UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ – UESC

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR (PPGGBM)

Cacaueiros Cultivados em Sistema Agroflorestais da Bahia revelam Ampla Variabilidade Genética em caracteres Morfoagronômicos

MARC ERNSO GEORGES

ILHÉUS-BAHIA

2023

MARC ERNSO GEORGES

Cacaueiros Cultivados em Sistema Agroflorestais da Bahia revelam Ampla Variabilidade Genética em caracteres Morfoagronômicos

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz para a obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

Linha de pesquisa: Genética e Melhoramento das plantas

ILHÉUS-BAHIA

2023

MARC ERNSO GEORGES

Cacaueiros Cultivados em Sistema Agroflorestais da Bahia revelam Ampla Variabilidade Genética em caracteres Morfoagronômicos

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz para a obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.
Linha de pesquisa: Genética e Melhoramento das plantas

APROVADA: 14 de junho de 2023

Prof. Dra. Fernanda Amato Gaiotto

(UESC)

Prof. Dra. Jôsie Cloviane de Oliveira Freitas

Prof. Dr. Rafael Marani Barbosa

(UESC)

Profa. Dra. Margarete Magalhães de Souza

(UESC - Orientadora)

Je dédie cette dissertation à Dieu Tout-Puissant qui m'a donné la sagesse, la compréhension et l'opportunité de mener à bien ce travail. Ce travail est particulièrement dédié à mes parents Antoine Georges et Rosemonde Jusma pour m'avoir insufflé le sens des responsabilités et l'enthousiasme de l'âme dès mon plus jeune âge, pour leur amour inconditionnel et leur soutien incomparable.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa o coroamento do meu mestrado em Genética e Biologia Molecular na Universidade Estadual de Santa Cruz. Eu não conseguiria chegar até aqui sem a ajuda de muitas pessoas. Por isso, apresento-lhes os meus mais sinceros sentimentos, em particular:

A minha orientadora científica, Profa. Dra. Margarete Magalhães de Souza, pelo apoio, comentários e dedicação que sempre se mostrou muito preocupada com o meu crescimento pessoal e profissional, não poupando esforços para me ajudar a concluir este trabalho.

Ao Prof. Dr. Ronan Xavier Corrêa, pelo apoio intelectual e benevolência ao longo deste estudo, bem como pela disponibilidade durante as viagens realizadas para as fazendas visando a coleta dos materiais biológicos. Aproveito para agradecer também pelo apoio técnico durante os aprendizados passados na casa de vegetação.

Ao Dr. Cláusio Antônio Ferreira Melo, pelo apoio e atenção durante as análises dos dados, sempre se entregando de corpo e alma para o sucesso deste trabalho.

Aos meus pais, Antoine Georges e Rosemonde Jusma, minhas forças e meu maior incentivo, que sofreram com a distância que nos separa, mas que são eternos companheiros e anjos da guarda.

À minha família, toda a minha gratidão, especialmete meus filhos Marc Ernsley Georges e Jayden Yvender Georges. A Clerger Rose Derline uma pessoa fantástica e incansável. Aos meus irmãos e irmãs: Roseline Georges, Samuel Georges, Nathan Borgela.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de estudos e auxílio deslocamento, possibilitando o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Grupo de Cooperação Internacional de Universidades Brasileiras (GCUB) e à Organização dos Estados Americanos (OEA), pela bolsa de estudo no Programa de Alianças para Educação e Capacitação (PAEC).

A todos os membros dos conselhos da Universidade Estadual de Santa Cruz e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular pela oportunidade de ampliar e aprimorar meus conhecimentos, bem como às pessoas do setor de relações internacionais da Universidade.

Aos meus colegas de laboratório, Marcondes Soares Dias e Monara Guimalhães, obrigado por todas as partilhas, bons momentos, risos, conquistas, todo o incentivo e força.

A todos os colegas da UESC, em especial à Carolina Fernandez, pelos conselhos e valiosa ajuda.

As secretárias do Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, Mara Pereira Alves e Fabrícia Silva, por suas sabedorias, suas capacidades e seus desejos de ajudar os alunos quando eles têm dúvidas. Gratidão pelo apoio e orientação acadêmico-administrativa desde o princípio.

À Sabrina Ferreira de Santana, uma verdadeira amiga de coração, com quem pude contar sempre desde minha chegada à UESC, a qual me apoiou constantemente e ofereceu uma amizade excepcional. Você sempre permanecerá em meu coração.

Aos meus amigos Gorguette Rose-Marie Perle, Andrevil Isma e Dupleix Vital, pela amizade, conselhos e apoio moral.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho, meu muito obrigado!

ÍNDICE

ABSTRACT 16
1. INTRODUÇÃO 18
2. REVISÃO DE LITERATURA 20
2.1 O CACAUEIRO 20
2.2 IMPORTÂNCIA DO CACAUEIRO 23
2.3 DISPERSÃO 25
2.4 DIVERSIDADE GENÉTICA 26
ABSTRACT ..... **Erro! Indicador não definido.**
RESUMO 30
INTRODUCTION 31
MATERIAL AND METHODS 31
Collection area and description of biological materials ..... **Erro! Indicador não definido.**
Morpho-agronomic descriptors analyzed 34
Growth parameters 36
Statistical analysis 37
RESULTS AND DISCUSSIONS 37
CONCLUSION 49
AUTHOR'S CONTRIBUTIONS 49
ACKNOWLEDGMENTS 49
CONFLICTS OF INTEREST ..... **Erro! Indicador não definido.**
REFERENCES 50

4. CONCLUSÃO GERAL 53
5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA GERAL 56

LISTA DE TABELAS

Table 1. Local denomination of the analyzed *Theobroma cacao* genotypes, based on the most evident external characteristics of the fruits of the 51 cocoa genotypes from 'cabruca' cultivations in Southern of Bahia, Brazil. **2**8

Table 3. Summary analysis of variance for morphoagronomic descriptors of fruits and leaves for 51 genotypes of *Theobroma cacao* from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **3**2

Table 4. Number of groups formed based on the logarithmic probability function (Log-Likelihood) and its increment for quantitative variables, based on the morphoagronomic characteristics in 51 genotypes of *T. cocoa* from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **34**

Table 5. Distance between the groups formed by the Ward-MLM method verified for the evaluation of *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **34**

Table 6. Groups formed by Ward-MLM methods for analyzing quantitative data on the different *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **37**

Table 7. Means of nineteen quantitative descriptors for each of the four groups formed by the Ward-MLM method and the first two canonical variables (CAN) for evaluating *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **37**

Table 8. Absolute frequency of qualitative variables in each of the four groups formed by the Ward-MLM method for evaluating *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **38/39**

Table 9. Summary of variance analysis for growth plant of 51 *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil. **39/40**

Tabela 10: Estimates of the genetic parameters of the nineteen fruit characters evaluated for the 51 cocoa genotypes cultivated in the cabruca system in Southern of Bahia, Brazil. **49**

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

UESC	Universidade Estadual De Santa Cruz
ICCO	International Cocoa Organization
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MLM	Modified Location Model
SAS	Statistical Analysis System
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
TFW	Total fruit weight
FL	Fruit Length
FD	Fruit Diameter
GD	Groove Depth
FLP	Fruit Longitudinal perimeter
FTP	Fruit Transverse Perimeter
CPS	Cocoa Pod Shell
PW	Placenta Weight
TWS	Total Weight of Seeds per Fruit
10SWP	Seed Weight with Pulp
10S/OP	Seed Weight without Pulp

TNSF/ NTS	Total Number Seed per Fruit
TNVS	Total Number of Non-Viable Seed
MaxTM/EMA	Maximum Thickness of the Mesocarp
MinTM/ EMI	Minimum Thickness of the Mesocarp
ET/ EE	Endocarp Thickness
SL/CS	Seed Length
SW/LS	Seed Width
PH	Plant Height
PD	Plant Diameter
NLP	Number of Leaves per Plant
LL/Cfo	Leaves length
LW/Lfo	Leaves Width
RT	Room Temperature
ANOVA	Analysis of Variance
LAMEP	Laboratório de Melhoramento de Plantas
QM	Quadro Médio
BA	Bahia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	(A) Evaluation of the height and diameter for 26 progenies of each cocoa genotypes in a greenhouse; (B) Representation of seedlings before transplanting, with one month old; (C, D) Measurement of height and diameter in the last fortnight of evaluation at four months age.	**37**
Figura 2	(A) Log-likelihood graph showing the optimal number of clusters for cocoa genotypes in southern Bahia. (B) Multivariate analysis by the dual Ward-MLM strategy in local cacao types.	**40**

RESUMO

GEORGES, Marc Enrso. M.Sc., Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, junho de 2023. Cacaueiros Cultivados em Sistema Agroflorestais da Bahia revelam Ampla Variabilidade Genética em caracteres Morfoagronômicos . Orientadora: Margarete Magalhães de Souza. Co- orientadores: Ronan Xavier Corrêa e Cláusio Antônio Ferreira Melo.

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é um produto agrícola de importância significativa para programas de melhoramento genético e para o desenvolvimento agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade fenotípica dos descritores morfoagronômicos em 51 genótipos de diferentes variedades locais tradicionais de cacau no Sul da Bahia, bem como avaliar as variações morfológicas dos frutos, sementes, folhas e crescimento desses genótipos. Além disso, foi realizada uma estimativa dos parâmetros genéticos de vários caracteres possibilitam o fornecimento da herdabilidade e do ganho com a seleção para a produtividade em plantações comerciais locais. Para a inferência de similaridade genética, foi utilizado o procedimento Ward-MLM (Modified Location Model), com o software SAS®, utilizando dados fenotípicos de variáveis qualitativas e quantitativas. A matriz de distância foi obtida utilizando a função logarítmica de Gower. Neste estudo, foram avaliados 28 descritores, sendo 5 qualitativos e 23 quantitativos. A significância das diferenças entre os descritores foi avaliada pelo teste F, sendo que 95% dos descritores apresentaram diferenças significativas, exceto para a largura das sementes. Os grupos 1 e 5 foram os mais distantes, enquanto os grupos 2, 3 e 4 foram os mais próximos. Os genótipos mais promissores para melhoramento no programa pertencem ao grupo 5, devido ao seu bom desempenho para quase todas as características. A análise das duas primeiras variáveis canônicas representou um total de 81,88% da informação para a distribuição da variação, com CAN1 responsável por 53,66% e CAN2 por 28,22% da variação. Em seguida, foram estimados os parâmetros genéticos utilizando o programa GENES®. Observou-se que a magnitude da

herdabilidade para as variáveis relacionadas aos frutos variou de 27% a 90%. Em suma, percebe-se com esse estudo que métodos simples de melhoramento podem ser aplicados, como a seleção em massa e suas derivações, a fim de melhorar a produção de cacau na região.

Palavras-chave: Herdabilidade; Coeficiente de Variação Genético; *Theobroma cacao*; Ward-MLM; pré-melhoramento genético; Distância Genética.

ABSTRACT

GEORGES, Marc Enrso. M.Sc., Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, junho de 2023. Cocoa Genotypes Cultivated in Agroforestry Systems in Bahia Reveal Wide Genetic Variability in Morphoagronomic Characters. Orientadora: Margarete Magalhães de Souza. Co- orientadores: Ronan Xavier Corrêa e Cláusio Antonio Ferreira Melo.

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is an agriculturally significant product for reliable genetic improvement programs and agricultural development. In this context, the objective of this study was to evaluate the phenotypic variability of morpho-agronomic descriptors in 51 genotypes of different traditional local cocoa varieties, as well as to evaluate the morphological variation of the fruits, seeds, leaves, and growth of these genotypes. Additionally, an evaluation of the genetic parameters of various agronomic and productive traits was conducted to identify promising genotypes for productivity in commercial plantations in southern Bahia. The Ward-MLM (Modified Location Model) procedure was used to infer genetic similarity with SAS® software, using phenotypic data from qualitative and quantitative variables. The distance matrix was obtained using the logarithmic Gower function. In this study, 28 descriptors were evaluated, including 5 qualitative and 23 quantitative descriptors. The significance of the differences between the descriptors was evaluated by the F-test, with 95% of the descriptors showing significant differences, except for seed width. Groups 1 and 5 were the most distant, while groups 2, 3 and 4 were the closest. The most promising genotypes for breeding in the program belong to group 5, due to their good performance for almost all traits. The analysis of the first two canonical variables represented a total of 81.88% of the information for the distribution of variation, with CAN1 responsible for 53.66% and CAN2 for 28.22% of the variation. Next, the genetic parameters were evaluated using the GENES® program. It was observed that the heritability variation for fruit parameters ranged from 27% to 90%. In summary, this study suggests that simple improvement methods, such as mass selection and its derivations, can be applied to improve cocoa production in the region.

Keywords: Heritability; Genetic Coefficient of Variation; *Theobroma cacao*; Ward-MLM; Genetical pre-breeding; Genetic Distance.

1. INTRODUÇÃO

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) pertencente à família Malvaceae (APG II, 2003), e uma espécie nativa das florestas tropicais úmidas das encostas equatoriais e orientais da América do Sul (NAIR, 2010). Esta espécie é cultivada em diferentes países, sendo Costa do Marfim, Gana, Indonésia, Equador, Camarões, Nigéria, e Brasil os maiores produtores mundiais de grãos de cacau no período de 2021/2022, respectivamente (ICCO, 2022).

Percebe-se ainda que o continente africano se destaca por ser responsável por cerca de 75% da produção mundial. Mesmo ocupando esse local de destaque, com o passar dos anos, a produção na África vem diminuindo. A exemplo da safra de 2021/2022, em que a houve redução de 6% para a Costa do Marfim devido às consequências de condições climáticas inadequadas e de 34% para Gana devido ao efeito devastador da *Doença Viral Cacau Swollen Shoot* (CSSVD). Com isso, a redução da produção dos dois maiores produtores mundiais de cacau levou o mercado mundial à um déficit de oferta (ICCO, 2022).

Nas Américas, perdendo apenas para o Equador, o Brasil é o segundo maior produtor de cacau com 290.000 toneladas por ano (ICCO, 2022). Neste país, os Estados da Bahia e Pará são os principais produtores de amêndoas de cacau, se mostrando responsáveis por mais de 90% de toda a produção nacional. Ademais, a Bahia é o único estado produtor da região Nordeste, com uma produção de 126.050 toneladas de amêndoas de cacau por ano (IBGE, 2022).

