UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

ANDREY LUIS BRUYNS DE SOUSA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO E SEUS COMPONENTES EM CLONES DE *COFFEA CANEPHORA*, NA AMAZONIA OCIDENTAL

ITACOATIARA – AM
2024

ANDREY LUIS BRUYNS DE SOUSA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO E SEUS COMPONENTES EM CLONES DE *COFFEA CANEPHORA*, NA AMAZONIA OCIDENTAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, na área de concentração de Produção Vegetal

ORIENTADOR: PROF. DR. FÁBIO MEDEIROS FERREIRA

ITACOATIARA – AM

2024

Ficha Catalográfica
Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sousa, Andrey Luis Bruyns de
S725a Adaptabilidade e estabilidade da produção e seus componentes em clones de *Coffea canephora*, na Amazônia Ocidental / Andrey Luis Bruyns de Sousa. 2024
98 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Fábio Medeiros Ferreira
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Café clonal. 2. Híbridos intervarietais. 3. Interação GA. 4. Cafeicultura Amazônica. 5. “Robustas Amazônicos”. I. Ferreira, Fábio Medeiros. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ANDREY LUIS BRUYNS DE SOUSA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO E SEUS COMPONENTES EM CLONES DE *Coffea canephora*, NA AMAZONIA OCIDENTAL

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Aprova em: 28 de junho de 2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
FABIO MEDEIROS FERREIRA
Data: 25/07/2024 01:16:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANDRE LUIZ ATROCH
Data: 29/07/2024 17:52:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. André Luiz Atroch
Embrapa

Documento assinado digitalmente
gov.br
GERALDO JOSE NASCIMENTO DE VASCONCELO
Data: 26/07/2024 10:55:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Geraldo José Nascimento de Vasconcelos
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
gov.br
EVERTON RABELO CORDEIRO
Data: 26/07/2024 14:09:40-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Everton Rabelo Cordeiro
Embrapa

Documento assinado digitalmente
gov.br
RODRIGO BARROS ROCHA
Data: 30/07/2024 07:42:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Rodrigo Barros Rocha
Embrapa

Primeiramente, a Deus, pela força e sabedoria.
Aos meus pais, Jorge Sousa e Shirley Sousa, pelo amor e apoio incondicionais.
À minha esposa, Katarina Nazaré, pela paciência e incentivo.
In memorian à minha irmã, Ana Sousa, pela sua inspiração constante.
Aos meus filhos amados, Matteo Sousa e Anthony Sousa, minha maior motivação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão eterna a todas as pessoas e instituições que me apoiaram na conclusão desta tese. Desde já, peço desculpas se porventura esquecer de mencionar alguém.

Assim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio dado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATr-UFAM) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pelo aporte financeiro ao projeto de pesquisa.

Ao PPGATr-UFAM, em especial, aos coordenadores e professores do programa, cuja orientação foi essencial para este trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela oportunidade oferecida para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos alunos do curso de Agronomia do Instituto de Ciências e Tecnologia da UFAM, em particular, Raniel, Francisco, José, Milena, Luanderson, Hanna, Natasha, Solan, Tânia, Joebe e Gercy, pela ajuda de campo e companheirismo. Sem a contribuição de vocês, este projeto não teria sido possível.

Aos alunos do curso técnico em Agropecuária do Instituto Federal de Educação do Amazonas (IFAM), que participaram das atividades de colheita, podas de formação e outras atividades.

Ao meu orientador, professor Dr. Fábio Medeiros, pela orientação, paciência, generosidade e pelo compartilhamento dos seus vastos conhecimentos, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese e para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Obrigado por acreditarem no meu potencial e por me guiarem com tanta sabedoria e humanidade ao longo desses quatro anos.

Aos pesquisadores Dr. Rodrigo Barros e Dr. Marcelo Curitiba, pelo imenso conhecimento transmitido sobre a cultura do café.

À Sra. Santana Elisário, ao seu esposo e a toda equipe do Sítio Jotapé, pelo apoio na execução do experimento em Itacoatiara. Ao Sr. Roque Lins, à sua esposa Sra. Wanda Karime, na representação da Associação Solidariedade Amazonas (ASA) e demais colaboradores, pelo apoio e pelas facilidades disponibilizadas.

Ao Hugo Tadeu, pelo companheirismo, condução do experimento na Fazenda Experimental (FAEXP) da UFAM, em Manaus, e aprendizado contínuo que tenho contigo.

Ao professor Dr. Moisés Santos e ao técnico engenheiro agrônomo Ezequiel, pelo apoio na condução, colheita e manejo do experimento em Humaitá.

Ao Sr. Mineiro, pela ajuda nas atividades de campo e “causos” contados e ao técnico Caué, pela ajuda inicial na implantação do experimento em Itacoatiara.

Por fim, agradeço ao IFAM campus Itacoatiara, por permitir o meu afastamento, em especial, à Diretora, Profa. Me. Francinete, pelo apoio incondicional e, assim, proporcionar o meu crescimento profissional por esta pesquisa. Desejo retribuir à instituição a oportunidade concedida.

RESUMO

O presente trabalho investigou a interação entre clones de cafeeiro *Coffea canephora* Pierre ex Froehner em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, com ênfase na adaptabilidade e estabilidade dos genótipos sobre a produtividade de grãos e características relacionadas a ela. No primeiro capítulo, identificou-se o índice de rendimento, a uniformidade e o ciclo de maturação de 15 genótipos. A pesquisa foi conduzida no estado do Amazonas, em Itacoatiara e Manaus, e no estado de Rondônia, em Porto Velho. Foi avaliado o desempenho de quinze genótipos desenvolvidos pela Embrapa. A interação genótipos por ambientes (GA) foi significativa para as variáveis avaliadas, indicando desempenho diferenciado dos clones nos ambientes estudados. A superioridade dos coeficientes genotípicos sobre aqueles de natureza ambiental sugeriu a predominância dos efeitos genéticos na expressão dos índices de rendimento e da uniformidade de maturação. A média do índice de rendimento foi de 24,68% e a média do rendimento de campo foi de 22,57%. As maiores médias foram obtidas em Itacoatiara. A uniformidade de maturação de frutos teve uma média geral de 63,02%, com a localidade Porto Velho apresentando a maior uniformidade média (71,78%). A cultivar BRS 1216 evidenciou o melhor desempenho para os índices de rendimento e proporcionou maior ganho de seleção na média dos ambientes, apresentando adaptabilidade ampla para o índice de rendimento e adaptabilidade específica para rendimento de campo em ambientes favoráveis. As cultivares BRS 3210 e BRS 3220 se destacaram com mais de 82% de uniformidade de maturação, adaptabilidade a ambiente desfavorável e boa previsibilidade. Os clones apresentaram ciclos de maturação conforme o esperado. O objetivo no segundo capítulo foi quantificar a interação GA e recomendar cultivares de *C. canephora* com alto desempenho genotípico para o Amazonas. Foram avaliados os mesmos 15 genótipos, porém nos ambientes Humaitá, Itacoatiara e Manaus, ao longo de três safras consecutivas. Nos ensaios, foi mensurada a produtividade de grãos beneficiados e caracterizada a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos por diferentes metodologias. Em Humaitá, a média geral de produtividade foi de 53,18 sacas por hectare (sc ha^{-1}); em Itacoatiara, 78,58 sc ha^{-1} e, em Manaus, 69,04 sc ha^{-1}. Foram detectadas diferenças significativas entre os genótipos e a interação GA foi de natureza complexa, sendo Manaus e Itacoatiara caracterizados como ambientes favoráveis. Os coeficientes de variação refletiram boa condução experimental e a predominância do componente genético na expressão da produtividade, cuja relação CV_g/CV_e, em Manaus foi de 2,10, sugerindo maior potencial para ganhos com a seleção. Destacaram-se a cultivar BRS 1216, com a maior média geral de produtividade e alta adaptabilidade e estabilidade de comportamento. O Clone 15 exibiu alta adaptabilidade geral e o segundo maior em desempenho produtivo. Os clones BRS 1216, Clone 15, BRS 2336, BRS 2357, BRS 2299 e Clone 09 se destacaram pela sua superioridade produtiva, comportamento previsível e capacidade de resposta às variações ambientais, sendo genótipos potenciais em produtividade a serem plantados no estado do Amazonas, Brasil.

Palavras-chave: Cafeicultura Amazônica. Interação GA. “Robustas Amazônicos”. Híbridos intervarietais. Café clonal.

ABSTRACT

This study investigated the interaction between *Coffea canephora* Pierre ex Froehner clones in different environments in the Western Amazon, emphasizing the adaptability and stability of the genotypes regarding grain productivity and related characteristics. The first chapter identified the yield index, uniformity, and maturation cycle of 15 genotypes. The research was conducted in Amazonas, Itacoatiara, Manaus, and the state of Rondônia, in Porto Velho. The performance of 15 genotypes developed by Embrapa was evaluated. The genotype by environment (GE) interaction was significant for the evaluated variables, indicating the differentiated performance of the clones in the studied environments. The superiority of genotypic coefficients over environmental ones suggested the predominance of genetic effects in the expression of yield indices and maturation uniformity. The average yield index was 24.68%, and the average field yield was 22.57%. Itacoatiara had the highest averages. The overall average fruit maturation uniformity was 63.02%, with Porto Velho having the highest average uniformity (71.78%). The BRS 1216 cultivar showed the best performance for yield indices and provided the greatest selection gain on the environment average, presenting broad adaptability for the yield index and specific adaptability for field yield in favorable environments. The BRS 3210 and BRS 3220 cultivars stood out with more than 82% maturation uniformity, adaptability to unfavorable environments, and good predictability. The clones presented maturation cycles as expected. The second chapter aimed to quantify the GE interaction and recommend *C. canephora* cultivars with high genotypic performance for Amazonas. Those 15 genotypes were evaluated in Humaitá, Itacoatiara, and Manaus' environments over three consecutive harvests. The experiments measured the productivity of processed grains and characterized the adaptability and stability of the genotypes using different methodologies. In Humaitá, the overall average productivity was 53.18 sacks per hectare (sc ha^{-1}); in Itacoatiara, 78.58 sc ha^{-1}; and in Manaus, 69.04 sc ha^{-1}. Significant differences between the genotypes were detected, and the GE interaction was complex, with Manaus and Itacoatiara being favorable environments. The variation coefficients reflected good experimental conduct and the predominance of the genetic component in productivity expression, with the CV_g/CV_e ratio in Manaus being 2.10, suggesting greater potential for selection gains. The BRS 1216 cultivar stood out with the highest overall average productivity and high adaptability and stability of behavior. Clone 15 showed high general adaptability and the second-highest productive performance. The BRS 1216, Clone 15, BRS 2336, BRS 2357, BRS 2299, and Clone 09 clones stood out for their productive superiority, predictable behavior, and responsiveness to environmental variations, making them potential genotypes for productivity to be planted in the state of Amazonas, Brazil.

Keywords: Amazon Coffee Growing. GxE Interaction. "Amazonian Robustas." Inter-varietal hybrids. Clonal coffee.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO II - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE GRÃOS EM CLONES DE *Coffea canephora* NO AMAZONAS

Figura 1: Potencial máximo produtivo (sc ha^{-1}) de 10 genótipos de *Coffea canephora* nos anos de melhor desempenho de cada ensaio, no Amazonas. 81
Figura 2: Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais dos 15 genótipos de C. canephora, para variável produtividade em três ambientes (safra 2021 a 2023)..... 87

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - CICLO DE MATURAÇÃO E RELAÇÃO DE MASSA ENTRE FRUTOS MADUROS E PROCESSADOS EM CULTIVARES DE CAFÉ ROBUSTAS AMAZÔNICAS

Tabela 1. Identificação dos três ensaios de campo em relação a localização e características edafoclimáticas..... 38
Tabela 2. Propriedades químicas nas camadas de solo 0–20 e 20–40 cm, nos ensaios de competição clonal conduzidos em Itacoatiara-AM (E1), Manaus-AM (E2) e Porto Velho-RO (E3), no ano agrícola 2021/2022..... 39
Tabela 3. Resumo da análise de variância, agrupamento de ambientes e parâmetros genéticos estimados para o índice de rendimento (%), da uniformidade de maturação (%) e do índice de rendimento em campo (%) de clones Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara–AM (E1), Manaus–AM (E2) e Porto Velho–RO (E3), na colheita de 2022. 42
Tabela 4. Desempenho dos clones Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara – AM (E1), Manaus – AM (E2) e Porto Velho – RO (E3) em relação ao índice de rendimento e índice de rendimento em campo. As médias foram agrupadas de acordo com o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade..... 44
Tabela 5. Desempenho dos clones Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara – AM (E1), Manaus – AM (E2) e Porto Velho – RO (E3) em relação a uniformidade de maturação. As médias foram agrupadas de acordo com o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. 45
Tabela 6. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica do rendimento, da uniformidade de maturação e do rendimento em campo pelo método de Eberhart; Russell (1966), nas cultivares Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara - AM, Manaus - AM e Porto Velho – RO. 48
Tabela 7. Estimativas de ganho com a seleção da cultivar de *Coffea canephora* com maior rendimento, uniformidade de maturação e rendimento em campo, em três ambientes da Amazônia Ocidental, Itacoatiara - AM (E1), Manaus - AM (E2) e Porto Velho - RO (E3), no ano agrícola 2021/20222..... 50
Tabela 8. Estimativas do número de dias para o amadurecimento a partir da data de florescimento até a colheita das cultivares Robustas Amazônicos avaliadas em diferentes ambientes nos Estados do Amazonas e Rondônia..... 51

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUTIVIDADE EM CLONES DE *Coffea canephora* PARA O ESTADO DO AMAZONAS

Tabela 1. Identificação dos genótipos de *Coffea canephora* utilizados nos testes de competição clonal do Amazonas e suas características agronômicas definida em ensaios anteriores em Rondônia, Acre e Amazonas. Materiais genéticos pertencentes ao banco de germoplasma da Embrapa Rondônia. 65
Tabela 2. Coordenadas geográficas e características edafoclimáticas dos três municípios onde se encontram as unidades experimentais dos ensaios de competição clonal de cafeeiros 'Robustas Amazônicos' no estado do Amazonas, durante os anos de colheita consecutiva, 2021 a 2023. 66
Tabela 3. Propriedades químicas nas camadas de solo 0–20 e 20–40 cm, nos ensaios de competição clonal de cafeeiros 'Robustas Amazônicos' conduzidos em três ambientes no Amazonas, em amostras coletadas nos anos de 2021 ou 2022. 67
Tabela 4. Resumo das análises de variância individuais sobre a produtividade de grãos beneficiados (em sacas de 60 kg ha^{-1}) em 15 genótipos de *Coffea canephora*, avaliados nos ambientes Humaitá, Itacoatiara e Manaus, Amazonas, Brasil, durante três safras consecutivas, de 2021 a 2023. 75
Tabela 5. Resumo da análise de variância conjunta sobre a produtividade de grãos beneficiados (em sacas de 60 kg ha^{-1}) em 15 genótipos de *Coffea canephora*, avaliados nos ambientes Humaitá, Itacoatiara e Manaus, Amazonas, Brasil, durante três safras consecutivas, de 2021 a 2023. 77
Tabela 6. Índice da qualidade ambiental (I_j) das localidades avaliadas. 78
Tabela 7. Desempenho produtivo (em sacas de 60kg de café beneficiado ha^{-1}) das cultivares Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Humaitá - AM, Itacoatiara - AM e Manaus - AM, safras 2021 a 2023. 79
Tabela 8. Estimativas das partes simples (acima da diagonal) e complexa (abaixo da diagonal) resultante da decomposição da interação entre 15 genótipos de *Coffea canephora* e os pares de três ambientes, para a produtividade de grãos de café beneficiado. 82
Tabela 9. Estimativa das medidas de adaptabilidade e estabilidade de comportamento (P_i) obtidos pelo método Lin; Binns, adaptada por Carneiro (1998) para o caráter produtividade (sc ha^{-1}), em três ambientes no Amazonas durante três safras consecutivas[#]. 84
Tabela 10. Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidos pelo método do Centroide, para o caráter produtividade em sacas de café beneficiado, nos ambientes estudados no Amazonas (3 safras). 86
Tabela 11. Recomendação baseada em análise multi informação de genótipos de *Coffea canephora* avaliados em três municípios do amazonas em três safras. 89

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16
2.1 História, origem e distribuição do cafeeiro 16
2.2 Aspectos botânicos em *Coffea canephora* 17
2.3 Comparação entre variedades botânicas conilon, robusta e híbridos 18
2.4 Clones de *Coffea canephora* na Amazônia e no Estado do Amazonas 19
2.5 Aspectos econômicos 20
2.5.1 Amazonas 21
2.6 Programas de melhoramento de cafeeiro canéfora 22
2.7 Interação genótipo por ambiente em *Coffea* spp. 23
2.8 Adaptabilidade e estabilidade em *Coffea* spp 24
2.9 Multi-informação genotípica para análise de adaptabilidade e estabilidade 25
3. OBJETIVOS 28
3.1 Objetivo geral 28
3.2 Objetivos específicos 28
4. REFERÊNCIAS 29
CAPÍTULO I - CICLO DE MATURAÇÃO E RELAÇÃO DE MASSA ENTRE FRUTOS MADUROS E PROCESSADOS NOS CULTIVARES DE CAFÉ ROBUSTAS AMAZÔNICOS 33
RESUMO 34
1. INTRODUÇÃO 36
2. MATERIAL E MÉTODOS 38
2.1 Ensaios de campo e condução experimental 38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 41
4. CONCLUSÃO 53
5. REFERÊNCIAS 54
CAPÍTULO II - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUTIVIDADE NO CLONES DE *COFFEA CANEPHORA* PARA O ESTADO DO AMAZONAS 59
RESUMO 60
1. INTRODUÇÃO 62
2. MATERIAL E MÉTODOS 64
2.1 Material genético 64
2.2 Ensaios de competição clonal 65
2.3 Experimentos 68
2.4 Análise dos dados 68
2.4.1 Quantificação da interação genótipos × ambientes 68
2.4.1.1 Estimação de parâmetros genéticos 70
2.4.1.2 Desempenho produtivo 72

2.4.1.3 Índice de qualidade ambiental 72
2.4.1.4 Adaptabilidade e estabilidade 72
2.4.1.5 Análise multi-informacional para clones em destaque 74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 74
3.1 Natureza da Interação GA 82
3.2 Adaptabilidade e estabilidade 83
3.3 Estudo multi-informação da adaptabilidade e estabilidade 88
3.4 Potencial médio e desempenho em ambientes específicos 88
3.5 Plasticidade e resposta à interação GA 90
3.6 Contribuição sobre a interação GA (S^2GA e SQGA) 90
3.7 Análise de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart; Russell (1966) 91
4. CONCLUSÃO 91
5. REFERÊNCIAS 93
6. CONCLUSÃO GERAL 99

1. INTRODUÇÃO GERAL

O café é uma cultura globalmente importante e uma das *commodities* mais negociadas, gerando divisas em exportações e empregos em toda a cadeia produtiva. O produto influencia o mercado financeiro por contratos futuros, destacando a sua significativa demanda e impacto na economia mundial. Neste trabalho será enfatizada a espécie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café canéfora, robusta ou conilon) cultivada nas regiões tropicais e subtropicais.

No Amazonas, a cafeicultura remonta há várias décadas, com as influências de agricultores de Rondônia que migraram para a região sul do estado. Inicialmente, o cultivo de café utilizava variedades antigas e técnicas pouco eficientes, resultando em baixa produtividade. A partir de 2013, iniciativas da pesquisa aliadas à transferência de tecnologia, como a introdução da cultivar multiclonal BRS Ouro Preto, impulsionaram a modernização da cafeicultura em áreas como Apuí e Silves. Esses esforços resultaram na implantação de unidades de referência tecnológica e experimentais, que serviram como laboratórios para práticas de manejo cultural e demonstraram o potencial produtivo dos cafeeiros clonais. Após esses esforços, a cafeicultura no Amazonas tem impulsionado a economia local e contribuído para a diversificação agrícola na região. Ainda assim, o cultivo de café no estado enfrenta desafios únicos, devido às condições edafoclimáticas e logísticas da região.

A cafeicultura na Amazônia se depara com altos custos de insumos e dificuldades no escoamento da produção, resultando em uma agricultura pouco tecnificada e dependente do transporte fluvial. A mobilização recente de vários atores do setor agrícola tem permitido o resgate da cafeicultura amazonense, pela introdução de genótipos clonais, especificamente híbridos intervarietais (“Conilon” x “Robusta”), adaptados às condições ambientais de outros estados da Amazônia Ocidental.

Todo esse esforço, que visa proporcionar uma alternativa econômico-sustentável de produção agrícola para as comunidades rurais, irá requerer o conhecimento particular do desempenho dos materiais genéticos de *C. canephora* no Amazonas, de modo a fornecer mais segurança aos futuros cafeicultores e ampliar as chances de sucesso da lavoura.

Portanto, a presente pesquisa se destinou a investigar a performance de genótipos de cafeeiro canéfora na Amazônia Ocidental, especificamente no estado do Amazonas. Dois capítulos abordarão avaliações sobre a interação genótipos por ambientes (GA) em componentes da produção e a própria produtividade de grãos beneficiados, de maneira a refinar estas informações pela análise do comportamento, parâmetros genético-biométricos,

adaptabilidade e estabilidade de cultivares recomendadas para outros estados da Amazônia Ocidental, como Acre e Rondônia.

O primeiro capítulo investigou o rendimento de grãos processados, o ciclo e a uniformidade de maturação dos frutos em 15 clones de cafeeiro canéfora, na Amazônia Ocidental. O segundo capítulo examinou a adaptabilidade e estabilidade desses mesmos clones, destacando aqueles de melhor desempenho produtivo, com o emprego de diferentes métodos e filosofias de análise aplicados de forma simultânea e complementar. Espera-se recomendar genótipos de maior produtividade para o estado do Amazonas, considerando as particularidades climáticas e de manejo da região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História, origem e distribuição do cafeeiro

As duas espécies do gênero *Coffea* spp. predominantes na produção da bebida se originaram no continente africano. *Coffea arabica* teve a sua provável origem e dispersão na Etiópia (BONOMO *et al*., 2004), região de elevadas altitudes e altos níveis pluviométricos. A espécie *C. canephora,* conhecida no Brasil como café robusta ou conilon, é oriunda de uma ampla região, que se estende da Guiné ao Congo (FERRÃO *et al*., 2004; FERRÃO *et al*., 2017).

Originária de florestas tropicais úmidas de baixas altitudes e temperaturas médias anuais elevadas, a espécie *C. canephora* apresenta uma ampla distribuição geográfica nas regiões ocidental, central-tropical e subtropical do continente africano, desde o nível do mar até altitudes de 1.300 m, demonstrando a sua capacidade de adaptação (CARVALHO, 1946; CHARRIER; BERTHAUD, 1985; COSTE, 1992; MONTAGNON *et al*., 1998).

Os primeiros contatos dos europeus com o café foram em 1615, chegando à América do Norte em 1668. A cultura foi introduzida na América pelos holandeses, por intermédio da colônia do Suriname, em 1718. Em 1825, o suprimento mundial era feito pelas Américas Central e do Sul, ocasião em que o Brasil passou a ser um dos maiores exportadores desse produto (OLIVEIRA *et al*., 2012).

Desde a sua introdução, em 1727, no Brasil, o café tem se constituído como um dos produtos mais importantes na diversificação agrícola e na fixação do homem no campo (FERRÃO *et al*., 2017). O café chegou ao Brasil, diretamente a partir de Belém do Pará, vindo da Guiana Francesa pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta, que trouxe cinco mudas e uma pequena quantidade de sementes, estabelecendo uma pequena lavoura no Pará. Naquela

época, o café tinha cotação alta no mercado devido ao seu alto valor comercial (LEITE; SILVA, 2002). Apesar de ter sido introduzida em Belém e posteriormente se espalhado por várias regiões do país, a cafeicultura brasileira foi impulsionada pela criação do Consórcio Pesquisa Café, em 1997 (BRASIL, 2018; CONAB, 2023).

