

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS, FENOTÍPICOS E ESTABILIDADE EM CLONES DE CUPUAÇUZEIRO NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO AMAPÁ

Gilberto Ken Iti Yokomizo¹; Rafael Moyses Alves²; Raimundo Pinheiro Lopes Filho³; Sonia Barreto Nunes⁴; Thais Oliveira da Luz⁵

RESUMO

Este estudo avaliou quatro clones de cupuaçuzeiro nas condições edafoclimáticas do Amapá, com o objetivo de estimar a produtividade e estabilidade destes. O material genético envolveu plantas superiores selecionadas de BRS Codajás, BRS Coari, BRS Manacapuru e BRS Belém, no delineamento experimental inteiramente casualizado, com 10 plantas por clone e repetições sendo 10 frutos por planta. As características avaliadas foram: comprimento longitudinal de fruto (CFR); diâmetro transversal do fruto (DFR); espessura da casca (ECA); peso da casca (PCA); peso de sementes (PSE); peso de fibra presente no fruto (PFI); peso da polpa (PPO); peso total do fruto (PFR); número de sementes no fruto (NSE); número total de frutos por planta (NFR) e; produtividade de frutos total por planta. Os resultados indicam significativa variabilidade genética para características como comprimento de fruto (CFR), peso de sementes (PSE) e peso de polpa (PPO), sendo essas fortemente herdáveis. Os clones Manacapuru e Coari destacaram-se com alta produtividade e estabilidade, com o clone Manacapuru apresentando os melhores valores genéticos preditos (BLUP) para peso de fruto e características relacionadas à produção de polpa. A interação GxA não foi significativa, indicando desempenho consistente entre os clones avaliados nas safras de 2022 e 2023. Os índices de estabilidade e adaptabilidade (MHVG, PRVG e MHPRVG) reforçaram a superioridade dos clones Manacapuru e Coari. Conclui-se que esses clones apresentam potencial para compor uma nova cultivar essencialmente derivada da BRS Carimbó, com produtividade superior a esta, qualidade de frutos e estabilidade nas condições do Amapá.

Palavras-chave: *Theobroma grandiflorum*, variabilidade genética, melhoramento genético, adaptabilidade, REML/BLUP, clones.

EVALUATION OF GENETIC, PHENOTYPIC PARAMETERS AND STABILITY IN CLONES OF CUPUAÇUZEIRO IN THE EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS OF AMAPÁ

ABSTRACT

This study evaluated four cupuassu tree clones in the edaphoclimatic conditions of Amapá, with the objective of estimating their productivity and stability. The genetic material involved superior plants selected from BRS Codajás, BRS Coari, BRS Manacapuru and BRS Belém, in a completely randomized experimental design, with 10 plants per clone and replications with 10 fruits per plant. The characteristics evaluated were: fruit longitudinal length (CFR); fruit transversal diameter (DFR); shell thickness (ECA); shell weight (PCA); seed weight (PSE); weight of fiber present in the fruit (PFI); pulp weight (PPO); total fruit weight (PFR); number of seeds in the fruit (NSE); total number of fruits per plant (NFR) and; total fruit productivity per plant. The results indicate significant genetic variability for characteristics such as fruit length (CFR), seed weight (PSE) and pulp weight (PPO), which are strongly heritable. Manacapuru and Coari clones stood out with high productivity and stability, with Manacapuru clone presenting the best predicted genetic values (BLUP) for fruit weight and characteristics related to pulp production. The GxA interaction was not significant, indicating consistent performance between the clones evaluated in the 2022 and 2023 harvests. The stability and adaptability indices (MHVG, PRVG and MHPRVG) reinforced the superiority of Manacapuru and Coari clones. It is concluded that these clones present potential to compose a new cultivar essentially derived from BRS Carimbó, with higher productivity, fruit quality and stability in Amapá conditions.

Keywords: Cupuassu tree, genetic variability, plant breeding, adaptability, REML/BLUP, clones.

INTRODUÇÃO

O cupuaçuzeiro com nome científico de *Theobroma grandiflorum* Shum, é uma planta arbórea perene com origem na floresta tropical úmida, recebendo também as denominações de “Cupu”, “Cacau Branco”, “Cacau Amazônico” (ALVIÁREZ et al., 2016), com dispersão na região Amazônica do Peru, Venezuela, Equador, Colômbia e Brasil, pertencendo à família Sterculiaceae, gênero *Theobroma*, espécie *grandiflorum*. Outros nomes científicos pelos quais é denominada são *Bubroma grandiflorum*, *Theobroma sylvestre* (BIOPAT, 2019).

No Brasil o cupuaçuzeiro é encontrado predominantemente na bacia amazônica, tendo sua produção e comercialização nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Pará e Rondônia. Do gênero *Theobroma* a que pertence é a segunda espécie mais importante economicamente, estando atrás apenas do cacau (RAMOS, 2016).

O interesse pelo cupuaçuzeiro ocorre por ser uma das árvores frutíferas nativas para o desenvolvimento da agricultura na Amazônia brasileira com potencial devido as características de seus frutos (ALVES et al., 2014), além de estimular a implantação de sistemas de cultivo sustentável, possibilitando retorno financeiro ao agricultor familiar (FRANKLIN; NASCIMENTO, 2020). Principalmente por permitir um uso múltiplo dos subprodutos obtidos da polpa e sementes, os quais são muito aproveitados industrialmente principalmente pela presença de sabor e odor típicos e atrativos. A polpa do fruto é empregada para a preparação de diversos tipos regionalizados de alimentos, principalmente na composição de bolos, compotas, geleias e sucos (SILVA et al., 2018). A partir das sementes é obtido produtos como cupulates, que possui características nutricionais e sensoriais similares ao chocolate. Mais recentemente foi descoberto a possibilidade industrial na área de cosméticos, sendo fabricados, a partir do óleo extraído delas, cremes.