Percebe-se que o plantio, manejo e exploração comercial do cacau, através dos anos, têm sido uma atividade de grande importância econômica, ambiental e social nas regiões produtoras pelo mundo. Isso se torna evidente observando que o cacau abrange mais de 10 milhões de hectares, com cerca de 40 a 50 milhões de pessoas dependendo de sua produção para o sustento familiar, ou seja, o cacau tem representado uma das principais fontes de emprego e renda de muitas famílias pelo mundo (SOMARRIBA; LÓPEZ SAMPSON, 2018). Além de ser fonte de renda para

pequenos, médios e grandes produtores, estudos têm mostrado que o principal produto do cacau, o chocolate, pode trazer benefícios para a saúde cardiovascular por meio de diversos mecanismos fisiológicos, tais como proteção antioxidante e homeostase vascular (STEINBERG et al., 2003).

A técnica de melhoramento genético de plantas tem por finalidade a seleção de plantas visando o aumento da produtividade, conservação e promoção da biodiversidade, bem como a obtenção e utilização de material genético localmente adaptado, a divulgação de novas variedades e diversificação dos sistemas, a depender da necessidade (CARVALHO et al. 2001; ARAÚJO; VASCONCELOS, 2007).

O melhoramento genético de culturas agrícolas no Brasil é resultado de pesquisas realizadas por diversos institutos, o que possibilita a adoção de novos conceitos de agricultura graças aos resultados obtidos com o melhoramento genético de plantas (BRASILEIRO; CARNEIRO, 2015). Geralmente, os programas de melhoramento consistem em desenvolver variedades com alto potencial produtivo, pois a maioria dessas características é controlada por muitos genes com fortes efeitos ambientais.

A maior parte da produção de cacau no Sul na Bahia, ainda é proveniente das variedades locais, introduzidas há mais de dois séculos e que foram selecionadas pelos próprios agricultores nas plantações antigas para constituir os no vos plantios (SANTOS et al., 2015). Desta forma, é importante verificar se há variabilidade para diferentes caraterísticas relevantes para a produção. Dentre essas características, aquelas relacionadas com morfologia do fruto constituem uma etapa obrigatória na fruticultura, porque se constitui no produto final do cultivo.

Neste trabalho, os objetivos foram: a) avaliar a variabilidade fenotípica de descritores morfo-agronômicos em 51 genótipos pertencentes a diferentes variedades tradicionais locais de cacau; b) avaliar a variação morfológica de frutos, sementes, folhas e crescimento dessas genótipos, para identificar a variação morfológica existente nas plantações de cacau; c) estimar componentes de variância e herdabilidade para diversas características morfoagronômicas a fim de compreender os fatores que contribuem para a variação nas características fenotípicas e estimar a proporção dessa variação atribuível a diferenças genéticas no Sul da Bahia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O CACAUEIRO

Uma lenda asteca diz que o cacaueiro teve origem quando o Deus da Lua roubou a planta da terra dos filhos do Sol para presentear seus amigos humanos com a chamada “delícia dos deuses”. Influenciado por esta lenda, surgiu o nome cacau, do grego *theo* (Deus) e *broma* (comida).

Em 1937, o cacaueiro foi classificado pelo botânico Carlos Linneu como *Theobroma fructus* e, posteriormente, como *Theobroma cacao* L. O gênero *Theobroma* inclui 22 espécies, sendo *T. cacao* L. a única explorada comercialmente em larga escala (SÁNCHEZ, 2011). Até recentemente, *T. cacao* era classificado como pertencente à família *Sterculiaceae* (CUATRECASAS, 1964), porém, através de estudos filogenéticos, moleculares, morfológicos e anatômicos, foi reclassificado como família *Malvaceae* e subfamília *Sterculiaceae* (SINDONI, 2006; SANCHEZ, 2011).

O cacau foi domesticado pelos povos maias, astecas e mesoamericanos há mais de 2.000 anos (MOTAMAYOR et al., 2002) visto que suas sementes serviam de matéria-prima para a fabricação do chocolate, que era consumido como bebida em festas e serviços sagrados (POWIS et al., 2011). Além disso, o cacau era utilizado como moeda para o pagamento de impostos e compra de mercadorias (JEUNE, 1994). Com a colonização espanhola, o cacau foi exportado para a Espanha, em meados de 1585, sob as ordens de Cristóvão Colombo. Aceito com sucesso, seu consumo se espalhou pela Europa, África e América do Sul, e atualmente é consumido em todo o mundo (YOUNG, 1994; SÁNCHEZ, 2011).

O cacaueiro possui sistema radicular que consiste em uma raiz principal de comprimento variável (até 2 metros), dependendo da textura e estrutura do solo, profundidade efetiva e fertilidade. As raízes laterais, as mais densas, concentram-se a 20-30 cm da superfície do solo. Essas raízes, por sua vez, subdividem-se e formam uma rede densa que é a principal responsável pela absorção de água e nutrientes pela planta, enquanto a raiz principal mantém a estabilidade da árvore. O caule é ereto,

com casca verde lisa nos primeiros dois anos, que se torna cinza escuro e irregular na superfície em árvores maduras. O *T. cacao* tem altura variável (entre 1m e 1,5m), o caule emite ramos laterais que formam a coroa, e, posteriormente, desses ramos, crescem outros caules para formar a copa da planta. Sendo que esses ramos crescem verticalmente (ortotrópicos) e horizontais (plagiotrópicos). As árvores de cacau cultivadas a partir de sementes atingem uma altura entre 5 e 15 metros, embora árvores de 50 a 75 metros tenham sido relatadas na selva de Belize (MOOLEEDHAR;MAHARAJ, 1995).

Os cacaueiros crescem no subosque como no sistema cabruca, que vem a ser um sistema agroflorestal no qual uma cultura típica de clima tropical úmido se desenvolve com pequenas variações de temperatura (média de 25 °C) e de radiação solar, com precipitação anual distribuída, variando de 1500 mm a 2500 mm (GRAMACHO et al., 1992; SILVA NETO et al., 2001; SÁNCHEZ, 2011; VALLE, 2012; CEPLAC, 2016).

O tamanho das folhas do cacau varia de acordo com a quantidade de luz, sendo maiores onde as árvores crescem na sombra densa, visto que o tamanho compensa parcialmente a menor taxa de fotossíntese na sombra. Além disso, o cacaueiro adulto desenvolve um auto-sombreamento que modifica significativamente sua relação com a luz. Se árvores de sombra são repentinamente removidas de uma plantação de cacau, quando os fatores ambientais mudam drasticamente, ou quando doenças e insetos atacam as árvores, suas folhas externas e internas, inadequadas para luz total, acabam caindo. Este fenômeno é conhecido como morte gradual ou dieback, e a árvore tende a se tornar esguia e senescente. As folhas de cacau cultivadas sob sombra adequada têm vida útil superior a um ano, enquanto as expostas a pleno sol não ultrapassam seis meses. Em contrapartida, Müller & Biehl(1993), em suas pesquisas, descobriram que o tempo médio de vida das folhas de cacau (avaliado após a emergência das folhas) em árvores cultivadas sob alta e baixa intensidade de luz foi de 450 e 250 dias, respectivamente.

A árvore também pode ser propagada assexuadamente, geralmente por processos de brotação e estacas. Os clones de cacau são muito mais curtos. No tronco ou nos galhos crescem flores de cacau lenhoso, na forma de almofadas, com mais de 100.000 unidades. No entanto, menos de 5% dessas flores são fertilizadas e apenas cerca de 0,1% se transformam em frutos. Estes apresentam coloração variando do verde (maturidade fisiológica incompleta) ao amarelo (maturidade fisiológica completa), enquanto outros variam do roxo ao laranja (MI, 2006). A frutificação ocorre quatro a seis meses após a floração. O cacau, fruto não climatérico (BIALE; BARCUS, 1967), é composto por casca, polpa,

placenta e sementes. Cada fruta contém 40-50 sementes (ZHANG; MOTILAL, 2016).A relação, o volume da massa do fruto é 1:2 (500 g: 1000 cm³), sendo que a casca compreende 75% da massa total do fruto. Este mede aproximadamente 25 cm de comprimento e 10 cm no maior diâmetro (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

As sementes são a parte economicamente mais importante desta cultura, com peso seco unitário entre 0,5 e 5 g. Dependendo da concentração de presença de antocianinas, que provoca padrões de cores que variam do branco ao roxo intenso (BARTLEY, 2005; MONTEIRO; AHNERT, 2007). Cor, forma, peso e tamanho variam de acordo com o raça e cultivar. Após fermentação e secagem, as sementes são utilizadas na fabricação do chocolate. A manteiga extraída é amplamente utilizada na indústria farmacêutica e na fabricação de produtos de beleza. A polpa que envolve as sementes é rica em açúcares, sendo utilizada na fabricação de compotas, vinhos, licores, vinagres e sucos (SOUZA;DIAS, 2001; ALMEIDA;VALLE, 2007). As sementes são compostas por dois cotilédones e um embrião envolto por uma membrana (testa). As sementes dentro do fruto são envoltas por uma polpa, também chamada de mucilagem, de cor branca e rica em açúcares que corresponde em média a 40% da massa seca do fruto e é composta por 82 a 87% de água, 10 a 13% açúcares, 2 a 3% de pentosanas, 1 a 2% de ácido cítrico e 8 a 10% de sais (SCHWAN; WHEALS, 2004; LOPEZ; DIMCK, 1995).

Antes de instalar as plantações de cacau, ou seja, seis meses antes do plantio, é necessário fazer um sombreamento temporário, com plantas menores, geralmente bananeiras, para proteger as mudas de cacau do excesso de luz e vento. A sombra final é feita com árvores mais altas que protegem o cacaueiro durante toda a fase produtiva (SOUZA; DIAS, 2001). A velocidade do vento também deve ser considerada, e quando estiver acima de 2,5 m/s, recomenda-se a instalação de quebra-ventos. Além das lesões mecânicas, o vento pode favorecer o ataque e disseminação de doenças do cacaueiro (GRAMACHO et al., 1992; SOUZA ;DIAS, 2001; SILVA NETO, 2001; VALLÉE, 2012). Para cacaueiros maduros, a sombra deve permitir a passagem de 50 a 60% da luz (GRAMACHO et al., 1992). Alguns autores consideram o cacaueiro tolerante à sombra e não especificamente uma planta sombreadora (ALMEIDA;VALLE, 2007).

As principais variedades de cacau reconhecidas em todo o mundo são: Criollo, pouco cultivado por sua suscetibilidade a doenças, mas rico em aromas; Forasteiro da região amazônica, mais comum e menos rico em aromas; Trinitario, espécie híbrida entre Forasteiro e Crioulo, rica e diversificada em

aromas (LUNA et al., 2002; BECKETT, 2000). Os nibs de cacau Criollo e Trinitario, em geral, produzem chocolates finos ou chocolates com aroma e sabor mais suaves. As amêndoas do cacau Forasteiro produzem chocolates mais encorpados e terrosos. Em outras variedades como Maranhão, Nacional Equatoriana e Catongo Brasileiro, são apresentados sabores diferenciados e apreciados no mercado internacional (FERREIRA et al., 2013).

O cacau Forasteiro é considerado o verdadeiro cacau brasileiro e caracteriza-se por apresentar frutos ovóides, de superfície lisa imperceptivelmente sulcada ou enrugada. O interior de suas sementes é roxo escuro, às vezes quase preto, podendo também ser branco como no caso da cultivar Catongo. É mais resistente a pragas em geral (FERREIRA et al., 2013). A variedade Forasteiro, representa 95% da produção mundial de cacau, possui alta produtividade e resistência a pragas e suas sementes são planas, adstringentes e de cor púrpura devido às antocianinas. Já o cacau Criollo apresenta frutos grandes com superfície enrugada, sulcos pronunciados e sementes grandes, brancas ou roxas pálidas por dentro, devido a um gene inibidor de antocianina. É menos resistente a pragas (VALLE, 2012), limitando seu cultivo. Tem um sabor doce e frutado, não muito amargo. E, por fim, o cacau Trinitario leva esse nome porque foi amplamente cultivado nas ilhas de Trinidad e Tobago após a devastação dos cacaueiros da variedade crioula no século XVII. Seus cotilédones apresentam coloração que varia do branco ao roxo (MEDEIROS; LANNES, 2010). As árvores apresentam resistência intermediária a pragas e doenças, e o chocolate produzido a partir dessa variedade é amargo e de alta qualidade. A produção mundial desta variedade é inferior a 5% (KONGOR et al., 2016).

2.2 IMPORTÂNCIA DO CACAUEIRO

Os principais produtores mundiais de cacau são a Costa do Marfim, Gana, Indonésia, Equador, Camarões, Nigéria, e Brasil. A produção global da safra de cacau 2021/2022 ultrapassou 4,8 milhões de toneladas de grãos fermentados e secos (ICCO, 2022). Sendo o Brasil o segundo maior país produtor de cacau das Américas com uma produção de 290.118 toneladas/ano, atrás do Equador, e também se destaca como o sétimo no ranking mundial (ICCO, 2022). A região Nordeste do Brasil ocupa 70,94% da área nacional, enquanto o Norte é líder na produção nacional (52,35%), sendo a Bahia o maior estado produtor do Nordeste, ocupando uma área de 440.050 ha, com 120.990 toneladas/ano. (IBGE, 2022).

Geralmente no Brasil, o cultivo do cacau é feito em dois biomas: floresta amazônica e floresta atlântica, em cultivos agroflorestais (May et al., 1993). Estão associadas a várias outras plantas como eritrina (*Erytrina* sp), ingazeira (*Inga* spp), gliricídia (*Gliricidiasepium*), abacateiro (*Persea americana*), pupunheira (*Bactris gasipaes*), cobi (*Cassia* sp), etc. (SOUZA; DIAS, 2001). No norte do Espírito Santo e sul da Bahia, eles têm tipos de cabruca onde a floresta é raleada em seu subosque para plantio de cacau sob árvores nativas (ALMEIDA; VALLÉE, 2007; SOUZA et al., 2016).

O Brasil, é um dos maiores produtores de cacau do mundo. No entanto, a produção experimentou um grande declínio no final da década de 1980 que perdura até hoje, comprometendo a produção brasileira, obrigando as empresas processadoras a importar cacau de outros países produtores para continuar operando adequadamente. Afirma-se que as causas dessa crise foram e ainda são o aparecimento da vassoura-de-bruxa, doença de grande importância para a cultura (SOUZA; DIAS, 2001).