Foi somente em 1825 que a produção de café foi consolidada, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, com ênfase no cultivo de *C. arabica*, tornando-se em 1830 o principal produto de exportação brasileiro, sendo, desde então, comercializado internacionalmente (CONAB, 2022). Por outro lado, o *C. canephora*, introduzido no Brasil em 1912 no estado do Espírito Santo, só teve o seu cultivo aumentado significativamente na década de 1960 (FERRÃO *et al*., 2019).

2.2 Aspectos botânicos em *Coffea canephora*

O cafeeiro, pertencente à família Rubiaceae e ao gênero *Coffea*, abrange mais de 10 mil espécies agrupadas em 630 gêneros (CARVALHO, 2008).

O gênero *Coffea* é classificado em quatro seções: Eucoffea, Mascarocoffea, Paracoffea e Argocoffea. A seção Eucoffea inclui cinco subseções, uma das quais é a Erithrocoffea, que engloba espécies como *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (CHEVALIER 1947; SONDAHL; LAURITIS, 1992).

A espécie *Coffea canephora* apresenta a seguinte classificação taxonômica:

a) Classe: Dicotyledonea

b) Ordem: Rubiales

c) Família: Rubiaceae

d) Gênero: *Coffea*

e) Seção: Eucoffea

f) Subseção: Erithrocoffea

g) Espécie: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner

As espécies do gênero *Coffea* podem ser separadas em dois grupos quanto ao número de cromossomos. *C. arabica* é tetraploide (2n = 44 cromossomos) e é a única espécie autofértil (MORAES *et al*., 2018). Essa espécie é considerada híbrida das espécies *Coffea eugenioides* e *Coffea canephora* (SALOJÄRVI *et al*., 2024). Já *C. canephora* é diploide (2n = 22 cromossomos), estritamente alógama, com incompatibilidade gametofítica controlada por um único gene com vários alelos autoestéreis (SOUZA *et al*., 2015; MORAES *et al*., 2018), que

controlam o crescimento do tubo polínico (CONAGIN; MENDES, 1961; BERTHAUD, 1981; LASHERMES *et al*., 1996). A sua polinização ocorre preferencialmente pelo vento, com menor contribuição de insetos. No entanto, as abelhas contribuem significativamente para aumentar a frutificação em até 50% mais, comparando com a polinização exclusiva pelo vento (KRISHNAN *et al*., 2012).

A espécie *C. canephora* apresenta características distintas em comparação com *C. arabica*, conhecida pela sua robustez e vigor, adaptando-se bem a solos menos férteis e condições climáticas desafiadoras, o que contribui para a sua ampla distribuição geográfica e impacto na sustentabilidade da cafeicultura (SOUSA *et al*., 2004).

Em termos morfológicos, *C. canephora* é caracterizado por ser um arbusto multicaule, ao passo que *C. arabica* possui uma estrutura mais compacta (MENDES; GUIMARÃES, 1996; MATIELLO, 1998). As suas folhas são maiores, bem onduladas e de coloração verde mais clara, em comparação com o *C. arabica*, que apresenta folhas de tamanho moderado e tonalidade verde mais escura. Os frutos do *C. canephora* são mais esféricos e menores, com coloração variando entre vermelho e roxo quando maduros, e um exocarpo mais fino, ao contrário dos frutos do *C. arabica*, que são ovais, maiores, com coloração que varia entre vermelha, amarela ou alaranjada e um exocarpo mais espesso (SOUSA *et al*., 2004).

2.3 Comparação entre variedades botânicas conilon, robusta e híbridos

A espécie *C. canephora* apresenta duas variedades botânicas distintas, denominadas “Conilon” e “Robusta”. O cruzamento entre elas origina híbridos intervarietais. Cada uma dessas variedades possui características específicas que influenciam na produção, manejo, resistência a pragas e doenças, além de outras qualidades agronômicas (MENEZES-SILVA *et al*., 2015).

A variedade Conilon é amplamente cultivada no Espírito Santo e em Rondônia. Caracteriza-se pela sua resistência ao déficit hídrico, o seu porte menor e melhor adaptação a baixas altitudes e altas temperaturas. No entanto, possui maior suscetibilidade à ferrugem e aos nematoides-das-galhas (BERTHAUD, 1985; SOUZA *et al*., 2021; ESPINDULA *et al*., 2022).

A variedade Robusta, por outro lado, é nativa de regiões de floresta tropical e se diferencia pelo seu maior porte e menor resistência ao déficit hídrico. Apresenta maior resistência à ferrugem e aos nematoides-das-galhas (MONTAGNON *et al*., 2012). É comumente cultivada em condições de alta umidade e temperaturas elevadas, típicas das regiões tropicais da Amazônia (BERTHAUD, 1985; SOUZA *et al*., 2021; ESPINDULA *et al*., 2022).

Os híbridos surgem a partir do cruzamento entre as variedades Conilon e Robusta, combinando características desejáveis de ambas. Esses híbridos apresentam porte intermediário, maior vigor e resistência a doenças, como a ferrugem, além de maior tolerância ao estresse hídrico (SOUZA *et al*., 2013; SOUZA *et al*., 2021). No Brasil, os híbridos intervarietais são resultantes de seleções realizadas pelos próprios agricultores ou por instituições de pesquisa, como a Embrapa (ESPINDULA *et al*., 2022).

2.4 Clones de *Coffea canephora* na Amazônia e no Estado do Amazonas

A Amazônia tem se destacado na produção de *C. canephora*, particularmente devido à adaptação e produtividade dos clones selecionados e plantados na região. Esses clones, popularmente conhecidos como “Robustas Amazônicos” têm desempenhado um papel importante na transformação da cafeicultura na Amazônia, especialmente no estado de Rondônia.

O cultivo de *C. canephora* na Amazônia começou a ganhar destaque a partir da década de 1960, impulsionado pela migração de agricultores de outras regiões do Brasil, como Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo. No entanto, foi a partir da década de 2010 que a cafeicultura clonal, baseada na propagação vegetativa por estaquia, consolidou-se como uma prática predominante em Rondônia e se expandiu para outros estados da Amazônia (ESPINDULA *et al*., 2022).

No estado do Amazonas, a introdução dos clones de *C. canephora* começou de forma mais organizada a partir de 2014. Os primeiros registros são do município de Apuí, onde foram implantadas unidades de observação com a variedade Conilon BRS Ouro Preto. Essas iniciativas foram resultado de parcerias entre a Embrapa e organizações como o Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia - Idesam (GONÇALVES *et al*., 2015).

Em 2015, uma unidade de observação foi instalada no município de Silves. Entre 2018 e 2021, foram produzidas e distribuídas por viveiristas no Amazonas cerca de 200 mil mudas da variedade BRS Ouro Preto, fortalecendo a presença dos clones na região.

Em 2019, parcerias entre a Embrapa e a Universidade Federal do Amazonas (Ufam) resultou na implantação de áreas experimentais em Humaitá, Itacoatiara, Manaus e Silves. Além disso, jardins clonais foram estabelecidos por viveiristas de Rio Preto da Eva e Apuí, incluindo clones rondonienses selecionados por produtores, que tem se destacado nas lavouras, como os genótipos denominados 08, 25, G1, G2, G20, LB 010 e BG 180.

A adoção dos clones de *C. canephora* tem transformado a cafeicultura no Amazonas. A alta produtividade e adaptabilidade prevista de clones selecionados têm proporcionado aos agricultores ótimas expectativas em relação a maiores rendimentos e maior eficiência na produção (ESPINDULA *et al*., 2022).

2.5 Aspectos econômicos

C. arabica e *C. canephora* são as espécies mais produzidas, representando, aproximadamente, 60% e 40% da produção global, respectivamente (DENOEUD *et al*., 2014, USDA, 2024). A produção mundial de café para a safra 2023-2024 está estimada em 171,4 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, refletindo um aumento de, aproximadamente, 4,2 % em comparação com o ciclo anterior (USDA, 2024).

Dentro desse contexto, a produção mundial de café arábica é projetada em 97,3 milhões de sacas, representando um crescimento de 10,7% em relação à safra anterior. Em contrapartida, a produção de café canéfora está estimada em 74,1 milhões de sacas, o que representa uma queda de 3,3%, em comparação com a safra mundial anterior de 2022-23 (CONAB, 2024).

A América Latina é a maior região produtora de café no mundo, com o Brasil e a Colômbia ocupando, respectivamente, a primeira e a terceira posição no cenário mundial, com mais de 40 % da produção do planeta (International Coffee Organization – ICO, 2020). Apesar de ser uma *commodity*, o café cada vez mais tem sido tratado com um produto de alto valor no mercado internacional, devido às exigências crescentes dos consumidores (CABRERA; CALDARELLI, 2020).

A produção da safra de café do Brasil para o ano-cafeeiro 2024 está prevista para alcançar cerca de 58 milhões de sacas, o que representa um aumento de, aproximadamente, 5,5 % em relação à colheita do ano anterior. Desse total, estima-se que 40,74 milhões de sacas sejam de café arábica (representando 70% da safra nacional prevista) e 17,34 milhões de sacas sejam de café robusta/conilon (correspondendo a 30% da safra) (USDA, 2024).

Há estimativa de efeitos fisiológicos relacionados à bienalidade positiva em muitas regiões produtoras, especialmente sobre as lavouras de café arábica. Oscilações climáticas, com registros de intempéries importantes, como estiagem e geadas em localidades cafeicultoras de destaque, afetaram o planejamento dos produtores no direcionamento de área para o café e até mesmo na escolha de manter as lavouras em produção (CONAB, 2024).

Na Amazônia Ocidental, o Estado de Rondônia se destaca pela sua aptidão para cultivo do *C. canephora* em regime de agricultura familiar, com plantações de café que chegam a até

10 hectares (MARCOLAN *et al*., 2009). A cafeicultura em Rondônia está, principalmente, concentrada nos municípios de Alto Alegre do Parecis, Alta Floresta do Oeste, Cacoal, Ministro Andreazza, Novo Horizonte, Nova Brasilândia do Oeste e São Miguel do Guaporé. Recentemente, o uso de mudas clonais tem gerado excelentes resultados, com plantas mais produtivas e uniformidade nas plantações, colheita precoce, maturação uniforme dos grãos, melhor qualidade e aumento significativo e consistente na produtividade (MARCOLAN *et al*., 2009).

A transformação na cafeicultura rondoniense começou na década de 2010, com um aumento na produtividade devido a melhorias no manejo do solo, plantio em sulcos, adensamento das lavouras, podas e irrigação. Um fator de destaque para essa mudança foi a adoção da propagação vegetativa, utilizando diferentes clones em linhas de plantio distintas, resultando no adensamento das lavouras (CONAB, 2024).

Estima-se que existam cerca de 70 clones em uso nas lavouras de Rondônia, com destaque para os clones 03, 05, 08, 25, 41, 66, 80, AS2, AR106, entre outros. Essa evolução foi impulsionada pelo empreendedorismo dos agricultores locais e pesquisas que identificaram características adaptáveis dos clones na região (ESPINDULA *et al*., 2022).

Em relação à expansão da área de produção, espera-se um pequeno aumento em comparação à safra anterior, devido à inclusão de áreas reformadas recentemente ou novas plantações com materiais clonais mais eficientes (CONAB, 2024).

2.5.1 Amazonas

A cafeicultura no estado do Amazonas está se estabelecendo aos poucos como uma fonte alternativa de renda para os produtores, especialmente em contextos familiares. Essa atividade é desenvolvida em pequenas áreas, com mão de obra predominantemente familiar e uso limitado de insumos (CONAB, 2018).

Nos últimos anos, houve uma expansão da cafeicultura no estado, tanto em termos de área cultivada quanto de produtividade. Isso se deve à interiorização da cultura do café e ao apoio das políticas públicas, como o Projeto Prioritário do Café conduzido pelo IDAM em colaboração com a Secretaria de Estado da Produção Rural/SEPROR. Este projeto, visa fomentar a produção e produtividade da cultura, destacando-se pela predominância do café canéfora, que se adapta melhor ao clima tropical da região (IDAM, 2019). O projeto abrange uma área plantada de 579 hectares, com uma produção atual de 586 toneladas, beneficiando 435 agricultores familiares e produtores rurais. O projeto também enfatiza a utilização de áreas

degradadas, mecanização e inovações tecnológicas para modernizar a cafeicultura no Amazonas, com foco nos municípios de Barreirinha, Silves, Lábrea, Envira, Apuí e São Sebastião do Uatumã (IDAM, 2019).

A maior parte do cultivo está concentrada no município de Apuí, com a maior área plantada de café no Amazonas. Nesse local está sendo produzido o primeiro café robusta orgânico, 100% cultivado em agrofloresta na Amazônia brasileira (GONÇALVES *et al*., 2015). Essa prática não apenas oferece uma alternativa de renda, mas também contribui para a preservação da floresta (CONAB, 2024).

2.6 Programas de melhoramento de cafeeiro canéfora

Os programas de melhoramento de café em Espírito Santo e Rondônia têm sido fundamentais para o desenvolvimento da cafeicultura no Brasil, com destaque para as contribuições do Incaper e da Embrapa (EMBRAPA, 2015; FERRÃO *et al*., 2019; INCAPER, 2021).

O Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), localizado no Espírito Santo, tem desempenhado um papel relevante na pesquisa e desenvolvimento de variedades de café, especialmente de *C. canephora*. O Incaper trabalha na manutenção e caracterização de germoplasma, ampliação da base genética e hibridações para transferência de características específicas para o melhoramento populacional. Essas ações têm resultado em variedades de café mais adaptadas às condições climáticas locais e resistentes a doenças, contribuindo, significativamente, para a sustentabilidade e produtividade da cafeicultura capixaba (FERRÃO *et al*., 2019).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pela sua unidade em Rondônia, localizada no município de Porto Velho, iniciou o seu Programa de Melhoramento de *C. canephora* em 1978. As estratégias da Embrapa incluem a seleção de plantas-matrizes em lavouras de produtores, aproveitando a variabilidade genética da espécie no estado, a introdução de materiais genéticos dos grupos conilon (pelo Incaper) e robusta (pelo IAC), hibridações entre esses grupos e a avaliação dos diferentes materiais genéticos em ambientes representativos. Combinando estratégias de melhoramento assexuado e sexuado, a Embrapa recomendou diferentes progênies de meios-irmãos do IAC e lançou várias cultivares, como a BRS Ouro Preto e as novas BRS “Robustas Amazônicos” (EMBRAPA, 2012; EMBRAPA, 2019). Essas cultivares são adaptadas a diferentes condições ambientais e têm contribuído para

a diversificação e aumento da produtividade da cafeicultura em Rondônia (ESPINDULA *et al*., 2022).

Tanto o Incaper quanto a Embrapa têm registros de clones de *C. canephora* no Registro Nacional de Cultivares (RNC), evidenciando a importância da contribuição dos seus programas de melhoramento. Esses clones, desenvolvidos a partir de pesquisas rigorosas, têm ajudado a enfrentar os desafios do campo e a adaptação a diferentes condições climáticas, aumento da produtividade e sustentabilidade das lavouras (MAPA, 2024).

Além dessas instituições públicas, há programas de melhoramento de café canéfora conduzidos por empresas privadas e outras instituições de pesquisa, como o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), que iniciou seu programa em 1970 e contribuiu com importantes variedades de café (FERRÃO *et al*., 2019).

2.7 Interação genótipo por ambiente em *Coffea* spp.

O comportamento de genótipos para uma característica pode variar significativamente conforme o ambiente, demonstrando a importância da interação genótipos por ambientes na seleção e melhoramento de plantas para maximizar a adaptação e a produtividade em diferentes condições. Estudar as interações GA é essencial para recomendar com precisão os melhores genótipos para uma determinada região (COTRIM *et al*., 2019; GENETI, 2019; MORAES *et al*., 2020). A interação GA é um fenômeno que impacta também o melhoramento genético de *Coffea* spp.

A interação GA pode ser atribuída a fatores do meio ambiente que são previsíveis, como manejo do solo, pragas, irrigação, adubação, ou imprevisíveis, como precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e radiação ao longo do ciclo cultural (COTRIM *et al*., 2019; GENETI, 2019; MORAES *et al*., 2020). Quando um material genético não apresenta um comportamento previsível em um determinado ambiente, ele pode, eventualmente, responder bem em outro ambiente específico. Nesse caso, recomenda-se a seleção por região ou localização específica, indicando falta de adaptabilidade geral aos ambientes (ARANTES, 2013).

No melhoramento genético é buscado um genótipo específico ou grupo de genótipos mais produtivos e com o menor custo possível. Portanto, deve-se estudar o ambiente em que esse genótipo pretende ser cultivado, para que possa ser amplamente produzido com menor custo e menos uso de fertilizantes (AMABILE; VILELA; PEIXOTO, 2018).

A interação GA é uma das principais dificuldades impostas aos melhoristas de plantas, pois pode impactar diretamente a obtenção de ganhos genéticos, aumentando custos e

prolongando o tempo necessário para a pesquisa (ROBERTSON, 1959; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Um genótipo que é superior em um ambiente, mas inferior em outro, dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Compreender a relação entre genótipo e fenótipo em diferentes ambientes ajuda a prever com mais precisão a resposta de espécies em habitats heterogêneos. Se a expressão fenotípica de uma determinada característica depende das condições ambientais, a medida da sua herdabilidade pode variar de acordo com as mudanças nas condições ambientais (SQUILASSI, 2003). Os melhoristas, geralmente, testam uma série de genótipos em diferentes ambientes, o que significa que podem ser esperadas interações entre si. Saber que a composição genética de uma planta geralmente não muda em função do ambiente, ajuda a atribuir qualquer mudança fenotípica às influências ambientais (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHE-NETO, 2021).

A avaliação contínua de genótipos em diferentes condições agroclimáticas é fundamental para desenvolver cultivares que apresentem estabilidade e adaptabilidade a diversos ambientes (MASTRODOMENICO *et al*., 2018). A interação GA deve ser cuidadosamente considerada no planejamento de programas de melhoramento genético para garantir a seleção de cultivares superiores que atendam às necessidades dos produtores e do mercado (BUNN *et al*., 2015). É justificada, então, nesses casos, a aplicação de metodologias que investiguem com mais profundidade os genótipos. Esses métodos se baseiam em estudos de adaptabilidade e estabilidade.

2.8 Adaptabilidade e estabilidade em *Coffea* spp

A adaptabilidade e a estabilidade são características essenciais nos programas de melhoramento genético de *Coffea* spp (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A adaptabilidade de um material genético se refere à capacidade de usar as mudanças ambientais a seu favor, respondendo aos estímulos ambientais. Assim, um genótipo que responde a um ambiente de alto rendimento é considerado como muito adaptável e pode ter uma resposta melhor em condições favoráveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; BORÉM; MIRANDA, 2013). Por sua vez, isso é importante para garantir que os genótipos respondam positivamente às melhorias tecnológicas do ambiente (MORAES *et al*., 2018).

A estabilidade de comportamento se refere à capacidade do genótipo em ser muito previsível, mesmo quando se muda o ambiente, sendo a constância de desempenho em diferentes ambientes expressa como a menor variação média nos ambientes considerados. A

estabilidade de produção é importante em plantas perenes como o cafeeiro, pois a baixa variabilidade de produção ao longo dos anos é desejável. A seleção de genótipos deve considerar a estabilidade da produção, a qual é mais bem avaliada quando os materiais genéticos são testados por várias colheitas e em diversos ambientes (MUNER *et al*., 2017; VERDIN FILHO *et al*., 2015).

Assim, o sucesso na seleção de cultivares superiores de *Coffea* spp. depende da avaliação rigorosa de adaptabilidade e estabilidade. A combinação de metodologias de avaliação e a consideração de múltiplos ambientes e safras são importantes para o desenvolvimento de cultivares que atendam às necessidades dos produtores e do mercado (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; MASTRODOMENICO *et al*., 2018).

2.9 Multi-informação genotípica para análise de adaptabilidade e estabilidade

A seleção de genótipos que possam ser cultivados em diversos ambientes com alta produtividade e consistência passa por análises de adaptabilidade e estabilidade. Recentemente, propõe-se uma avaliação simultânea e complementar de métodos, denominada análise multi-informação genotípica, aplicada para melhorar a interpretação sobre os genótipos e gerar uma ficha de recomendação (PONTES, 2020). Inclui-se nesse conjunto de avaliações:

a) Potencial médio em diferentes ambientes: a avaliação da capacidade produtiva dos genótipos em diferentes ambientes é fundamental para entender o desempenho das plantas em condições variadas. Ambientes favoráveis, como regiões com solo e clima ideais para o cultivo, contrastam com ambientes desfavoráveis, em que as condições climáticas ou do solo são adversas ou há baixa tecnologia agrícola. A análise dessas variações permite identificar genótipos com desempenho destacado em diferentes condições, orientando estratégias de melhoramento genético. Estudos mostram que a capacidade produtiva é influenciada significativamente pelas condições ambientais, como solo, clima e tecnologia de cultivo (FERRÃO *et al*., 2008; ROCHA *et al*., 2015);

b) Plasticidade fenotípica: a plasticidade dos genótipos, ou seja, a capacidade adaptativa das plantas em ajustar sua morfologia ou fisiologia frente às variações ambientais, é uma característica interessante na avaliação do desempenho agrícola. Compreender como os genótipos respondem a mudanças ambientais permite aperfeiçoar o cultivo em diferentes condições. Estudos combinados de experimentos ajudam a quantificar a plasticidade de cada genótipo, avaliando a interação GA no desempenho das plantas. A

análise dessa interação é essencial para selecionar genótipos que possam adaptar-se melhor aos ambientes variáveis (CRUZ *et al*., 2012);

c) Contribuição relativa para a interação: a influência de cada genótipo na interação entre fatores genéticos e ambientais pode ser quantificada a partir de diversas abordagens. Essa métrica fornece informações sobre a adaptabilidade dos genótipos em diferentes ambientes. Wricke (1965) e Plaisted; Peterson (1959) propuseram análises compartimentadas da contribuição de cada genótipo para a interação GA (CRUZ *et al*., 2012). Esses métodos ajudam a identificar genótipos que influenciam significativamente a variação observada nos resultados dos experimentos, oferecendo uma ferramenta valiosa para programas de melhoramento genético (NASCIMENTO *et al.*, 2010);

d) Índice de recomendação associado ao genótipo i: a identificação de genótipos com melhor desempenho médio e menor variabilidade em diferentes ambientes é fundamental para programas de melhoramento genético. A metodologia de Annicchiarico (1992) é amplamente utilizada para transformar as médias de rendimento de cada cultivar em porcentagens da média do ambiente, facilitando a avaliação do desempenho dos genótipos. A transformação dessas médias e a estimativa de desvio padrão e média permitem uma avaliação mais precisa, ajudando na seleção dos melhores candidatos para recomendação (ANNICCHIARICO, 1992);

e) Adaptabilidade ou responsividade do genótipo i: a adaptabilidade de um genótipo refere-se à sua capacidade de aproveitar os estímulos ambientais a seu favor. De acordo com Eberhart e Russell (1966), a adaptabilidade é avaliada pelo coeficiente de regressão (β_{1i}) dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental. Os genótipos são classificados como tendo adaptabilidade ampla ou geral se β_{1i} for igual a 1, indicando desempenho consistente em diferentes ambientes. A adaptabilidade específica a ambientes favoráveis é indicada por β_{1i} maior que 1, enquanto a adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis é indicada por β_{1i} menor que 1. Essa classificação ajuda a identificar genótipos que apresentam bom desempenho sob várias condições ambientais;

f) Estabilidade ou previsibilidade: a estabilidade de um genótipo é a sua capacidade de exibir comportamento bastante previsível em resposta às mudanças ambientais. Eberhart; Russell (1966) avaliam a estabilidade analisando o componente de variância atribuído aos desvios da regressão (σ^2_{di}). Genótipos com alta estabilidade ou previsibilidade possuem índice igual a 0, indicando mínima variação em relação ao

desempenho esperado em diferentes ambientes. Por outro lado, genótipos com baixa estabilidade ou previsibilidade têm σ^2_{di} maior que 0, sugerindo maior variabilidade no desempenho. Essa medida de estabilidade ajuda a identificar genótipos que podem apresentar desempenho confiável, conforme o esperado em diversas condições ambientais. Para auxiliar na interpretação da estabilidade, pode-se utilizar uma estatística adicional, o coeficiente de determinação (R^2), que representa o grau percentual de qualidade do ajuste ao modelo (CRUZ *et al*., 2021). Em geral, valores altos de R^2 são úteis para fundamentar recomendações, indicando um bom ajuste dos dados ao modelo proposto;

g) Método dos centroides: proposto por Rocha *et al*. (2005), é uma abordagem não paramétrica, que visa facilitar a recomendação de genótipos, permitindo direcionar os genótipos conforme a variação ambiental, sem a necessidade de analisar múltiplos parâmetros como nos métodos de regressão, evitando a duplicidade de interpretação presente na metodologia de Lin e Binns (1988). Esse método compara valores de distância cartesiana entre os genótipos e quatro genótipos-referência, chamados ideótipos, definidos com base nos dados experimentais para representar genótipos de máxima adaptabilidade geral, específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e mínima adaptabilidade (CARNEIRO *et al*., 2009);

h) Método padrão campeão: na metodologia proposta por Lin; Binns (1988), os autores definiram como medida para estimar a estabilidade e adaptabilidade o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente. Essa metodologia foi modificada por Carneiro (1998), que sugeriu a decomposição do estimador P_i nas partes devidas a ambientes favoráveis e desfavoráveis. Tais modificações trouxeram vantagens ao método, como maior facilidade na interpretação e a particularização da recomendação das cultivares para grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Esse procedimento de avaliação simultânea está disponível no programa Genes na sua última versão (1990.2024.13), permitindo a análise integrada de estabilidade e adaptabilidade dos genótipos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é quantificar a interação genótipos x ambientes (GA) e avaliar a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos beneficiados e de caracteres associados a produção em 15 genótipos de *Coffea canephora* na Amazônia Ocidental.