Para atender esta possível demanda o melhoramento genético do cupuaçuzeiro não pode ficar restrito em apenas disponibilizar materiais novos para plantio com alta produtividade alta de frutos e resistência aos

principais fitopatógenos, associado ao aspecto de ter um processo de domesticação relativamente recente (FALCÃO et al., 2022), mas também observar a seleção de novos cultivares com adaptabilidade específica às condições edáficas e climáticas locais, do ambiente em relação a competição interespecífica pelos recursos como luz, água e nutrientes quando plantado em consórcio com outras espécies (GIUSTINA et al., 2017).

As principais dificuldades envolvidas no programa de melhoramento do cupuaçuzeiro são inerentes às próprias características da espécie, mostrando longo ciclo reprodutivo, e presença de período juvenil amplo (três primeiros anos após o plantio no campo) e exigência de avaliações repetidas no tempo, por ter expressão fenotípica diferenciada ao longo dos anos (ALVES et al., 2021; SOUZA et al., 2002, 2012).

Por ser uma espécie perene com avaliações repetidas num mesmo indivíduo nos diferentes anos para o cupuaçuzeiro, Souza et al. (2002) recomendaram o uso da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP - Máxima Verossimilhança Residual ou Restrita/Melhor Predição Linear não Viesada). A partir de então o emprego desta metodologia vem permitindo a obtenção de resultados e maximização dos ganhos, como pode ser observado em Alves e Resende (2008), Maia et al. (2011), Alves et al. (2020b) e Alves et al. (2021). Esta metodologia confere maior acurácia e precisão nas estimativas, especialmente aquelas obtidas de ensaios desbalanceados, circunstância corriqueira em espécies perenes e quando se tem nas avaliações grande número de plantas (RESENDE, 2016).

O Estado do Amapá, também pertencente a região Norte do País e da região amazônica, também aprecia o consumo dos frutos de cupuaçuzeiro, porém não dispõe de cultivar com especificidade e adaptabilidade para as suas condições, realizando plantios com material nativo não melhorado ou cultivares desenvolvidas para as condições do do Pará. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho nas condições edafoclimáticas do Amapá, de uma população melhorada com origem de uma seleção recorrente em quatro diferentes clones de cupuaçuzeiro, componentes dos 16 parentais, do campo original de produção

de sementes da cultivar BRS Carimbó, visando-se desenvolver uma possível cultivar essencialmente derivada.

MATERIAL E MÉTODOS

O local do experimento foi no Campo Experimental da Fazendinha, que pertence à Embrapa Amapá, situado no Pólo Hortifrutigranjeiro da Fazendinha, município de Macapá, Estado do AP (dados de georreferenciamento 0°01'01.51"S; 51°06'35.18"W). O clima é do tipo Am, Megatérmico úmido com presença de estação seca curta, conforme a classificação climática de Köppen (TAVARES, 2014). A somatória média da precipitação pluviométrica anual é próxima de 2.600 mm. A temperatura média anual é de 26,5°C e a umidade relativa média anual é de 83%.

A data de plantio foi em 14 de fevereiro de 2007, com a área experimental composta por um conjunto de 4 clones (BRS Codajás, BRS Coari, BRS Manacapuru e BRS Belém), cujas mudas enxertadas foram provenientes de uma seleção recorrente de plantas superiores na população original do campo de produção de sementes da BRS Carimbó da Embrapa Amazônia Oriental.

As avaliações foram efetuadas com as plantas tendo 15 e 16 anos de idade, sendo realizadas no primeiro semestre de 2022 e 2023. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com 10 plantas para cada clone representando a parcela experimental e as repetições sendo compostas por 10 frutos por planta. O espaçamento utilizado foi em triângulos equiláteros 4,0 m x 4,0 m, num total de 722 plantas.ha⁻¹. Os tratamentos culturais foram feitos de acordo com recomendações da cultura. Esse quantitativo de plantas, no caso 10 para cada clone, é superior ao exigido em BRASIL (2013) cujo texto cita que no caso de plantas propagadas vegetativamente, todas as observações devem ser realizadas em 5 plantas ou partes de cada uma das 5 plantas.

Não se instalou conjuntamente na área a cultivar BRS Carimbó, cujo estudo aqui visa verificar se os quatro clones obtidos num processo de seleção recorrente populacional que compõe os 16 parentais deste cultivar (ALVES; FERREIRA, 2012), pois haveria um acréscimo de 400% na área de avaliação o que tornaria

inviável a sua execução, associado ao aspecto que BRASIL (2013) nas instruções para execução dos ensaios de Distingibilidade, Homogeneidade e Estabilidade de cultivares de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) não exige a instalação de padrões ou testemunhas junto a área de avaliação da possível cultivar essencialmente derivada.

As características avaliadas em 10 frutos por planta foram: comprimento de fruto (CFR), medido no sentido longitudinal do fruto, em centímetros; diâmetro do fruto (DFR), medido no sentido transversal do fruto, em centímetros; espessura da casca (ECA), medido na parte média do fruto, em milímetros; peso da casca (PCA), avaliados em gramas; peso de sementes (PSE), avaliado em gramas; peso de fibra presente no fruto (PFI), avaliado em gramas; peso da polpa (PPO), avaliado em gramas; peso total do fruto (PFR), avaliado em gramas; número de sementes no fruto (NSE), avaliado por contagem; número total de frutos (soma realizada de 2 meses em 2 meses, por três vezes, somando o total de cada contagem, (NFR) e; produtividade de frutos total por planta, em kg.planta⁻¹ (PRO).