Por outro lado, a cultura do cacau oferece muitos benefícios como: baixo custo de estabelecimento, mais renda gerada anualmente, maior sustentabilidade, maior proteção do solo e retenção de água no solo, alta capacidade de sequestro (5t/ha/ano), otimização da captação de energia solar, eficiente ciclagem de nutrientes (SILVA NETO et al., 2001), alta biodiversidade (HARVEY et al., 2006) e maior incidência de baixas de plantas espontâneas (SIEBERT, 2002). Também permitem a formação de corredores ecológicos conectando fragmentos florestais, a regeneração de espécies florestais nativas (ROLIM; CHIARELLO, 2004) e a inserção de agricultores familiares, desempenhando importante papel social e econômico para os pequenos agricultores (ZAPFACK et al., 2002; SOUZA et al., 2016).

As sementes que são fermentadas e secas representam cerca de 10% do peso do fruto que se destinam à produção de chocolate, os 90% restantes são subprodutos que podem ser aproveitados de outras formas, por exemplo: cacau seco, sementes frescas, polpas, mel de cacau, vinhos, vinagres, licores, sumos, aguardentes finas, geleias, gelados, xaropes de confeitaria, néctares, gelados, rebuçados e iogurtes. A casca do fruto ainda pode ser utilizada como adubo; alimentos para animais; produção de álcool, biogás e biofertilizante; obtenção de proteínas microbianas ou unicelulares e na extração de pectina para uso culinário (CEPLAC, 2016a; SOUZA et al., 2016). O aproveitamento integral dos subprodutos e resíduos pós-colheita contribui para diversificar a renda e aumentar a receita

líquida dos cacauicultores, tornando-os menos dependentes das oscilações do mercado externo, que regula os preços do cacau (CEPLAC, 2016a).

O chocolate, principal produto do cacaueiro, é conhecido por seu grande poder energético e por suas propriedades funcionais. O principal benefício é a redução do risco de doenças cardiovasculares devido à presença de flavonoides em sua composição. Esses polifenóis combatem os radicais livres responsáveis por bloquear as artérias e atuar como filtros do sangue, reduzindo a formação de placas de gordura e o colesterol ruim, o LDL. O chocolate também contém substâncias responsáveis pela produção de serotonina que causa sensação de bem-estar. O cacau também contém a substância teobromina que estimula a atividade cerebral e mantém a mente alerta. E, o consumo moderado de chocolate amargo pode prevenir ataques cardíacos (HOLDEN, 2000) e garantir uma vida longa e saudável (SOUZA et al., 2016).

2.3 DISPERSÃO

De acordo com Dias (2001), existem três hipóteses sobre a origem e a dispersão das populações de *T. cacao*. A primeira é a sul-norte, proposta por Hunter& Leake (1993) e corroborada por outros autores, que sugere que o cacaueiro seria nativo exclusivamente da América do Sul, estando o suposto centro de origem da planta nas cabeceiras da bacia amazônica, no sopé dos Andes, na fronteira do Equador com a Colômbia. A segunda hipótese é a norte-sul, proposta por Vavilov (1951) e corroborada por outros autores, que propõe que os crioulos centro-americanos tiveram origem local, bem ao sul do lago Nicarágua, levados posteriormente para a América do Sul por indígenas. Já a terceira hipótese é a dispersão geográfica natural ampla, proposta por Nava (1953), também corroborada por outros autores, que sugere que em tempos remotos, uma grande população de *T. cacao* encontrava-se dispersa desde a região central da Amazônia até o sul do México. O isolamento geográfico de duas subpopulações, a partir dessa população ancestral, devido ao istmo do Panamá, levou ao surgimento de duas subespécies. Crioulos (*T. cacao* subsp. *Cacao*) na Mesoamérica e Forasteiros (*T. cacao* subsp. *Sphaerocarpum*) na América do Sul.

Motamayor et al., (2002) e Lima (2012) forneceram evidências, usando marcadores moleculares e estudos morfológicos, respectivamente, apoiando a hipótese proposta por Cheesman (1944) de que o cacau é nativo da América do Sul e posteriormente introduzido por humanos na América Central. Esses estudos também corroboram a nova hipótese de Dias (2001). Thomas et al.,

(2012) analisaram a diversidade intraespecífica de acessos de cacau da América Latina e encontraram altos níveis de diversidade genética no Alto Amazonas, desde o sul do Peru até a Amazônia equatoriana e nas zonas fronteiriças entre Colômbia, Peru e Brasil. Segundo esses autores, o isolamento causado pela glaciação do Pleistoceno teve impacto na distribuição e na diversidade das populações de cacau, inicialmente distribuídas na Amazônia ocidental. Solorzano et al., (2012) estudaram as populações de cacau da Amazônia e relataram que a evolução e a extensão das populações de cacau da parte oriental da América do Sul para as regiões da Guiana Francesa podem ter começado na região do Alto Amazonas.

O conhecimento sobre a origem, a dispersão e a evolução de *T. cacao* é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação e melhoramento genético da espécie. A coleta de germoplasma deve ser realizada nas áreas onde o cacaueiro é nativo e apresenta maior variabilidade, principalmente nas bacias dos rios Amazonas e Orinoco, que são considerados os maiores centros de diversidade da espécie. Além disso, é importante também estender a coleta a outros centros de diversidade, como o sudeste da Guiana Francesa, o norte do Equador e as florestas do Chiapas no México, para ampliar a representatividade da diversidade da espécie (DIAS, 2001; DIAS et al., 2003a).

A coleta, avaliação e caracterização de germoplasma são fundamentais para obter informações sobre os recursos genéticos presentes em um banco. Essas informações podem ser utilizadas por melhoristas e geneticistas como um guia para a utilização dos recursos genéticos em programas de melhoramento da espécie (ALMEIDA; DIAS, 2001). Portanto, a coleta e preservação de germoplasma é essencial para garantir a conservação da diversidade genética do cacaueiro e a disponibilidade de recursos genéticos para programas de melhoramento.

2.4 DIVERSIDADE GENÉTICA

T. cacao é uma espécie alógama, diploide (2n = 2x = 20) (DIAS, 2001; DIAS et al., 2003a), e a maioria de seus acessos apresenta incompatibilidade (COPE, 1962). No entanto, segundo Laliberté e colaboradores (2012), algumas variedades recentemente domesticadas são autocompatíveis. A domesticação de espécies é um processo crucial, mas tende a reduzir a diversidade genética em comparação com parentes silvestres, por dois motivos principais: pequeno tamanho populacional e diversidade genética limitada em comparação com ancestrais silvestres. Essa seleção de características agronômicas desejáveis distingue as culturas de seus ancestrais (SOLORZANO et al., 2012). No

entanto, a redução na diversidade genética do cacau pode ser um problema sério que aumentaria a vulnerabilidade da espécie e a erosão genética (LALIBERTÉ et al., 2012).

Devido à sua importância socioeconômica e ambiental, a conservação genética do cacaueiro é fundamental para garantir a disponibilidade de recursos genéticos para os programas de melhoramento. Esses recursos constituem o repositório da variabilidade genética potencial para a criação de novas cultivares mais produtivas, adaptadas às regiões de cultivo e resistentes a pragas e doenças de importância econômica (ALMEIDA; DIAS, 2001). É importante ressaltar que os recursos genéticos não são renováveis, o que reforça ainda mais a necessidade de sua conservação.

A variabilidade do cacau coletada e estudada representa apenas uma pequena fração da diversidade genética existente, principalmente na Amazônia (LANAUD et al., 2009). Este bioma possui a maior biodiversidade do planeta e é um dos maiores centros de diversidade de *T. cacao* (CHEESMAN, 1944; CUATRECASAS, 1964; DIAS, 2001; DIAS et al., 2003a). Na região amazônica, encontra-se expressiva variabilidade no vigor das plantas, produção e seus componentes de resistência à vassoura-de-bruxa, tamanho e cor das folhas e características dos frutos e sementes (ALMEIDA et al., 1987; ALMEIDA; ALMEIDA, 1987; ALMEIDA; DIAS, 2001).

Os riscos de erosão genética do cacaueiro são preocupantes e se devem a diversos fatores, tais como: implantação de megaprojetos de desenvolvimento regional, expansão da fronteira agrícola, atividades agropecuárias, construção de usinas, abertura de rodovias, exploração de petróleo e mineração (ALMEIDA; DIAS 2001; DIAS et al., 2003a), destruição das florestas amazônicas, perda de variedades tradicionais, ameaças de desastres naturais e variações nas condições climáticas (LALIBERTÉ et al., 2012). Dessa forma, o cacau é considerado uma cultura prioritária para a conservação, sendo necessário resgatar amostras geneticamente representativas dessas populações (ALMEIDA; ALMEIDA, 1987; ALMEIDA et al., 1995).

A utilização dos recursos genéticos das populações naturais de cacau, em programas de melhoramento da espécie, despertou o interesse das comunidades científicas internacionais após as coletas exploratórias realizadas por Pound (1938; 1943) no Alto Amazonas, Peru e no Equador, com o objetivo de identificar cacaueiros resistentes à vassoura-de-bruxa (ALMEIDA; DIAS, 2001; BARTLEY, 2005; ZHANG et al. 2009). A expressiva variabilidade genética encontrada nessas populações, seu potencial para uso em melhoramento e a necessidade de ampliar a base genética de programas de melhoramento, em diversos países, tem motivado a realização de diversas missões de

coleta ao longo dos anos (LALIBERTÉ et al., 2012) no Brasil, Equador, Guiana Francesa, Peru, entre outros países (ZHANG; MOTILAL, 2016).

A CEPLAC, por exemplo, instituição responsável pelas primeiras iniciativas de pesquisa do cacau no Brasil, coletou e incorporou em seus bancos de germoplasma mais de 2.000 acessos desde 1965 (VELLO; MEDEIROS, 1965), para preservar os recursos e ampliar a base genética da cultura (ALMEIDA et al., 1987 ; ALMEIDA; ALMEIDA, 1987; ALMEIDA et al., 1995). ALMEIDA et al., (1995). E, apresentam um relato histórico detalhado de 29 anos de missões de coleta de material genético realizadas em 36 bacias hidrográficas da Amazônia brasileira de recursos genéticos de *T. cacao* visando salvar populações naturais, silvestres, cultivadas e/ou, semi-cultivadas, bem como parentes silvestres e cultivares primitivos (ALMEIDA; DIAS, 2001).

A disponibilidade e uso sustentável da diversidade genética é fundamental para o futuro da economia mundial do cacau (LALIBERTÉ et al., 2012). As populações silvestres oferecem uma fonte de alelos e genes para programas de melhoramento genético e podem ser cruzadas com variedades cultivadas e incorporadas com material genético exótico para conferir resistência a doenças, maior produção, e adaptabilidade (ALMEIDA; DIAS, 2001; ESKES, 2011; ZHANG; MOTILAL, 2016). Entretanto, programas de melhoramento genético baseados em poucos genótipos com base genética estreita são comuns e agrava a vulnerabilidade genética das lavouras (ALMEIDA; DIAS, 2001; BARTLEY, 2005). Assim, é importante conhecer o nível e distribuição espacial da variabilidade genética das populações naturais de cacau para a coleta e conservação do germoplasma (DIAS et al., 2003a).

Estudos mostram que a diversidade genética das populações de cacau silvestreé estratificada por sistemas fluviais na Amazônia e agrupada em fragmentos dentro das bacias hidrográficas (POUND, 1938; ALMEIDA, 2001; DIAS et al., 2003a; BARTLEY, 2005; ZHANG; MOTILAL, 2016), onde o fluxo gênico é limitado e o cruzamento provavelmente está confinado a esses fragmentos (CHAPMAN; SORIA, 1983). Estudando 64 progênies de cacau originárias de quatro bacias do Amazonas, confirmou esta hipótese que a variabilidade dentro das populações da bacia é maior do que a variabilidade entre elas. E essas informações podem ser usadas para otimizar a coleta de germoplasma de cacau para programas de conservação e melhoramento genético, economizando recursos e pessoal.

O Brasil é um dos maiores detentores de germoplasma de cacau do mundo. Possui dois principais bancos de recursos genéticos, administrados pela CEPLAC, onde são mantidas plantas *in vivo* de cacau e espécies afins. Um dos bancos de germoplasma está instalado em Marituba, no Pará, na Estação de Recursos Genéticos José Haroldo (ERJOH), que possui aproximadamente 2.000 acessos, sendo 90% silvestres, coletados em bacias hidrográficas da Amazônia brasileira. E, o outro banco de germoplasma está instalado no Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), em Ilhéus, na Bahia, que conta com cerca de 1.300 acessos de diversas regiões do mundo (ALMEIDA et al., 1987; LOPES, et al., 2011).

A Bacia Amazônica é considerada um dos maiores repositórios da diversidade genética do cacaueiro (BARTLEY, 2005), onde populações silvestres e semi domesticadas da espécie crescem nas margens dos rios e nas florestas. O Brasil tem feito esforços para salvar parte da diversidade existente na bacia amazônica para conservá-la em um banco de germoplasma e utilizá-la no melhoramento da espécie. Nesse sentido, acessos vêm sendo coletados desde 1965 nas bacias hidrográficas da região e mantidos no banco de recursos genéticos ERJOH (ALMEIDA et al., 1987).

O primeiro trabalho de melhoramento genético do cacaueiro no Brasil foi desenvolvido na décadade 1940, na Estação Experimental do Instituto de Cacau da Bahia em Uruçuca, onde foram selecionadas plantas individuais dentro da população de cacaueiros comuns da Bahia, com base na avaliação da produção realizada ao longo de vários anos. Essa seleção resultou na série SIC (Instituto de Seleção do Cacau) (PINTO et al., 1969). Posteriormente, na década de 1950, os trabalhos realizados nas estações experimentais de Jussari (Jussari, BA) e Goitacazes (Linhares, ES) resultaram nas seleções do SIAL (Instituto Agronômico do Leste) e EEG (Estação Experimental de Goitacazes) (MONTEIRO; ANHERT, 2012).