3.2 Objetivos específicos

a) Caracterizar os efeitos da interação GA sobre o índice de rendimento e a uniformidade de maturação em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental;
b) Avaliar o comportamento dos clones em relação ao índice de rendimento no campo;
c) Analisar o ciclo de maturação dos clones em diferentes ambientes amazônicos;
d) Averiguar o desempenho produtivo dos clones de cafeeiro canéfora;
e) Estimar parâmetros genético-biométricos associados à produtividade de grãos;
f) Recomendar clones de melhor desempenho produtivo, adaptabilidade e estabilidade de comportamento.

4. REFERÊNCIAS

ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da indústria de café no Brasil.** 2015. Disponível em: http://www.abic.com.br/. 2015. Acesso em: 25 mar. de 2020.

AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. 2018. Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado. Brasília, DF: **Embrapa Cerrados**, 2018.

ARANTES, F. C. **Interação genótipo X ambiente, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de cana-de-açúcar**. Orientador: Dilermando Perecin. 2013. 105 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade do Estado de São Paulo, UNESP, Jaboticabal, 2013.

BERTHAUD, J. Incompatibility in *Coffea canephora* - Test method and genetic control. **Cafe Cacao The**, Costa do Marfim, v. 24, n. 4, p. 267-274, jan. 1981.

BONOMO, P. *et al*. Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 207-219, set. 2004.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 523 p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHE-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. São Paulo: Oficina de Textos. 8. ed., 2021. 384 p.

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café no Brasil**. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeiculturabrasileira. Acesso em: 26 maio 2022.

BUNN, C.; LÄDERACH, P.; RIVERA, O. O.; KIRSCHKE, D. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic Change**, Berlim, Alemanha, v. 129, n. 1, p. 89-101, dez. 2015.

CABRERA, L. C.; CALDARELLI, C. E. Estudo bibliométrico sobre a pesquisa científica de cafés certificados na 'Web of Science'. **Reuna**, Belo Horizonte, MG, v. 25, n. 2, p. 1-19, abr.-jun. 2020.

CARVALHO, A. **Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie arábica**. Separata dos boletins da superintendência de serviços de café. Campinas, SP: IAC, 1946.

CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 334

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. *In*: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (eds.) **Coffee**: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Londres: Croom Herm, Westport, 1985. p. 13-47

CHEVALIER, A. Lés caféiers du globe. III. Systhematique des caféiers et fauxcaféiers. Maladies et insects. **Encyclopedie biologique**, Paris, n. 28, p. 12, abr.-jun. 1947.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira, café**. 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe4. Acesso em: 15 out. 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Observatório agrícola – Acompanhamento safra brasileira de café**. 2023. Disponível em: http://www.conab.gov.br.2. Acesso em: 05 dez. 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira café. 2022**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe2. Acesso em: 15 out. 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília: Conab, 2024. Disponível em: http://www.conab.gov.br\. Acesso em: 04 maio 2024.

CONAGIN, C. H. T. M.; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*; autoincompatibilidade em *Coffea canephora*. **Bragantia**, Campina, SP, v. 20, p. 787804, ago. 1961.

COSTE, R. ***Coffea***: the plant and the product. Londres: Macmillan Press Ltd., 1992. 328 p.

COTRIM, M. F. *et al*. Environmental stratification in the brazilian cerrado on the yield and fiber quality of cotton genotypes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 35, n. 5, p. 1349-1355, set.-out. 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v35n5a2019-42259. Acesso em: 18 ago. 2020.

DENOEUD, F. *et al*. The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. **Science**, v. 345, n. 6201, p. 1181-1184, set. 2014.

ESPINDULA, M. C. *et al*. **Robustas Amazônicos**: os cafeeiros cultivados em Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2022. 144 p.

FERRÃO *et al*. **Melhoramento genético de *Coffea canephora*** - Café na Amazônia. Brasília, DF: Embrapa. 2015. p. 85-95

FERRÃO R. G. *et al*. **Conilon Coffee**. 3. ed. Vitória: Incaper Café Conilon, 2019.

FERRAO, M. A. G. *et al*. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. *In*: FERRÃO, R. G. *et al*. (org.). **Café Conilon**. 2. ed. Vitoria: DCM/Incaper. 2017. v. 1, p. 81-101

FERRÃO, R. G. **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café conilon**. Orientador: Cosme Damião Cruz. 2004. 270 f. Tese (Doutorado em Genética e melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FERRÃO, R. G. *et al*. Adaptabilidade e estabilidade de produção em variedades de café Conilon. *In*: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, n. 03, 2003, Porto Seguro, BA. **Anais**... Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 213

FERRÃO, R. G.; FONSECA., A. F. A.; FERRÃO, M. A. G. Programas de melhoramento genético de café robusta no Brasil. *In*: III Simpósio de atualização em genética e melhoramento de plantas, 3., 1999, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 1999. p. 50-65

FERRARI, M. *et al*. Path analysis and phenotypic correlation among yield components of soybean using environmental stratification methods. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, Nova Gales do Sul, Austrália, v. 12, n. 2, p. 192-202, jan. 2018.

GENETI, T. Z. Review on the effect of moisture or rain fall on crop production. **Civil and Environmental Research**, v. 11, n. 2, p. 7, 2019.

GONÇALVES, E. T. *et al*. **Guia para produção de café sustentável na Amazônia**: experiência de Apuí (AM). Piracicaba, SP: Imaflora e Idesam, 2015. 33 f. Disponível em: https://idesam.org/publicacao/guia-cafe-sustentavel-amazonia.pdf. Acesso em: 21 maio 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de geografia e estatística. **Produção agropecuária**: Café. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cafe/br. Acesso em: 21 maio 2024.

IDAM - Instituto de desenvolvimento Agropecuário e florestal sustentável do estado do Amazonas. **Revista IDAM**: Projetos prioritários CDR, dezembro de 2019. Disponível em: http://www.idam.am.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/Revista-IDAM-Projetos-Priorit%C3%A1rios-CDR_19-dezembro-2019.pdf. Acesso em: 21 maio 2024.

INCAPER. **Projetos de pesquisa 2021**. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/Pesquisa/Projetos%20Pesquisa%202021.pdf. Acesso em: 21 maio 2024.

KRISHNAN, S. *et al*. Status of pollinators and their efficiency in coffee fruit set in a fragmented landscape mosaic in South India. **Basic and Applied Ecology**, v. 13, n. 3, p. 277-285, maio 2012.

LASHERMES, P. *et al*. Inheritance and genetic mapping of self-incompatibility in *Coffea canephora* Pierre. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 93, n. 3, p. 458-462, ago. 1996.

LEITE, C. A. M.; SILVA, M. da. A demanda de cafés especiais. *In*: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café**: produtividade, qualidade e sustentabilidade. Viçosa, MG: DFT/UFV, 2000. p. 51-89

MAPA - Ministério Da Agricultura E Pecuária. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares. Acesso em: 21 maio 2024.

MARCOLAN, A. L. *et al*. **Cultivo dos cafeeiros conilon e robusta para Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 67 p.

MASTRODOMENICO, A. T. *et al*. Yield stability differs in commercial maize hybrids in response to changes in plant density, nitrogen fertility, and environment **Crop Science**, Wisconsin, EUA., v. 58, p. 230-241, jan. 2018.

MATIELLO, J. B. **Café conilon** (como plantar, tratar, colher, preparar e vender). Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFÉ, 1998. 162 p.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Cafeicultura empresarial (produtividade e qualidade genética e melhoramento do cafeeiro)**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 99 p.

MENEZES-SILVA, P. E. *et al*. Wood density, but not leaf hydraulic architecture, is associated with drought tolerance in clones of *Coffea canephora*. **Trees**, v. 29, p. 1687-1697, jul. 2015.

MONTAGNON, C.; CUBRY, P.; LEROY, T. Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: connaissances acquises, stratégies et perspectives. **Cahiers Agricultures**, Montpellier, França., v. 21, n. 2-3, p. 143-153, mar. 2012.

MONTAGNON, C.; LEROY, T.; ESKES, A. B. Varietal improvement of *Coffea canephora*. II. Breeding programmes and their results. **Plantation Recherche Développement**, Costa do Marfim, n. 5 p. 18-33, maio 1998.

MORAES, M. S. *et al*. Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50 n. 1, p. 10, jan. 2020.

OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; MOURA, C. S. F. T. Cultura do Café: histórico, classificação e fases de crescimento. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, p. 17-32, 2012.

SALOJÄRVI, J. *et al*. The genome and population genomics of allopolyploid *Coffea arabica* reveal the diversification history of modern coffee cultivars. **Nature genetics**, v. 56, n. 4, p. 721-731, abr. 2024.

SONDAHL, M. R., LAURITIS, J. A. Coffee. *In*: HAMMERSCHLAG, F. A., LITZ, R. E. (eds.). **Biotechnology of perennial fruit crops**. Cambridge: C. A. B International, 1992. p. 401- 466

SQUILASSI, M. G. **Interação de genótipos com ambientes**. Aracajú, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. 47 p. Disponível em: http//www.cpatc.embrapa.br, Acesso em: 27 jun. 2020.

SOUZA, F. D. F. *et al*. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA, 2004. 21 p.

SOUZA, M. S. *et al*. Classification of *Coffea canephora* clones in botanical varieties by discriminant analysis of the k-nearest neighbors. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 68, p. 420-428, set.-out. 2021.

USDA. United States Departmente of Agriculturure. **Coffee**: World Markets and Trade. 2020. Disponível em: https://downloads.usda.library.cornell.edu/ usdaesmis/files/m900nt40f/6m3129089/ r494w654j/coffee.pdf. Acesso em: 25 dez. 2023.

CAPÍTULO I - CICLO DE MATURAÇÃO E RELAÇÃO DE MASSA ENTRE FRUTOS MADUROS E PROCESSADOS NOS CULTIVARES DE CAFÉ ROBUSTAS AMAZÔNICOS

RESUMO

O objetivo do trabalho foi caracterizar o índice de rendimento, o índice de rendimento de campo, a uniformidade e o ciclo de maturação de 15 genótipos de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivados em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental. A pesquisa foi conduzida no Amazonas, nos municípios de Itacoatiara e Manaus, e em Rondônia, no município de Porto Velho, Brasil. Foi avaliado o desempenho de dez cultivares e cinco genótipos de desempenho promissor, desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A interação entre genótipos x ambientes foi significativa, indicando que os clones apresentaram desempenho diferenciado entre os ambientes avaliados. A superioridade dos coeficientes genotípicos sobre aqueles de natureza ambiental sugere a predominância dos efeitos genéticos na expressão dos índices de rendimento e da uniformidade de maturação. O índice de rendimento médio foi de 24,68% e o rendimento de campo de 22,57%, sendo o ambiente Itacoatiara com as maiores médias. A uniformidade de maturação de frutos teve uma média geral de 63,02%, com a localidade Porto Velho apresentando a maior uniformidade média (71,78%). A cultivar BRS1216 apresentou o melhor desempenho para os índices de rendimento e proporcionou maior ganho de seleção na média dos ambientes, evidenciando adaptabilidade ampla para o índice de rendimento e adaptabilidade para ambientes favoráveis ao rendimento de campo. As cultivares BRS3210 e BRS3220 se destacaram com mais de 82% de uniformidade de maturação na média das localidades, porém a primeira com adaptabilidade para ambientes favoráveis e a segunda para ambiente desfavorável. A cultivar BRS3220 também se diferiu pela superioridade média para o rendimento de campo, exibindo ampla adaptabilidade e alta estabilidade fenotípica. Os clones e as cultivares Robustas Amazônicos avaliados apresentaram ciclos de maturação, conforme o esperado.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Desuniformidade de maturação. Interação genótipos × ambientes. Adaptabilidade e estabilidade. Ganho de seleção.

CHAPTER I - MATURATION CYCLE AND MASS RATIO BETWEEN RIPE AND PROCESSED FRUITS IN AMAZONIAN ROBUSTA COFFEE CULTIVARS

ABSTRACT

This study aimed to characterize the yield index, field yield index, uniformity, and maturation cycle of 15 *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes cultivated in different environments of the Western Amazon. The research was conducted in Amazonas, in the municipalities of Itacoatiara and Manaus, and Rondônia, in Porto Velho, Brazil. The performance of ten cultivars and five promising genotypes developed by the Brazilian Agricultural Research Corporation was evaluated. The interaction between genotypes x environments was significant, indicating that the clones showed differentiated performance among the evaluated environments. The superiority of genotypic coefficients over environmental ones suggests the predominance of genetic effects in the expression of yield indices and maturation uniformity. The average yield index was 24.68%, and the field yield was 22.57%, with Itacoatiara having the highest average. The overall fruit maturation uniformity average was 63.02%, with Porto Velho showing the highest average uniformity (71.78%). The BRS1216 cultivar had the best performance for yield indices and provided the highest selection gain on the environments' average, showing broad adaptability for the yield index and adaptability to favorable environments for field yield. The BRS3210 and BRS3220 cultivars stood out with more than 82% maturation uniformity on the average of locations, but the first had adaptability to favorable environments and the second to unfavorable environments. The BRS3220 cultivar also stood out for its superior average field yield, exhibiting broad adaptability and high phenotypic stability. The evaluated Amazonian Robustas clones and cultivars showed maturation cycles as expected.

Keywords: *Coffea canephora*. Maturation non-uniformity. Genotype × environment interaction. Adaptability and stability. Selection gain.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner na Amazônia ganhou destaque no cenário agrícola brasileiro, especialmente na região de Rondônia, conhecida pelas suas tecnologias de cultivo de café. Nos últimos anos, outros estados da Amazônia Ocidental ampliaram as suas áreas de cultivo, resultando em um aumento da produção (CONAB, 2024). O estado do Amazonas está entre as regiões em que o cultivo de café envolve genótipos de Rondônia, conhecidos como "Robustas Amazônicos", incluindo cultivares desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (TEIXEIRA *et al*., 2020; ROCHA *et al*., 2021).

C. canephora, uma espécie amplamente cultivada em climas quentes e úmidos (FERRÃO *et al*., 2007) é diplóide (2n = 2x = 22 cromossomos), com autoincompatibilidade gametofítica (HUDED *et al*., 2020). Essa característica não apenas desencoraja a reprodução cruzada, mas a exige, aumentando assim a variação genética. A variabilidade genética e o potencial de rendimento são, geralmente, avaliados em programas de melhoramento, por testes de progênie ou clonais (FERRÃO *et al*., 2020; ROCHA *et al*., 2021). O lançamento de cultivares clonais acelera o ganho genético a um custo menor, prevenindo a heterogeneidade excessiva no campo (FERRÃO *et al*., 2020). Genótipos resultantes de híbridos entre as variedades "Conilon" e "Robusta" podem surgir por polinização aberta ou hibridizações dirigidas (OLIVEIRA *et al*., 2018). Vale notar que as cultivares de *C. canephora* são predominantemente propagadas vegetativamente. Esses híbridos, combinados com métodos de propagação clonal, podem melhorar ainda mais características desejadas, como uniformidade de plantio, precocidade e produtividade.

Embora a produtividade continue sendo um fator que pode contribuir na seleção de genótipos (PARTELLI *et al*., 2020), com a evolução do cultivo de café, componentes de produção, como o índice de rendimento, têm ganhado importância. Esse índice representa a relação entre a massa fresca do fruto maduro colhido e o peso dos grãos de café após o processamento. Ele indica quanto do material do fruto maduro é preservado nos grãos de café após tal processo. Um índice mais alto geralmente indica uma conversão mais eficiente de frutos em grãos processados, o que pode ser indicativo de boa qualidade e rendimento na produção de café (FIALHO *et al*., 2022). Essa relação impacta diretamente a produtividade, já que genótipos com potencial de produção similar podem diferir no conteúdo de casca e umidade do fruto (RAMALHO *et al*., 2014; LOURENÇO *et al*., 2022).

A qualidade do café também é influenciada pelo índice de rendimento. A herança quantitativa do rendimento do café cru depende do peso da casca e do grão e do teor de umidade do fruto (FERRÃO *et al*., 2019). A falta de uniformidade na maturidade dos frutos afeta negativamente o rendimento, pois a colheita simultânea de frutos verdes, cerejas, maduros e secos dificulta o processamento (FERRÃO *et al*., 2019). Alcançar mais de 70-80% de frutos maduros na colheita é desejável, mas a falta de uniformidade é influenciada por fatores climáticos, como temperatura, umidade e distribuição de chuvas (FERRÃO *et al*., 2007).

Grãos de café verdes são menos desenvolvidos e têm maior teor de umidade, o que diminui significativamente a rentabilidade, pois a presença de frutos verdes reduz a qualidade do café e a relação entre frutos colhidos e grãos processados (BORÉM *et al*., 2023).

Estudos sobre o rendimento de *C. canephora*, geralmente, dependem de amostras de frutos cereja (GASPARI-PEZZOPANE *et al*., 2005; PARTELLI *et al*., 2021; FIALHO *et al*., 2022; LOURENÇO *et al*., 2022), mas essas amostras podem não representar com precisão a condição da planta na colheita. Portanto, é melhor considerar as proporções de peso do fruto, da casca e do grão, juntamente com a uniformidade de maturação, como um índice de produção.

Alcançar a uniformidade na floração é desafiador em climas adversos (SILVA *et al*., 2022) e clones de *C. canephora* amadurecem de forma desigual (TEIXEIRA *et al*., 2020). Consequentemente, o rendimento no campo pode diferir-se significativamente do rendimento baseado apenas na proporção de frutos cereja maduros para grãos de café processados, no entanto, há literatura limitada sobre esse assunto.

Os diversos ambientes amazônicos, com condições edafoclimáticas variadas e práticas agrícolas, exigem uma melhor compreensão da interação genótipo x ambiente (GA) nos componentes de produção. Isso é essencial para determinar sua natureza, se simples ou complexa, o tipo de adaptabilidade (ampla ou específica) e a estabilidade em relação aos clones na região. Somente por uma análise detalhada, clones com desempenho de campo ótimo podem ser selecionados.

Considerando esses aspectos, este estudo teve como objetivo caracterizar o índice de rendimento do café, o índice de rendimento no campo, a uniformidade de maturidade e o ciclo de maturação de 15 genótipos de café pré-selecionados em três ambientes da Amazônia Ocidental, considerando os efeitos genéticos, ambientais e de GA na expressão das características.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaios de campo e condução experimental

De dezembro de 2018 a março de 2019, foram instalados três ensaios de competição de clones em três diferentes localidades da Amazônia Ocidental, sendo dois experimentos no estado do Amazonas, nos municípios de Itacoatiara e Manaus e outro em Rondônia, no município de Porto Velho. Os experimentos foram realizados em regiões representativas da cafeicultura amazônica e submetidos a condições de pleno sol, com irrigação suplementar emergencial durante a estação da seca no município de Porto Velho e Itacoatiara e em sequeiro, em Manaus. Foi adotado o espaçamento de 3 x 1 m no plantio, que corresponde a 3.333 plantas ha^{-1}, seguindo as recomendações técnicas de manejo para o cultivo do *C. canephora*, incluindo adubações, correções do solo e outros tratos culturais (MARCOLAN *et al*., 2015; FERRÃO *et al*., 2019). Cada ensaio possuía, aproximadamente, 1.080 m^2 cada. As avaliações foram feitas na segunda safra dos experimentos. As descrições dos locais e as propriedades químicas do solo de cada ambiente, nas camadas de profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, encontram-se resumidas a seguir (Tabela 1 e 2).

Tabela 1: Identificação dos três ensaios de campo em relação à localização e características edafoclimáticas

Identificação	**Ambiente**		
	E1	**E2**	**E3**
Município	Itacoatiara, AM	Manaus, AM	Porto Velho, RO
Área experimental[@]	Sítio Jota Pê	FAEXP/UFAM	FAEXP/Embrapa
Mês/ano do plantio	março de 2019	janeiro de 2019	dezembro de 2018
Coordenadas geográficas	3º04’15,2”S 58º28’2,1”W	2°39'09.0"S 60°03'15.9"W	8°48’05.5”S 63°51’02.7”W
Altitude (m)[#]	26,00	97,00	88,00
Classificação do solo	Franco argiloso	Muito argiloso	Muito argiloso
Fertilidade	Média	Média	Baixa
Topografia	Plana	Plana	Plana
Precipitação anual (mm)[&]	3.046,6	2.733,5	2.216,0
Temperatura média (ºC)[&]	27,3	27,1	26
Clima predominante[$]	Clima Tropical úmido (Af), sem estação seca (critério de Köppen).		Tropical úmido (Am), inverno seco (critério de Köppen)

Nota: [#]Acima do nível do mar; a área experimental [@]Em Itacoatiara-AM é uma propriedade rural. Em Manaus e Porto Velho, os ensaios foram instalados nas fazendas experimentais (FAEXP) da Universidade Federal do Amazonas e na Embrapa, respectivamente;
[&]Dados climáticas obtidos a partir de estações meteorológicas automáticas locais;
[$]Segundo Alvares *et al*. (2013).
Fonte: Autor (2024)

Tabela 2: Propriedades químicas nas camadas de solo 0–20 e 20–40 cm, nos ensaios de competição clonal conduzidos em Itacoatiara-AM (E1), Manaus-AM (E2) e Porto Velho-RO (E3), no ano agrícola 2021/2022

Ambiente	**Profundidade**	**pH[1]**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Al+H**	**Al**	**M.O**	**V**
	(cm)		mg dm^{-3}	cmolc dm^{-3}					g kg^{-1}	%
E1	0-20	5,74	26,54	0,23	2,77	0,32	3,05	0,00	28,6	52,00
	20-40	5,81	4,60	0,13	1,06	0,19	3,32	0,00	8,6	29,00
E2	0-20	5,30	18,9	3,57	1,90	0,60	2,70	0,13	n.a.[2]	48,00
	20-40	5,10	40,6	0,04	1,20	0,30	2,50	0,20	n.a.[2]	38,00
E3	0-20	5,40	2,00	0,09	1,48	1,02	13,53	0,87	51,0	16,00
	20-40	4,90	2,00	0,05	0,39	0,37	13,37	1,65	41,0	6,00

Nota: [1] pH em H_2O; [2] n.a.: não analisado.
Fonte: Autor (2024)

Foi utilizado um arranjo fatorial em delineamento de blocos completos casualizados, com os fatores sendo: genótipos e ambientes. O experimento contou com quatro repetições de 6 plantas por parcela (18 m²), para quantificar os efeitos dos genótipos, dos ambientes e da interação genótipo por ambiente (GA). Neste estudo foram avaliados 15 genótipos, dentre os quais cultivares e clones selecionados para cultivo nas regiões da Amazônia Ocidental, denominados "Robustas Amazônicos". Dez cultivares, identificadas pelo prefixo BRS – 1216, 2299, 2314, 2336, 2357, 3137, 3193, 3210, 3213, 3220, estão agrupadas em três diferentes grupos de compatibilidade – definidos pelo primeiro algarismo da cultivar – e exibem diferentes ciclos de maturação, definidos pelo segundo algarismo, em 1- precoce, 2-intermediário e 3-tardio (MORAES *et al*., 2018; ESPINDULA *et al*., 2019; TEIXEIRA *et al*., 2020).