No cupuaçuzeiro Souza et al. (2002) indicaram a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) como a mais adequada para a avaliação genética, desta forma nos dados obtidos nas avaliações foi usado os procedimentos de modelos mistos para a obtenção da melhor predição linear não viciada (BLUP) e o processo da máxima verossimilhança restrita (REML), na média dos 10 frutos estimando-se os parâmetros genéticos e fenotípicos.

Através do uso do modelo REML/BLUP, é possível estimar componentes de variância fenotípica, genética, ambiental, herdabilidades, ganhos por seleção, valores genéticos e fenotípicos, entre outros. Além de permitir a correção simultânea dos efeitos ambientais e a possibilidade de comparar indivíduos ao longo do tempo e espaço. Esses permitem identificar o potencial para o melhoramento através a compreensão da estrutura genética de uma população (Silva et al., 2017).

Para a análise de variância o modelo estatístico adotado foi o modelo 55 do software Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2007): $y = X_m + Z_g + W_p + T_I + e$, em que y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos das combinações

medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), p é o vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Foram estimadas as medidas simultâneas da produtividade, estabilidade e adaptabilidade pela média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG); a estabilidade genotípica pelo método da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) e a adaptabilidade de Valores Genéticos (PRVG).

As análises foram realizadas com o software Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2007, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de deviance e componentes de variância para as características fenotípicas dos quatro clones de cupuaçuzeiro nas safras de 2022 e 2023 apresentados na Tabela 1, indicam manifestação relevante de variabilidade genética e a possibilidade de seleção para melhoramento. As estimativas de variância genética, herdabilidade e acurácia mostraram diferenças genotípicas significativas para diversas características, destacando a possibilidade de seleção de clones superiores para aumentar a produtividade média e qualidade dos frutos.

Tabela 1. Resumo da Análise de Deviance, estimativas dos coeficientes de variância, herdabilidade, acurácia, e coeficientes de variação para as características comprimento de fruto (CFR), diâmetro do fruto (DFR), espessura da casca (ECA), peso da casca (PCA), peso de sementes (PSE), peso de fibra (PFI), peso de polpa (PPO), peso do fruto (PFR), número de sementes (NSE), número de frutos (NFR) e produtividade de frutos (PRF) resultantes da análise de Componentes de Variância (REML Individual) em cupuaçuzeiros, safras 2022 e 2023. Macapá – AP.

	CFR	DFR	ECA	PCA	PSE	PFI	PPO	PFR	NSE	NFR	PRO
	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT	LRT
Clone (C)	9,01**	3,99*	1,79 ^{ns}	7,81**	10,01**	10,84**	10,47**	9,30**	4,65*	0,01 ^{ns}	1,58 ^{ns}
Ano (A)	0,07 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,94 ^{ns}	8,17 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,08 ^{ns}	5,82*	0,13 ^{ns}	1,85 ^{ns}
CxA	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}
V_g	18,13	6,73	0,93	36122,68	3774,17	1713,32	25412,47	199321,81	12,39	3,00	88,56
V_{perm}	0,35	2,05	0,49	567,65	262,19	276,32	949,02	5018,01	19,41	23,63	149,64
V_{gm}	0,01	0,04	0,14	19,59	4,17	2,68	31,91	95,21	0,07	9,60	3,41
V_e	6,52	17,82	3,03	28721,70	1194,02	277,79	7411,12	90986,01	25,97	314,97	441,93
V_f	25,02	26,64	4,58	65431,62	5234,55	2270,12	33804,51	295421,03	57,85	351,20	683,53
h_g^2	72±27	25±16	20±14	55±24	72±27	75±27	75±27	67±26	21±15	1±3	13±11
r	0,74	0,33	0,32	0,56	0,77	0,88	0,78	0,69	0,55	0,08	0,35
C^2_{perm}	0,01	0,08	0,12	0,02	0,05	0,12	0,03	0,02	0,34	0,07	0,22
C^2_{gm}	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
rg_{med}	1,00	0,99	0,87	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,24	0,96
h^2_{mg}	0,98	0,86	0,78	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98	0,79	0,12	0,70
Média	24,31	35,04	8,33	586,72	179,17	79,09	388,82	1229,57	24,96	27,65	33,15

Comprimento de fruto (CFR); diâmetro do fruto (DFR); espessura da casca (ECA); peso da casca (PCA); peso de sementes (PSE); peso de fibra presente no fruto (PFI); peso da polpa (PPO); peso total do fruto (PFR); número de sementes no fruto (NSE); número total de frutos (NFR) e; produtividade de frutos total por planta (PRO).

V_{gm} : variância da interação genótipos x medições.

$h_g^2 = h^2$: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais.

r : repetibilidade ao nível de parcela, dada por $(V_g + V_{perm})/Nf$.

$C^2_{perm} = c^2$: coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente.

$C^2_{gm} = c^2_1$: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições.

rg_{med} : correlação genotípica através da medições.

h^2_{mg} : herdabilidade da média de genótipos.

Média: média geral do experimento.

Os efeitos genotípicos (Clones) foram altamente significativos ($p < 0,01$) para características como comprimento de fruto (CFR) e peso total do fruto (PFR), envolvendo seus componentes também como peso de casca (PCA), peso de sementes (PSE), peso de fibra

(PFI) e principalmente peso de polpa (PPO), este último de maior interesse ao produtor atualmente. A existência de variabilidade genética entre os diferentes clones, concorda com os resultados obtidos por Alves et al. (2021), que identificaram variabilidade genética em

populações de cupuaçu, especialmente associada às características dos frutos. A significância do peso de polpa é relevante, uma vez que a qualidade dos frutos é crucial para a produção de derivados como o cupulate e o óleo de cupuaçu, conforme observado por Santos et al. (2015).

