcadores AFLP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1037-1043, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800013>

Santos, C. A. F. Recursos genéticos e pré-melhoramento do umbuzeiro. In: Lederman, I. E.; Lira Júnior, J. S. de; Silva Júnior, J. F. da (Ed.). *Spondias no Brasil: umbu, cajá e*

espécies afins. Recife: IPA; Embrapa Agroindústria Tropical; UFRPE, 2008. p. 91-96.

Santos, C. A. F.; Oliveira, V. R.. Inter-relações genéticas entre espécies do gênero *Spondias* com base em marcadores AFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n. 3, p. 731-735, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000300028>

Santos, C. A. F.; Oliveira, V. R.; Rodrigues, M. A.; Ribeiro, H. L. C.; Drumond, M. A. Estimativas de polinização cruzada em população de *Spondias tuberosa* Arruda (anacardiaceae) usando marcador AFLP. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.691-697, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400013>

Santos, L. J. S.; Arantes, A. M.; Donato, S. L. R.; Brito, C. F. B.; Lima, M. A. C.; Rodrigues Filho, V. A. Leaf contents and biochemical cycling of nutrients in accessions of umbu and umbu-caja. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 690 – 701, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n312rc>

Santos, V.; Almeida, C. The complete chloroplast genome sequences of three *Spondias* species reveal close relationship among the species. **Genetics and Molecular Biology**, v.42, n.1, p.132-138, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2017-0265>

Santos, H. S. N.; Mizobutsi, G. P.; Pinheiro, J. M. Da.; Santos Neto, J. A.; Castricini, A.; Aspiazú, I.; Cruz, C. G. da; Souza, I. P. S.; Jesus, M. O. De; Aguiar, F. S. Physical and Chemical Characterization of Fruits of Different Umbu (*Spondias tuberosa*) Accesses. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 16, 2019. doi:10.5539/jas.v11n16p124

Saraiva, M. M. T.; Martins, L. P.; Araújo, R. D. C., Cruz; O. N. D., Lucena, F. A. D.; Costa, A. D. Colorimetric variation and correlation of biometric parameters between umbu matrices. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, n. 6, e479, 2022. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022479>

Santos, V.N.; Costa, A.E.S.; Santos, C.A.F. Paternity identification in *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae: Sapindales) polycrosses using microsatellite loci. **Genetics and Molecular Research**, v. 20, n.2, 2021. gmr18816. <https://doi.org/10.4238/gmr18816>

Santos, V.N.; Santos, C.A.F. ; Oliveira, V. R.; Costa, A.E.S.; Silva, F. F. S. Diversity and genetic structure of *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae) accessions based on microsatellite loci. **Revista de Biología Tropical**, v. 9, n. 2, p. 640-648, 2021. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.44194>

Sattler, M. C.; Carvalho, C. R.; Clarindo, W. R. The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta*. v. 243, p. 281-296, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2450-x>.

Saturnino, H. M.; Gonçalves, N. P. *Spondias*: umbu, cajámanga, cajá e seriguela. **Informe Agropecuário**, v. 32 n.264, p. 101-113, 2011.

Saturnino, H. M.; Souza, I. Aspectos socioeconômicos do umbuzeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.40, n.307, p.120–31, 2019.

Saturnino, H. M.; Gonçalves, N. P.; Castricini, A.; Cardoso, M. M.; Souza, I. Características botânicas do umbuzeiro e outras Spondias. **Informe Agropecuário**, v.40, n.307, p.7–21, 2019.

Scalisi, A.; O’Connell, M.G.; Islam, M.S.; Goodwin, I. A fruit colour development index (CDI) to support harvest time decisions in peach and nectarine orchards. **Horticulturae**. V. 8, 459, 2022, 8, 459.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8050459>

Secretaria de Comércio Exterior (Secex), 2024. Disponível em:
<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/comercio-exterior>. Acesso em: 23 de maio de 2024.

Seminario, A.; Song, L.; Zulet, A.; Nguyen, H.T.; González, E.M.; Larrainzar, E. Drought stress causes a reduction in the biosynthesis of ascorbic acid in soybean plants. *Front. Plant Science*, v. 8, 1042, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01042

Silva, J.N.; Costa, A.; Silva, J.V.; Almeida, C. DNA barcoding and phylogeny in Neotropical species of the genus *Spondias*. **Biochemical Systematics and Ecology**. v. 61, n. 1, p. 240–243. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.06.005>

Silva, O. S. S.; Lima, J. I. S.; Campos, P. P. Levantamento das espécies frutíferas nativas e exóticas comercializadas na feira livre de Serra Talhada – Pernambuco. In: XIII Congresso Internacional de Tecnologia na Educação. **Anais [...]**, 2015.

Silva, V. P.; Santos, T. B.; Rodrigues, M. A. F.; Varjão, L. L.; Oliveira, V. R.; Freitas, S. T. . Caracterização físico-química de frutos de umbuzeiro para consumo in natura em dois estádios de maturação. In: 2017, Bananeiras, PB. III Encontro Nacional da Agroindústria. Bananeiras, PB: **Anais**, 2017.

Silva, C. M. M. S.; Pires, I. E.; Silva, H. D. **Caracterização dos frutos do umbuzeiro**. Petrolina, PE., EMBRAPA/CPATSA, 1987. 17p. (EMBRAPA/ CPATSA. Boletim de Pesquisa, 34).