Dois outros, RO-C125 e RO-C160, pertencem a cultivar multiclonal Conilon BRS Ouro Preto (RAMALHO *et al*., 2014) e apresentam ciclo de maturação intermediário. Os outros três genótipos, Clone 09, Clone 12 e Clone 15, não lançados no mercado, também pertencem ao programa de melhoramento da Embrapa-RO.

O índice de rendimento foi estimado coletando-se unicamente frutos cereja, respeitando os ciclos de maturação de cada genótipo. Três amostras de 1 kg de café cereja lavado foram coletadas separadamente para cada clone e secas naturalmente, em terreiros suspensos, entre 10 e 15 dias, até atingirem teor de umidade próximo a 12%, medido utilizando um equipamento Gehaka® G610. Após a secagem, as amostras de café (coco) foram descascadas em um descascador manual de café, da marca Botini® e, em seguida, separadas em um conjunto de peneiras da marca Paulinialves®. Assim, o índice de rendimento foi estimado conforme a seguinte expressão:

$$\text{Outturn index (\%)} = \left(\frac{m_{\text{processed beans}}}{m_{\text{from field}}}\right) . F_{\text{moist12\%}} . 100$$

Em que $m_{\text{processed beans}}$ é a massa de grãos após secagem e descascamento; $m_{\text{from field}}$ é a massa do café cereja colhido no campo; $F_{\text{moist12\%}}$, é o fator de correção para 12% de umidade, calculado pela razão $\left(\frac{100-M_{\text{moist}}}{100-12}\right)$, cuja expressão M_{moist} representa a umidade no grão medida pelo equipamento e o valor 12 foi definido como a umidade de referência.

A uniformidade de maturação ($U_{\text{rippeness}}$) foi calculada pela diferença percentual entre o total de café, amostrado no campo e aqueles considerados em estágio verde, representando, assim, a proporção de frutos maduros. As amostras foram compostas por 200 unidades coletadas aleatoriamente na mistura de frutos dispostos no pano de colheita estendido nas linhas de plantio, para cada clone.

O índice de rendimento de campo proposto foi calculado ponderando-se o índice de rendimento pela uniformidade de maturação ($U_{\text{rippeness}}$) mais o índice de rendimento para frutos exclusivamente verdes $\left(\text{Outturn index}_{\text{green}}\right)$, multiplicado pela proporção de café verde colhido no campo $\left(1 - U_{\text{rippeness}}\right)$, gerando a seguinte expressão:

$$Field\ outturn\ index\ (\%) = \left[Outturn\ index\ .\ U_{rippeness}\right] + \left[Outturn\ index_{green}\ .\left(1 - U_{rippeness}\right)\right]$$

Nesse estudo, adotou-se o rendimento dos frutos verdes em 19% (GASPARI-PEZZOPANE *et al*., 2005). O número de dias de maturação de cada clone para os respectivos ambientes também foi quantificado pela diferença entre o dia da colheita e florada principal dos genótipos de cafeeiro.

Após análise da homogeneidade das variâncias em cada ambiente foi realizada análise de variância conjunta para testar a significância dos efeitos de genótipos, ambientes e da interação genótipos por ambientes (GA), considerando os efeitos de genótipos e de ambientes como fixos. A comparação entre ambientes, bem como a comparação entre clones no desdobramento da interação GA foi realizada pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, em nível de 5% de significância. Também se usou o critério P_i para o ranqueamento dos clones em relação a sua proximidade ao genótipo ideal de melhor desempenho em todos os ambientes avaliados, conforme Lin; Binns (1988).

Detectada a interação GA, a análise da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi quantificada nos diferentes ambientes considerando o método de regressão, proposto por Eberhart; Russell (1966), cujo parâmetro de adaptabilidade foi estimado pelo coeficiente de regressão linear (β_{1i}), para i-ésimo genótipo (i = 1, 2, ..., 15). A estabilidade foi avaliada pelos desvios da regressão (sd_i^2) e complementada pela avaliação do coeficiente de determinação (R_i^2)

(CRUZ *et al*., 2012). A classificação das localidades se baseou no índice ambiental (FINLAY; WILKINSON, 1963), cujos valores codificados foram estimados para cada local pela diferença entre a média do ambiente (j) e a média geral dos ambientes, sendo ambientes favoráveis aqueles com I_j positivos e, desfavoráveis, aqueles com valores de I_j negativos.

A predição dos ganhos genéticos foi realizada de forma individual (para cada ambiente) e conjunta, conforme descrito por Cruz *et al*. (2012), visando aumentar o rendimento e a uniformidade de maturação. As análises foram feitas pelo programa de análises genético-biométricas Genes vs.1990.2023.61 (CRUZ, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos sobre interações de genótipos por ambientes (GA) visam verificar se as plantas alteram seu desempenho em locais distintos (CRUZ *et al*., 2012), cujos efeitos significativos dessa interação resultam de uma relação não aditiva entre os efeitos do genótipo e do ambiente, refletindo as mudanças no desempenho das plantas, de acordo com o local de cultivo (CRUZ *et al*., 2012; RAMALHO *et al*., 2016). No presente estudo, o efeito significativo da interação GA indicou a existência de genótipos que apresentaram desempenho diferenciado entre os ambientes avaliados.

Comparativamente, os ambientes relacionados no presente estudo exibiram maior diferença nas características químicas de solo do que em relação às suas condições climáticas (Tabelas 1 e 2).

Esses ambientes estão localizados nos tipos climáticos Am e Af, que apresentam características semelhantes: clima tropical quente e úmido, com baixa amplitude térmica anual e expressiva amplitude térmica diária de maio a setembro (ALVARES *et al*., 2013). Por sua vez, a menor saturação de bases do ambiente de Porto Velho – RO é característico da menor fertilidade do solo deste ambiente, em comparação aos demais.

Ademais, a diferença da qualidade ambiental entre as localidades também se associa ao manejo da irrigação, que em Manaus se adotou o sistema de sequeiro, diferentemente dos demais (Tabela 1). A temperatura e o déficit hídrico afetam os processos fisiológicos da planta de café, restringindo o seu crescimento e desenvolvimento, ocasionando perda de folhas e frutos, bem como má formação dos frutos (BONGASE, 2017; DAMATTA *et al*., 2018) e, consequentemente, diminuição da produção de café (VENANCIO *et al*., 2020).

Os efeitos de genótipos, ambientes e da interação GA, foram significativos ($P < 0,01$) para os caracteres índice de rendimento, índice de rendimento de campo e uniformidade de

maturação (Tabela 3). A significância observada no efeito da interação GA sinalizou que os clones de *C. canephora* apresentaram desempenho diferenciado nos ambientes avaliados.

Tabela 3: Resumo da análise de variância, agrupamento de ambientes[$] e parâmetros genéticos estimados para o índice de rendimento (%), da uniformidade de maturação (%) e do índice de rendimento em campo (%) de clones Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara–AM (E1), Manaus–AM (E2) e Porto Velho–RO (E3), na colheita de 2022

FV	GL	Rendimento	Uniformidade de maturação	Rendimento no campo
		F	F	F
Genótipo(G)	14	8,80**	3,09**	4,88**
Ambiente(E)	2	65,69**	77,19**	85,81**
Interação G x E	28	6,36**	6,73**	5,41**
Resíduo	126	--	--	--
Total	179	--	--	--
			Médias	
Média geral		24,68	63,02	22,57
Média E1		25,53a	63,86b	23,18 a
Média E2		23,91c	53,41c	21,59b
Média E3		24,58b	71,78a	22,93a
			Parâmetros estimados	
CV_e (%)		3,15	12,88	3,16
CV_g (%)		6,41	13,97	4,17
H^2		88,65	67,67	79,52
CV_g/Cv_e		2,03	1,08	1,32

Nota: **(P<0,01) pelo teste F; FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; F: valor estimado da estatística F; H^2 – Coeficiente de determinação genotípico; CV_e – Coeficiente de variação experimental; CV_g – Coeficiente de variação genotípico.
[$]As médias dos ambientes (E1, E2 e E3), seguidas pela mesma letra minúscula, constituem grupos homogêneos, pelo teste de Scott; Knott (P < 0,05).
Fonte: Autor (2024)

Os três ambientes foram considerados distintos entre si, em relação ao índice de rendimento e à uniformidade de maturação. De acordo com o agrupamento de Scott-Knott, os ambientes Itacoatiara - AM e Porto Velho - RO foram agrupados, enquanto Manaus - AM foi mantido separado para o índice de rendimento no campo. Do ponto de vista do índice de qualidade ambiental (FINLAY; WILKINSON, 1963), Itacoatiara e Porto Velho superaram as médias ambientais dos caracteres uniformidade de maturação e índice de rendimento de campo, sendo, portanto, classificados como ambientes favoráveis e Manaus como ambiente desfavorável. Em relação ao índice de rendimento, definiu-se apenas Itacoatiara como ambiente favorável (Tabela 3). As maiores diferenças percentuais observadas entre as médias das localidades foram de 6,8% para o índice de rendimento (entre Manaus e Itacoatiara), 19,6%

para a uniformidade de maturação (Manaus e Porto Velho) e 7,4% para o rendimento de campo (Manaus e Itacoatiara).

As estimativas do coeficiente de variação residual, próprio para medir a precisão experimental (CV_e) variaram entre 3,15% - nas características de rendimento – e 12,88% para a uniformidade de maturação. Para os três caracteres, os valores do coeficiente de variação genética (CV_g) foram superiores aos CV_e e, consequentemente, as respectivas relações CV_g/CV_e, superaram a unidade. Os valores do coeficiente de determinação genotípico (H^2) foram maiores para os índices de rendimento (79% e 88%) em relação à uniformidade de maturação (67%) (Tabela 3).

As caraterísticas de rendimento e maturação dos frutos apresentaram boa precisão experimental – baixos valores de CV_e – quando comparada a outros trabalhos (FERRÃO *et al*., 2022b; LOURENÇO *et al*., 2022). Os valores do coeficiente de variação genotípico (CV_g), juntamente à relação CV_g/CV_e indicaram existir variabilidade genética suficiente para a obtenção de ganhos por seleção para aumentar o rendimento de grãos e a uniformidade de maturação na colheita (Tabela 3).

O coeficiente de determinação genotípico (H^2) pode ser entendido como a proporção da variação fenotípica que é de natureza genética e reflete o grau de dificuldade em obter ganhos com a seleção, de acordo com a existência de variabilidade genuinamente genética na população de interesse (CRUZ *et al*., 2021). Os valores de H^2 indicaram que a uniformidade de maturação foi mais afetada pelos efeitos do ambiente, seguida pelo rendimento de campo, apesar da alta acurácia experimental. Ressalta-se que o índice de rendimento é mensurado a partir de amostras compostas unicamente por frutos maduros, portanto, mais uniformes. As estimativas de H^2 evidenciaram uma contribuição genética predominante na expressão das características avaliadas (Tabela 3), cujos valores superiores a 0,80 para o rendimento, também observados em outros trabalhos (FERRÃO *et al*., 2022b; LOURENÇO *et al*. 2022), reforçam a importância da seleção de clones para a obtenção de ganhos nesse componente de produção.

A ordem dos clones definida pela proximidade a um genótipo ideal de máximo desempenho (P_i) mostrou que o clone BRS1216 apresentou os maiores rendimentos (27,96 e 24,24%) para os dois índices avaliados, seguido pelos clones RO-C125, BRS 3220, BRS3137 e Clone 09, cujo ordenamento variou entre os índices de rendimento considerados no estudo (Tabela 4).

Assim, o índice de rendimento no campo é uma medida importante, mais relacionada à pesquisa do que ao uso cotidiano pelos agricultores. No entanto, esse é um índice que influencia

o cálculo da produtividade e, quando calculado usando apenas frutos maduros, essa estimativa pode não representar adequadamente a realidade (ROCHA *et al*., 2021; LOURENÇO *et al*., 2022).

Tabela 4: Desempenho dos clones Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara – AM (E1), Manaus – AM (E2) e Porto Velho – RO (E3) em relação ao índice de rendimento e índice de rendimento em campo

Rendimento (%)					
Cultivares	**E1**	**E2**	**E3**	**Média geral**	**Pi**
BRS1216	30,02 Aa	27,89 Ba	25,98 Cb	27,96	1
BRS2299	24,88 Ac	23,60 Bc	23,48 Bc	23,98	9
BRS2314	23,07 Ad	21,97 Ad	22,50 Ad	22,51	15
BRS2336	24,00 Ad	23,10 Bd	22,63 Bd	23,24	13
BRS2357	24,33 Ad	22,70 Bd	24,72 Ac	23,91	10
BRS3137	27,37 Ab	24,30 Bc	24,07 Bc	25,24	4
BRS3193	25,54 Ac	24,04 Bc	23,42 Bc	24,33	7
BRS3210	24,94 Ac	23,62 Bc	22,85 Bd	23,80	11
BRS3213	23,64 Ad	22,22 Bd	22,57 Bd	22,81	14
BRS3220	26,10 Ac	24,07 Bc	25,55 Ab	25,24	5
Clone09	27,39 Ab	25,49 Bb	28,03 Aa	26,97	3
Clone12	23,42 Bd	22,97 Bd	25,63 Ab	24,00	8
Clone15	23,79 Ad	24,13 Ac	23,45 Ac	23,79	12
RO-C125	29,31 Aa	25,84 Cb	28,10 Ba	27,75	2
RO-C160	25,19 Ac	22,80 Bd	25,73 Ab	24,57	6
Rendimento em campo (%)					
Cultivares	**E1**	**E2**	**E3**	**Média geral**	**Pi**
BRS1216	26,60 Aa	21,65 Cb	24,48 Ba	24,24	1
BRS2299	22,25 Ac	21,55 Ab	22,48 Ab	22,09	9
BRS2314	21,20 Ad	20,20 Bc	21,75 Ac	21,05	15
BRS2336	22,23Ac	20,15 Bc	21,38 Ac	21,25	14
BRS2357	21,65 Bd	20,75 Bc	22,63 Ab	21,68	12
BRS3137	24,18 Ab	23,18 Ba	22,98 Bb	23,44	4
BRS3193	23,65 Ab	22,83 Aa	22,50 Ab	22,99	6
BRS3210	23,95 Ab	22,75 Ba	22,18 Bc	22,96	7
BRS3213	22,48 Ac	20,50Bc	21,80 Ac	21,59	13
BRS3220	24,93 Ab	23,25 Ba	24,13 Aa	24,10	2
Clone09	23,70Ab	21,13 Bb	24,68 Aa	23,17	5
Clone12	21,63Bd	20,28 Cc	23,58 Aa	21,83	10
Clone15	21,90 Ad	21,73 Ab	21,75 Ac	21,79	11
RO-C125	24,53 Ab	22,70 Ba	24,55 Aa	23,93	3
RO-C160	22,88 Ac	21,35 Bb	23,15 Ab	22,46	8

Nota: As médias foram agrupadas de acordo com o teste de Scott; Knott[&] a 5% de probabilidade
[&]Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal constituem grupos estatisticamente homogêneos. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical constituem grupos estatisticamente homogêneo
Fonte: Autor (2024

)

As condições edafoclimáticas, como na região amazônica, favorecem a maturação desigual dos frutos do café, pois pausas fragmentadas no estresse hídrico, devido às chuvas, promovem múltiplos eventos de floração (SILVA *et al*., 2022). Considerando que o ponto ideal de colheita começa com cerca de 80% de grãos maduros (SILVA *et al*., 2019), os clones com maior uniformidade na maturação foram as cultivares BRS3210 e BRS3220, que exibiram 82% de uniformidade, seguidas pela cultivar BRS3193 com 75,75% e BRS3137 com 73,17% (Tabela 5).

Tabela 5: Desempenho dos clones Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara – AM (E1), Manaus – AM (E2) e Porto Velho – RO (E3) em relação à uniformidade de maturação

	Uniformidade de maturação (%)				
Cultivares	**E1**	**E2**	**E3**	**Média geral**	**Pi**
BRS1216	68,25 Ab	30,25 Bd	78,50 Aa	59,00	7
BRS2299	55,50 Bc	55,50 Bc	77,00 Aa	62,67	6
BRS2314	54,25 Bc	40,25 Cd	79,00 Aa	57,83	8
BRS2336	65,00 Ac	27,50 Bd	66,00 Ab	52,83	12
BRS2357	49,75 Bc	47,25 Bc	63,25 Ab	53,42	14
BRS3137	61,75 Bc	79,50 Aa	78,25 Aa	73,17	4
BRS3193	71,25 Ab	76,75 Aa	79,25 Aa	75,75	3
BRS3210	83,75 Aa	81,50 Aa	83,00 Aa	82,75	1
BRS3213	75,00 Ab	47,00 Bc	78,75 Aa	66,92	5
BRS3220	83,75 Aa	83,75 Aa	78,75 Aa	82,08	2
Clone09	56,50 Ac	32,00 Bd	63,00 Ab	50,50	15
Clone12	58,00 Ac	31,75 Bd	68,5 Ab	52,75	10
Clone15	60,50 Ac	53,50 Ac	61,75 Ab	58,58	11
RO-C125	54,00 Ac	54,00 Ac	61,00 Ab	56,33	13
RO-C160	60,75 Ac	60,75 Ab	60,75 Ab	60,75	9

Nota: As médias foram agrupadas de acordo com o teste de Scott; Knott[&], a 5% de probabilidade.
[&]Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal constituem grupos estatisticamente homogêneos. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical constituem grupos estatisticamente homogêneo;
P_i: Ordenamento dos clones em relação a sua proximidade ao genótipo ideal de melhor desempenho em todos os ambientes avaliados.
Fonte: Autor (2024)

Na média geral, o índice de rendimento de campo foi inferior em 2,1% ao rendimento. A menor diferença entre esses dois índices ocorreu com o clone BRS3210, no ambiente favorável Porto Velho (0,68%) e a maior diferença aconteceu com o clone BRS1216, no ambiente desfavorável Manaus (6,24%).

O agrupamento de médias distribuiu os genótipos em quatro grupos para o índice de rendimento, três a quatro grupos no índice de rendimento de campo e dois a quatro grupos para a maturação dos frutos. Observou-se desempenhos diferentes de um genótipo para outro com a

mudança do ambiente, indicando a natureza complexa da interação GA para as três características (Tabela 4 e 5).

Devido à existência da interação GA, o desempenho dos genótipos deve ser avaliado separadamente em cada ambiente. A abordagem metodológica de análise de regressão para investigar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica, proposta por Eberhart; Russell (1966), baseia-se na interpretação das estimativas: a) do intercepto ($ß_{0i}$) como média do i-ésimo genótipo; b) do coeficiente de regressão ($ß_{1i}$) para determinar se os genótipos possuem adaptabilidade ampla ($ß_{1i} = 1$) ou específica a ambientes desfavoráveis ou favoráveis ($1 < ß_{1i} > 1$) e c) do componente de variância dos desvios da regressão (s^2_{di}), para identificar genótipo com alta estabilidade (previsibilidade) fenotípica ($s^2_{di} = 0$) ou baixa ($s^2_{di} > 0$). O coeficiente de determinação (R^2) também auxilia na escolha de genótipos com baixa estabilidade, cujo alto valor de R^2 representa um bom ajustamento do modelo de regressão para o genótipo ao explicar a variação da característica em função dos ambientes (CRUZ *et al*., 2012).

Apesar dos efeitos significativos da interação GA, observou-se pequenas mudanças de ordenamento de um ambiente para o outro. O ranqueamento dos clones pôde ser interpretado no índice de estabilidade de Lin e Binns (P_i), que ordenou os genótipos de acordo com seu desempenho nos ambientes (Tabelas 4 e 5). A cultivar BRS1216 apresentou o maior índice de rendimento médio, de 27,96%, o que equivale dizer que a cada 3,57 kg de frutos frescos colhidos, gerou-se 1,00 kg de grãos processados. Isso significa que quanto maior o valor percentual do índice de rendimento, menor é a massa de frutos necessária para se obter o café beneficiado. O índice de rendimento do germoplasma brasileiro de cafés canéfora tem variado entre 17,04%, representando uma relação café cereja e beneficiado de 5,87 – a 31,25%, cuja relação cereja:beneficiado é de 3,20 (PARTELLI *et al*., 2021; FERRÃO *et al*., 2022a; FERRÃO *et al*., 2022b).

Outras cultivares também se destacaram pela superioridade em relação ao rendimento (Tabelas 4). A cultivar Robustas Amazônicos BRS3220 é irmã germana da cultivar BRS1216, ambas descendentes do cruzamento biparental específico entre as variedades botânicas Conilon e Robusta, destacando-se pela qualidade da bebida, alta produtividade e resistência à ferrugem alaranjada (ESPINDULA *et al*., 2019; MORAES *et al*, 2020). O cultivar BRS3137, também com alto potencial produtivo, mostra-se resistente à ferrugem alaranjada e a nematoide, com tolerância ao estresse hídrico (ESPINDULA *et al*., 2019). O clone RO C125 se destaca como um dos genótipos mais produtivos da cultivar multiclonal Conilon BRS Ouro Preto (RAMALHO *et al*., 2014) e comumente é utilizada como testemunha em ensaios de competição (MORAIS *et al*., 2020).

O clone BRS3210, além de possuir maior uniformidade de maturação (Tabela 5) para diferentes ambientes, destaca-se pelo potencial produtivo, tolerância ao estresse hídrico e resistência a doenças, além de apresentar maior tamanho dos grãos (ESPINDULA 2019; MORAES *et al*., 2020; TEIXEIRA *et al*., 2020; ESPINDULA *et al*., 2022a). No entanto, o menor rendimento dessa cultivar está associado a um maior percentual de casca observado nos seus frutos em relação a outros cultivares Robustas Amazônicos (LOURENÇO *et al*., 2022).

Para o índice de rendimento, a cultivar BRS1216, com o melhor desempenho, e o Clone 09 apresentaram adaptabilidade ampla, porém com baixa previsibilidade de comportamento (Tabela 6). A cultivar BRS3220, que também apresentou bom rendimento, mostrou ser de adaptabilidade ampla e exibiu alta estabilidade fenotípica. Os genótipos BRS3137 e RO C125 exibiram adaptabilidade específica para o ambiente favorável (Itacoatiara), porém o clone RO C125 apresentou alta previsibilidade de comportamento, enquanto a cultivar BRS3137 se mostrou com baixa previsibilidade, embora não mereça ser julgada totalmente indesejável nesse quesito, em razão do alto valor de R^2 (78,44%) (Tabela 6).