3. CAPÍTULO I

Cocoa Genotypes Cultivated in Agroforestry Systems in Bahia Reveal Wide Genetic Variability in Morphoagronomic Characters

Marc Ernso Georges[1], Cláusio Antônio Ferreira Melo[1], Margarete Magalhães de Souza[1,3], Ronan Xavier Corrêa[2,3]*

[1] Laboratório de Melhoramento de Plantas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 45662-900, Brazil

[2] Centro de Biotecnologia e Genética, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 45662-900, Brazil

[3] Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 45662-900, Brasil

*Corresponding author: ronanxc@uesc.br(R.X. Corrêa ORCID 0000-0002-4010-1565)

ABSTRACT

Cocoa culture in Southern Bahia holds wide variability for several descriptors of the fruit of agronomic importance, revealing genetic characteristics for the varieties cultivated in this cocoa-producing region. The present study aimed to characterize 51 *Theobroma cacao* L. genotypes in Southern Bahia (Brazil) based on morphoagronomic descriptors. The inference of genetic similarity was performed from the phenotypic data derived simultaneously from qualitative and quantitative variables, using the Ward-MLM procedure (Modified Location Model) with the SAS® software. The distance matrix was obtained using the Gower logarithmic function. For this, 28 descriptors were evaluated, five qualitative and 23 quantitative. Furthermore, using the likelihood function procedure, the optimal number of groups was determined to be five (5) indicating wide variability. Of 23 quantitative descriptors evaluated by fruits and leaves, 95% of them show significant differences except for seed width. Groups 1 and 5 were the most distant between them, while groups 2, 3 and 4 were closest. The greatest difference between increments was 35.32 for the fifth group. The analysis of the first two canonical axes revealed that both represented 81.88% of the information for the distribution of the variation, with CAN1 responsible for 53.66% and CAN2 for 28.22% of the variation. The most promising genotypes for the breeding program belong to group 5, due to its superior performance for almost all characteristics analyzed.

Keywords: *Theobroma cacao*; Ward-MLM; improvement; genetic distance; morphological diversity.

RESUMO

A cacauicultura no Sul da Bahia apresentado ampla variabilidade para diversos descritores do fruto de importância agronômica, revelando característica genéticas particulares das variedades cultivadas nesta região produtora de cacau. Neste aspecto, O presente estudo teve como objetivo

caracterizar 51 genótipos de Theobroma cacao L. no Sul da Bahia (Brasil) com base em descritores morfoagronômicos. A inferência de similaridade genética foi realizada a partir dos dados fenotípicos derivados simultaneamente de variáveis qualitativas e quantitativas, pelo procedimento Ward-MLM (Modified Location Model), com o *software* SAS®. A matriz de distância foi obtida por meio da função logarítmica de Gower, para isso foram avaliados 28 descritores, sendo cinco qualitativos e 23 quantitativos. Utilizando o procedimento da função de verossimilhança, o número ideal dos grupos determinado foi cinco (5) indicando ampla variabilidade. Dos 23 descritores quantitativos avaliados por frutos e folhas, 95 % deles apresentam diferenças significativas exceto a largura da semente. Os grupos 1 e 5 foram os mais distantes entre sim, enquanto os grupos 2, 3 e 4, foram os mais próximos. A maior diferença entre os incrementos foi de 35.32 para o quinto grupo. A análise das duas primeiras eixos canônicas, revelou que ambas representaram o total de 81,88% da informação para a distribuição da variação, sendo a CAN1 responsável por 53,66% e a CAN2 por 28,22% da variação. Os genótipos mais promissores para o programa de melhoramento pertencem ao grupo 5, devido seu desempenho superior para a maior parte das características analisadas.
Palavras-chave: *Theobroma cacao*; Ward-MLM; melhoramento; distância genética; diversidade morfológica.

INTRODUCTION

The cocoa tree (*Theobroma cacao* L.) belongs to the *Malvaceae* family and being a species of fruit tree from the neotropical understory, native to South America (Motamayor et al., 2002). Currently, cacao culture is found in more than 50 humid tropical countries (Prazeres; Lucas; Marta-Costa et al., 2021), being considered one of the most valuable agrobiological assets inherited from the Mesoamerican culture Oztürk and Young (2017). Therefore, its genetic resource requires conservation actions (APG II, 2003). As a commercial crop, *Theobroma cacao* has a popular fruit known as cocoa, constituting a perennial crop of significant economic importance able to provide the raw material for the cosmetic, pharmaceutical, and food industries, mainly for the manufacture of chocolate (Whitlock, Bayer and Baum, 2001; Zuidema, et al., 2005). Furthermore, cocoa farming plays a very important social and economic role, covering more than 10 million hectares, and being a source of income for countless families, with an estimated 40 to 50 million people depending on it is production for subsistence Somarriba and López Sampson (2018).

The International Cocoa Organization (ICCO) estimated world production of cocoa beans at 4.8 million tons over 2021-2022. A drop of around 8% compared to the 2020-2021 harvest. This reduction may be due to several challenges, such as: the effect of old and new diseases affecting this crop; price variations on the international market; the low amount of inputs; and the lack of improved planting material that brings greater productivity and support to family farming (Lembang et al., 2019). Brazil is the second cocoa producing country in the Americas behind Ecuador, with 290 thousand tons, and also stands out as the seventh in the world ranking (ICCO, 2022). Brazil's main cocoa producing States are: Bahia, Pará, Rondônia, Espírito Santo, Amazonas, and Mato Grosso, which make an estimated total area of 620,215 hectares. But Bahia is the largest producing State in the Northeast region, occupying 70.95% of the national area, that is, 440,050 ha with 126,050 tons of cocoa beans. At the same time, the North is the leader in national production of 52.35% (IBGE, 2022).

Initially, cocoa varieties were classified into two groups, according to geographic distribution, and seed and fruit characteristics: Forastero and Criollo (Cheesman, 1944; Cuatrecasas, 1964). Subsequently, a third genetic group appeared, revealing intermediate characteristics, called Trinitario (Engels, 1986). The Trinitario hybrid emerged naturally in Trinidad, but its classification is unclear and weakens the traditional classification (Cheesman, 1944). A new classification was proposed, dividing cacao into ten distinct genetic groups based on genetic diversity inferred by molecular markers (Motamayor et al., 2008).

Carrying out crosses between varieties and cacao clones is important for the genetic improvement of the crop's, quality of agronomic traits of interest. Therefore, conducting research and having accurate information on the diversity of cocoa varieties and clones is crucial in the search for high-yielding and high-quality plant materials. Therefore, information on the morphological characteristics of cocoa can be used to group and hybridization can lead to cultivar development (Lembang et al., 2019). In this context, if special attention is paid to the genetic selection program, cocoa productivity can increase considerably. To enhance cocoa production, it is imperative for farmers to have access to disease-resistant cultivars exhibiting high productivity and controlled growth, which can effectively contribute to increased yield and income (Mustiga et al., 2018).The objective of this research was to evaluate the phenotypic variability based on morphoagronomic descriptors such as seed, fruits, leaves and seedling growth parameters in 51 traditional genotypes.

The research seeks to identify the morphological variation existing and promising ones for productivity at commercial scale in the South of Bahia.

MATERIAL AND METHODS

Characterization and description of biological materials in the collection Area

Genotypes samples were collected in randomized completely design in a cabruca-type agroforestry system in five rural properties located in the Southern of Bahia, Brazil, in the municipalities of Arataca (15º 15'49.43" S; 39º 30' 42.65") and Ilhéus (14º 45' 20.89" S; 39º 09' 08.51"), the latter being in three different locations: Almada, Banco Central, and Salobrinho. In Arataca and Banco Central, the sampled plants were organic crops. In other places, conventional chemical fertilization schemes are eventually adopted but have not been fertilized in the last eight years. All of them were covered by native trees with around 50% of insolation, mechanical mowing of spontaneous plants three times a year, and pruning undesirable cacao shoots once or twice a year in the last four years. These cultivars are locally recognized and commercially available in the region. Due to this, most of them were studied to evaluate their resistance capacity against *Moniliophthora perniciosa* Pinto and Pires (1998); Marssaro et al. (2020). In total, 51 genotypes were evaluated: comum, Maranhão, Pará, Parazinho, Redondo, and clones CCN51 and PS1319, which present many of these particular characteristics (Table 1).

Table 1. Local names and morphological characteristics of the fruits of the 51 analyzed *Theobroma cacao* genotypes, in Southern of Bahia, Brazil.

Local varieties name	External morphological characteristics of the fruit
Comum	Oblong, smooth and rounded ends
Maranhão	Oblong, grooved, constricted base, pointed apex
Pará	Rounded, smooth, rounded ends
Parazinho	Rounded, smooth, small, thin shell
Redondo	Rounded, smooth, straight ends
Clone: CCN51 and PS1319	Oblong, very large and red, apex pointed

Morpho-agronomic descriptors analyzed

The pods used in this study were carefully selected, considering their representativeness and quality. Specifically, we used cocoa pods from open pollination (OP) for this research. From June to December 2022 three ripe fruits and five leaves per accession were collected, the biological materials were transported to the Plant Improvement Laboratory (LAMEP). Measurements on the samples were taken with a millimeter ruler, caliper, and digital scale. A total of 28 characters were evaluated for the fruits, leaves, and seedling growth. For fruits, 18 quantitative and four qualitative characters. For leaves, two quantitative and one qualitative characters, and finally, for seedling growth, three quantitative characters. The cocoa descriptors used in this study were previously described by Engels et al. (1980); Restrepo and Urrego (2018).

Table 2. Description of quantitative and qualitative morphological variables recorded in 51 *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil.

Name/Code	Biometric measurement mode or assessment / Scale / Metric unit
Qualitative descriptors	
Fruit color	Predominant color of the fruit (epidermis) - Yellow (1) and Red (2)
Presence of basal constriction	Absent (1), Present (2)
Pod shell apex shape	Rounded (1), Intermediate (2), Pointed (3)
Roughness	Smooth (1), Intermediate (2), Rough (3)
Leaf apex shape	Short acuminate (1), Long acuminate (2), Obtuse (3) Acute (4)
Quantitative descriptors	
Total fruit weight (TFW)	Total weight of the whole fruit (g)
Fruit Length (FL)	Linear distance from the apex to the base of the fruit (mm)
Fruit Diameter (FD)	Cross section of the equatorial line of the shell (mm)

Groove Depth (GD)	Line perpendicular inside the point of the secondary groove (mm)
Fruit Longitudinal perimeter (FLP)	Whole longitudinal perimeter of the fruit (apex, base, apex) (mm)
Fruit Transverse Perimeter (FTP)	Whole transverse perimeter on the equatorial line (mm)
Cocoa Pod Shell (CPS)	Weight of pod shell without seeds and placenta (g)
Placenta Weight (PW)	Weight of the placenta with moisture (g)
Total Weight of Seeds per Fruit (TWS)	Total weight of seeds with pulp (g)
Seed Weight with Pulp (10SWP)	Weight of 10 seeds with pulp (g)
Seed Weight without Pulp (10S/OP)	Weight of 10 seeds without pulp (g)
Total Number Seed per Fruit (TNSF)	Total number of seeds viable and non-viable per fruit
Total Number of Non-Viable Seed (TNVS)	Total number of non-viable seeds per fruit
Maximum Thickness of the Mesocarp (MaxTM)	Maximum external thickness of the mesocarp (mm)
Minimum Thickness of the Mesocarp (MinTM)	Minimum external thickness of the mesocarp (mm)
Endocarp Thickness (ET)	Internal thickness of shell / endocarp (mm)
Seed Length (SL)	Measured from the embryo to the apex of the seed (mm)
Seed Width (SW)	Measure the widest part of the seed (mm)
Plant Height * (PH)	Measure the part from the crown to the terminal bud (mm)
Plant Diameter * (PD)	Measurement of the trunk part (mm)
Number of Leaves per Plant * (NLP)	Count of each leaf per plant after the trial
Leaves length (LL)	Linear distance from the apex to the base of the leaf (mm)
Leaves Width (LW)	Widest part of the leaf (mm)

*Young plant (1 to 4 months old), 26 progenies of each genotype.

Growth parameters

For growth evaluation, the seeds were selected, washed with water to remove the pulp, and left in a vase with water in the laboratory at room temperature (RT). Three days later, with roots between five and seven millimeters long, the seeds were transported to the greenhouse at the UESC located at 14°47′47.1″S 39°10′23.3″W. The experiment was carried out in germination tubes of 175 cm^3 filled with a substrate (two parts of sieved soil for one part of commercial substrate tropstratum forest), in the proportion of one seed per tube. One month later, 26 seedlings measuring 7 to 10 cm and/or two leaves were selected and transplanted into polyethylene bags measuring 15 x 28 x 80 cm with the same type of substrate. The experiment was conducted at 25 to 27 °C, with watering every two days. Fifteen days after transplanting, data on the evolution of plant growth (height, diameter, and number of leaves) were collected. This data collection process was repeated fortnightly, totaling five times during the experiment cycle, which assesses plant growth last 75 days, totaling two and a half months.

A B C

Figure 1. (A) Representation of seedlings before transplanting, with one month old; (B, C) Evaluation of the height and diameter for 26 progenies for each of the 51 cocoa genotypes in a greenhouse

Estimates of genetic parameters

A total of 19 traits were evaluated, including 17 fruits traits and 2 leaves traits for each genotype, from which estimations of genetic parameters were conducted to understand the structure, diversity, and genetic evolution within the study population.

Statistical analysis

The collected data was subjected to analysis of variance (ANOVA) and Scott-Knott mean test at a 5% probability level using Sisvar® software version 5.8 (Ferreira, 2011). Inference of genetic similarity was conducted using phenotypic data derived simultaneously from qualitative and quantitative variables through the application of the multivariate Ward-MLM procedure using SAS® software (SAS Institute Inc. 2002, Carry, NC, USA). The distance matrix was obtained using the logarithmic Gower function (Gower, 1971), as previously employed in Melo et al., (2015). The optimal number of groups was determined based on pseudo-F and pseudo-T^2 criteria combined with the likelihood profile associated with the likelihood ratio test. Finally, GENES software was used for the estimation of genetic parameters.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The morpho-agronomic characterization in an agricultural population is extremely important. It makes it possible to observe the existing morphological diversity in the studied population (Ramirez-Guillermo et al., 2018). The verification of significant differences between cultivars/clones was performed using ANOVA, and the distribution of genotypes using Scott & Knott clustering with ($P<0.05$). Among twenty quantitative descriptors evaluated for fruits and leaves, 95% of them show significant differences by the F test, except for SW. In the individual analysis for the TNVS descriptor per fruit, the Scott & Knott test revealed the existence of a significant effect. Genotypes 2050 and 105707 obtained the highest number of seeds with values of approximately 6 and 4 non-viable seeds, respectively. Based on the different results, we observed that the highest TNSF was presented by genotypes CCN51 and 7016, with 53 seeds on average. The highest (29.3 mm) LS obtained in 7015 CCN51 had the highest (1016.3 g)TWF, 1016.3 g, followed by 2074 and 2058, with respective values of 826.8g and 776.3 g. On the other hand, the lowest (220.3 g) TWF obtained in 3003. The data obtained for weights of fruits were superior to those found by Reges et al. (2021), who evaluated clones CCN51, CEPEC 2004, CEPEC 2005, and PS 1319, harvested in an orchard located in the municipality of Russas, State of Ceará, Brazil. However, a great variation was also observed in the different weights for the fruits, this shows that the large variation observed is related to the specific characteristics of the population studied.