Os efeitos do ano (A) foram, em sua maioria, não significativos, exceto para o número de sementes (NSE), que apresentou variação sazonal. A não significância do efeito das sucessivas safras sugere que as características genotípicas prevalecem sobre as influências ambientais, indicando estabilidade em diferentes safras, o que concorda com os resultados de Carvalho et al. (2015), que relataram a estabilidade genotípica de clones de cupuaçu em ciclos sazonais distintos. Essa constância é um aspecto importante para os agricultores que buscam previsibilidade na produção.

Além disso, a interação genótipo x ambiente (GxA) não foi significativa para nenhuma das características avaliadas, o que indica que os clones mantiveram desempenho estável entre as safras de 2022 e 2023. A ausência de interação GxA é benéfica para programas de melhoramento, pois assegura que os clones serão estáveis em diferentes condições ambientais. Alves et al. (2021) também destacaram a importância da estabilidade genotípica em culturas perenes, como o cupuaçu, para otimizar a produção em ambientes variados.

Adotando-se para a herdabilidade a escala apresentada por Resende (2002) as tem-se as classes baixa ($10 < H\% < 40$), média ($40 \leq H\% < 70$) e alta ($H\% \geq 70$) com isso as estimativas de herdabilidade no sentido amplo (h^2g) foram elevadas para características como CFR, PSE, PFI e PPO, demonstrando que essas características são controladas principalmente por fatores genéticos, permitindo transmitir o desempenho destas características para gerações sucessoras, similar ao citado por Pereira et al. (2017). O peso do fruto (PFR) e PCA apresentaram valores médios aqui, com isso já se tornam um pouco mais difíceis a sua manifestação idêntica em outras gerações.

As demais características mostraram herdabilidades baixas ou muito baixas, sugerindo forte influência de fatores ambientais. Isso está em conformidade ao citado por Santos et al. (2011), onde características relacionadas à produtividade podem ter pouca herança genética

aditiva, enfatizando a necessidade de manejo agrônomico adequado para maximizar os resultados. A combinação de estratégias de melhoramento genético e manejo agrícola otimizado é essencial, como reforçado por Santos et al. (2015), que sugerem que práticas como irrigação e adubação, ajustadas às necessidades de cada clone, podem maximizar a expressão fenotípica, especialmente em regiões com clima instável.

A acurácia das estimativas genéticas (r) foi elevada para características como CFR, PFI, PSE, PPO e PFR, indicando uma forte correlação entre os valores genotípicos e fenotípicos, facilitando verificar facilmente quais os clones superiores, sugerindo que os programas de melhoramento têm grande potencial de sucesso ao focar nessas características. Em contrapartida, características com acurácia baixa refletem a dificuldade de prever o desempenho devido à sua alta dependência de fatores externos. Rodrigues (2023) também identificou desafios semelhantes ao trabalhar com características produtivas em frutíferas perenes, recomendando a combinação de estratégias genéticas com práticas de manejo para melhorar a produtividade.

A variância genética aditiva (V_g) foi expressiva para várias características, particularmente para CFR, PCA, PSE, PFI, PPO e PRO, confirmando a presença de variabilidade gerada por fatores genéticos entre os clones. No entanto, Carvalho et al. (2015) observaram que essas características apresentaram maiores contribuições ambientais, podendo-se atribuir a estas diferenças devido ao tipo de população envolvida nas pesquisas, pois aqui foram usadas originadas de uma única população já melhorada e a de Carvalho et al. (2015) ser oriunda de várias pequenas populações. Para a variância residual (V_e), a predominância foi observada em DRF, ECA, NSE, NFR e PFR, sugerindo uma maior contribuição de fatores ambientais no desempenho fenotípico final das plantas.

Na Tabela 2 observa-se que os valores genotípicos ($u+g$) em geral, excetuando-se o primeiro clone com resultado similar na média e na nova média em todas as características, os demais apresentaram valores inferiores em relação a nova média, indicando que os fatores ambientais contribuem sem dúvida para o comportamento final dos clones.

Ressalta-se que os valores genotípicos (u+g) são aqueles que os programas de melhoramento desejam conhecer, pois são aqueles apresentados pelos clones independentes dos fatores ambientais, sendo, portanto, provavelmente os reais desempenhos.

Estimativas da nova média são as estimativas realizada pela metodologia BLUP considerando possíveis influências ambientais, sendo que a metodologia REML/BLUP prediz então estes valores (BORGES et al. 2010; PORDEUS et al., 2013).

Tabela 2. Componentes de Média (BLUP Individual) de clones (Cl) de cajueiro-anão-precoce e os respectivos valores genéticos (g), valores genotípicos (m + g), ganho (G), novas médias (NM) e valores genotípicos para a média de anos com efeito médio da interação em características avaliadas em quatro clones de cupuaçuzeiros.