Tabela 6: Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica do rendimento pelo método de Eberhart; Russell (1966), da uniformidade de maturação e do rendimento em campo das cultivares Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Itacoatiara - AM, Manaus - AM e Porto Velho – RO

Cultivares	Rendimento				Uniformidade de maturação				Rendimento em campo			
	Média	**ß$_{1i}$**	**s^{2}d$_i$**	**R^2(%)**	**Média**	**ß$_{1i}$**	**s^{2}d$_i$**	**R^2(%)**	**Média**	**ß$_{1i}$**	**s^{2}d$_i$**	**R^2(%)**
BRS1216	27,96	1,52^{ns}	4,97**	37,38	59,00	2,68**	0,11*	94,32	24,24	2,79**	0,91**	91,56
BRS2299	23,98	0,84^{ns}	0,12^{ns}	77,12	62,67	1,11^{ns}	0,12*	67,87	22,09	0,53^{ns}	-0,06^{ns}	86,05
BRS2314	22,51	0,67^{ns}	-0,15^{ns}	99,39	57,83	2,07**	0,01^{ns}	94,43	21,05	0,81^{ns}	0,16^{ns}	76,60
BRS2336	23,24	0,62^{ns}	0,31^{ns}	52,47	52,83	2,17**	0,01**	83,29	21,25	1,18^{ns}	0,03^{ns}	92,77
BRS2357	23,91	0,91^{ns}	1,06**	47,56	53,42	0,84^{ns}	0,13^{ns}	80,05	21,68	0,85^{ns}	0,59*	59,08
BRS3137	25,24	2,01**	1,32**	78,44	73,17	-0,15**	0,21**	2,02	23,44	0,37*	0,50*	24,24
BRS3193	24,33	1,02^{ns}	0,86*	57,76	75,75	0,10**	0,01^{ns}	5,01	22,99	0,27*	0,47*	14,69
BRS3210	23,80	0,91^{ns}	0,98**	49,54	82,75	0,09**	0,01^{ns}	66,65	22,96	0,36*	1,32**	11,63
BRS3213	22,81	0,90^{ns}	-0,11^{ns}	96,62	66,92	1,78*	0,01^{ns}	89,14	21,59	1,16^{ns}	-0,05^{ns}	96,23
BRS3220	25,24	1,21^{ns}	0,13^{ns}	87,17	82,08	-0,26**	0,01^{ns}	66,50	24,10	0,92^{ns}	0,04^{ns}	88,22
Clone09	26,97	1,05^{ns}	1,87**	41,75	50,50	1,72*	0,01^{ns}	94,25	23,17	1,97**	0,97**	83,64
Clone12	24,00	0,10**	3,88**	0,35	52,75	2,03**	0,01^{ns}	97,45	21,83	1,39^{ns}	2,57**	50,98
Clone15	23,79	-0,17**	0,04^{ns}	16,40	58,58	0,46^{ns}	0,01^{ns}	92,36	21,79	0,08**	-0,12^{ns}	51,85
RO-C125	27,75	2,08**	0,31^{ns}	92,59	56,33	0,36*	0,01^{ns}	67,15	23,93	1,23^{ns}	-0,07^{ns}	97,49
RO-C160	24,57	1,34^{ns}	2,34**	48,76	60,75	0,01**	0,01^{ns}	0,00	22,46	1,09^{ns}	0,03^{ns}	91,84

Nota: **(P <0,01), *(P <0,05) e ^{ns}(P >0,05), pelo teste t;
ß$_{1i}$: coeficiente de regressão que mede a resposta do i-ésimo genótipo à melhoria do ambiente,
s^{2}d$_i$: quadrado médio do desvio da regressão, para avaliação da estabilidade;
R^2: coeficiente de determinação.
Fonte: Autor (2024)

Quanto ao rendimento de campo, os clones BRS1216 e Clone 09, que apresentaram médias superiores para esse índice, exibiram adaptabilidade específica para os ambientes favoráveis Itacoatiara e Porto Velho, embora tenham apresentado baixa estabilidade, contudo merecem atenção como potenciais genótipos, em razão dos elevados valores de R^2 obtidos. Os clones superiores BRS3220 e RO C125 se mostraram recomendáveis por exibirem superioridade relativa, adaptabilidade ampla e boa previsibilidade de comportamento em relação ao rendimento de campo (Tabela 6).

Quanto à uniformidade de maturação, as cultivares BRS3220 e BRS3137 foram recomendadas para o ambiente desfavorável Manaus e BRS3210 e BRS3193 exibiram adaptabilidade específica para ambientes favoráveis (Itacoatiara e Porto Velho). Contudo, apenas a cultivar BRS3137 exibiu baixa previsibilidade sobre a uniformidade dos frutos durante a colheita (Tabela 6).

A utilização de um índice de rendimento nos programas de melhoramento para auxiliar a estimação da produtividade em parcelas experimentais é uma característica desejável, que

visa reduzir custo e tempo nas avaliações pós-colheita (FIALHO *et al*., 2022). Contudo, o uso de um índice de rendimento que considera o estágio de maturação dos frutos no campo surge da necessidade enfrentada pelas regiões próximas ao equador, cujas áreas produtoras de *C. canephora*, frequentemente, lidam com a irregularidade na maturação dos cultivos (BORÉM *et al*., 2023). Nessas regiões, o café é exposto a períodos maiores de luz, cujo desenvolvimento das flores podem ocorrer quase todo o ano (de ALVIM, 1973; RAMÍREZ *et al*., 2013) e o número de colheitas manuais e os custos de produção aumentam consideravelmente (NUINTIN; CALEGARIO, 2014). A colheita corresponde, em média, a 30% do custo de produção e a 40% da mão de obra empregada (MATIELLO, 1991), portanto, quanto maior é a eficiência de colheita, menores são os custos operacionais (OLIVEIRA *et al*., 2007).

A derriça completa é a prática mais comum e barata de colheita manual e resulta em lotes heterogêneos compostos por frutos verdes, maduros, passas e secos (BORÉM *et al*., 2023). Em algumas localidades da Amazônia, com restrição à disponibilidade hídrica, o manejo da irrigação suplementar (SOLIMÕES *et al*., 2023) tem servido como estratégia para melhorar a uniformidade de maturação do cafeeiro (de SOUZA *et al*., 2014; CORREA *et al*., 2017; BONGASE, 2017; dos SANTOS FERNANDES *et al*., 2020).

Embora a caracterização do rendimento e da uniformidade de maturação seja o propósito de alguns estudos em cafeeiros (PARTELLI *et al*., 2021; FIALHO *et al*., 2022; LOURENÇO *et al*., 2022; FERRÃO *et al*., 2022a), poucos avaliaram a expressão dessas características em diferentes ambientes (FERRÃO *et al*., 2022b). A análise da adaptabilidade e estabilidade dos clones permitiu compreender o comportamento e desempenho dos clones nas localidades especificadas, de modo a auxiliar a seleção e a recomendação de genótipos melhor adaptados para rendimento e maturação dos frutos (FERRÃO *et al*., 2022b).

Um mesmo clone apresentou diferentes condições de adaptabilidade para os dois tipos de rendimento (usual e de campo), a exemplo das cultivares BRS1216, BRS3137 e RO C125 (Tabela 6). Ao contrário, a cultivar BRS 3220 se destacou ao exibir adaptabilidade ampla em relação aos dois tipos de rendimento e boa previsibilidade de comportamento para rendimento e uniformidade de maturação. Contudo, nos ambientes no estado de Rondônia, o clone BRS3220 exibiu adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (LOURENÇO *et al*., 2022).

A avaliação do progresso genético ou ganho por seleção (GS) permite predizer a alteração na média da população original promovida pela escolha do(s) melhor(es) genótipo(s) conforme o esquema seletivo adotado. A seleção da cultivar BRS1216 para o índice de rendimento e o rendimento de campo resultou em um acréscimo médio de 11,82% e 5,82%,

respectivamente, para todos os ambientes. Os maiores avanços genéticos ocorreram no ensaio de Itacoatiara, com um ganho de 16,84% na seleção para o índice de rendimento e um ganho de 13,71% para o índice de rendimento no campo (Tabela 7).

Tabela 7: Estimativas de ganho com a seleção da cultivar de *Coffea canephora* com maior rendimento, uniformidade de maturação e rendimento em campo, em três ambientes da Amazônia Ocidental, Itacoatiara - AM (E1), Manaus - AM (E2) e Porto Velho - RO (E3), no ano agrícola 2021/20222

Seleção para maior rendimento (BRS1216)			
Ambientes	GS	GS%	Nova média
E1	4,30	16,84	30,02
E2	3,74	15,66	27,89
E3	1,36	5,53	25,98
Todos os ambientes	2,92	11,82	27,96
Seleção para maior uniformidade de maturação (BRS3210)			
Ambientes	GS	GS%	Nova média
E1	17,25	27,00	83,75
E2	26,27	49,18	81,50
E3	10,21	14,23	83,00
Todos os ambientes	13,35	21,19	82,75
Seleção para maior rendimento em campo (BRS1216)			
Ambientes	GS	GS%	Nova média
E1	3,18	13,71	26,60
E2	0,05	0,22	21,65
E3	1,42	6,17	24,48
Todos os ambientes	1,33	5,89	24,24

Nota: GS: ganho por seleção na unidade de medida da característica; GS%: ganho por seleção percentual.
Fonte: Autor (2024)

Quanto à uniformidade de maturação, a seleção baseada na cultivar BRS3210 culminou em ganho médio por seleção de 21,19% para todos os ambientes, destacando o progresso genético de 49,18% para o ambiente desfavorável (Manaus) (Tabela 7).

A presença de múltiplas florações nessa espécie de café leva à existência simultânea de frutos em diferentes estágios de maturação em uma única planta (MIRANDA *et al*., 2020). Essa diversidade na maturação complica a determinação do momento ideal para a colheita, afetando a qualidade da bebida resultante (CAMPUZANO-DUQUE; BLAIR, 2022). A maturação dos grãos de *Coffea canephora* é um processo complexo que envolve mudanças morfológicas e bioquímicas. A maturação adequada dos grãos é essencial para a produção de café de alta qualidade, pois a colheita prematura ou tardia pode comprometer o sabor e a qualidade do produto (CARVALHO, 1997).

Nos clones de café canéfora da região Amazônica, várias características exibem variabilidade genética expressiva, criando oportunidades para selecionar materiais genéticos

superiores (SOUZA *et al*., 2017). Tanto as características de rendimento quanto a uniformidade de maturação revelaram boas possibilidades de progresso genético, mesmo considerando os materiais genéticos em estágios avançados de melhoramento (Tabela 7). A produtividade de grãos em *C. canephora* tem revelado bons ganhos com a seleção, correlacionando-se positivamente com a performance no campo. Isso tem permitido reduzir o tamanho da população de plantas progenitoras originais, economizando tempo e recursos durante as fases do programa de melhoramento (ROCHA *et al*., 2021).

O ciclo de maturação do cafeeiro se refere ao intervalo fenológico entre o florescimento principal do clone e ponto de colheita dos frutos, buscando colher o máximo de café maduro. A precisão experimental (CV_e%) dessas avaliações nas três localidades variou de 0,17% (RO C125) a 3,41% (BRS3137) – dados não apresentados. A maior diferença do ciclo de maturação entre o clone mais precoce (BRS3193) e o clone mais tardio (BRS2336) foi de 46 dias em Itacoatiara (Tabela 8).

Tabela 8: Estimativas do número de dias para o amadurecimento a partir da data de florescimento até a colheita das cultivares Robustas Amazônicos avaliadas em diferentes ambientes nos Estados do Amazonas e Rondônia

	Número de dias para o amadurecimento					
Clones	**Itacoatiara (E1)**	**Manaus (E2)**	**Porto Velho (E3)**	**Média[#]**	**Ciclo**	**CV%**
BRS1216	291	297	305	297,7b	intermediário	1,93
BRS2299	272	284	289	281,7c	precoce	2,53
BRS2314	297	299	309	301,7b	intermediário	1,74
BRS2336	311	309	325	315,0a	tardio	2,26
BRS2357	294	302	313	303,0a	tardio	2,57
BRS3137	275	288	299	287,3c	precoce	3,41
BRS3193	265	277	281	274,3c	precoce	2,48
BRS3210	279	297	299	291,7b	intermediário	3,08
BRS3213	297	297	301	298,3b	intermediário	0,63
BRS3220	272	271	280	274,3c	precoce	1,47
Clone09	297	297	293	295,7b	intermediário	0,64
Clone12	309	299	324	310,7a	tardio	3,31
Clone15	299	292	293	294,7b	intermediário	1,05
RO-C125	277	287	287	283,7c	precoce	1,66
RO-C160	282	281	282	281,7c	precoce	0,17
Média	**288**	**292**	**299**	**292,6**		

Nota: [#]Médias seguidas pela mesma letra compõe um mesmo grupo, de acordo com o teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade;
CV%: coeficiente de variação percentual.
Fonte: Autor (2024)

A cultivar BRS2336 foi o genótipo mais tardio nos três ambientes de avaliação, apresentando um ciclo médio de maturação de 315 dias, enquanto a cultivar BRS3193 foi a

mais precoce, em Manaus e Porto Velho, com ciclo médio de 274 dias. De acordo com o agrupamento, os materiais genéticos investigados foram divididos em três grupos de maturação: o grupo precoce apresentou um período de maturação entre 274 e 287 dias – BRS2299, BRS3137, BRS3193, BRS3220, RO-C125 e RO-C160; o grupo intermediário variou o ciclo entre 291 e 301 dias – BRS2314, BRS3210, BRS3213, Clone09 e Clone15 e o grupo tardio, variou de 303 a 315 dias – BRS2336, BRS2357 e Clone12. Deve-se salientar que, embora a cultivar BRS2314 tenha sido classificada no grupo intermediário, o seu ciclo médio de maturação foi superior a 300 dias, cujo período da florada até a colheita em Porto Velho foi de 309 dias.

O tempo de maturação dos frutos é uma característica importante na cultura do cafeeiro, pois se relacionará à qualidade do produto grão e ao rendimento da colheita. Na Amazônia Ocidental, os genótipos de maturação precoce, geralmente, são colhidos em maio, totalizando 238 dias, o que equivale a 34 semanas. Os genótipos de ciclo intermediária costumam ser colhidos em junho, atingindo 287 dias (41 semanas) e, por fim, o clone de maturação tardia é colhido em julho, compreendendo um período de cerca de 315 dias (45 semanas) (MARCOLAN *et al*., 2009; SOUZA *et al*., 2015).

É interessante destacar que no presente estudo aqueles clones que não foram classificados nos grupos de maturação esperado, foram agrupados na classe mais próxima e, para alguns ambientes estiveram classificados conforme o esperado, a exemplo dos clones BRS2299, BRS3220 e BRS2314 (Tabela 8). Em outras palavras, um clone previamente precoce foi classificado como intermediário e não como tardio, o que devemos considerar como um pequeno desvio em dias do ciclo de maturação esperado. Os clones RO C125 e 160, embora não tenham a informação do ciclo de maturação individualizada, estão categorizados como de ciclo intermediário, pela classificação da cultivar multiclonal Conilon BRS Ouro Preto que compõem (RAMALHO *et al*., 2014). No presente estudo, eles foram compreendidos como de ciclo precoce.

É essencial enfatizar que a extensão de cada estágio e, por conseguinte, as durações requeridas para a plena maturação dos frutos, estão sujeitas não somente à influência do material genético, mas também à interdependência de elementos como a altitude, temperatura, disponibilidade de água e acumulação térmica em graus-dias, ou seja, uma influência multifatorial (LAVIOLA *et al*., 2007; PETEK; SENA; FONSECA, 2009).

4. CONCLUSÃO

A interação GA atua sobre as características de rendimento e uniformidade de maturação e a superioridade dos coeficientes genotípicos sobre aqueles de natureza ambiental se remete a uma contribuição significativa do melhoramento sobre elas, mesmo em ambientes desafiadores.

Há clones que apresentam adaptabilidade ampla e específica com boa previsibilidade de comportamento para o índice de rendimento ou de campo e para a uniformidade de maturação.

É possível obter ganhos de seleção para os índices de rendimento e uniformidade de maturação. A cultivar BRS1216 se destaca pelo alto rendimento e as cultivares BRS3210 e BRS3220 apresentaram uniformidade de maturação superior a 80%.

No geral, os clones apresentaram ciclos de maturação dentro do esperado.

5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, Gebrüder Borntraeger, Stuttgart, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2013.

de ALVIM, P. de T. Factors affecting flowering of coffee. **Genes, Enzymes, and Populations**. Nova Iorque: Plenum Press,1973. p. 193-202

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee: a review. **Journal of Coffee Research**, v. 8, p. 29-73, 1978.

BONGASE, E. D. Impacts of climate change on global coffee production industry: Review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 19, p. 1607-1611, maio 2017.

BORÉM, F. M. (ORG.). **Tecnologia Pós-Colheita e Qualidade de Cafés Especiais**. Lavras, MG: UFLA, 2023. 407 p.

CAMPUZANO-DUQUE, L. F.; BLAIR, M. W. Strategies for Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Improvement as a New Crop in Colombia. **Agriculture**, Colombia, v. 12, p. 1576, set. 2022.

CARVALHO, V. D. de. **Cafeicultura empresarial**: Produtividade e Qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 73 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília: Conab, 2024. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 05 maio 2024.

CORREA, J. M. *et al*. Controlled water stress in uniformity of maturity and productivity of Conilon coffee. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 3, p. 192-199, jan. 2017.

CRUZ, C. D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, PR, n. 35, p. 271–276, jul.-set. 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L. L. Biometry in plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 21, e380621S5, jul. 2021.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. v. 1. p. 514

DAMATTA, F. M. *et al*. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. **Journal of agricultural and food chemistry**, Washington, DC, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, mar. 2018.

de SOUZA, J. M. *et al*. Interrupção da irrigação e maturação dos frutos de café Conilon. **Científica**, v. 42, n. 2, p. 170-177, 2014.

dos SANTOS FERNANDES, M. I. *et al*. Parâmetros produtivos e de qualidade de cultivares de cafeeiros na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 18, ago. 2020.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, p. 36-40, 1966.

ESPINDULA, M. C. *et al*. **Robustas Amazônicos**: os cafeeiros cultivados em Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2022.

ESPINDULA, M. C. *et al*. **Novas cultivares de cafeeiros *Coffea canephora* para a Amazônia Ocidental Brasileira**: principais características. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2019.

FERRÃO, M. A. G. *et al*. **Variabilidade de *Coffea canephora* do banco ativo de germoplasma do Incaper**: Caracterização dos acessos com base em descritores mínimos. Vitória, ES: Incaper, 2022a.

FERRÃO, R. G. *et al*. *Coffea canephora* breeding. *In* FERRÃO, R. G. *et al*. (eds.). **Conilon coffee** Vitória, ES: Incaper, 2019. p. 145-202

FERRÃO, R. G. *et al*. **Cultivares de café Conilon e Robusta**. Belo Horizonte, MG: Epamig, v. 41, n. 309, p. 17-25, nov. 2020.

FERRÃO, R. G. *et al*. **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007. 702 p.

FERRÃO, R. G. *et al*. Comportamento e a variabilidade genética entre clones de café conilon em ambientes representativos e não irrigados do Espírito Santo. **Multi-Science Research**, Vitória, ES, v. 5, n. 2, p. 06-21, mar. 2022.

FERRÃO, R. G. *et al*. (Eds.) **Conilon Coffee**; Incaper: Vitória, ES, USA, 2019.

FIALHO, G. S. *et al*. Conilon coffee outturn index: a precise alternative for estimating grain yield. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, 2022. e54249, set. 2022.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. M. The analysis of adaptation in the plant breeding programs. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. 742- 754, 1963.

GASPARI-PEZZOPANE, C. D. *et al*. Influências ambientais no rendimento intrínseco do café. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 64, p. 39-50, 2005.

HUDED, A. K. C. *et al*. Genetic diversity and population structure analysis of coffee (*Coffea canephora*) germplasm collections in Indian Gene Bank employing SRAP and SCoT markers. **International Journal of Fruit Science**, Londres, Inglaterra, v. 20, n. 2, p. S757-S784, maio, 2020.

LAVIOLA, B. G. *et al*. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1451-1462, set. 2007.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. **Canadian journal of plant science**, v. 68, n. 1, p. 193-198, jan. 1988.

LOURENÇO, J. L. R. *et al*. Genotype × Environment Interaction in the Coffee Outturn Index of Amazonian Robusta Cultivars. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2874, nov. 2022.

MARCOLAN, A. L. *et al*. **Cultivo dos cafeeiros conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia, 2009. 67 p.

MARCOLAN, A. L.; MATOSO, S. C. G.; PEREIRA, M. G., Eds. **Manejos dos solos e a sustentabilidade agrícola na Amazônia Ocidental**. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Amazônia Ocidental da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 137-160

MATIELLO J. B. *et al*. **Cultura de Café no Brasil**: novo manual de recomendações. Cidade: MAPA/PROCAFÉ 2005. 434 p

MATIELLO, J.B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p. (Coleção do agricultor. Grãos)

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R. Rendimento intrínseco: critério adicional para selecionar de cafeeiros mais rentáveis. **O Agronômico**, v. 55*,* n. 2, 2003.

MIRANDA, F. R.; DRUMOND, L. C. D.; RONCHI, C. P. Synchronizing coffee blossoming and fruit ripening in irrigated crops of the Brazilian Cerrado Mineiro Region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, p. 605-613, abr. 2020.

MÔNACO, L. C. Efeito das lojas vazias, sobre o rendimento do café Mundo Novo. **Bragantia**, v. 19, n. 1, p. 1-12, abr. 1960.

MORAES M. S. *et al*. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research,** v. 17, p. 1-11, jan. 2018.

MORAES, M. S. *et al*. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner na Amazônia Ocidental. **Ciência Rural**, v. 50, p. 10, nov. 2020.

NUINTIN, A. A.; CALEGARIO, C. L. L. Análise do efeito da utilização de nova tecnologia e das especificidades do agronegócio no custo da mão de obra da fase de colheita do café. **Custos e @gronegócio on line**, v. 10, n. 1, 2014.

OLIVEIRA, E. D. *et al*. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 827-831, jun. 2007.

OLIVEIRA, L. N. L. *et al*. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties conilon and robusta for the production of intervarietal hybrids. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 4, abr. 2018.

PARTELLI, F. L. *et al*. Tributun: a coffee cultivar developed in partnership with farmers. Crop **Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. 4, mar. 2020.

PARTELLI, F. L. *et al*. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 1050-1057, jan. 2021.

PEREIRA, A. A. *et al*. Cultivares, origem e suas características. *In*: Reis, P. R.; Cunha, R. L. (Org.). **Café arábica: do plantio a colheita**, v. 1, p. 163-221, 2010.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. D. B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 68, p. 169-181, jun. 2009.

RAMALHO, A. R. *et al*. Progresso genético da produtividade de café beneficiado com a seleção de clones de cafeeiro 'Conilon'. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 516-523, jul.-set. 2016.

RAMALHO, A. R. *et al*. **Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto-Características agronômicas e agroindustriais**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2014.

RAMÍREZ, V. H. *et al*. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. **Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)**, Chinchiná, Caldas, Colombia, n. 407, jan. 2013. Disponível em: http://biblioteca.cenicafe.org/ handle/10778/333. Acesso em: 5 maio 2024.

RENA, A. B.; BARROS, R. S. Aspectos críticos no estudo da floração do café. *In*: ZAMBOLIM, L. (ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**, 2004. p. 149-172

ROCHA, R. B. *et al*. *Coffea canephora* breeding: estimated and achieved gains from selection in the Western Amazon, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, p. 11, mar. 2021.

SILVA, G. N. *et al*. Factor analysis for plant and production variables in *Coffea canephora* in the Western Amazon. **Coffee Science**, Lavras, MG, v. 17, p. 8, jun. 2022.

SILVA, F. M. *et al*. Conilon coffee harvesting and post-harvesting. *In*: FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G *et al*. (Eds.). **Conilon Coffee**. Traduzido por Marcelle Gualda Pasolini. 3. ed. Vitória, ES: Incaper, 2019. 974 p.

SILVA, J. S.; MORELI, A. P.; VERDIN FILHO, A. C. Tecnologias pós-colheita para conilon de qualidade. *In* FONSECA, A. F. A.; SAKIYMA, N.; BORÉM, A. (Eds.), **Café conilon**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 204-230

SOLIMÕES, F. C. R. *et al*. Seasonal vegetative growth of *Coffea canephora* associated with two water management in the Southwestern Amazon. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 4, p. 1265-1286, jul./ago. 2023.

SOUZA, C. A. D. *et al*. Componentes genéticos do desenvolvimento e maturação de frutos de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science**, Londrina, PR, v. 12, n. 3, p. 355-364, p. 1265-1285, 2017.