The significant difference was observed (*P<0.05*) between almost all genotypes within each descriptors (Table 3). The coefficients of variation (CV %) ranged from 6.75% to 26.88% for the different samples of this study. The total weight of CPS was significantly different between genotypes. We observed that the highest weight was showed by the CCN51 clone with 709.3 g, followed by the genotype 2074, which obtained 696.6 g, and genotype 2085 with 603 g. Concerning the PW, the material CCN51 has the highest weight, 30.9 g. The Scott-Knott test revealed that the genotype 2002 showed higher and significantly different values for MinTM with 15 mm, and the lowest value was presented by 5008 with 7 mm. In contrast, for MaxTM, the genotype 7015 has higher values 19.6 mm; however, for ET the genotype 2041 had the highest value of 9 mm, and the lowest is PS1319, 2 mm. We also found that for GD, the CCN51, and 2058 genotypes were characterized by 8.33 mm and 5 mm, respectively.

Table 3. Analysis of variance for morphoagronomic descriptors of fruits and leaves for 51 genotypes of *Theobroma cacao* from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil.

Characters	Mean Square		Mean	CV (%)
	Cultivars	Error		
TFW(g)	67842.78*	10181.37	508.64	19.84
FL(mm)	2108.47*	330.87	142.70	12.75
FD(mm)	151.44 *	34.80	87.42	6.75
GD(mm)	4.92*	0.50	2.73	26.08
PW(g)	73.13*	11.08	12.38	26.88
FLP(mm)	8687.44*	880.97	374.16	7.93
FTP(mm)	1926.15*	435.47	374.16	7.35
CPS(g)	42569.70*	6828.60	370.01	22.33
TWS(g)	3379.11*	670.01	122.05	21.21
10SWP(g)	102.21*	12.63	29.23	12.16
10S/OP(g)	40.95*	6.81	20.78	12.56
TNSF	96.38*	60.83	41.30	18.88
MaxTM(mm)	11.68*	4.36	14.43	14.48
MinTM(mm)	10.53*	2.64	10.66	15.26
ET(mm)	4.84*	1.26	5.99	18.74
LS(mm)	7.75*	3.53	25.79	7.29
WS(mm)	3.05^{NS}	2.43	13.33	11.71
LF(mm)	12802*	2065.72	316.10	14.38
WF(mm)	2008.53*	224.15	113.63	13.18

* Significant at 5% by F test
^{NS}No significant

In contrast to the individual access analysis, the Ward-MLM multivariate procedure allowed identifying almost all the highest mean values. The double Ward-MLM strategy enabled to define the number of groups in which the analyzed germplasm is distributed by detecting the highest increment of the likelihood function. In that case, the indicated number of groups was five, according to the pseudo-F and pseudo-t^2 statistical scores (Figure 1 and Table 4). The greatest difference between increments was 35.32 for the fifth group. The analysis of the first two canonical axes revealed that both represented 81.88% of the information for the variation distribution, with 53.66% in CAN1 and 28.22% CAN2 (Figure 2). Thus, it was possible to visualize the genetic diversity and the relationship between the groups based on the genetic distances between cocoa type In the dispersion (Figure 2), it was possible to observe the distribution of the five groups, in which the genotypes contained in groups 2, 4, and 5 were the closest. However, groups 1 and 3 are more distant from the other groups. And the dissimilarity of the groups based on the Mahalanobis distance by the Ward-MLM strategy demonstrated a range of variation in the value 6.54, with groups 2 and 4 being the closest (8.95). In contrast, groups 1 and 5 were the more distant (51.62) (Table 5).

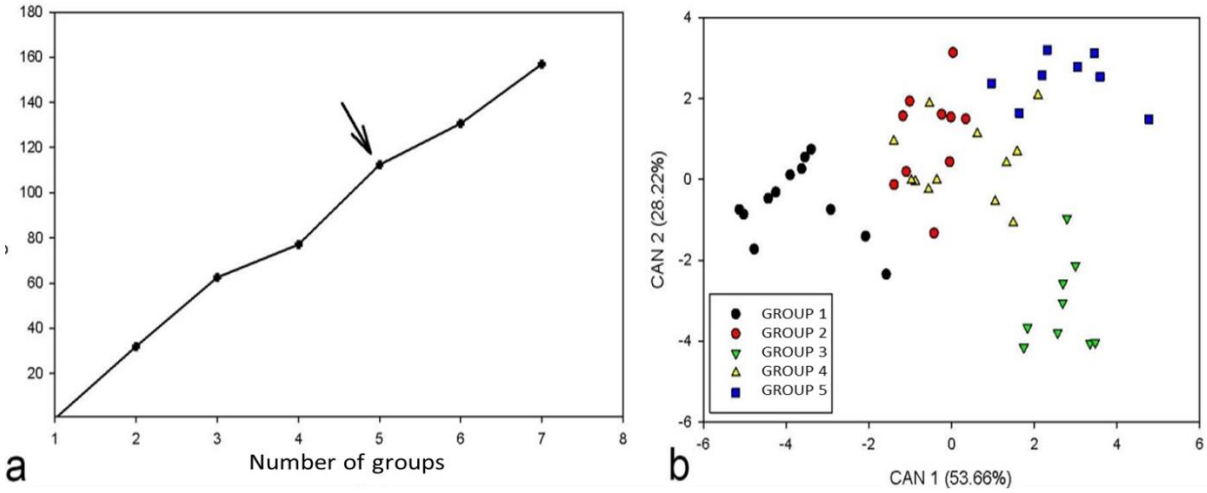

Figure 2. Optimal number of groups and clustering in 51 cocoa genotypes from 'cabruca' crops in Bahia, Brazil. (a) Log-likelihood graph showing the optimal number of clusters for cocoa genotypes in Southern Bahia. (b) Multivariate analysis by the dual Ward-MLM strategy in local cacao types.

Table 4. Number of groups formed based on the logarithmic probability function (Log-Likelihood) and its increment for quantitative variables, based on the morphoagronomic characteristics in 51 genotypes of *T. cocoa* from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil.

Number of groups	*Log-Likelihood*	increment
1	-2993.26	0.00
2	-2961.30	31.96
3	-2930.74	62.51
4	-2916.21	77.04
5	**-2880.89**	**112.36***
6	-2862.59	130.66
7	-2836.25	157.00
8	-2784.40	208.85
9	-2750.37	242.88

***** Largest increment for the formation of four groups by the logarithmic function.

Table 5. Genetic distance between the groups formed by the Ward-MLM method verified for the evaluation of the *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia, Brazil.

Groups	1	2	3	4	5
1	0	14.97	47.97	26.13	51.62
2		0	28.70	8.95	15.96
3			0	26.18	32.72
4				0	23.59
5					0

In the five groups formed by the Ward-MLM strategy, 12 genotypes were grouped in groups 1 and 4. In groups 2 and 3, there were 10 and 9 genotypes, respectively. In group 5, Eight genotypes clustered in group 5 (Tables 6 and 7). In this last group, the genotypes with higher average values for fruit characteristics were found: TWF with 734.46 g, FL with 177.01 mm, FD with 94.67 mm, GD with 4 mm, PW with 18.63 g, FLP with 443.7 mm, FTP with 308.51 mm and CPS with 535.57 g. Still, in group 5,high values were observed for descriptors such as: TWS with 161.25 g, 10SWP with 35.58, 10S/OP with 24.66 g, TNSF with almost 45 seeds, and MinTM with 10.96 mm. Group 3, had higher values for MaxTM with 15.9 mm and LS with 26.91 mm. Group 3 contained the highest values for ET with 6.8 mm and SW was better in group 4 with 14.16 mm. Finally, for leave descriptors, group 2

was observed with the highest value for LL at 348.38 mm and LW at 122.58 mm, while, group 4 had with the lowest value for the same descriptors presenting respectively 278.13 mm and 98.55 mm.

Analyzing the variables length, diameter, and longitudinal and transverse perimeter of the fruit, the values of the ratio between them show that genotypes in, groups 1 and 2 were largely rounded, while those in groups 3 and 4 were rounded with rounded ends. Finally, fruit of genotypes in group 5 had oblong shape. It has been observed that the aspect of the pod shell as well as morphology plays an important role in defining fruit types. It is important to highlight that the morphology of the pod shell is determined by a combination of independent inheritance characteristics, indicating that the pod shell of the same tree or the same clone have identical characteristics (Wood; Lass, 1985).

The parameters total of weight CPS, PW, ET, and MinTM showed higher average values in group 5. It has been observed that it is possible to recycle the cocoa pod shell, as they have nutrients such as potassium, and can be used in cocoa culture (Indiarto, 2021). They can also be transformed into fuel briquettes, adding value to the product and, simultaneously, solving the waste disposal problem Ofori and Akoto (2020). The shell thickness plays an important role as resistance factor to *Phytophthora palmivora*, susceptible cocoa fruit have a thinner shell and higher moisture percentage (Reges et al., 2021).

Concerning the weight of the placenta that is a by-product of the extraction of cocoa beans, the latter has the potential to increase its value as a food additive or ingredient due to it is the high fiber content, despite being an important source of income for small and medium farmers, its use is neglected (Scheuer et al., 2022). Thus, the cocoa placenta can be an essential additive in food products, and a useful bioactive for human and animal nutrition and health (Goude et al., 2019).

The yield of valuable raw material from the almond for the chocolate industry has a considerable influence on the value of cocoa, as the price and its importance vary according to the size and weight of the almond (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015). Therefore, a fruit with more seeds and a larger size will imply a more favorable yield. The almond sizes that interest the processing industries have an estimated variable format, on average, 20 mm in length and 10 mm in width, and each fruit contains between 20 and 50 seeds (Oetterer, 2006). Genotypes 7016, 5011, 2002, 5012, and 2046 were mainly distinguished by their number of grains and sizes for primary trait selection for the chocolate industry. However, other plants within these same varieties could be selected because their characteristics were similar, as it is present with genotype 7018. On the other hand, genotype 7017

and others had a considerable weight of the pulp. After removing their pulps, they lost almost 20% of their weight. The cocoa pulp can be used to produce juices, soft drinks, citric acid, vinegar, cocoa jelly, and in the alcohol industry Oddoye, et al. (2013); Indiarto et al. (2021). Thus, it was possible to direct the production of these materials to increase the importance of this culture, creating additional values and new opportunities. Concerning the evaluated characters, the ones that most contributed to the genetic diversity based on the canonical variables were WTF, CPS, and FLP. Thus, these characteristics have a greater influence on the distribution of genetic variation, and hence are indispensable in the characterization of the genetic resource of cocoa. Nevertheless, the descriptors LW, TNSF, and ET contributed the least to the distribution of genetic variation. They may be suppressed in subsequent phenotypic analyses, except when genetic improvement aims to increase values in these specific descriptors.

Considering the analyses made for the leaves, we have seen that they present dimorphic characters, corresponding to the different types of stems on which they appear. However, the highest mean values were observed in group 2. State that non-shaded leaves grow more intensely than shaded ones, probably due to greater indoor water stress and higher ambient temperature. Therefore, those that grow in the shade are longer and greener than those that grew in full sun (Wood; Lass, 1985).

When selecting plants for production, it is recommended to use quantitative characteristics together. For this, it is possible to select, for example, genotypes from groups 4 and 5, obtained during characterization, as these groups. In addition to having plants with high values for weight fruit, they also have genotypes with diameters, fruit length, longitudinal perimeters and transversal, weight total of seeds, the total number of seeds, and width of seeds that are interesting criteria. These characteristics are essential for plant selection and improvement in terms of bean yield. The morpho-agronomic characterization of these parameters during this study is relevant and is favorable for the mass selection of cocoa

Table 6. Groups formed by Ward-MLM methods for analyzing quantitative data on the different *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern Bahia,Brazil.