CFR	g	u+g	Ganho	NovaMédia	u+g+gem
Clones					
2	4,08	28,39	4,08	28,39	28,39
1	1,38	25,69	2,73	27,04	25,69
4	0,43	24,74	1,96	26,27	24,74
3	-5,88	18,43	0,00	24,31	18,42
DFR					
2	2,31	37,35	2,31	37,35	37,36
4	0,96	36,00	1,64	36,68	36,00
1	0,05	35,09	1,12	36,15	35,09
3	-3,32	31,71	0,00	35,04	31,70
ECA					
4	0,94	9,26	0,94	9,26	9,33
2	0,48	8,80	0,72	9,03	8,84
3	-0,57	7,75	0,28	8,60	7,71
1	-0,85	7,47	0,00	8,32	7,40
PCA					
2	173,54	760,26	173,54	760,26	760,31
4	72,27	658,99	122,91	709,63	659,01
1	15,82	602,54	87,21	673,93	602,55
3	-261,63	325,09	0,00	586,72	325,02
PSE					
2	78,76	257,92	78,76	257,92	257,97
1	-0,04	179,12	39,36	218,52	179,12
4	-9,66	169,52	23,02	202,18	169,50
3	-69,06	110,11	0,00	179,17	110,07
PFI					
2	51,89	130,98	51,89	130,98	131,02
4	3,23	82,33	27,56	106,65	82,33
1	-7,66	71,43	15,82	94,91	71,42
3	-47,46	31,63	0,00	79,09	31,59
PPO					
2	168,56	557,38	168,56	557,38	557,48
4	41,51	430,33	105,04	493,85	430,35
1	1,31	390,12	70,46	459,28	390,12
3	-211,38	177,44	0,00	388,82	177,30
PFR					
2	468,03	1697,60	468,03	1697,60	1697,71
4	108,26	1337,83	288,14	1517,72	1337,85
1	16,99	1246,56	197,76	1427,33	1246,57
3	-593,28	636,29	0,00	1229,57	636,15
NSE					
1	3,142	28,10	3,14	28,10	28,11
4	1,15	26,11	2,14	27,11	26,11
2	-0,02	24,94	1,42	26,39	24,94
3	-4,27	20,69	0,00	24,96	20,68
NFR					
1	0,79	28,44	0,79	28,44	29,70
4	0,00	27,65	0,39	28,04	27,65
3	-0,16	27,49	0,21	27,86	27,24

2	-0,63	27,02	0,00	27,65	26,01
PRO					
1	6,23	39,38	6,23	39,38	39,50
2	3,33	36,48	4,78	37,93	36,54
4	1,89	35,04	3,89	36,97	35,08
3	-11,46	21,69	0,00	33,15	21,47

Clones: 1, BRS Codajás; 2, BRS Manacapuru; 3, BRS Belém; 4, BRS Coari

Comprimento de fruto (CFR); diâmetro do fruto (DFR); espessura da casca (ECA); peso da casca (PCA); peso de sementes (PSE); peso de fibra presente no fruto (PFI); peso da polpa (PPO); peso total do fruto (PFR); número de sementes no fruto (NSE); número total de frutos (NFR) e; produtividade de frutos total por planta (PRO).

As cultivares BRS Manacapuru e BRS Coari destacam-se com valores positivos de BLUP para DFR, PCA, PFI, PPO e PFR, indicando que esses clones possuem uma capacidade genética superior para a produção de frutos maiores e mais pesados. BRS Manacapuru, por exemplo, apresentou uma predição da estimativa pelo BLUP de 468,03 para o peso do fruto (PFR), resultando em uma nova média ajustada de 1697,60 g, muito superior à média ajustada de BRS Belém, que apresentou valores negativos para todas as características relacionadas ao tamanho do fruto e da mesma forma nas demais características citadas. Esses resultados estão em conformidade com Alves et al. (2021), que afirmam que a seleção de genótipos de cupuaçu com características agrônômicas superiores é fundamental para a produtividade e aceitação comercial, visto que essa característica está diretamente associada à maior eficiência na produção de polpa. Além disso, a alta contribuição genética para o peso e o tamanho, com variação significativa entre clones de cupuaçu em experimentos de campo, evidencia o potencial para ganho genético em programas de melhoramento (ALVES; RESENDE, 2008). Ressaltando que o clone BRS Manacapuru também se destacou para CFR e PSE.

Em relação ao número de frutos (NFR), produtividade (PRO) e número de sementes

(NSE), o clone BRS Codajás apresentou a maior predição para o número de frutos e um ganho genético relativamente expressivo em comparação com os outros clones, podendo ser importante em estratégias de melhoramento focadas na produção de mudas e reprodução vegetativa. Quanto a espessura da casca o clone BRS Coari foi aquele que apresentou o desempenho superior, o que pode ser desejável para resistência a danos mecânicos no transporte e manuseio, diminuindo a possibilidade de contaminações, como também pode ser o oposto, indesejável por dificultar a abertura dos frutos.

A análise dos dados de estabilidade e adaptabilidade dos clones de cupuaçu, com foco em MHVG (Média Harmônica do Valor Genético), PRVG (Produtividade Relativa de Valor Genético) e MHPRVG (Média Harmônica da Adaptabilidade e Estabilidade) mostrados na Tabela 3, revela informações cruciais quanto a possível composição de uma nova cultivar essencialmente derivada, pois é necessário a manifestação de estabilidade e médias superiores ao BRS Carimbó. A combinação de altos índices de média e estabilidade é fundamental para garantir a produtividade e a resistência a variações ambientais e de manejo, um aspecto crítico na agricultura moderna, onde a variabilidade climática é cada vez mais prevalente (CHAVES et al., 2021).

Tabela 3: Estabilidade de Valores Genéticos (MHVG), adaptabilidade de Valores Genéticos (PRVG), estabilidade e Adaptabilidade de Valores Genéticos (MHPRVG) em características avaliada em clones de cupuaçu pela análise BLUP.