SOUZA, F. F. *et al*. Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de *Coffea canephora*. *In*: MARCOLAN, A. L., ESPINDULA, M. C.(Org.) **Café na Amazônia**. Brasília, DF : Embrapa, 2015. p. 85-95

TEIXEIRA, A. L. *et al*. Amazonian Robustas-new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**,v. 20, p. 5, set. 2020.

VACARELLI, V. N.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C. Avaliação de frutos chochos e de sementes do tipo moca no rendimento de híbridos arabustas tetraploides (*Coffea arabica* x *Coffea canephora*). **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 19, n. 3, p. 155-165, set.-dez. 2003.

VÁZQUEZ, N. *et al*. BDBM 1.0: a desktop application for efficient retrieval and processing of high-quality sequence data and application to the identification of the putative *Coffeas*-locus. **Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences**, v. 11, p. 57-67, fev. 2019.

VENANCIO, L. P. *et al*. Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 19719, nov. 2020.

CAPÍTULO II - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUTIVIDADE EM CLONES DE *COFFEA CANEPHORA* PARA O ESTADO DO AMAZONAS

RESUMO

O *Coffea canephora* Pierre ex Froehner tem grande importância no mercado brasileiro e está adaptado a regiões de baixas altitudes e altas temperaturas, a exemplo do estado do Amazonas. A recente retomada da cafeicultura clonal amazonense tem mobilizado a busca por genótipos adaptados às condições ambientais e às demandas de consumo. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo quantificar a interação genótipos x ambientes (GA) e avaliar a performance genotípica de clones de *C. canephora*, desejando recomendar genótipos com alto desempenho produtivo, com adaptabilidade ampla ou específica e de comportamento estável, para Amazonas. Foram avaliadas as produtividades de café beneficiado (em sc ha^{-1}) de 15 genótipos, em ensaios de competição, conduzidos em três ambientes – Humaitá, Itacoatiara e Manaus – ao longo de três safras consecutivas. As análises de adaptabilidade e estabilidade se basearam nos critérios do padrão campeão e análise gráfica por centroides. Para refinar e complementar as avalições sobre os melhores clones – recomendados –, um estudo multi-informacional, com avaliação simultânea de outros métodos, foi aplicado. Os resultados mostraram diferenças significativas na produtividade dos genótipos e a presença de interação GA, predominantemente do tipo complexa. Em Humaitá, a média geral de produtividade foi de 53,18 sacas por hectare (sc ha^{-1}), em Itacoatiara, 78,58 sc ha^{-1}, e em Manaus, 69,04 sc ha^{-1}. Manaus e Itacoatiara foram considerados ambientes favoráveis. Os coeficientes de variação experimental (CV_e) indicaram boa condução dos ensaios. A relação CV_g/CV_e em Manaus foi de 2,10, sugerindo maior potencial de ganhos com a seleção. O coeficiente de determinação genotípico (H^2) variou de 65,83 a 94,61%, destacando a maior contribuição genética sobre a produtividade nos ambientes. A cultivar BRS 1216 obteve a maior média geral de produtividade (86,28 sc ha^{-1}) e alta adaptabilidade e estabilidade, considerando os três ambientes. O Clone 15 também mostrou excelente desempenho, com uma média geral de 83,39 sc ha^{-1}. Os clones BRS 1216, Clone 15, BRS 2336, BRS 2357, BRS 2299 e Clone 09 se destacaram pela sua superioridade produtiva, comportamento previsível e capacidade de resposta às variações ambientais sendo, portanto, recomendados como genótipos produtivos e potenciais para compor as lavouras no estado do Amazonas.

Palavras-chave: Robustas Amazônicos. Interação GA. Desempenho produtivo. Competição clonal.

CHAPTER II - PRODUCTIVITY ADAPTABILITY AND STABILITY IN *COFFEA CANEPHORA* CLONES FOR THE STATE OF AMAZONAS

ABSTRACT

Coffea canephora Pierre ex Froehner is of great importance to the Brazilian market and is adapted to low-altitude regions with high temperatures, as in the state of Amazonas. The recent clonal coffee growing resumption in the Amazon has mobilized the search for genotypes adapted to environmental conditions and consumer demands. The present study aimed to quantify the genotype x environment (GE) interaction and evaluate the genotypic performance of *C. canephora* clones, to recommend genotypes with high productive performance, broad or specific adaptability, and stable behavior for Amazonas. The productivity of processed coffee (in sc ha^{-1}) of 15 genotypes was evaluated in competition trials conducted in three environments - Humaitá, Itacoatiara, and Manaus - over three consecutive harvests. The adaptability and stability analyses were based on the champion standard criteria and centroid graphical analysis. In order to refine and complement the evaluations of the best – recommended – clones, a multi-informational study with simultaneous evaluation of other methods was applied. The results showed significant differences in the productivity of the genotypes and the presence of GxE interaction, predominantly of the complex type. In Humaitá, the overall average productivity was 53.18 sacks per hectare (sc ha^{-1}), in Itacoatiara, 78.58 sc ha^{-1}, and Manaus, 69.04 sc ha^{-1}. Manaus and Itacoatiara were considered favorable environments. The experimental variation coefficients (CV_e) indicated good experimental conduct. The CV_g/CV_e ratio in Manaus was 2.10, suggesting greater potential for selection gains. The genotypic determination coefficient (H^2) ranged from 65.83 to 94.61%, highlighting the greater genetic contribution to productivity in the environments. The BRS 1216 cultivar had the highest overall average productivity (86.28 sc ha-¹) and high adaptability and stability considering the three environments. Clone 15 also showed an excellent performance, with an overall average of 83.39 sc ha^{-1}. The BRS 1216, Clone 15, BRS 2336, BRS 2357, BRS 2299, and Clone 09 clones stood out for their productive superiority, predictable behavior, and responsiveness to environmental variations, recommended as productive and potential genotypes to plant in the state of Amazonas.

Keywords: Amazonian Robustas. GxE Interaction. Productive performance. Clonal competition.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* spp. engloba diversas espécies, porém apenas *Coffea arabica* Lineu e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner desempenham um papel de destaque no mercado global de café, especialmente no Brasil. *C. canephora*, conhecida como café conilon, robusta ou canéfora, que possui grande importância econômica e social, sendo uma fonte significativa de renda para pequenos agricultores nos países em desenvolvimento (DAMATTA *et al*., 2018; DAVIS *et al*., 2020). Originária das florestas tropicais úmidas da África, essa espécie se adapta a regiões de baixas altitudes e elevadas temperaturas (DAVIS *et al*., 2006; 2011), características climáticas representativas de muitas regiões brasileiras.

O Brasil é conhecido como o maior produtor e exportador mundial de café, desempenhando um papel de proeminência na indústria cafeeira global (USDA, 2024). O estado do Espírito Santo é o principal produtor de *C. canephora*, seguido por Rondônia, líder na região Norte, com produção de 3.054,3 mil sacas beneficiadas/ano. No Amazonas, os últimos 10 anos marcaram a retomada da cafeicultura, representada pelo cultivo clonal, cuja produção anual aumentou significativamente, atingindo as atuais 12,9 mil sacas de café beneficiadas (CONAB, 2024).

Em 2013, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em Rondônia, lançou a primeira cultivar multiclonal BRS Ouro Preto, sendo esse o único material genético melhorado e recomendado para uso no Amazonas, desde o ano de 2019 (ESPINDULA *et al*., 2022a). Com o avanço da cafeicultura amazonense, tem sido crescente a demanda por genótipos que estejam adaptados às condições locais, ao modelo produtivo regional e aos requisitos do mercado consumidor. Portanto, torna-se essencial validar e recomendar genótipos com alta capacidade produtiva e com qualidade de grãos para o desenvolvimento da cafeicultura na região.

Uma estratégia promissora adotada para o desenvolvimento de novas cultivares tem sido a formação de híbridos intervarietais, entre as variedades botânica Conilon e Robusta. Esses cruzamentos oferecem benefícios como resistência a doenças, adaptação a diferentes condições climáticas e melhoria da qualidade do café produzido na região amazônica (ESPINDULA *et al*., 2019).

Em Rondônia, por mais de 30 anos, houve um acúmulo significativo de experiências na cafeicultura amazônica, envolvendo produtores, instituições de pesquisa e extensão, órgãos governamentais e iniciativa privada (ROCHA *et al*., 2015; ESPINDULA *et al*., 2017). A propagação assexuada (clonal) tem representado um avanço significativo na cafeicultura da

Amazônia, impulsionando a adaptação das plantas às condições locais e promovendo maior uniformidade e eficiência no cultivo.

Em 2019, ensaios de competição entre clones foram introduzidos no Estado do Amazonas, mais especificamente nos municípios de Humaitá, Itacoatiara, Manaus e Silves, com o propósito de avaliar a produtividade e a performance em campo de clones BRS "Robustas Amazônicos", que se encontram recomendados para os estados de Rondônia e Acre (ESPINDULA *et al*., 2019). Mais recentemente, outros municípios amazonenses também incluíram campos experimentais de competição, como Urucará, Tefé e Rio Preto da Eva.

Para a recomendação de cultivares em uma determinada região, é fundamental quantificar a interação genótipos por ambientes (GA), considerando ser esse um complicador para a escolha dos melhores genótipos (PARTELLI *et al*., 2022). O avanço no desenvolvimento de novas cultivares clonais de *C. canephora* está intrinsecamente ligado à caracterização do comportamento diferenciado desses clones em diversas localidades de cultivo. Esse estudo busca compreender como as cultivares respondem às variações ambientais específicas, relacionadas ao clima, solo e manejo, visando otimizar o seu uso às condições peculiares da região amazônica.

A análise da interação GA deve ser o primeiro passo para avaliar o real impacto e garantir a alta confiabilidade da seleção de genótipos, além de maximizar a produtividade e outros atributos agronômicos de um determinado local ou grupo de ambientes (MARTINS *et al*., 2019). Embora já haja estudos de interação GA no Brasil, especialmente na região ocidental da Amazônia para *C. canephora* (FERRÃO *et al*., 2008; ROCHA *et al*., 2015; MORRI *et al*., 2020; MORAES *et al*., 2020; PARTELLI *et al*., 2022), ainda é necessário investigar mais detalhadamente os genótipos em cada ambiente. Para isso, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade (CRUZ *et al*., 2012), fundamentais para entender como diferentes cultivares se comportam em variadas condições ambientais.

A adaptabilidade se refere à capacidade de um genótipo responder vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto a estabilidade se relaciona à capacidade dos genótipos apresentarem comportamento muito previsível, em função das variações ambientais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; SOUZA *et al*., 2019; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHE-NETO, 2021). Em geral, o genótipo ideal deve ter alta produtividade, ser pouco sensível a condições adversas e responder bem à melhoria das condições ambientais, apresentando boa estabilidade nos diferentes ambientes de cultivo (POLIZEL *et al*., 2013).

Na metodologia de Lin; Binns (1988), também conhecida por padrão campeão, a estabilidade e adaptabilidade das cultivares são estimadas pelo quadrado médio da distância

entre a média da cultivar e a resposta média máxima do ambiente. Posteriormente, Carneiro (1998) aprimorou essa abordagem, decompondo o estimador P_i em partes para ambientes favoráveis e desfavoráveis, facilitando a interpretação e recomendação de cultivares.

A metodologia dos centroides modificados (NASCIMENTO *et al*., 2009) é uma extensão do método dos centroides proposto por Rocha *et al*. (2005). Os genótipos são classificados com base na distância entre seus pontos e ideótipos, resultando em sete categorias de adaptabilidade. Esse método é reconhecido por sua facilidade de interpretação e eficácia na classificação das cultivares, proporcionando recomendações seguras (SANTOS *et al*., 2011; OLIVEIRA *et al*., 2015).

Apesar da ampla variedade de métodos disponíveis para os estudos de adaptabilidade e estabilidade, nem sempre é adequado compará-los, pois eles podem buscar respostas diferentes (PONTES, 2020) e cada um pode diferir em termos de princípios biológicos, estatísticos, procedimentos biométricos e interpretação de resultados (NASCIMENTO *et al*., 2010; EUWIJK *et al*., 2016). Baseando-se nessa prerrogativa, o uso combinado de várias metodologias, uma proposta de análise multi-informacional – simultânea e complementar – pode auxiliar ao refinar informações que não seriam possíveis com cada método isoladamente e, desse modo, encontrar respostas mais assertivas e detalhadas dos genótipos (PONTES, 2020), por uma ficha de recomendação.

Assim, o objetivo deste estudo foi investigar a interação GA, validar e recomendar cultivares ou clones com desempenho produtivo promissor, para o estado do Amazonas, a partir da análise de adaptabilidade e estabilidade, sob diferentes métodos e filosofias analíticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material genético

O estudo analisou 15 genótipos de cafeeiro canéfora, popularmente conhecidos como “Robustas Amazônicos”, incluindo cultivares e clones selecionados especificamente para o cultivo na Amazônia Ocidental. Dez clones, identificados com o prefixo BRS – 1216, 2299, 2314, 2336, 2357, 3137, 3193, 3210, 3213, 3220, são cultivares agrupadas em três categorias de compatibilidade gametofítica, determinadas pelo primeiro dígito da identificação, e apresentam diferentes ciclos de maturação, indicados pelo segundo dígito (1 para precoce, 2 para intermediário e 3 para tardio) (MORAES *et al*., 2018; ESPINDULA *et al*., 2019; TEIXEIRA *et al*., 2020). Outros dois clones utilizados, RO-C125 e RO-C160, que fazem parte da cultivar multiclonal Conilon BRS Ouro Preto (RAMALHO *et al*., 2014), possuem ciclo de

maturação intermediário e foram considerados testemunhas nesse experimento, uma vez que eles já possuem recomendação para o Estado do Amazonas. Outros três genótipos - Clone 09, Clone 12 e Clone 15 não foram lançados, porém fazem parte do programa de melhoramento da Embrapa, Rondônia e foram testados em relação aos seus desempenhos produtivos. A Tabela 1 apresenta detalhadamente a identificação dos genótipos de *C. canephora* avaliados, bem como as suas características agronômicas (TEIXEIRA *et al*., 2020).

Tabela 1: Identificação dos genótipos de *Coffea canephora* utilizados nos testes de competição clonal do Amazonas e as suas características agronômicas definida em ensaios anteriores em Rondônia, Acre e Amazonas - materiais genéticos pertencentes ao banco de germoplasma da Embrapa Rondônia

Identificação	Genealogia	Prod.[1]	Rend.[2] (kg kg^{-1})	Resistência a nematoide	Haste ortotrópica	P.M.[4]	Bebida
BRS 1216	Emcapa03 x IAC 1675	86	3,7	Muito resistente	Rígida	15	Potencial fino
BRS 2299	Polinização aberta	68	4,1	Resistente	Rígida	14	Comercial bom
BRS 2314	Emcapa03 x IAC 640	68	4,4	Muito resistente	P. rígidas[3]	14	Fino especial
BRS 2336	Polinização aberta	80	4,2	Muito resistente	Rígida	16	Comercial bom
BRS 2357	Polinização aberta	61	4,2	Muito resistente	P. rígida	15	Comercial bom
BRS 3137	Polinização aberta	66	4,0	Resistente	P. rígida	14	Comercial bom
BRS 3193	Polinização aberta	54	4,1	Muito suscetível	P. rígida	14	Comercial bom
BRS 3210	Emcapa03 x IAC 2258	80	4,1	Muito resistente	Rígida	16	Comercial bom
BRS 3213	Emcapa03 x IAC 2258	77	4,2	Moderadamente resistente	Rígida	15	Comercial bom
BRS 3220	Emcapa03 x IAC 1675	64	3,9	Suscetível	P. rígidas	15	Potencial especial
Clone 09	Emcapa03 x IAC 640	s.i.[5]	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Clone 12	Emcapa03 x IAC 2258	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Clone 15	Emcapa03 x IAC 2258	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
RO-C125	Polinização aberta[4]	67	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	Comercial bom
RO-C160	Polinização aberta[4]	70	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	Comercial bom

Nota: [1] Produtividade média em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare, obtida durante os ensaios finais de avaliação (RAMALHO *et al*., 2014; ESPINDULA *et al*., 2019);
[2] Rendimento entre os frutos maduros colhidos e o café beneficiado;
[3] Pouco rígidas;
[4] P.M.: Peneira média;
[5] s.i.: sem informação na literatura.
Fonte: Adaptado de Ramalho *et al*. (2014), Espindula *et al*. (2019) e Teixeira *et al*. (2020)

2.2 Ensaios de competição clonal

Em 2019, foram realizados ensaios de competição de clones em três localidades distintas do estado do Amazonas, especificamente nos municípios de Humaitá, Itacoatiara e Manaus. Os experimentos foram instalados durante o período de chuvas, embora em momentos distintos, conforme descrito a seguir:

a) Ensaio 1: Em fevereiro de 2019, o primeiro ensaio foi implantado na Fazenda Experimental Mangabeiras, em Humaitá, AM. Essa fazenda está vinculada ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas (IEAA/UFAM) e está localizada no km 3 da rodovia BR-230, sentido Humaitá-Porto Velho - RO. A área experimental está em um tipo de solo classificado como Plintossolo

(Embrapa, 2013). Originalmente, a área era coberta por vegetação secundária, caracterizada como capoeira e não tinha histórico anterior de plantio;

b) Ensaio 2: Em abril de 2019, a segunda área experimental foi estabelecida no município de Itacoatiara, no Sítio Jota Pê, localizado no km 7 da rodovia AM-010 (sentido Itacoatiara – Manaus). O solo utilizado foi classificado como latossolo amarelo (Embrapa, 2013). Anteriormente, essa área foi dedicada ao cultivo de mamão antes do plantio de café;

c) Ensaio 3: Em março de 2019, o terceiro experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da UFAM, localizada em Manaus, no Km 38 da rodovia BR-174 (sentido Presidente Figueiredo – Boa Vista, Roraima). O solo utilizado foi classificado como latossolo amarelo (Embrapa, 2013) e estava em período de descanso antes do início do experimento.

As informações climáticas foram obtidas pelas estações automáticas dos municípios, cujos dados são fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet – (sisdagro.inmet.gov.br), como apresentado na Tabela 2. As propriedades químicas do solo são apresentadas na Tabela 3. Isso permite uma análise das condições edafoclimáticas e as suas implicações nos resultados dos ensaios.

Tabela 2: Coordenadas geográficas e características edafoclimáticas dos três municípios onde se encontram as unidades experimentais dos ensaios de competição clonal de cafeeiros “Robustas Amazônicos” no estado do Amazonas, durante os anos de colheita consecutiva, 2021 a 2023.

Variável	**Localidades**								
	Humaitá			**Itacoatiara**			**Manaus**		
Latitude (S)	7°31'49,5"			3º04’15,2’’			2°39'09,0"		
Longitude (W)	63° 3'14,6"			58º28’2,1’’			60°03'15,9"		
Altitude (m)	56			26			97		
Anos	**2021**	**2022**	**2023**	**2021**	**2022**	**2023**	**2021**	**2022**	**2023**
Temp. mínima (ºC)	15,0	16,5	15,3	20,0	20,1	20,1	21,0	21,9	20,2
Temp. máxima (ºC)	37,9	37,9	38,9	36,0	38,0	39,4	36,6	37,8	39,2
Amplitude térmica (ºC)	22,9	21,4	23,6	16,0	17,9	19,3	15,6	16,8	19
Temp. média anual (ºC)	27,0	26,5	26,8	27,3	27,4	27,9	27,1	27,6	28,4
Precipitação média mensal (mm)	158,5	176,9	116,4	200,8	225,2	182,7	227,8	202,8	178,1
Precipitação anual (mm)	1901,6	2122,2	1397,0	3046,6	2702,7	2192,0	2733,5	2433,9	2137,5
Dias sem chuva no ano	99	146	166	194	204	205	154	182	192
Clima Köppen[1]	Am			Af			Af		
Tipo de solo	Franco arenoso			Franco argiloso			Muito argiloso		

Nota: [1]Maiores detalhes em Alvares *et al*. (2013).
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2024)

Tabela 3: Propriedades químicas nas camadas de solo 0–20 e 20–40 cm, nos ensaios de competição clonal de cafeeiros "Robustas Amazônicos" conduzidos em três ambientes no Amazonas, em amostras coletadas nos anos de 2021 ou 2022.

Ambiente	Perfil cm	pH[1]	P mg dm^{-3}	K	Ca	Mg	H+Al cmolc dm^{-3}	Al	M.O.[3]	V[4] %
Humaitá	00-20	4,46	3,00	0,33	2,51	0,72	4,14	1,98	1,96	46,00
	20-40	4,61	2,70	0,20	1,94	0,52	4,42	2,50	1,00	38,00
Itacoatiara	00-20	5,74	26,54	0,23	2,77	0,32	3,05	0,00	2,86	52,00
	20-40	5,81	4,60	0,13	1,06	0,19	3,32	0,00	0,86	29,00
Manaus	00-20	5,30	18,90	3,57	1,90	0,60	2,70	0,13	n.a.[2]	48,00
	20-40	5,10	40,60	0,04	1,20	0,30	2,50	0,20	n.a.[2]	38,00

Nota: [1]pH em H_2O;
[2] n.a.: não analisado;
[3]M.O.: matéria orgânica;
[4]V: saturação de bases.
Fonte: Autor (2024)

As covas foram abertas de forma mecanizadas ou manualmente, com dimensões mínimas de 40 x 40 x 40 cm, evitando o espelhamento para não impactar o desenvolvimento radicular. As mudas foram podadas nas raízes, no momento do plantio, para evitar o enovelamento. Em cada cova, foram aplicados 300 g de calcário, 4 l de esterco de galinha, 350 g de superfosfato simples e 20 g de FTE BR-12.

Entre 60 e 90 dias após o plantio, realizaram-se podas de formação para induzir novas hastes ortotrópicas nos cafeeiros (SCHMIDT *et al*., 2015; ESPINDULA *et al*., 2016). As podas foram executadas por podas lateral (nos ramos plagiotrópicos), apical ou envergamento, visando aumentar a incidência de luz solar nas plantas para estimular crescimentos das hastes ortotrópicas. Após a indução, as plantas foram conduzidas com três hastes ortotrópicas (ESPINDULA *et al*., 2015).

No primeiro ano de formação, foram aplicados 32 g de N e 16 g de K_2O por planta, divididos em quatro aplicações, sob intervalos de 45 dias, durante o período chuvoso. No segundo ano, o total aplicado foi de 60 g de N e 60 g de K_2O por planta.

Durante a fase de produção, as plantas receberam adubações, conforme demandado pelas análises de solo (MARCOLAN *et al*., 2015). As adubações foram programadas para alcançar produtividades entre 70 e 100 sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare, com variações de 300 a 360 kg ha^{-1} de N, 50 a 110 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 90 a 320 kg ha^{-1} de K_2O. As aplicações ocorreram de julho a abril de cada ano agrícola, em superfície, na projeção da copa das plantas. Adubações com micronutrientes (boro, cobre, ferro e zinco) foram realizadas conforme a necessidade, via foliar ou no solo. Outras práticas necessárias, como de correção do solo, nutrição, cultura e fitossanitárias foram executadas conforme as recomendações do Sistema de Produção para o cultivo de café em Rondônia (MARCOLAN *et al*., 2009).

2.3 Experimentos

Foi utilizado um arranjo fatorial – clones (15) x locais (3) x anos (3) – organizado em blocos ao acaso, com quatro repetições de seis plantas. O espaçamento de plantio adotado foi de 3 x 1 m, resultando em uma densidade de 3.333 plantas ha^{-1} e 10.000 hastes ortotrópicas ha^{-1} (ESPINDULA *et al*., 2015; FERRÃO *et al*., 2019). Cada ensaio teve, aproximadamente, 1.080m^2.

A fim de estimar a produtividade de grãos nas safras 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023, cada parcela foi colhida, pesada em balança digital e, posteriormente, amostras de 1,5 kg de café maduro foram coletadas e secas no terreiro suspenso, até atingirem 12% de umidade. O café depois de seco foi descascado para se obter os grãos sem o pergaminho e estimar o índice de rendimento (rend) como o quociente entre o café beneficiado e o café da roça maduro (LOURENÇO *et al*., 2022).