Groups	Genotypes

1	CCN51; 2058; 2041; 2002; 7015; 7016; 5012; 7011; 3009; 2079; 2000; 7018
2	2056; 2096; 2087; 2066; 5016; 2049; 2076; 5011; 2037; 3006
3	2046; PS1319; 5004; 5006; 2048; 2039; 2050; 5008; 3005
4	2074; 2075; 7017; 2001; 2003; 3008; 3004; 5014; 3002; 3003; 102202; 105614
5	2011; 105707; 7019; 105710; 3007; 3010; 2021; 2089

Table 7. Means of nineteen quantitative descriptors for each of the four groups formed by the Ward-MLM method and the first two canonical variables (CAN) for evaluating *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern Bahia,Brazil

Descriptors	1	2	3	4	5	CAN1	CAN2
TWF	337.42	502.31	595.68	473.96	734.46	0.825128	0.240658
FL	116.54	140.18	152.22	143.02	177.01	0.698677	0.264823
FD	80.5	89.25	91.48	85.78	94.67	0.65909	0.150247
GD	1.57	2.21	3.52	2.65	4	0.66247	0.045324
PW	7.6	11,66	14.17	11.91	18.63	0.675928	0.237769
FLP	313.84	370.76	397.18	373.5	443.7	0.776507	0.259128
FTP	256.23	285.96	298.2	279.91	308.51	0.723617	0.136944
CSP	237.95	365.41	447.44	335.4	535.57	0.822014	0.186128
TWS	87.44	123.78	125.63	125.24	161.25	0.65024	0.359366
10SWP	23.85	29.51	31.2	27.8	35.58	0.627745	0.222522
10S/OP	17.1	21.09	22.23	20.2	24.66	0.660643	0.209289
TNSF	38.98	42.22	39.86	42.07	44.51	0.204591	0.290184
MaxTM	12.04	13.9	15,9	15	15.21	0.691704	-0.076248
MinTM	9.22	10.45	10.78	11.75	10.96	0.352306	0.102169
ET	5.59	5.96	6.8	6.03	5.87	0.250288	-0.245525
SL	24.46	26.06	26.91	26.26	25.41	0.402818	-0.186676
SW	12.49	13,28	12.6	14.16	13.68	0.251024	0.443804

LL	332.25	348.38	297.44	278.13	318.15	-0.25423	0.157029
LW	118.93	122.58	115.33	98.55	111.3	-0.154423	-0.07506

TFP – Total fruit Weight; FL- Fruit length; FD – Fruit Diameter; GD – Groove Depth ; TWS – Total weight of seeds per fruit; PW – Placenta weight; FLP– Fruit Longitudinal Perimeter; FTP–Fruit transverse perimeter; CPS– Coco Pod Shell weight; MaxTM – Maximum Thickness of Mesocarp ; MinTM – Minimum Thickness of Mesocarp ; ET – Endocarp thickness; 10SWP–Weight of 10 seeds with pulp; 10S/OP – Weight of 10 seeds without pulp; TNSF – Total Number of Seeds per fruit; SL – Length of the 4 Seeds per Fruit; SW – Width of 4 Seeds per Fruit, LL –Leaf Length; LW – Leaf Width

Qualitative characters varied for fruit color and basal constriction in most groups holding the 51 genotypes analyzed, as described in Table 8. It was observed that 96.07% of the genotypes evaluated had yellow color. Only genotypes in groups 1 and 2 contained red color genotypes and a large variation in the characteristics of the shape of the pod shell apex. Furthermore, 100% of the groups had the three types of apexes. Therefore, the intermediate shape of the apex of the fruit was predominant, with 58.82% of genotypes, followed by the rounded shape with 21.56% and, finally, the pointed shape with 19.62%. Rough characters also varied between groups, except for group 4, which did not show genotypes with this characteristic. However, it was observed that for the presence and absence of the basal constriction of the fruit, group 4 contained more genotypes with lack of basal constriction, and group 2 had more for the presence of the basal constriction. For the leaf format, groups 1, 2 and 5 did not have obtuse format leaves, on the other hand in all the other groups, there is a great variability leaves with different formats.

Table 8. Absolute frequency of qualitative variables in each of the five groups formed by the Ward-MLM method for evaluating *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern of Bahia,Brazil

Qualitative descriptors	1(12)	2(10)	3 (9)	4 (12)	5(8)
Ripe fruit colors					
Yellow	11	9	9	12	8
Red	1	1	---	---	---
Shape of the pod shell apex					

Rounded	4	1	2	3	1
Intermediary	7	8	2	7	6
Pointed	1	1	5	2	1
Roughness					
Smooth	3	5	4	3	5
Intermediary	7	4	4	9	2
Rough	2	1	1	---	1
Presence of basal constriction					
Absent	4	2	4	7	2
Present	8	8	5	5	6
Leave format					
Short acuminate	5	2	2	5	1
Long acuminate	5	5	5	4	4
Obtuse	---	---	1	1	---
Acute	2	3	1	2	3

In this study, we evaluated the cross-section of the trunk or also called the intensity of vegetative growth. The factorial ANOVA indicated that there is a significant difference between the cultivars in relation to growth, between the fortnights of evaluation, and the interaction between these factors (Table 9 and Figure 3). The plants growth was highly significant, indicating that growth is influenced in relation to time, even in the initial periods of germination, the period of seedling development. The CCN51 and 2079 plants showed the highest growth values in the first 75 days of evaluation, with values of 278.20 mm and 276.80 mm, respectively. genotypes 3007 and 3004 showed slower growth, with values of 154.76 mm and 155.56 mm. For the assessment of the cross-section (plant diameter) of the trunk, the comum cacao genotypes 2089 and 2066 had larger diameters, the smaller being represented by the 2001 material. Cultivation of cacao as a high-yield crop requires several years of observation field tests to identify predictive characteristics of high cumulative yields in order to accept yield efficiency in terms of plant attractiveness, tree vigor and planting density (Olufemi et al., 2020).

Table 9. Summary of variance analysis for growth plant of 51 *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern Bahia, Brazil

		Mean Square	
Sources of Variation	Degree of freedom	Height	Diameters
Genotypes	50	136671.30*	8.144*
Age of grow	4	1574936.58*	1425.63*
Age of grow * Genotypes	200	2437.44*	1.82*
Error	6552	1428.58	0.34
Total corrected	6806	6629	6629
Cv (%)		17.63	16.50
Mean		214.37	3.55

*****Significant at 5% by F-test

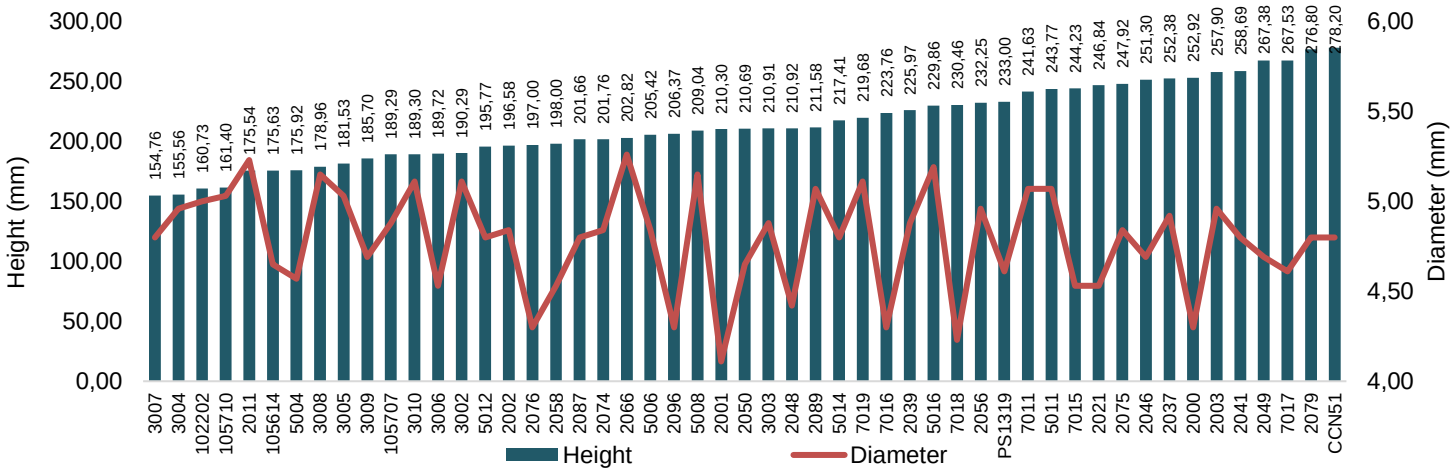

Figure 3. Growth and development of progenies for 51 *Theobroma cacao* genotypes from 'cabruca' crops in Southern Bahia, Brazil

Estimates of genetic parameters

Table 10 presents estimates of certain genetic parameters related to the population of cacao trees in southern Bahia, which are of great importance for future selection strategies. Regarding the observed phenotypic variance, it was found that TFW has the highest value among the traits studied in the population, indicating significant diversity in this trait within the population.

As for the genetic variance, TFW and CPS showed higher values compared to other traits studied in the population, suggesting that these traits are primarily influenced by genetic variations among individuals. This observation offers a strong potential for identifying superior genotypes in the population analysis, given the high genetic variance of these traits. Furthermore, for TFW, a very high heritability value was also observed, estimated at around 85%, and high heritability values were also found for FL, FD, FLP, and FTP. These findings indicate the capacity for intergenerational transmission of these traits through genes, highlighting that they are strongly influenced by genetic factors and can be improved through mass selection.

However, concerning the total number of seeds per fruit, it was observed that this characteristic exhibited a significant environmental variance, while heritability and genetic variance were very low. Additionally, the average genotype ratio was less than one, suggesting that the majority of the observed variation in this population is attributed to environmental factors rather than genetic variations.

Tabela 10: Estimates of the genetic parameters of the nineteen fruit characters evaluated for the 51 cocoa genotypes cultivated in the cabruca system in Southern Bahia,Brazil.

	TFW[1]	FL[2]	FD[3]	GD[4]	FLP[5]	FTP[6]	PW[7]	CPS[8]	MinTM[9]	MaxTM[10]	ET[11]	TWS[12]	10SWP[13]	10S/OP[14]	TNSF[15]	SL[16]	LS[17]	LL[18]	LW[19]
σ^2_p	26116,03	813,79	57,73	1,87	3212,94	696,99	27,58	15632,43	3,85	4,24	1,79	1242,79	37,25	15,05	35,94	2,84	1,20	2446,81	389,67
σ^2_e	3756,06	120,78	12,66	0,18	357,03	199,50	4,03	2571,39	0,95	1,60	0,45	242,82	4,75	2,48	22,19	1,27	0,87	375,80	39,58
σ^2_g	22359,96	693,01	45,07	1,69	2855,90	497,48	23,54	13061,04	2,89	2,64	1,33	999,97	32,50	12,57	13,75	1,57	0,32	2071,01	350,09
h^2	85,61	85,15	78,06	90,10	88,88	71,37	85,36	83,55	75,13	62,33	74,56	80,46	87,24	83,49	38,25	55,33	27,20	84,64	89,84
CVg	29,15	18,35	7,66	46,96	14,25	7,86	38,85	30,74	15,97	11,28	19,23	25,86	19,49	17,03	8,95	4,86	4,29	14,47	16,55
Cparc	68,61	67,81	56,65	76,99	74,60	47,80	68,17	65,10	52,60	37,80	51,84	60,20	71,52	65	18,53	31,26	12,06	52,43	63,88
CVg/CVe	1,47	1,45	1,14	1,82	1,71	0,95	1,46	1,36	1,05	0,77	1,03	1,22	1,5	1,36	0,47	0,67	0,37	1,04	1,33

σ^2p :Phenotypic Variance; σ^2e :Environmental Variance; σ^2g :Genotypic Variance; h^2:Heritability; CVg : Genetic Coefficient of Variation; Cparc: Parcel interclass correlation; CVg/Cve : Average Ratio of Genotypes

Total fruit weight[1]; Fruit Length[2] ; Fruit Diameter[3] ; Groove Depth[4] ; Fruit Longitudinal perimeter[5] ; Fruit Transverse Perimeter[6] ; Placenta Weight[7] ; Cocoa Pod Shell[8] ; Minimum Thickness of the Mesocarp[9]; Maximum Thickness of the Mesocarp[10]; Endocarp Thickness[11]; Total Weight of Seeds per Fruit[12] ; Seed Weight with Pulp[13]; Seed Weight without Pulp[14]; Total Number Seed per Fruit[15]; Seed Length[16]; Leaves length[18] ; Leaves Width[19]

CONCLUSION

There is genetic variability in the 51 cocoa genotypes studied, considering the morphoagronomic variables for fruits, leaves and young plant (progenies) growth. The most promising genotypes for breeding in the program belong to group 5, due to their good performance for almost all traits. This research identifies 2074, 2041 and 2058 as promising genotypes to improve cocoa production in the region.

AUTHOR'S CONTRIBUTIONS

Investigation, M.E.G.; Writing, original draft preparation, M.E.G.; Data curation, M.E.G.; Visualization, M.E.G.; Software, formal analysis M.E.G and C.A.F.M.; Writing, review and editing, M.E.G, C.A.F.M, M.M.S, and R.X.C, Conceptualization, R.X.C.; Methodology, R.X.C.; and M.E.G.; Resources, C.A.F.M, M.M.S and R.X.C.; Project administration, R.X.C. Supervision, R.X.C.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful for the logistical support and permission to collect biological material on a farm located in the municipality of Arataca, BA, especially technicians Reginaldo Barbosa Gomes and Idelbrandando de Jesus Fernandes. MEG would like to thank the Brazil PAEC-OEA-GCUB, UESC, and CAPES scholarship program for the travel assistance and the master's scholarship at Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular in UESC. RXC thanks CNPq (process 308959/2019-1) for the scientific productivity grant.

REFERENCES

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society, 141(4): 399-436, 2003.

CAOBISCO/ECA/FCC. Fèves de cacao: Exigences de qualité de l'industrie du chocolat et du cacao, Royaume-Uni (4) p.46-47. 2015. ISBN: 978-2-9601817-1-5.

CHEESMAN, E.E.Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations. Tropical Agriculture, 1944.

CUATRECASAS, J. Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. Smithsonian Institution, 35 (6):394, 1964.

ENGELS, J. M.M. The systematic description of cacao clones and its significance for taxonomy and plant breeding.Wageningen University and Research, 1986.

ENGELS, J.M.M.; BARTLEY, B.G.D.; ENRÍQUEZ, G. A. Cacao descriptors, their states and modus operandi.Centro Agronomico de Investigacion y Enseñanza (CATIE), (1):1980.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. Ciência e agrotecnologia, 35(6):1039-1042, 2011.

GOUDE, K. A. ; ADINGRA, K. M. ; GBOTOGNON, O. J. et al. Biochemical characterization, nutritional and antioxidant potentials of cocoa placenta (*Theobroma Cacao* L.). Annals Food Science and Technology, 20 (3) 603-613, 2019.

GOWER, J.C. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics, 27(4) 857-871, 1971.

INDIARTO, R. et al. A Review of Innovation in Cocoa Bean Processing By-Products. *Int. J, 9,* 1162-1169, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE 2022).Levantamento sistemático da produção agrícola. Available: https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil. Accessed jan.10, 2023.

INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION *(*ICCO*).Quartely Bulletin of cocoa statistics, XLVIII, (4), 2021/2022*. Available at: https://www.icco.org , Accessed Jan. 10, 2023.

LEMBANG, R. P. et al. Identification and analysis of relationship several local promising clones cocoa (Theobroma cacao L.) based on morphological characters in South Sulawesi. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, p. 012024, 2019.

MARSSARO, A. L, et al. Resistance to witches' broom in adult plants and progeny of local varieties of cacao in Southern Bahia. Bragantia, 79,546-557, 2020.

MELO, C. A. F. et al. Multivariate analysis of backcross progeny of Passiflora L.(Passifloraceae) for pre-breeding genotype selection. Genetics and Molecular Research, 14(4): 15376-15389, 2015.