CFR	MHVG	PRVG	PRVG*MG	MHPRVG	MHPRVG*MG
Genotipo					
2	28,39	1,17	28,39	1,17	28,39
1	25,69	1,06	25,69	1,06	25,69
4	24,74	1,02	24,74	1,02	24,74
3	18,42	0,76	18,42	0,76	18,42
DFR					
2	37,35	1,07	37,36	1,07	37,36
4	36,00	1,03	36,00	1,08	36,00
1	35,08	1,00	35,09	1,00	35,09

3	31,69	0,90	31,70	0,90	31,70
ECA					
4	9,15	1,13	9,40	1,13	9,38
2	8,60	1,06	8,86	1,06	8,86
3	7,39	0,92	7,67	0,92	7,66
1	7,06	0,88	7,35	0,88	7,34
PCA					
2	760.27	1.30	760.32	1.30	760.32
4	658.98	1.12	659.02	1.12	659.02
1	602.50	1.03	602.55	1.03	602.55
3	324.94	0.55	325.00	0.55	324.99
PSE					
2	257.97	1.44	257.97	1.44	257.97
1	179.12	1,00	179.12	1,00	179.12
4	169.50	0.95	169.50	0.95	169.50
3	110.06	0.61	110.07	0.61	110.07
PFI					
2	130.73	1.66	131.36	1.66	131.22
4	81.84	1.04	82.35	1.04	82.35
1	70.79	0.90	71.34	0.90	71.33
3	30.45	0.40	31.31	0.39	30.92
PPO					
2	557,42	1,43	557,51	1,43	557,50
4	430,30	1,11	430,37	1,11	430,37
1	390,05	1,00	390,13	1,00	390,13
3	177,13	0,46	177,26	0,46	177,21
PFR					
2	1697,69	1,38	1697,72	1,38	1697,72
4	1337,83	1,09	1337,86	1,09	1337,86
1	1246,54	1,01	1246,57	1,01	1246,57
3	636,09	0,52	636,13	0,52	636,12
NSE					
1	28,11	1,13	28,11	1,13	28,11
4	26,11	1,05	26,11	1,05	26,11
2	24,94	1,00	24,94	1,00	24,94
3	20,68	0,83	20,68	0,83	20,68
NFR					
1	29,70	1,08	29,75	1,07	29,70
4	27,41	1,00	27,59	1,00	27,52
3	27,22	0,99	27,25	0,99	27,25
2	25,96	0,94	26,01	0,94	26,01
PRO					
1	39,37	1,19	39,57	1,19	39,55
2	36,35	1,10	36,56	1,10	36,56
4	34,81	1,06	35,05	1,06	35,05
3	21,19	0,65	21,41	0,65	21,38

Clones: 1, Codajás; 2, Manacapuru; 3, Belém; 4, Coari

Comprimento de fruto (CFR); diâmetro do fruto (DFR); espessura da casca (ECA); peso da casca (PCA); peso de sementes (PSE); peso de fibra presente no fruto (PFI); peso da polpa (PPO); peso total do fruto (PFR); número de sementes no fruto (NSE); número total de frutos (NFR) e; produtividade de frutos total por planta (PRO).

O clone BRS Manacapuru se destacou com os maiores índices de MHVG e PRVG em comprimento de fruto. Isso indica não apenas uma média alta, mas também sugere uma adaptabilidade favorável a diferentes condições de cultivo. O comprimento do fruto segundo a literatura (ALVES et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2017) tem mostrado que está característica

é um dos principais indicadores de qualidade e que frutos maiores são frequentemente preferidos pelo mercado (ALVES; RESENDE, 2008). A performance superior do clone BRS Manacapuru reforça a ideia de que características morfológicas devem ser uma prioridade em programas de melhoramento, especialmente em

mercados onde a aparência visual do produto final é valorizada.

Para o diâmetro do fruto, BRS Manacapuru novamente se destacou, nos valores de MHVG e PRVG, evidenciando estabilidade nas características. O diâmetro do fruto é importante não apenas para a estética, mas também para o rendimento do processamento, uma vez que frutos com diâmetro uniforme facilitam o manejo pós-colheita. A homogeneidade do diâmetro está relacionada a características genéticas, desta forma o clone 2 é o melhor neste conjunto quando se deseja qualidade e consistência no produto final, aspectos fundamentais para a competitividade no mercado de frutas tropicais.

No parâmetro de espessura da casca, BRS Coari apresentou um desempenho robusto, com MHVG de 9,15 e PRVG de 1,13. A espessura da casca é um fator determinante para a resistência a pragas e à deterioração, impactando diretamente a durabilidade do fruto no mercado, buscando-se, portanto, com maior espessura (SOUZA et al., 2011). Estudos anteriores têm demonstrado que a seleção por cascas mais espessas pode reduzir perdas pós-colheita, aumentando a rentabilidade, especialmente em contextos em que o manejo pós-colheita é crítico. Além disso, a seleção de clones com cascas mais espessas é relevante em sistemas agroecológicos, onde a resistência natural a pragas é desejável, além de resistência a danos mecânicos. Assim, BRS Coari 4 foi o melhor numa estratégia interessante para regiões com alta pressão de pragas ou onde o armazenamento a longo prazo é necessário.

Nos caracteres NSE, NFR e PRO, a cultivar BRS Codajás apresentou os maiores índices de estabilidade e adaptabilidade, o que é relevante em sistemas de propagação. Um número elevado de sementes pode influenciar a produção de novas mudas e a sustentabilidade do cultivo, já que sementes de alta qualidade são essenciais para o sucesso de programas de melhoramento, por permitir ou a obtenção de novas mudas ou do cupulate. A variabilidade genética é essencial para a resiliência em face de doenças e mudanças climáticas, e a diversidade genética é um ativo importante para a conservação e o melhoramento genético. O investimento na seleção de genótipos que produzem não apenas frutos de qualidade, mas também sementes viáveis, pode garantir a

continuidade do cultivo em ambientes variáveis e, assim, contribuir para a sustentabilidade da cultura.