A produtividade do café beneficiado em sacas de 60 kg por hectare foi estimada, conforme a equação, a seguir:

$$\mathrm{PROD} = \frac{\left(\frac{\mathrm{cr}}{\mathrm{qp}}\right)}{60} \mathrm{x}\ 3.333\ \mathrm{x}\ \mathrm{rend}$$

Em que PROD é a produtividade de café em sc ha^{-1}, cr é a produção de café da roça por parcela; qp é o número de plantas da parcela; 3.333 se refere ao número de plantas por hectare; rend é a relação entre o café beneficiado e o café da roça, expresso em decimal, e 60 corresponde ao peso em quilogramas de uma saca de café beneficiado.

2.4 Análise dos dados

2.4.1 Quantificação da interação genótipos × ambientes

As informações dos anos de colheita compuseram valores médios dos blocos dos ensaios de cada ambiente. Com base nas análises de variâncias individuais, testou-se o efeito de clones nos municípios de Humaitá, Itacoatiara e Manaus, Amazonas, de acordo com o modelo descrito por Cruz *et al*. (2012):

$$Y_{ij} = m + G_i + B_j + E_{ij}$$

Em que: Y_{ij} se refere à observação do i-ésimo genótipo, no j-ésimo bloco; m é a média experimental; G_i é o efeito fixo do i-ésimo genótipo (clone); B_j é o efeito aleatório do j-ésimo bloco e E_{ijk} é o erro experimental, que incide sobre todas as observações do experimento.

Para a análise dos dados, foi verificada, inicialmente, a homogeneidade das variâncias residuais utilizando o teste de Bartlett, em nível de 5% significância, para avaliar se as variâncias dos tratamentos são homogêneas. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Lilliefors e análises da distribuição dos dados em assimetria e curtose, também em nível de 5% de significância.

Atendidas as pressuposições de normalidade dos erros e homoscedasticidade das variâncias, procedeu-se a análise de variância conjunta para quantificar o efeito da interação genótipos por ambientes (GA), conforme o modelo (CRUZ *et al*., 2012):

$$Y_{ijk} = m + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Em que Y_{ijk} se refere à observação do i-ésimo genótipo (clone), no k-ésimo bloco, no j-ésimo ambiente; m é a média experimental; G_i é o efeito do i-ésimo genótipo; B/A_{jk} é o efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente; A_j é o efeito do j-ésimo ambiente; GA_{ij} é o efeito da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo ambiente e; E_{ijk} é o erro experimental. O efeito do genótipo e do ambiente foram considerados de natureza fixa e aleatória, respectivamente.

A decomposição da interação GA em partes complexas e simples foi realizada com base nos métodos de Robertson (1959), bem como Cruz; Castoldi (1991). A parte simples da interação é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes. A parte complexa acontece pela falta de correlação entre genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Robertson (1959) propôs uma partição do quadrado médio da interação genótipos x pares de ambientes (QMGA), dada pela expressão:

$$QMGA = S + C$$

Sendo:

$$S = \frac{1}{2}\left(\sqrt{Q1} - \sqrt{Q2}\right)^2$$

$$C = (1 - r)\sqrt{Q1Q2}$$

Em que S e C representam as partes simples e complexas da interação, respectivamente; r, é a correlação entre médias de genótipos nos dois ambientes e Q1 e Q2 são os quadrados médios entre genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente.

Cruz; Castoldi (1991) sugeriram uma nova decomposição do quadrado médio da interação, em que a parte complexa é expressa por: $C = \sqrt{(1 - r)}^3 Q1.Q2$. Essa nova decomposição, além de ponderar de maneira mais eficiente a contribuição da correlação e da diferença de variabilidade genotípica nos ambientes, demonstra ser mais adequada na análise e interpretação dos dados experimentais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

2.4.1.1 Estimação de parâmetros genéticos

Os parâmetros genéticos estimados a partir das análises de variância foram:

a) Componente de variância fenotípica

$$\hat{\sigma}_f^2 = \frac{QMG}{r}$$

em que QMG = quadrado médio do genótipo e r = repetições

b) Componente de variância ambiental

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{QMG}{r}$$

c) Componente quadrático genotípico

$$\hat{\phi}_g = \frac{(QMG - QMR)}{r}$$

em que QMR = quadrado médio do resíduo

d) Coeficiente de determinação genotípico (%):

$$H^2 = \left[\frac{\widehat{\phi}_g}{(QMR/r)}\right] X100$$

e) Coeficiente de variação genético

$$CV_g = 100\frac{\sqrt{\widehat{\sigma}_g^2}}{\mu}$$

em que μ é o estimador da média geral da característica avaliada.

f) Coeficiente de variação

$$CV = 100\left(\sqrt{\frac{QMR}{\mu}}\right)$$

g) Razão entre CVg e CVe

$$Razão = \frac{CVg}{CVe}$$

Os parâmetros genéticos, estimados a partir da análise conjunta, tiveram por base as expressões:

a) Coeficiente de variação genético

$$CV_g = \left(\frac{100\sqrt{\hat{\phi}_g}}{\mu}\right)$$

b) Componente quadrático genotípico

$$\widehat{\phi}_g = \frac{QMG - QMR}{ar}$$

Componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica entre o material genético estudado, considerado de efeito fixo.

$$\varphi_g = \frac{\sum g_1^2}{g - 1}$$

c) Coeficiente de determinação genotípico (%):

$$H^2 = \left[\frac{\phi_g}{(QMG/ar)}\right] X100$$

d) Componente de variância da interação GA:

$$\widehat{\sigma}^2_{ga} = \frac{(g-1)QMGA - QMR}{rg}$$

2.4.1.2 Desempenho produtivo

Para a comparação do desempenho produtivo, foi realizado o teste de agrupamento de médias de Scott; Knott (1974), em cada ambiente, em nível de 5% de probabilidade.

2.4.1.3 Índice de qualidade ambiental

Para quantificar a contribuição dos ambientes no desempenho dos genótipos foi interpretado o índice de qualidade ambiental (I_j), estimado a partir da expressão (FINLAY; WILKINSON, 1963):

$$I_j = \overline{y}_j - \overline{y}$$

Em que I_j é o índice de classificação ambiental; $\overline{y}_j$ é a média geral dos genótipos no j-ésimo ambiente, e $\overline{y}$ é a média geral dos genótipos em todos os ambientes. Esse índice classifica os ambientes em favoráveis quando I_j é igual ou superior a zero e ambientes desfavoráveis quando I_j for negativo.

2.4.1.4 Adaptabilidade e estabilidade

Para analisar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, empregaram-se os métodos de Lin; Binns (1988), modificado por Carneiro (1998), e o método dos centroides (ROCHA *et al*., 2005), alterado por Nascimento *et al*. (2009).

O estimador proposto por Lin e Binns (1988) é dado a partir da seguinte equação:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{n}(Xij - M_j)^2}{2n}$$

Sendo P_i = estimativa da estabilidade e adaptabilidade do i-ésimo genótipo; Xij = produtividade do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente; M_j = resposta máxima observada entre todos os genótipos no j-ésimo ambiente; n = número de ambientes. Esse estimador foi interpretado considerando a decomposição de P_i em ambientes favoráveis e desfavoráveis, como proposto por Carneiro (1998).

As estimativas de estabilidade e adaptabilidade obtidas pelo método centroide (ROCHA *et al*., 2005) consideram vetores de dados contendo desempenhos máximos e mínimos dos genótipos em cada ambiente. A partir desses vetores foram obtidas referenciais ideais denominadas de centroides, utilizando dos desempenhos mínimos, médios e máximos dos genótipos nos ambientes favoráveis e desfavoráveis (NASCIMENTO *et al*., 2009).

Os clones foram classificados considerando a distância euclidiana de cada genótipo em relação às referências de comportamento conhecido (centroides), conforme a expressão a seguir:

$$D_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (Xij - C_{ijk})^2}$$

Em que D_{ik} é a distância do i-ésimo genótipo ao k-ésimo centroide ($k = 1, 2, \ldots n$), no qual cada genótipo, posteriormente, é assim classificado: I: Adaptabilidade geral alta (de desempenho máximo em todos os ambientes); II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (de desempenho máximo em ambientes favoráveis e mínimo em desfavoráveis); III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (de desempenho mínimo em ambientes favoráveis e máximo em desfavoráveis); IV: Pouco adaptado (desempenho mínimo em todos os ambientes); V: Alta estabilidade, baixa adaptabilidade (desempenho médio em todos os ambientes); VI: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (de desempenho máximo em ambientes favoráveis e médio em desfavoráveis); VII: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (de desempenho médio em ambientes favoráveis e máximo em desfavoráveis).

A dispersão no plano bidimensional foi obtida a partir de uma matriz de valores médios das características produção de café beneficiado, em diferentes ambientes, utilizando a técnica

dos componentes principais, com tamanho igual ao número de genótipos avaliados, mais sete linhas correspondentes aos pontos de referência (HAIR *et al*., 2009).

2.4.1.5 Análise multi-informacional para clones em destaque

Foi realizado o levantamento do comportamento dos clones de *C. canephora* que se destacaram neste estudo, investigando as suas respostas às variações ambientais. Foram empregados métodos previamente estabelecidos na literatura, com a exploração das particularidades de cada metodologia para estabelecer um critério informativo, visando a recomendação dos melhores clones e aprofundar o conhecimento para cada um deles.

Os métodos empregados se diferiram em termos de princípios biológicos, estatísticos, procedimentos biométricos e interpretação de resultados (EUWIJK *et al*., 2016), incluindo o potencial médio, a plasticidade (QMA/G), a contribuição relativa para a interação GA, a metodologia de Eberhart e Russell (1966), o Padrão campeão (LIN; BINNS, 1988) e o Índice de recomendação pelo centroide (ROCHA *et al*., 2005).

As análises foram realizadas pelo programa de análises genético-biométricas GENES vs.1990.2023.92 (CRUZ, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais objetivos dos programas de melhoramento genético para qualquer espécie cultivada são a identificação e a recomendação de genótipos de alto rendimento. Uma etapa essencial no estágio final desses programas é a avaliação dos genótipos em diversos ambientes para quantificar a interação genótipo-ambiente (GA). A existência dessa interação permite extrair informações, que são fundamentais para a recomendação técnica de cultivares específicas para determinados locais (PINTO *et al*., 2012).

As análises de variância individuais revelaram diferenças significativas na produtividade de grãos processados (sc ha^{-1}) ($P < 0,01$) entre os 15 clones avaliados. Em Humaitá e Manaus, o contraste entre genótipos e testemunhas apresentou diferenças significativas ($P<0,05$ e $P<0,01$, respectivamente). Em Itacoatiara, essa diferença não foi significativa. As testemunhas não mostraram diferenças significativas entre si em Humaitá e Itacoatiara (Tabela 4).

Quando a relação entre o maior (Itacoatiara) e o menor (Manaus) quadrado médio do resíduo dos ambientes for igual a 1,70 (Tabela 4), é indicada a homogeneidade entre as variâncias dos locais (CRUZ *et al*., 2012).

Tabela 4: Resumo das análises de variância individuais sobre a produtividade de grãos beneficiados (em sacas de 60 kg ha^{-1}) em 15 genótipos de *Coffea canephora*, avaliados nos ambientes Humaitá, Itacoatiara e Manaus, Amazonas, Brasil, durante três safras consecutivas, de 2021 a 2023.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio		
		Humaitá	Itacoatiara	Manaus
Bloco	3	64,07	622,06	281,65
Tratamento	14	(471,79)**	(688,17)**	(2.022,40)**
Genótipo	12	468,43**	747,19**	2.104,39**
Testemunha	1	5,17^{ns}	281,91^{ns}	1.935,04**
Genótipo vs Testemunha	1	978,74*	386,18^{ns}	1.125,88**
Resíduo	42	160,07	193,15	113,34
		Médias		
Média geral[1]		53,18	78,58	69,04
Média dos genótipos[1]		54,76	77,58	67,32
Média das testemunhas[1]		42,88	85,04	80,07
		Parâmetros Estimados		
Componente variância fenotípica (média)		117,11	186,80	526,10
Componente variância ambiental (média)		40,02	48,29	28,33
CV_e(%)		23,79	17,69	15,42
CV_g(%)		16,03	15,17	33,14
H^2 (%)		65,83	74,15	94,61
CV_g/CV_e		0,69	0,85	2,10

Nota: **, * e ^{ns}: (P < 0,01), (P < 0,5) e (P > 0,05) pelo teste F, respectivamente;
CV_e(%): coeficiente de variação experimental; CV_g(%): Coeficiente de variação genético;
H^2: Coeficiente de determinação genotípico (%),
[1]As médias de cada ambiente foram compostas a partir das informações médias de três safras para cada bloco.
Fonte: Autor (2024)

Em Humaitá, os genótipos avaliados apresentaram uma produtividade média de 54,76 sc ha^{-1}, superando tanto a sua média geral de 53,18 sc ha^{-1} quanto as testemunhas, que exibiram 42,88 sc ha^{-1}. Em Itacoatiara, as testemunhas foram mais produtivas, com uma média de 85,04 sc ha^{-1}, comparada aos 77,58 sc ha^{-1} dos genótipos e à média geral de 78,58 sc ha^{-1}. Em Manaus, um padrão semelhante ao de Itacoatiara foi observado, em que as testemunhas alcançaram 80,07 sc ha^{-1}, superando os genótipos que tiveram uma média de 67,32 sc ha^{-1} e a média geral de 69,04 sc ha^{-1} (Tabela 4).

Os coeficientes de variação experimental (CV_e) de 23,79% em Humaitá, 17,69% em Itacoatiara e 15,42% em Manaus indicam boa condução experimental, estando dentro dos intervalos observados para *C. canephora* (FONSECA, 1999; BONOMO *et al*., 2004; ROCHA *et al*., 2015; SILVA *et al*., 2018; MORAES *et al*., 2020). Os CV_e mais elevados podem ser atribuídos às respostas diferenciadas dos genótipos aos estresses de altas temperaturas e seca,

bem como as respostas distintas dos materiais à incidência de pragas e doenças, aos ventos e às podas (FERRÃO *et al*., 2008).

O coeficiente de variação genética (CV_g) é um parâmetro que mede a proporção da variância total atribuída à variação genotípica entre os clones. Ele facilita a comparação dos níveis de variabilidade genética entre diferentes genótipos, ambientes e características (FERRÃO *et al*., 2008). Em Humaitá, o CV_g foi de 16,03% e a relação CV_g/CV_e de 0,69, o que sugere que a variabilidade ambiental tem uma influência predominante. Em Itacoatiara, o CV_g foi de 15,17%, ligeiramente menor que em Humaitá. A relação CV_g/CV_e foi de 0,85, indicando que, embora os fatores genéticos desempenhem um papel importante, a influência dos fatores ambientais permanece considerável também nesse ambiente. Esses resultados indicam a importância da avaliação multi-ambientes para a seleção de genótipos de *C. canephora* de alta produtividade e estabilidade (MORAES *et al*., 2022; PARTELLI *et al*., 2022). Por sua vez, Manaus apresentou o maior CV_g, com 33,14%, evidenciando uma influência maior da variabilidade genética na produtividade dos genótipos.

Em Manaus, a relação CV_g/CV_e foi de 2,10, indicando maior chance de se obter ganhos com a seleção, uma vez que essa relação foi superior a unidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; MISTRO, 2013). Valores de CV_g/CV_e variando de 0,79 a 1,31 foram obtidos em diferentes estudos para a produção de grãos e demais características associadas à produção em *C. canephora* (FONSECA, 1999; RAMALHO *et al*., 2011; RODRIGUES *et al*., 2012; MORAES *et al*. 2016; 2020; SILVA *et al*., 2018). A existência de variabilidade genética predominante na explicação da variação total de uma característica é condição fundamental para o progresso genético com a prática da seleção (RAMALHO *et al*., 2016).

Corroborando com as informações apresentadas, a variância fenotípica média foi superior no ambiente em Manaus, enquanto a variância ambiental média variou de 28,33 em Manaus a 48,29 em Itacoatiara.

O coeficiente de determinação genotípica (H^2), que expressa a proporção da variância fenotípica que é devida a variabilidade genética entre as médias dos genótipos, teve uma média de 43,12% (Tabela 5). Em Manaus, a estimativa de H^2 (94,61%) superou aquelas que foram obtidas nas demais localidades. Contudo, nos três locais a maior parte da variação total da produtividade foi atribuída à contribuição genética dos genótipos nesses ambientes (Tabela 4). Estimativas de H^2 superiores a 80% indicam uma forte predominância do componente genotípico na expressão da produção de café beneficiado (FERRÃO *et al*.; 2008; RAMALHO *et al*., 2012; CRUZ *et al*., 2014).

Tabela 5: Resumo da análise de variância conjunta sobre a produtividade de grãos beneficiados (em sacas de 60 kg ha^{-1}) em 15 genótipos de *Coffea canephora*, avaliados nos ambientes Humaitá, Itacoatiara e Manaus, Amazonas, Brasil, durante três safras consecutivas, de 2021 a 2023.

Fonte de variação	**Grau de liberdade**	**Quadrado médio**
Bloco/ambiente	9	322,59
Bloco	3	123,69
Bloco x ambiente	6	422,04
Tratamento	14	1.293,50 ^{ns}
Genótipo	12	1.478,48 ^{ns}
Testemunha	1	207,09 ^{ns}
Grupos	1	160,17 ^{ns}
Ambiente	2	9.873,38**
Tratamento x ambiente	28	944,43**
Genótipo x ambiente	24	920,76**
Testemunha x ambiente	2	1.007,51**
Grupo x ambiente	2	1.165,31**
Resíduo	126	155,52
	Médias	
Média geral	66,93	
Média dos genótipos	66,56	
Média das testemunhas	69,33	
	Parâmetros estimados	
CV_e (%)	18,63	
H^2	43,12	
Componente de variância GA	178,56	
Variância residual	155,52	
CV_g (%)	10,24	
Razão CV_g/Cv_e	0,55	

Nota: **, * e ^{ns}: (P < 0,01), (P < 0,5) e (P > 0,05) pelo teste F, respectivamente;
CV_e(%): coeficiente de variação experimental;
CV_g(%): Coeficiente de variação genético;
H^2: Coeficiente de determinação genotípico (%).
[1] As médias de cada ambiente foram compostas a partir das informações médias de três safras para cada bloco.
Fonte: Autor (2024)

Ferrão *et al*. (2008) encontraram valores de H^2 para produtividade média de grãos variando de 85,20% a 96,20%. Leroy *et al*. (1994) determinaram as seguintes estimativas de herdabilidade em *C. canephora*: 28% para peso de grãos na primeira safra; 27% para peso de grãos na segunda safra; 0,15 para peso de grãos na terceira safra e 38% para peso de grãos acumulados. Em outro estudo, Montagnon *et al*. (1998) encontraram herdabilidades de 73% para peso de sementes; 80%, para conteúdo de cafeína. Fonseca (1999), ao estimar parâmetros genéticos em um grupo de clones de café Conilon para oito características, aferiu valores de H^2 variando entre 72,84% e 94,17%.

A análise de variância conjunta indicou que o fator "ambiente" apresentou variabilidade sobre a produtividade e que a interação tratamentos x ambientes também foi significativa ($P < 0,01$) (Tabela 5). A interação GA representa a variação na resposta dos genótipos frente às diferentes condições ambientais, fenômeno comum em cultivos perenes, como o cafeeiro (FERRÃO *et al*., 2008; MORAES *et al*., 2020; ROCHA *et al*., 2015; RIBEIRO *et al*., 2016; ABRHA *et al*., 2022; PARTELLI *et al*. 2022; AKPERTEY *et al*., 2023).

Os cultivares e clones promissores, em geral, apresentaram uma produtividade média de 66,56 sc ha^{-1}, próxima à média geral (66,93 sc ha^{-1}). As testemunhas, por sua vez, exibiram uma produtividade média de 69,33 sc ha^{-1}. Contudo, não houve diferença considerando todos os tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 5). Essas médias produtivas superaram as estimativas da média nacional e estadual da atual safra (2023/2024), que foram de 41,7 e 23,7 sc ha^{-1}, respectivamente (CONAB, 2024).

Com o coeficiente de variação genotípico (CV_g), da análise conjunta, sendo inferior ao coeficiente de variação residual (CV_e), a razão CV_g/CV_e foi inferior à unidade (0,55), mostrando haver menor chance de progresso genético ao praticar-se a seleção global dos clones, considerando o estágio avançado de melhoramento em que os genótipos avaliados se encontram e a existência da interação GA.

A variância residual foi de 155,52 e o componente de variância GA foi de 178,56, indicando que a interação GA contribui, substancialmente, para a variação total observada na produtividade.

O coeficiente de determinação genotípico (H^2) foi de 43,12%, mostrando uma forte influência ambiental sobre a produtividade em relação aos ambientes avaliados no Amazonas.

O índice de qualidade ambiental (I_j) (FINLAY; WILKINSON, 1963) discriminou os ambientes em relação à sua contribuição no desempenho das plantas (SCHMILDT *et al*., 2011).

Humaitá foi classificado como um ambiente desfavorável (I_j = -13,75), em contraste com os ambientes de Itacoatiara e Manaus, cujas produtividades foram mais elevadas e, consequentemente, com índices de qualidade ambiental positivos, de 11,65 e 2,10, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6: Índice da qualidade ambiental (I_j) das localidades avaliadas.

Ambiente	**I_j**	**Classificação**
Humaitá	-13,75	desfavorável
Itacoatiara	11,65	favorável
Manaus[1]	2,10	favorável

Nota: [1]Ambiente em condição de sequeiro.
Fonte: Autor (2024)

A baixa saturação por bases, aliada à maior acidez ativa do solo (pH em H_2O), com maiores valores de alumínio nas profundidades de 0 a 40 cm pode ter contribuído para a menor produtividade no ambiente Humaitá (Tabela 2), à semelhança do que foi observado na literatura (MONTAGNON *et al*., 2000; MORAES *et al*. 2020).

Em Humaitá, as cultivares BRS 2314, BRS 2336, BRS 3213 e o Clone 15 se destacaram com as maiores produtividades, atingindo 65,36, 69,65, 71,18 e 64,95 sc ha^{-1}, respectivamente. Esses genótipos demonstraram bom desempenho produtivo diante das condições locais. Por outro lado, as cultivares BRS 2299, BRS 2357 e BRS 3137 apresentaram produtividades inferiores nesse ambiente (Tabela 7).

Tabela 7: Desempenho produtivo (em sacas de 60kg de café beneficiado ha^{-1}) das cultivares Robustas Amazônicos avaliadas nos ambientes de Humaitá - AM, Itacoatiara - AM e Manaus - AM, safras 2021 a 2023.

Genótipo		**Humaitá**		**Itacoatiara**		**Manaus**	
Cultivares Robustas Amazônicos	BRS 1216	58,66	a C	88,65	a B	111,54	a A
	BRS 2299	47,04	b B	84,52	a A	85,94	b A
	BRS 2314	65,36	a A	52,06	b A	54,46	c A
	BRS 2336	69,65	a A	81,69	a A	74,45	b A
	BRS 2357	37,88	b B	78,23	a A	88,33	b A
	BRS 3137	40,71	b B	76,18	a A	52,43	c B
	BRS 3193	46,54	b B	90,55	a A	57,39	c B
	BRS 3210	49,04	b B	85,03	a A	50,97	c B
	BRS 3213	71,18	a A	86,64	a A	41,74	c B
	BRS 3220	54,60	a A	53,37	b A	38,07	c A
Genótipos do PMG-Embrapa[1]	Clone 09	57,36	a B	67,52	b B	84,51	b A
	Clone 12	48,97	b B	68,52	b A	45,79	c B
	Clone 15	64,95	a B	95,61	a A	89,62	b A
Testemunhas	RO C125	43,69	b C	90,98	a A	64,52	c B
	RO C160	42,08	b B	79,11	a A	95,62	b A

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de agrupamento de médias Scott e Knott a 5% de probabilidade;
[1]Programa de melhoramento genético da Embrapa.
Fonte: Autor (2024)

Itacoatiara mostrou ser o ambiente mais favorável para a produção de café beneficiado, com genótipos Clone 15, RO C125, BRS 3193, BRS 1216 e BRS 3236, apresentando as melhores produtividades, estimadas em 95,61, 90,98, 90,55, 88,65 e 81,69 sc ha^{-1}, respectivamente (Tabela 7). Esses resultados reforçam a importância dos ambientes mais favoráveis ao cultivo para que haja incrementos na produtividade (PARTELLI *et al*., 2022).