MOTAMAYOR, J. C. et al. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity, 89, (5): 380-386, 2002.

MOTAMAYOR, J.C. et al. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). PloS one3 (10): e3311, 2008.

MUSTIGA, G.M. et al. Phenotypic description of *Theobroma cacao* L. for yield and vigor traits from 34 hybrid families in Costa Rica based on the genetic basis of the parental population. Frontiers in plant science, 9(808): 2018.

ODDOYE, E.O.K.; AGYENTE-BADU, C.K.; GYEDU-AKOTO, E. Cocoa and its by-products: Identification and utilization. Chocolate in health and nutrition, 2013, 23-37p.

OETTERER, Marília. Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos.Barueri, SP, Editora ManoleLtda, 2006,8p

OFORI,P.; AKOTO,O. Production and Characterisation of Briquettes from Carbonised Cocoa Pod Husk and Sawdust, Open Access Library Journal, 7 (02) e6029, 2020.

OLUFEMI, A. K. et al. Effect of high density planting on the vigour and yield of *Theobroma cacao* L. in the Southwest of Nigeria. World Journal of Advanced Research and Reviews, 8, (1) 217-223, 2020.

OZTÜRK. G; YOUNG, G.M. Food evolution: the impact of society and science on the fermentation of cocoa beans.Van Buren St. Chicago:comprehensive reviews v, 3. p 431-45, 2017.

PINTO, L. R. M. ; PIRES, J. L. Selecao de plantas de cacau resistentes a vassoura de bruxa. Ministerio da Agricultura e do Abastecimiento Ilhéus : CEPLAC, 1998.34. (CEPLAC. Boletim técnico, 181).

PRAZERES, I.; LUCAS, M. R.; MARTA-COSTA, A. Cocoa markets and value chain: dynamics and challenges for São Tomé and Príncipe organic smallholders. International Journal of Innovation and Economic Development, 7 (2) 64-76, 2021.

RAMÍREZ-GUILLERMO, M.Á. et al. Morphological variation of cacao (*Theobroma cacao* L.) fruits and seeds from plantations in Tabasco, Mexico. Revista fitotecniamexicana, 41 (2), 117-125, 2018.

REGES, B.M. et al. Quality variables for technological application of cocoa clones from the Brazilian semiarid region. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 25(3) 203-208, 2021.

RESTREPO, T. I.; URREGO, J. E. Protocolo para la caracterización morfológica de árboles élite de cacao (TheobromacacaoL. Medellín, Colombia: Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. 2018.

SCHEUER, P.M. et al. Quality properties of a bread made with levain and cocoa waste. Journal of Culinary Science & Technology, 20(5) 409-420, 2022.

SOMARRIBA, E.; LÓPEZ SAMPSON, A. Coffee and cocoa agroforestry systems: pathways to deforestation, reforestation, and tree cover change, CATIE Turrialba, Costa Rica: Background paper, p.2. 2018.

WHITLOCK, B.A.; BAYER, C.; BAUM, D. A. Phylogenetic relationships and floral evolution of the Byttnerioideae ("*Sterculiaceae*" or *Malvaceae*sl) based on sequences of the chloroplast gene, ndhF. Systematic Botany, 26 (2): 420-437, 2001.

WOOD, G. A. R.; LASS, R. A. Cocoa (Tropical Agriculture).United States,Wiley: Blackwell: 1985, 13-14p.

ZUIDEMA, P.A. et al. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. Agricultural systems, 84(2): 195-225, 2005.

4. CONCLUSÃO GERAL

Esta pesquisa traz novos conhecimentos sobre a caracterização morfoagronômica e a variabilidade genética na população local da Bahia. Os objetivos gerais deste trabalho foram: a) avaliar a variabilidade fenotípica dos descritores morfo-agronômicos em 51 genótipos pertencentes a diferentes variedades locais tradicionais de cacau; b) avaliar a variação morfológica dos frutos, sementes, folhas e crescimento desses genótipos para identificar a variação morfológica existente nas plantações de cacau; c) estimar os componentes de variância e herdabilidade de vários caracteres morfoagronômicos para compreender os fatores que contribuem para a variação dos caracteres fenotípicos e avaliar a proporção dessa variação atribuível às diferenças genéticas no sul da Bahia.

As análises realizadas com os diversos dados coletados revelaram a existência de variabilidade genética nos 51 genótipos de cacau estudados, considerando as variáveis morfoagronômicas para o crescimento dos frutos, folhas e plântulas. O procedimento estatístico Ward-MLM mostrou-se uma ferramenta útil para detectar a divergência genética e o acesso de grupos na cultura do cacau, utilizando tanto variáveis quantitativas quanto qualitativas. Os genótipos mais promissores para o programa de melhoramento pertencem ao grupo 5, devido ao seu bom desempenho para quase todas as características estudadas.

Os caracteres que mais contribuíram para a diversidade genética foram o peso dos frutos por planta, o diâmetro dos frutos, a profundidade das fendas, o perímetro longitudinal e transversal dos frutos, bem como o número de sementes por fruto. Nesta pesquisa, os genótipos 2074, 2041 e 2058 foram identificados como capazes de promover materiais robustos para melhorar a produção de cacau na região e auxiliar na gestão dos fatores genéticos. Esses genótipos são considerados promissores, de alto rendimento e apresentam semelhanças com o clone CCN51.

Supplementary Material

Genótipos	PTF	CF	DF	PrS	PP	PLF	PTF	PC	PTS	P10SP	P10SS	NTSF	EMA	EMI	EE	CS	LS	CF	LF
CCN51	1016,3	221	84,3	8,3	30,9	578,3	340	709,3	264,4	52	29,2	52,6	15,6	8,6	2,61	26,6	13,6	281	103
2074	826,8	197,3	99,6	4,6	20	443,6	275,6	558,5	139,2	32	24,1	48	15	11	7,3	25,3	11	292	104
2058	776,3	198,3	92,6	5	21,9	473,6	310	603	149,5	34	21,8	46	16,6	12,3	8	25,6	15	310	105
2041	714,4	158,9	99,3	3,6	17,7	411,3	316,3	527,9	121,5	33,1	22,8	35,6	18	11,6	9	27,3	13	288,2	118
2002	701,9	150	99	2,5	20,9	400	319,5	531,6	148,9	31,7	20,3	49,5	17,5	15	8,5	29	13	333,2	124
2089	683,8	155,3	101	2,6	10,8	416,6	321,6	514,8	150,8	34,3	22,9	45,3	16	8,6	5	24,3	13	404	154
2075	672,3	150	94,6	3	13,8	414,6	326,6	516,5	132,5	36,5	25,5	38,6	15,3	8,6	4,6	26,6	14,6	247	97
7015	639,8	116	101	3	16,5	350,6	328	455	164,2	38,4	26,9	44	19,6	14,3	7	29,3	15	346,6	113,8
7017	635,5	160,3	90,3	2,6	13,5	443,4	306,6	477,6	142,7	28,8	23,5	47,6	12,6	9,3	6,3	27,6	12	339	130,6
2001	629,2	170,6	92,3	3,3	10,6	423,3	299,6	478,3	131,9	33,5	22,8	39,3	18	11,3	7	27,6	11,3	343	138
2021	585,4	142,3	93	1,6	23,6	389,3	300,6	419,1	140,5	33,7	20,7	43	14,6	11	4,6	26,3	14	322,6	121,4
2003	581	145	90,6	3,6	15	376,6	299	421,8	137,7	31	22,2	42,6	16	10	6,3	27,3	12,3	310	108,6
2056	569,8	168,6	87,3	3	12,7	415,6	282	443,7	110	33,1	24,9	34,3	16	12,3	6,6	23,6	15	275	92
2096	566,4	157,6	89,3	4	8,2	403	288,6	439,4	114	29,3	21,8	39,3	14,6	7	5,3	27	13,3	337	129
7016	566	163,6	86,3	4	15,8	410,6	290	391,5	155,5	30,6	19,3	52,6	12	7,3	4,3	24,3	11,6	384	129,4
5012	563,5	137	94	1,5	17,5	368,5	300	409	134	32	22	44,5	14,5	12	6	26,5	12	307,8	108,6
2087	552,3	150	87	4,5	14,9	382,5	286	413,7	121	29,5	20,7	35	14,5	11	5	24,5	12,5	236	99
2066	532,6	138	90	4,3	14,9	373,3	290,6	397,7	118,5	37,6	26,3	32,3	16,6	11,6	7,6	28,3	13	246	101
5016	527	166	88	1	11	414	288	414	99	30	21	34	14	12	7	29	12	337,8	123,4
2049	521,4	137,6	91	1,6	14,3	365,6	289	361,2	140,2	30	22,1	47,3	14,3	10,6	5,3	25,6	15	281,6	93
2046	496,9	113	89,6	2,1	13,3	350,6	293,3	357,3	121,7	29,3	20,9	44,6	15,6	13	6	26,3	13,3	290,6	92,8
7011	496,7	123,3	88,3	3	12,9	344,6	293,6	378,7	103,1	31,6	22,7	38	16	14	7,3	25	14	315,2	112,4
3009	488	134,3	93,3	3,3	11,6	347,6	290	368	119,3	26	17,6	43,6	13,3	11	6	27,6	13,3	263	99
2079	486	142	86,3	1,6	7,4	370	272,3	376,9	96	35	25	29,6	16	10,6	5	27,6	14,3	366	148
PS1319	474,5	133	82,3	2	8,4	442,6	268	340,3	120,9	25,9	19	43,6	12	7,3	2,33	24,6	14,6	292	103
5004	471	137	89	2	11	350	280	341	118	24	18	39	12	10	7	26	13	363,4	137,6
5006	469	133	90	3	6	360	280	329	132	28	21	40	13	11	7	25	14	326,8	106,8
2048	466,9	125,3	89,3	2	11	345,3	292,6	339,1	114,9	30,9	24	40	12,6	9,6	6,6	24,6	13	268	93,6
2000	466,4	132,3	85	2,1	11	354,6	276	349,1	103,1	24,7	17	42,6	15,6	11	7	23,6	15,6	274	86
2076	461,3	134,6	88,3	3,3	8,3	353,3	285	355,2	116,4	27,2	19,6	43,6	13,6	9	5	23,3	13,6	396	143
5011	461	138	90	2	12	365	282	319	125	29	22	47	14	9	7	27	14	429,8	143,2
2037	447,9	139,6	85,6	3,3	11,9	361,3	277,6	339	94,5	26,3	19,7	37,6	15,3	10,3	7	23,6	13	244,6	89,8
3010	424,3	125	88	1	9,6	340,3	282,3	317	97	20,6	15	45,6	14,3	10,6	6,6	25,3	12	367	133
3007	407	116	85,3	1	7,3	296	243	270,6	106	25	17	43,6	12,6	11	7	24	12,6	292	112
2039	387,5	117	86	3	5,6	328,3	275	307,2	72,7	22,5	17,8	38,3	15	12,3	5,3	27	13,3	298,8	110,8
2050	382,5	132	78,3	2	8,5	344,6	255	294,5	77,4	28,3	21,8	34,6	13	9,6	6,3	23,6	12,3	299,4	99,4
7018	381,3	139,3	81,3	3,6	11,9	360,3	266	293,1	63,5	34,6	19,3	20,3	14	8,3	4,3	21,6	12,3	318	120
5008	358	133	80	1	8	343	259	244	102	21	17	48	9	7	6	23	12	305,6	98,6
3005	341	107,3	84,3	1,3	9	310	268	236	94,6	24,3	17,3	40,6	13	10,6	6	25	12	362	137
3008	333	106	82	1	10	301	263	226	96,3	24	18,6	40,3	12	9,6	5,6	26,6	13,3	407	140
3004	327,6	111,6	80,6	1	6,6	304	259	225,6	96,6	21	14,6	45,3	12	9,3	5,4	23	12,3	316	115
5014	319,5	120	79	2	4,5	320	251	223	89	24,5	16	36	13	9,5	5	25	12,5	322	105,2
3006	290,3	101	80	1	6,3	288,6	255,6	196,3	86,3	22,3	18	38,3	11	9,6	5,6	24,6	12,3	370	136
3002	264,3	108	76,6	1	3,6	294	245,6	185,3	72,6	22	17,6	34,6	11	8,6	5	25,3	13,3	284	97
3003	220,3	99,3	70,6	3	6	264,3	227,3	144	68	18,6	13	40,6	9,6	7	4,3	26,6	13	344	134
105710	361	151,6	77	2,3	10	368,3	249,3	196,3	149,6	28	23	40	15,6	13,3	6	25,6	13,3	205	90
102202	563,6	213,3	85,6	3,3	15	445	280	393,6	154,3	22,6	16	41,6	16	14	6	28	15,3	242	79
7019	699,3	162,3	98	4,3	14,6	422,6	313,3	486,6	182	36,6	31	46,3	13,6	11,6	7,3	26	14,3	263	70,6

105707	317,3	133,6	77	2,6	15,6	347,6	243,3	201	106,3	21	13,6	48,6	15	13	6,3	26	14	280	89
105614	353,6	186,6	70	2,3	11,6	393	236,6	180	162	25,6	19,3	46	14	12,6	8	27,3	14	306	109
2011	718	171	101,6	2,6	14,6	410	325	549,6	153,6	29	22,7	40,6	14,3	12,3	5,6	25,6	13,6	397,6	140,4

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA GERAL

ALMEIDA, A.A.F.; VALLE, R.R. Ecophysiology of the cacao tree.Braz. J. Plant. Physiol., Rio de Janeiro, v.19, n.4, p.425-448, 2007.

ALMEIDA, C.M.V.C. Ecologia de populações naturais. In: Dias L. A. S. (Ed.) Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG. p.129-162, 2001.

ALMEIDA, C.M.V.C.; ALMEIDA, C.F.G. Coleta de cacau silvestre no Estado de Rondônia. Rev. Theobroma, Itabuna, v.17, n.2, p.65-92, 1987.

ALMEIDA, C.M.V.C.; BARRIGA, J.P.; MACHADO, P.F.R.; BARTLEY, B.G.D. Evolução do programa de conservação dos recursos genéticos de cacauna Amazônia brasileira. In: BOLETIM TÉCNICO, 51987. Belém:CEPLAC/DEPEA. 108p, 1987.

ALMEIDA, C.M.V.C.; DIAS, L.A.S. Recursos genéticos. In: DIAS, L.A.S. (Ed.) Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG. p.163-216, 2001.