O uso do BLUP foi essencial para prever os valores genéticos dos clones com maior precisão, levando em consideração tanto os efeitos fixos quanto os aleatórios no modelo misto. Isso permite uma avaliação mais refinada do valor genético real dos clones, possibilitando a identificação de indivíduos superiores que, de outra forma, poderiam não ser selecionados em abordagens tradicionais de análise. O clone BRS Codajás, por exemplo, foi consistentemente identificado como superior para características produtivas chave, como peso de sementes e produtividade total de frutos e BRS Manacapuru nas características envolvendo peso dos componentes dos frutos, quando analisado pelo BLUP. Esses resultados estão em linha com os de Souza et al. (2022) e Resende (2016), que destacam a importância da aplicação do BLUP na seleção de indivíduos em populações genéticas heterogêneas e altamente variáveis, como é o caso do cupuaçuzeiro.

Ademais, a metodologia REML/BLUP permitiu o ajuste para efeitos ambientais permanentes, como a influência de condições edafoclimáticas e práticas de manejo aplicadas de forma desigual entre os clones ao longo do tempo experimental. A inclusão desses efeitos no modelo foi crucial para garantir que a variação observada nas características fosse atribuída com maior precisão aos efeitos genéticos, minimizando o viés causado por fatores ambientais. Deve se enfatizar que a correção para esses efeitos é fundamental em estudos de longo prazo com culturas perenes, onde o ambiente pode flutuar significativamente entre os ciclos de produção.

Ressaltando que em termos de produtividade de frutos (PRO) ao multiplicar a média da característica, aos oito anos após o plantio, de cerca de de 11.600 kg.ha⁻¹ de frutos em 400 plantas, para a cultivar Carimbó (ALVES; FERREIRA, 2012), de 11.600 kg.ha⁻¹ de frutos em 400 plantas, proporcionalmente aqui foi obtido 13.259 kg.ha⁻¹, indicando que sem dúvida o processo de seleção na população recorrente foi capaz de obter indivíduos superiores e que podem gerar uma cultivar essencialmente derivada. Contudo aqui a área experimental comporta 772 plantas.ha⁻¹, com isso tem-se uma

estimava de produção de 23.932 kg.ha⁻¹, ou seja, muito superior ao valor por hectare original ao associar a distribuição de plantas em triângulo equilátero.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que o melhoramento genético de cupuaçuzeiros, focado em características relacionadas à qualidade e rendimento de frutos, tem grande potencial de sucesso, dada a alta herdabilidade e acurácia dessas características.

O clone BRS Manacapuru é altamente indicado para a produção comercial de cupuaçu, apresentando altos desempenhos nas características analisadas.

O clone BRS Coari deve ser o preferido em situações onde a espessura da casca é um fator crítico.

A utilização dos índices de estabilidade e adaptabilidade, como MHVG, PRVG e MHPRVG, se mostrou eficaz na avaliação dos clones, permitindo a identificação de clones que não apenas oferecem altos rendimentos, com média superior a cultivar BRS Carimbó, mas também apresentam estabilidade em diferentes condições ambientais, oferecendo uma oportunidade significativa para melhorar a competitividade da produção de cupuaçu no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. da S.; ALVES, R. S.; SANTOS, T. G. dos; ARAÚJO, D. G. de; RESENDE, M. D. V. de. Cupuaçu tree genotype selection for an agroforestry system environment in the Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e02139, 2021.
- ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V. de. Avaliação genética de indivíduos e progênies de cupuaçuzeiro no Estado do Pará e estimativas de parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 696-701, 2008.
- ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V. de; BANDEIRA, B. dos S.; PINHEIRO, T. M.; FARIAS, D. C. R. Evolução da vassoura-de-bruxa e avaliação da resistência em progênies de cupuaçuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1022-1032, dez. 2009..
- ALVES, R. M.; SILVA, C. R. de S.; SILVA, M. S. da C.; SILVA, D. C. de S.; SEBBENN, A. M. Diversidade genética em coleções amazônicas de germoplasma de cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 818-828, set. 2013.
- ALVES, R.M.; FERREIRA, F.N. **BRS Carimbó: nova cultivar de cupuaçuzeiro da Embrapa Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 8 p.
- ALVES, R.M.; FILGUEIRAS, G.C.; HOMMA, A.K.O. Aspectos socioeconômicos do cupuaçuzeiro na Amazônia: do extrativismo a domesticação. *In*: SANTANA, A.C. (ed.). **Mercado, cadeias produtivas e desenvolvimento rural na Amazônia** Belém: UFRA, 2014. p.197-223.
- BAYLE, E. E. M. **Estudo da cadeia produtiva do Açaí e do cupuaçu. Relatório Final**. Belém, PA: Pará Rural: Governo do Pará, 2014. 61 p.
- BORGES, V., FERREIRA, P. V.; SOARES, L.; SANTOS, G. M.; E SANTOS, A. M. M. Seleção de clones de batata-doce pelo procedimento REML/BLUP. **Acta Scientiarum**. Agronomy Maringá, v. 32, n. 4, p. 643-649, 2010.
- BOTELHO, J. B. L. R. **Perfil e potencial do arranjo produtivo de fitoterápicos de Manaus**. SEBRAE/AM. Manaus, AM, Brasil. 2005. 123p
- CARVALHO, C. A. G. de; ALVARES, V. de S.; CUNHA, C. R. da; LIMA, A. A. de; MORENO, A. L.; MACIEL, V. T. Efeito do pré-resfriamento de frutos de cupuaçu na aceitação sensorial do néctar. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 91-95, 2015.
- CHAVES, S. F. da S.; ALVES, R. M.; ALVES, R. S.; SEBBENN, A. M.; RESENDE, M. D. V. de; DIAS, L. A. dos S. *Theobroma grandiflorum* breeding optimization based on repeatability, stability and adaptability information. **Euphytica**, v. 217, n. 12, Article number 211, 2021.
- FRANKLIN, B.; NASCIMENTO, F. D. C. A. Plants for the future: data compilation of nutritional composition of guava-boi, burity, cupuaçu, murici and peach palm. **Brazilian**