Silveira, R. D.; Torres, L. H. P. de S.; Hernandez, K. C.; Santos, R. T. Dos S.; Dantas, B. F.; Biasoto, A. C. T.; Zini, C. A.; Welke, J. E. Instrumental and sensory tools to evaluate the production potential of a new type of sparkling wine from umbu (*Spondias tuberosa*). *Food Bioscience*, v. 60, 104358, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104358>

Sliwinska E. Flow cytometry – a modern method for exploring genome size and nuclear DNA synthesis in horticultural and medicinal plant species. *Folia Horticulturae*, v. 30, n. 1, p. 103–128, 2018. DOI: 10.2478/fhort-2018-001

Sobrinho, S.P.; Figueiredo-Albuquerque, M. C.; Luz, P. B.; Camili, E. C. Caracterização física de frutos e sementes de *Lafoensia pacari*, *Alibertia edulis* e *Genipa americana*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 382-389, 2017.
<http://dx.doi.org/10.19084/RCA16034>

Soltis, P. S. ; D. E. Soltis. The role of hybridization in plant speciation. **Annual Review**

of **Plant Biology**, v. 60, n. 1, p. 561 – 588, 2009.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.043008.092039>

Soltis, D. E., Albert, V. A., Leebens-Mack, J., Bell, C. D., Paterson, A. H., Zheng, C., Sankoff, D.; Pamphillis, C.W.; Wall, P.K.; Soltis, P.S. Polyploidy and angiosperm diversification. **American journal of botany**, v. 96, n.1, p. 336-348, 2009.
<https://doi.org/10.3732/ajb.0800079>

Souza, A. V.; Vieira, M. R. S; Putti, F. F. Correlações entre compostos fenólicos e atividade antioxidante em casca e polpa de variedades de uva de mesa. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017103, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.10317>

Souza, D. D.; Cavalcante, N. B. Biometria de frutos e sementes de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae). **Acta Biológica Catarinense**, v. 6, n. 2, p. 115-122, 2019. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v12i3.230/>

Souza P.H.M.D.; Gomes, F.R.; Silva, G.Z.D.; Rocha, D.I.; Cruz, S.C.S.; Silva, D.F.P.D. Morphological characterization of fruits, endocarp, seed and seedlings of cajá-manga (*Spondias dulcis*). **Revista Ceres**, v. 68, p. 239–2441, 2021.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X202168030010>

Souza, V.C.; Lorenzi, H. **Botânica Sistemática**. 3ª ed., Instituto Plantarum. Nova Odessa, 2012.

Stebbins G. L. **Chromosomal evolution in higher plants**. London: Addison-Wesley, 1971. 209 p.

Stiletto, A.; Trestini, S. Factors behind consumers' choices for healthy fruits: A review of pomegranate and its food derivatives. **Agricultural and Food Economy**, v. 9, n. 31, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40100-021-00202-7>

Strohecker, R.; Henning, H.M. **Análises de vitaminas: métodos comprovados**, Madrid: Paz Montolvo, 1967. 428 p.

Tate, J. A.; Soltis, D. E.; Soltis, P. S. **Polyploidy in plants**. In T. R. Gregory [ed.], The evolution of the genome, 2005. 372–427 p. <https://doi.org/10.1016/B978-012301463-4/50009-7>

Vidal, M.F. **Agropecuária – Fruticultura**. Caderno Setorial ETENE, Banco do Nordeste. n. 228, 2022.

Vidal, M.F.; Ximenes, L.J. F. **Comportamento recente da fruticultura nordestina: área, valor da produção e comercialização**. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste. n. 2, 2016.

Volpe, C.A.; Schöffel, E.R.; Barbosa, J.C. Influência de algumas variáveis meteorológicas sobre a qualidade dos frutos de laranjeiras-‘Valência’ e ‘Natal’. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 85-94, 2000.

Xavier, V. L. **Potencial tecnológico de frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.): aproveitamento integral do umbu na elaboração de produtos alimentícios funcionais.** 2019. p. 151. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Xu, C.; Yagiz, Y.; Hsu, W. Y.; Simonne, A.; Lu, J.; Marshall, M. R. Antioxidant, antibacterial, and antibiofilm properties of polyphenols from muscadine grape (*Vitis rotundifolia* Michx.) Pomace against selected foodborne pathogens. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 28, p. 6640– 6649, 2014. <https://doi.org/10.1021/jf501073q>

Yali, W. Polyploidy and its importance in modern plant breeding improvement. **Int. J. Agri. Bioscience**, v. 11, n.1, p. 53-58, 2022. <https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2022.008>

Zeraik, M. L.; Queiroz, E. F.; Marcourt, L.; Ciclet, O.; Castro-Gamboa, I.; Silva, D. H. S.; Cuendet, M.; Bolzani, V. S.; Wolfender, J. L. Antioxidants, quinone reductase inducers and acetylcholinesterase inhibitors from *Spondias tuberosa* fruits. **Journal of Functional foods**, v.21, n.1, p. 396 – 405, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.009>

Zhang, B.; Huang, C.; Zhang, L.; Wang, J.; Huang, X.; Zhao, Y.; Liu, Y.; Li, C. Application of chlorine dioxide microcapsule sustained-release antibacterial films for preservation of mangos. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n.3, p.1095– 1103, 2019. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03636>

Zheng, X.; Gong, M.; Zhang, Q.; Tan, H.; Li, L.; Tang, Y.; Li, Z.; Peng, M.; Deng, W. Metabolism and Regulation of Ascorbic Acid in Fruits. **Plants**. v. 11, 1602, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11121602>