ALMEIDA, C.M.V.C.; DIAS, L.A.S. Recursos genéticos. In: DIAS, L.A.S. (Ed.) Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG. p.163-216, 2001.

ALMEIDA, C.M.V.C.; MACHADO, P.F.R.; BARRIGA, J.P.; SILVA, F.C.O. Coleta de cacau (Theobroma cacao L.) da Amazônia brasileira: uma abordagem histórica e analítica. Porto Velho: CEPLAC/SUPOC. 92p, 1995.

APG II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society, v. 141, s/n, p. 399-436, 2003.

ARAÚJO, M. R. A.; VASCONCELOS, H. E. M. Melhoramento genético participativo: uma estratégia para os ambientes adversos do semi-árido nordestino. In: Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7., 2007, Fortaleza. Agricultura familiar, políticas públicas e inclusão social: anais. Fortaleza: EmbrapaAgroindústria Tropical, 2007. 10 f. 1 CD-ROM,2007.

BARTLEY, B.G.D. The genetic diversity of Cacao and its utilization. Massachusetts: CABI Publishing, 341p. 2005.

BECKETT, S. T. The science of chocolate. Cambridge: Royal Society of Chemistry. Panperbacks, 175 p. 2000.

BIALE, J. B.; BARCUS, D. E. Respiratory pattern in tropical fruits of the Amazon Bazin.Tropical Science, v.12, n. 2, p. 93-104, 1967.

Brainer, M. S. C. P. Produção de Cacau. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE, Ano 6, (149), 1-23, 2021.
BRASILEIRO, A. C. M.; CARNEIRO, V. T. C. Manual de transformação genética de plantas. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, editoras técnicas, 2015.

CARVALHO, C. G. P.; et al. Avaliação e seleção de híbridos de cacaueiro em Rondônia. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 36, n. 8, p. 1043-1051, 2001.

CEPLAC (COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA). Cacau: história e evolução. Disponível em:<http://www.ceplac.gov.br/radar/cacau.htm>. Acesso em: fev. 2023.

CHAPMAN, R.K.; SORIA, S.J. Comparative Forcipomyia (Diptera, Ceratopogonidae) pollination of cacao in Central America and Southern Mexico.Rev. Theobroma, Itabuna, v.13, n.3, p. 129-139, 1983.

CHEESMAN, E.E.Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations. Tropical Agriculture, 1944.

COPE, F.W.The mechanism of pollen incompatibility in Theobroma caca L.Heredity, ReinoUnido, v.17, n.2, p.157-182, 1962.

CUATRECASAS, J. Cacao and its Allies: A taxonomic revision of the genus Theobroma. Washington: Smithsonian Institution, 236p. 1964.

DIAS, L.A.S. Origem e dispersão de Theobroma cacao L: novo cenário. In: DIAS L.A.S. (Ed.) Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG, p. 81-127. 2001.

DIAS, L.A.S.; BARRIGA, J.P.; KAGEYAMA, P.Y.; ALMEIDA, C.M.V.C. Variation and its distribution in wild cacao populations from the Brazilian Amazon.Braz.Arch. Biol. Technol., Curitiba, v.46, n.4, p.507-514, 2003a.

ESKES, A.B. Collaborative and participatory approaches to cocoa variety improvement. Final report of the CFC/ICCO/Bioversity project on Cocoa productivity and quality improvement: A participatory approach (2004–2010). CFC, Amsterdam, The Netherlands/ICCO, London, UK/Biodiversity International,Rome, Italy, 2011.

FERREIRA, A. C. R. F.; AHNERT, D.; MELO NETO, B. A.; MELLO, D. L. N. Guia de beneficiamento de cacau de qualidade. Ilhéus, BA: Instituto Cabruca, 2013.

GRAMACHO, I.C.P.; MAGNO, A.E.S.; MANDARINO, E.P.; MATOS, A. Cultivoe beneficiamento do cacau na Bahia. Ilhéus: CEPLAC/CEDEX,194p,1992.

HARVEY, C.A.; GONZALEZ, J.; SOMARRIBA, E. Dung beetle and terrestrial mammal diversity in forests, indigenous agroforestry systems and plantain 41 monocultures in Talamanca, Costa Rica. Biodiversity and Conservation, California, v.15, n.2, p.555–585, 2006.

HOLDEN, C. Cheers for chocolate. Science, Washington, v.284, n.5411, p.39, 2000.
HUNTER, H.; Leake, H.M. Recent advances in agricultural plant breeding.Philadelphia: Blakiston, 361p. 1933.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2022).Levantamento sistemático da produção agrícola. Available: https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil.Accessed jan.10, 2023.
INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION (ICCO).ICCO-Monthly-Cocoa-Market-Report-November-2022.Available at: https://www.icco.org/wp-content/uploads, Accessed April. 14, 2023.

INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION (ICCO).Quartely Bulletin of cocoa statistics, XLVIII, (4), 2021/2022. Available at:https://www.icco.org , Accessed Jan. 10, 2023.

KONGOR,J. E.; HINNEH, M.; WALLE, D. V.; AFOAKWA, E. O.; BOECHX, P.; DEWETTINCK, K. Factors influencing quality variation in cocoa (Theobroma cacao) bean flavour profile - A review. Food Research International, v. 82, s/n, p. 44-52, 2016.

LALIBERTÉ, B.; CRYER, N.C.; DAYMOND, A.J.; END, M.J.; ENGELS, J.; ESKES, B.; GILMOUR, M.; LACHENAUD, P.; PHILIPS-MORA, W.; TURNBULL, C.J.; UMAHARAN, P.; ZHANG, D.; WEISE, S. A Global Strategy for the Conservation and Use of Cacao Genetic Resources.As the Foundation for a Sustainable Cocoa Economy.In: 17th INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 15-20, 2012, Yaoundé. Proceedings… Yaoundé, 2012.

LANAUD, C.; FOUET, O.; CLÉMENT, D.; BOCCARA, M.; RISTERUCCI, A.M.; SURUJDEO-MAHARAJ, S.S.; LEGAVRE, T.; ARGOUT, X. A meta-QTL analysis of disease resistance traits of Theobroma cacao L. Mol. Breeding, Paris, v.24, n.4, p.361–374, 2009.

LIMA, J.P.C. Estudo da variabilidade genética de cacau nativo em comunidades na região do médio Purus – AM. Monografia (Bacharelado emEngenharia Florestal) - Centro de Ciências Biológicas e da Natureza,Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2012.

LOPES, U. V. et al. Cacao breeding in Bahia, Brazil - strategies and results. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 1, p. 73-81, 2011.

LOPEZ, A. S.; DIMICK, P. S. Cocoa fermentation.In: REED, G.; NAGODAWITHANA, T. W. Biotchnology, Amsterdam: Elsevier, v. 14, s/n, p. 562-577, 1995.

LUNA, F.; CROUZILLAT, D.; CIROU, L.; BUCHELI, P. Chemical composition and flavor of Ecuadorian cocoa liquor.Journal of Agriculture and Food Chemistry, v. 50, n. 12, p. 3527-3532, 2002.

MAY, P.; VEGRO, R.; MENEZES, J.A. Coffee and cacao production and processing in Brazil. In: UNITED NATIONS CONFERENCEON TRADE AND DEVELOPMENT. UNCTAD/COM, Ro. 1993.

MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 1, p. 243-253, 2010.
MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI. Companhias dos Vales do São Francisco e Parnaíba. Estudos agronômicos do cacau - 2 º relatório de andamento. Elaboração do estudo de viabilidade sócio-técnico-econômica e ambiental, e EIA/RIMA para o perímetro irrigado de Cruz das Almas do projeto Sertão de Pernambuco, localizado no município de Casa Nova - BA. Bahia. 2006.

MONTEIRO, W. R.; AHNERT, D. Melhoramento Genético do Cacaueiro. In: Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro. Segunda Edição. Brasilia-DF: CEPLAC/ CEPEC/ SEFIS, p11-30. 2012.

MONTEIRO, W.R.; AHNERT, D. Melhoramento genético do cacaueiro. In: Valle, R. R. (Ed). Ciência tecnologia e manejo do cacaueiro. Itabuna: Editora Vital, p.1-16. 2007.

MOOLEEDHAR, V.; MAHARAJ, W.; O'Brien, H.The collection of Criollo cocoa germplasm in Belize.Cocoa Growers' Bulletin (United Kingdom),1995.

MOTAMAYOR, J.C.; RISTERUCCI, A.M.; LOPEZ, P.A.; ORTIZ, C.F.; MORENO,A.; LANAUD, C. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity, Reino Unido, v.89, n.5, p.380–386, 2002.

MÜLLER, M.; BIEHL, B.Mudanças na capacidade fotossintética de folhas de cacaueiro (Theobroma cacao L.) influenciados pela intensidade de luz durante o período de vida. In 11th INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE.Yamassoukro, Côte dÍvoire pp. 634-643, 1993.

NAIR, P. K. P. The agronomy and economy of important tree crops of thedeveloping world.1. ed., London: Elsevier. 368 p. 2010.

NAVA, J. N. El cacao: Cacao, cafe y te. Barcelona: Salavat, 1953.

OETTERER, M; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Fundamentos deciências e tecnologia de alimentos. Barueri, SP: Manole. 612 p, 2006.

PINTO, G. C. P. MAGALHÃES, W. S: MARQUES, E. S.; RODRIGUES, E. M. Seleção de matrizes superiores nos cacaueiros da Bahia, Proc II Int. Cocoa Research Conf. P. 105- 113, 1969.

POUND, F.J. Cacao and witches broom disease (Marasmiusperniciosus) of South America. With notes on other species of Theobroma.Report by Dr. F. J. Pound on a visit to Ecuador, the Amazon Valley, and Colombia.April 1937-April 1938.

POUND, F.J. Cacao and witches broom disease (Marasmiusperniciosus). Report on a recent visit to the Amazon territory of Peru, September, 1942- February, 1943.

POWIS, T.G.; CYPHERS, A.; GAIKWAD, N.W.; GRIVETTI, L.; CHEONG, K. Cacao use and the San Lorenzo Olmec. In: PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, USA. v.108, n.21, p.8595-8600, 2011.

RESENDE, M.D.V.Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes. Embrapa informações tecnológicas, Brasília, pp 975, 2002.

ROLIM, S.G.; CHIARELLO, A.G. Slow death of Atlantic forest trees in cocoa agroforestry in southeastern Brazil.Biodiversity & Conservation, v.13, n.14, p.2679-2694, 2004.

SÁNCHEZ, S.E.M. Cacau e graviola: descrição e danos das principais pragas-de-insetos. EDITUS: Ilhéus, 147p., 2011.

SCHWAN, R. F.; WHEALS, A. E.The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality.Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 44, n. 4, p. 205-221, 2004.

SIEBERT, S.F. From shade-to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility.Biodiversity & Conservation, Netherlands, v. 11, n. 11, p. 1889-1902, 2002.

SILVA NETO, P.J.; MATOS, P.G.G.; MARTINS, A.C.S.; SILVA, A.P. Sistema de produção de cacau para a Amazônia Brasileira. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, Belém, PA, 125p. 2001.

SINDONI, N.R. Beneficio del cacao (Theobroma cacao L.). Venezuela: Facultad de Agronomía de La Universidad Central de Venezuela. Caracas, 32p, 2006.

SOLORZANO, R.G.L.; FOUET, O.; LEMAINQUE, A.; PAVEK, S.; BOCCARA, M.; ARGOUT, X.; AMORES, F.; COURTOIS, B.; RISTERUCCI, A.M.; LANAUD, C. Insight into the wild origin, migration and domestication history of the fine flavour Nacional Theobroma cacao L. variety from Ecuador. PloS one, v.7, n.11, p.43-48, 2012.

SOMARRIBA, E.; LÓPEZ SAMPSON, A. Coffee and cocoa agroforestry systems: pathways to deforestation, reforestation, and tree cover change, CATIE Turrialba, Costa Rica, Background paper, p.2, 2018.

SOUZA, C.A.S.; DIAS, L.A.S. Melhoramento ambiental e sócio-economia. In: DIAS L.A.S. (Ed.) Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG, p.1-48, 2001.

SOUZA, C.A.S.; DIAS, L.A.S. Melhoramento ambiental e sócio-economia. In: DIAS L.A.S. (Ed.) Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG, p.1-48, 2001.

SOUZA, C.A.S.; DIAS, L.A.S.; AGUILAR, M.A.G. Importância Econômica e Social. In: SOUZA, C.A.S; DIAS, L.A.S.; AGUILAR, M.A.G.; BORÉM, A. (Eds.) Cacau: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, p. 9-40,2016.

STEINBERG, F. M., BEARDEN, M. M., and KEEN, C. L. Cocoa and chocolate flavonoids: Implications for cardiovascular health. Journal of the American Dietetic Association, Ed. Elsevier, v.103, p.215-223, 2003.

THOMAS, E.; VAN ZONNEVELD, M.; LOO, J.; HODGKIN, T.; GALLUZZI, G.;VAN ETTEN, J. Present spatial diversity patterns of Theobroma cacao L. in the neotropics reflect genetic differentiation in Pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. PLoS One, San Francisco, v.7, n.10, p. 47676, 2012.

VALLE, R. R. Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro. 2 ed. Brasília: CEPLAC, 2012. 688 p.
VAVILOV, N. I. et al. Phytogeographic basis of plant breeding. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants.1951.

VELLO, F.; MEDEIROS, A.G. Expedição botânica à Amazônia brasileira. Cacauatualidades, Itabuna, n.2., p.47-51, 1965.

YOUNG, A.M. The Chocolate Tree: A Natural History of Cacao. EUA: University of Florida, 200p, 1994.

ZAPFACK, L.; ENGWALD, S.; SONKE, B.; ACHOUNDONG, G.; MADONG, B. A.The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon.Biodiversity & Conservation, v.11, n.11, p.2047-2061, 2002.

ZHANG, D.; MOTILAL, L. Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity.Cacao Diseases.Springer International Publishing, P.3-31, 2016.

ZHANG, D.P.; BOCCARA, M.; MOTILAL, L.; MISCHKE, S.; JOHNSON, E.S.; BUTLER, D.R.; BAILEY, B.; MEIHARDT, L. Molecular characterization of an earliest cacao (Theobroma cacao L.) collection from Peruvian Amazon using microsatellite DNA markers. Tree Genetics & Genomes, v.5, n.4, p.595-607, 2009.