- Journal of Development**, v.6, n.3, p.10174-10189, 2020.
- GIUSTINA, C. D.; CARNEVALLI, R. A.; ROMANO, M. R.; ANTONIO, D. B. A.; ECKSTEIN, C. Growth of different fruit tree species in silvopastoral systems during the establishment phase. **Revista Caatinga**, v.30, p.1040-1049, 2017.
- LOPÉZ, P. A. B. **Avaliação da cadeia produtiva do cupuaçu (theobroma grandiflorum (willd. ex spreng.) schum.) nos municípios de Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Manaus**. 99f. 2015. Dissertação de Mestrado – INPA, Manaus Disponível em: <[https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/5292/1/Disserta%
c3%a7%cc3%a3o_Pedro%20Antoni%20Bracamonte%20L%cc3%b3pez.pdf](https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/5292/1/Disserta%c3%a7%cc3%a3o_Pedro%20Antoni%20Bracamonte%20L%cc3%b3pez.pdf)>.
- NASCIMENTO, E.P.; CAMPOS, M.C.C.; ALHO, L.C.; SILVA, D.M.P.; WECKNER, F.C.; MANTOVANELLI, B.C.; CUNHA, J.M. Crescimento das mudas de cupuaçu (theobroma grandiflorum) sob efeito de diferentes composições de biofertilizantes. **Revista Da Universidade Vale Do Rio Verde**, v.15, n.2, p.861-870, 2017. <https://doi.org/10.5892/ruvrd.v15i2.3299>
- PEREIRA, A. A.; ALMEIDA, A.A.F.; BRANCO, M.C.S.; COSTA, M.G.C.; AHNERT, D. Combining ability, heritability and genotypic relations of different physiological traits in cacao hybrids. **PLoS ONE**, v.12, n.6, e0178790, 2017. doi:10.1371/journal.pone.0178790.
- PORDEUS, R. V.; DA SILVA, S. S.; PEREIRA, J. O.; NETO, J. D.; BEZERRA, J. M. Estimativa de parâmetros genéticos do cajueiro anão precoce em um solo arenoso pelo procedimento reml/blup. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 41–51, 2013.
- RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 16, 330-339, 2016.
- RODRIGUES, J. D.B.; ALVES, R.M.; CHAVES, S.F.S. Early selection in Theobroma grandiflorum, aiming at tolerance to hypoxia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.45, n.1, e0100, 2023. doi:10.1590/0100-29452023948.
- SANTOS, R.C.; PIRES, J.L.; CORREA, R.X. Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian Theobroma L. species. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.59, p.327-345, 2012. doi:10.1007/s10722-011-9685-6.
- SANTOS, V.S.; MARTINS FILHO, S.; ALVES, R.M.; RESENDE, M.D.V.; SILVA, F.F. Genetic divergence among cupuaçu accessions by multiscale bootstrap resampling. **Bragantia**, v.74, n.2, p.169-175, 2015. doi:10.1590/1678-4499.0431.
- SILVA, A. S. S.; FARIAS L. F. Elaboração da farinha à base da amêndoa do cupuaçu Theobroma grandiflorum Schum. **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 1, n. 1, p. 36-42, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/lab02c/Downloads/37-Texto%20do%20artigo-331-1-10-20180604%20(1).pdf>.
- SILVA, V. B.; DAHER, R. F.; ARAÚJO, M. S. B.; SOUZA, Y. P.; CASSARO, S.; MENEZES, B. R. S.; GRAVINA, L. M.; NOVO, A. A. C.; TARDIN, F. D.; AMARAL JÚNIOR, A. T. Prediction of genetic gains by selection indices using mixed models in elephant grass for energy purposes. **Genetics and Molecular Research**, v.16, n.3, p1-8, 2017.
- SOUZA, A. das G. C. de; SOUZA, M. G. de; PAMPLONA, A. M. S. R.; WOLFF, A. C. da S. **Boas práticas na colheita e pós-colheita do cupuaçu**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2011. 8 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular técnica, 36).
- VRIESMANN, L. C.; PETKOWICZ, O. C. L. Polysaccharides from the pulp of cupuassu (Theobroma grandiflorum): Structural characterization of a pectic fraction. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, n. 1, p. 72-79, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861708005651>>.

1 Autor correspondente. Engenheiro Agrônomo, Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amapá, Macapá-AP, Brasil. Email: gilberto.yokomizo@embrapa.br

2 Engenheiro Agrônomo, Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, Brasil. Email: rafael-moyses.alves@embrapa.br

3 Engenheiro Agrônomo, Mestre, Irrigação e Drenagem, Embrapa Amapá, Macapá-AP, Brasil.
In memoriam

4 Engenheira Florestal, Bacharel, UEAP, Macapá-AP, Brasil. Email: sonianunes33ap@gmail.com

5 Engenheira Florestal, Bacharel, UEAP, Amapá, Macapá-AP, Brasil. Email: Luzthais04@gmail.com

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao CNPQ pela concessão de bolsa de iniciação científica dos autores 4 e 5.