Manaus, mesmo sob condições de sequeiro, revelou que a cultivar BRS 1216 também atingiu a maior produtividade média – de três anos consecutivos – com 111,54 sc ha^{-1}. Trata-se de uma cultivar cujas plantas exibem porte alto, com grãos tamanho grande – peneira média de

16 – e se destaca por ser o clone mais produtivo dentre os dez cultivares BRS desenvolvidos pela Embrapa (ESPINDULA *et al*., 2022b), além do potencial para produzir bebidas especiais (TEIXEIRA *et al*., 2020). Genótipos como BRS 2299, Clone 15 e RO C160 também apresentaram produtividades elevadas (Tabela 7).

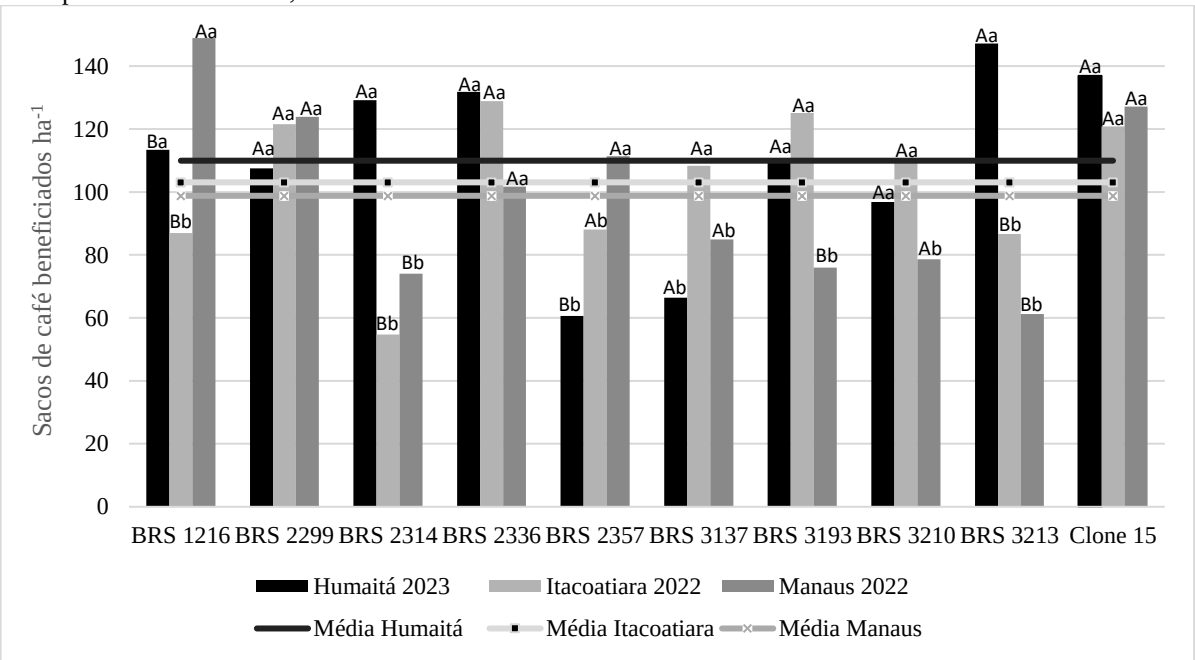
No município de Ariquemes, Rondônia, a produtividade média, das dez cultivares Robustas Amazônicos, em três safras consecutivas, exibiu valor de 29 sc ha^{-1} em condições de estresse abiótico (ESPINDULA *et al*., 2019). Esse valor foi inferior à média obtida em Humaitá (de 54,76 sc ha^{-1}), com ambiente desfavorável no presente estudo.

O clone 15, embora não tenha sido lançado pela Embrapa, mostrou-se muito produtivo em relação aos demais clones avaliados, exibindo superioridade produtiva em Humaitá e Itacoatiara.

As testemunhas RO C125 e RO C160 se mantiveram competitivas em Manaus e Itacoatiara. O clone RO C160 produziu 95,62 sc ha^{-1} em Manaus e o clone RO C125 produziu acima de 90 sc ha^{-1} em Itacoatiara (Tabela 7). No município de Silves, no Amazonas, em três safras consecutivas, o clone RO C160 produziu 67 sc ha^{-1}, enquanto o clone RO C125 produziu 79 sc ha^{-1} (ESPINDULA *et al*., 2022a). Na Embrapa Rondônia, em Ouro Preto do Oeste, os clones RO C 125 e 160 mantiveram produtividades acima de 70 sc ha^{-1} (RAMALHO *et al*., 2014). Apesar do potencial produtivo da cultivar multiclonal BRS Ouro Preto (70 sc ha^{-1}), os clones RO C 125 e 160 tiveram pouca aceitação entre os produtores rondonienses, devido às suas características típicas de conilon (ESPINDULA *et al*., 2022b).

Na descrição do potencial produtivo dos clones, foram comparadas noves cultivares, mais o clone 15, em cada ambiente e no ano agrícola de maior média produtiva (Figura 1). Em Itacoatiara e Manaus, o ano de melhor desempenho dos clones ocorreu na safra de 2021/2022 e ao considerá-los como ambientes de melhor potencial produtivo, os clones BRS 1216, 2299, 2336, 3193 e Clone 15 apresentaram em pelo menos duas localidades, médias superiores a 110 sc ha^{-1}, distinguindo-se dos demais. Ainda, observou-se que o Clone 15 mostrou produção homogênea em relação aos três ambientes nos seus respectivos anos de máxima performance (Figura 1).

Figura 1: Potencial máximo produtivo (sc ha^{-1}) de 10 genótipos de *Coffea canephora* nos anos de melhor desempenho de cada ensaio, no Amazonas.



Nota: Médias seguidas com letras maiúsculas iguais significam que os clones não diferem entre os ambientes, ao passo que letras minúsculas iguais significam que os clones não diferem estatisticamente entre si para um mesmo ambiente, pelo teste de agrupamento de médias Scott e Knott a 5% de probabilidade.
Fonte: Autor (2024)

A produtividade do cafeeiro depende da capacidade da planta em converter energia solar em grãos de café, combinada ao potencial produtivo do cafeeiro e às condições ambientais (MEIRELES *et al*., 2009). Na literatura, todos os clones "Robustas Amazônicos" apresentam potencial máximo produtivo acima de 100 sc ha^{-1}, destacando-se as cultivares BRS 1216, BRS 2336, BRS 3210 e BRS 3213, com produções superiores a 120 sc ha^{-1} em Rondônia e Acre (ESPINDULA *et al*., 2019). Outras cultivares, como BRS 2299, BRS 3137 e BRS 3220, têm potencial para mais de 110 sc ha^{-1}, enquanto BRS 2314, BRS 2357 e BRS 3193 podem produzir mais de 100 sc ha^{-1} (TEIXEIRA *et al*., 2020; MORAIS *et al*., 2021).

Em Humaitá, no último ano de avaliação – durante a safra de 2022/2023 – dos 11 clones avaliados, oito deles exibiram potencial produtivo maiores do que 100 sc ha^{-1}. Nesse período, observaram-se médias produtivas muito superiores às demais localidades avaliadas, com média acima de 109 sc ha^{-1} de café beneficiado. Especificamente em Humaitá, os clones BRS 2314, BRS 2336, BRS 3213 e Clone 15 demonstraram produtividades superiores a 129 sc ha^{-1} durante esse ano (Figura 1).

É importante observar que Manaus e Itacoatiara enfrentaram condições climáticas adversas nos anos de 2022 e 2023, caracterizadas por estiagem prolongada e aumento das temperaturas médias e máximas. Em ambos os locais, a temperatura média aumentou em 1,4º

C ao longo desse período, o que também pode ter refletido em menores produtividades em 2023 (Tabela 2). Em contraste, Humaitá se beneficiou de uma distribuição mais uniforme de chuvas ao longo do ano, com menor número de dias sem precipitação (Tabela 2). Porém, no início, durante os dois primeiros anos, houve dificuldades técnicas de manejo, o que resultou em uma redução nas médias produtivas. No entanto, a partir de 2021, foram implementadas mudanças no manejo, tais como a correção do solo e adubações, para melhor adequação às necessidades locais. Essas alterações se refletiram em um aumento significativo na produtividade a partir da terceira safra, demonstrando que, mesmo em ambientes desfavoráveis, ao se adotarem manejos eficientes, a produtividade tem potencial para aumentar significativamente a produção cafeeira.

Em Rondônia, o município Alta Floresta D'Oeste apresentou as melhores condições para expressão do potencial genético (ESPINDULA *et al*., 2019). Nesse ambiente, a média geral das cultivares, nos três anos de avaliação, foi de 93 sc ha^{-1}, com destaque para as cultivares BRS 1216, BRS 3210 e BRS 2336, que produziram mais de 100 sacas na média dos três anos.

3.1 Natureza da Interação GA

A variação no desempenho dos clones entre diferentes ambientes pode ser simples, quando a classificação dos clones permanece consistente de um ambiente para outro, ou complexa, quando os genótipos que se destacam em um ambiente não são os melhores em outros ambientes (SILVA *et al*., 2019; PARTELLI *et al*., 2020).

Os resultados das análises evidenciaram a predominância da contribuição da parte complexa em relação à parte simples na discriminação da interação GA. Entre Humaitá e Itacoatiara, a natureza simples contribuiu pouco com a interação GA, enquanto a parte complexa concorreu com grande parte sobre a interação GA (mais que 98%), indicando que muitos dos genótipos avaliados se comportaram de maneira diferente na comparação dos dois ambientes (Tabela 8).

Tabela 8*:* Estimativas das partes simples (acima da diagonal) e complexa (abaixo da diagonal) resultante da decomposição da interação entre 15 genótipos de *C. canephora* e os pares de três ambientes, para a produtividade de grãos de café beneficiado.

Ambiente	Humaitá	Itacoatiara	Manaus
Humaitá	-	1,64 (-1,80)	20,38 (17,24)
Itacoatiara	98,36 (101,80)[1]	-	19,81 (37,75)
Manaus	79,62 (82,79)	80,19 (62,25)	-

Nota: [1]Proporções estimadas por metodologia proposta por Robertson (1959), dentro dos parênteses estimativas segundo método de Cruz; Castoldi (1991).
Fonte: Autor (2024)

Entre os pares de ambientes Itacoatiara-Manaus e Humaitá-Manaus, a parte simples da interação GA foi comparativamente superior ao par de ambientes Humaitá-Itacoatiara, embora a parte complexa também tenha apresentado predominância sobre a natureza da interação GA. Espera-se que os genótipos, comparativamente uns aos outros, mantenham o desempenho produtivo nesses pares de ambientes – Itacoatiara-Manaus e Humaitá-Manaus. Ademais, espera-se que os clones apresentem comportamento mais previsível, apesar da diferença entre os ambientes. A interação complexa indica a inconsistência da superioridade de genótipos com a variação ambiental, ou seja, pode haver desempenhos diferenciados de um mesmo genótipo nos ambientes avaliados, em comparação a outros genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

3.2 Adaptabilidade e estabilidade

Genótipos identificados com uma ampla adaptabilidade e alta estabilidade de produção ao longo das safras ou locais são de grande interesse para o melhorista (SAKATA *et al*., 2021).

O genótipo BRS1216 se destacou com a maior média geral de produtividade (86,29 sc ha^{-1}, e um P_i geral – para ambientes favoráveis e desfavorável – de 34,18, indicando alta adaptabilidade e estabilidade em todos os ambientes avaliados. O Clone 15, cuja produtividade média foi de 83,39 sc ha^{-1}, exibiu valor de P_i geral de 86,48, demonstrando ótimo desempenho produtivo, mas ligeiramente menos estável que a cultivar BRS 1216 (Tabela 9). O método proposto por Lin; Binns (1988), também conhecido como “padrão de campeão”, é uma abordagem que classifica os genótipos com base na sua proximidade com um genótipo ideal. Quanto menor o valor da estatística P_i melhor é a performance genotípica do indivíduo avaliado (CRUZ; CARNEIRO, 2012).

Tabela 9: Estimativa das medidas de adaptabilidade e estabilidade de comportamento (P_i) obtidos pelo método Lin; Binns, adaptada por Carneiro (1998) para o caráter produtividade (sc ha^{-1}), em três ambientes no Amazonas durante três safras consecutivas[#].

Genótipo	Média geral	P_i	Clone	P_i (+)	Clone	P_i (-)
BRS 1216	86,28	34,18	BRS 1216	12,10	BRS 3213	0,00
Clone 15	83,39	86,48	Clone 15	120,04	BRS 2336	1,16
BRS 2299	72,50	226,80	RO C160	131,36	BRS 2314	16,94
RO C160	72,27	228,69	BRS 2299	194,51	Clone 15	19,36
BRS 2336	75,26	261,93	BRS 2357	210,10	BRS 1216	78,34
Clone 09	69,79	285,08	Clone 09	379,92	Clone 09	95,39
BRS 2357	68,15	324,80	BRS 2336	392,31	BRS 3220	137,41
RO C125	66,39	498,00	RO C125	558,07	BRS 3210	245,03
BRS 3193	64,82	594,09	BRS 3193	739,38	Clone 12	246,64
BRS 3210	61,68	711,62	BRS 3210	944,91	BRS 2299	291,37
BRS 3137	56,43	799,97	BRS 3137	967,86	BRS 3193	303,50
BRS 3213	66,52	825,23	BRS 3213	1.237,85	RO C125	377,85
BRS 2314	57,29	864,67	Clone 12	1.264,03	RO C160	423,33
Clone 12	54,42	924,90	BRS 2314	1.288,54	BRS 3137	464,21
BRS 3220	48,68	1242,71	BRS 3220	1.795,36	BRS 2357	554,20

Nota: [#] Localidades: Humaitá, Itacoatiara e Manaus, com avaliações nas safras de 2021, 2022 e 2023.
P_i = Estimativa da estabilidade e adaptabilidade do i-ésimo genótipo em todos os ambientes (geral), favoráveis $P_i(+)$ e desfavoráveis $P_i(-)$
Fonte: Autor (2024)

A cultivar BRS 1216 e o Clone 15 novamente se destacaram com os menores valores de P_i+ (12,10 e 120,04, respectivamente) em relação aos demais clones, mostrando maior adaptabilidade específica para ambientes favoráveis. A testemunha RO C160 e a cultivar BRS 2299 apresentaram P_i+ de 131,36 e 194,51, respectivamente, revelando boa adaptação a condições ambientais favoráveis.

Por outro lado, em ambiente desfavorável, o clone BRS 3213 se mostrou mais bem adaptado a essa condição. Os clones BRS 2336 e BRS 2314 também demonstraram boa adaptabilidade em ambiente desfavorável. Os Clone 15 e BRS 1216 apresentaram, comparativamente a outros genótipos, valores de P_i- pequenos, reforçando a característica de adaptabilidade ampla, porém com menor destaque em ambientes desfavoráveis (Tabela 9). A eficácia do método Lin; Binns (1988) tem sido atestada em estudos com a espécie *C. canephora* para a seleção de genótipos superiores (ROCHA *et al.*, 2015).

Em relação ao índice de recomendação por centroides, os genótipos BRS 1216, BRS 2299, BRS 2336 e o Clone 15 obtiveram estimativas da produção de grãos beneficiados acima de 72 sc ha^{-1} (Tabela 10). Contudo, pelo critério dos centroides (Tabela 10 e Figura 2), observou-se que foram representados diferentes padrões de adaptabilidade e desempenho nos ambientes. A interpretação dos resultados desse índice envolve a análise da posição relativa de

cada genótipo em relação aos centroides identificados. De um modo geral, os pontos I, de máxima adaptabilidade geral, e II, de máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, são os mais interessantes (ROCHA *et al*., 2005).

A cultivar BRS 1216, além da destacada produtividade, foi posicionada como um genótipo de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis – na Classe VI –, ou seja, de desempenho máximo em ambientes favoráveis, porém mínimo em desfavoráveis. Isso significa que esse clone pode ter melhor desempenho em locais em que o nível tecnológico é mais elevado, porém, o desempenho produtivo pode ser inferior quando não são supridas as condições ideais de manejo (Tabela 10 e Figura 2).

O clone BRS 2299 apresentou média produtiva de 72,50 sc ha^{-1} e foi classificado na Classe V, sugerindo alta estabilidade, mas uma adaptação geral menos destacada em ambientes específicos. Por outro lado, a cultivar BRS 2336, com uma média de 75,26 sc ha^{-1}, pertenceu a Classe VII, indicando uma adaptação específica a ambientes desfavoráveis, com um desempenho máximo nessas condições. O Clone 15, além da média produtiva superior, foi o único presente na Classe I, representando máxima adaptabilidade ampla e, portanto, destacando-se como um clone bastante promissor nas condições climáticas e de manejo do Amazonas (Tabela 10 e Figura 2). O Clone 12 foi o único classificado como não adaptado e, diante da sua baixa produtividade, provavelmente, não deve ser recomendado para plantio no Estado.

Este padrão é consistente com o estudo de Morais *et al*. (2020), que destacam genótipos com alta performance e estabilidade em diferentes ambientes. Estudos como os de Ferrão *et al*. (2008) e Moura *et al*. (2017) confirmam a eficácia do método de centroides modificado para a recomendação de genótipos em sistemas de cultivo orgânico e convencional.

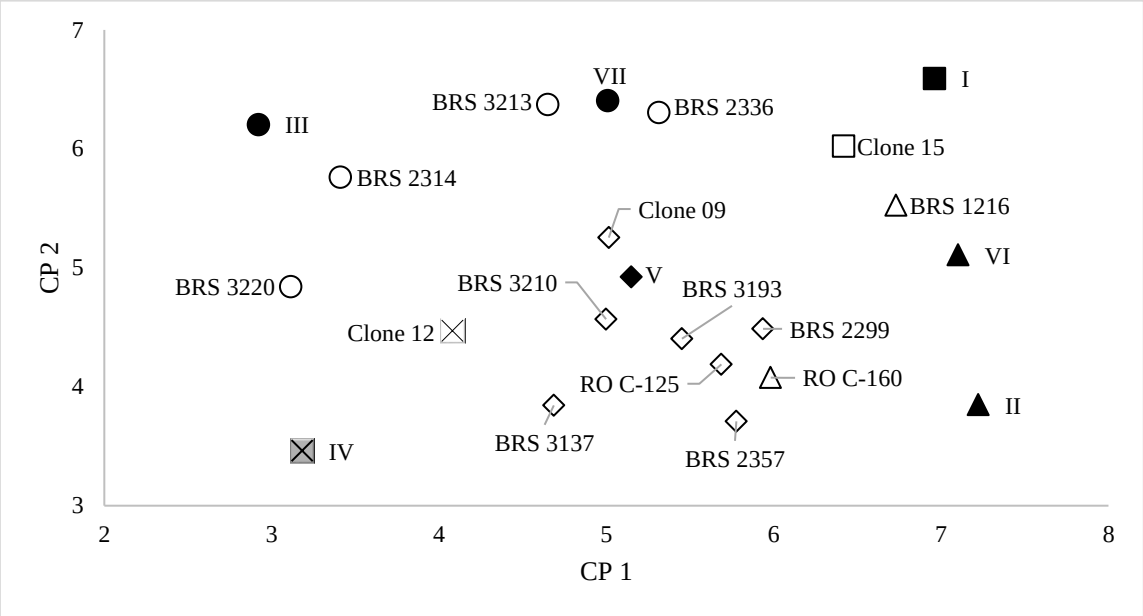
Tabela 10: Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidos pelo método do Centroide, para o caráter produtividade em sacas de café beneficiado, nos ambientes estudados no Amazonas (3 safras).

Genótipos	Média geral	Classe	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)	Prob(V)	Prob(VI)	Prob(VII)
BRS 1216	86,28	VI	0,24	0,1537	0,04	0,04	0,08	0,38	0,07
BRS 2299	72,50	V	0,13	0,16	0,07	0,08	0,25	0,16	0,15
BRS 2314	57,29	III	0,07	0,07	0,30	0,16	0,16	0,07	0,17
BRS 2336	75,26	VII	0,08	0,06	0,07	0,06	0,18	0,07	0,49
BRS 2357	68,15	V	0,12	0,18	0,08	0,09	0,22	0,16	0,14
BRS 3137	56,44	V	0,08	0,09	0,13	0,19	0,26	0,09	0,16
BRS 3193	64,83	V	0,09	0,10	0,11	0,12	0,30	0,10	0,18
BRS 3210	61,68	V	0,08	0,09	0,13	0,15	0,28	0,09	0,19
BRS 3213	66,52	VII	0,09	0,08	0,19	0,13	0,19	0,09	0,23
BRS 3220	48,68	III	0,06	0,06	0,30	0,29	0,12	0,06	0,11
Clone 09	69,79	V	0,12	0,11	0,10	0,09	0,25	0,12	0,21
Clone 12	54,42	IV	0,07	0,07	0,18	0,24	0,20	0,07	0,15
Clone 15	83,39	I	0,21	0,14	0,07	0,06	0,16	0,19	0,17
RO C125	66,39	V	0,09	0,11	0,09	0,11	0,32	0,11	0,17
RO C160	72,27	II	0,14	0,22	0,07	0,08	0,17	0,20	0,13
Média geral	66,93								

Nota: # Classe: I, máxima adaptabilidade geral; II, máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III, máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV, mínima adaptabilidade; V, média adaptabilidade geral; VI, média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII, média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. CP1, componente principal 1; CP2, componente principal 2. As Estimativas dos autovalores e a porcentagem cumulativa da variância explicada por dois componentes principais acumulou 88,85% de resposta (55,69 e 33,16).

Fonte: Autor (2024)

Figura 2: Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais dos 15 genótipos de C. canephora, para variável produtividade em três ambientes (safra 2021 a 2023).



Nota: Os sete pontos numerados com algarismos romanos representam os ideótipos. I, máxima adaptabilidade geral; II, máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III, máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV, mínima adaptabilidade; V, média adaptabilidade geral; VI, média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII, média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. CP1, componente principal 1 e CP2, componente principal 2.
Fonte: Autor (2024)

A análise simultânea da Tabela 9, 10 e Figura 2 permitiu compreender mais detalhadamente a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de *C. canephora* avaliados. A cultivar BRS 1216 e o Clone 15 se mostraram os mais produtivos e melhor adaptados às condições amazonenses de clima, solo e manejo. A cultivar BRS 2336, apesar da sua excelente produtividade (acima de 75 sc ha^{-1}), apresentou média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, sendo ranqueado em 2º lugar nos ambientes desfavoráveis pelo método de Lin; Binns (1988).

O Clone 9 demonstrou uma produtividade elevada, alcançando, aproximadamente, 70 sc ha^{-1} e foi classificado como de média adaptabilidade geral na recomendação pelo método dos centroides. Na avaliação do padrão campeão (LIN; BINNS, 1988) este genótipo apresentou uma adaptabilidade moderada, ficando em quinto lugar dentre os 15 clones avaliados, considerando a avaliação global de todos os ambientes, demonstrando haver coincidências sobre a interpretação dos resultados para o índice de recomendação por centroides e o padrão campeão (ROCHA *et al*., 2015).

Com base nos resultados (Tabela 9, 10 e Figura 2) foram selecionados para maior detalhamento da adaptabilidade e estabilidade as cultivares BRS 1216, 2299, 2336, 2357, 3193

e 3210, além dos Clones 9 e 15, em razão das suas performances genotípicas na representação dos ambientes do estado do Amazonas.

3.3 Estudo multi-informação da adaptabilidade e estabilidade

Nas avaliações sobre a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de *C canephora*, a aplicação de dois ou mais métodos pode proporcionar inferências mais consistentes e realistas sobre o comportamento dos materiais genéticos, dispostos ao longo do tempo ou no espaço e, assim, o melhorista ser mais assertivo na validação e na recomendação de clones de cafeeiro (ROCHA *et al*., 2015; PARTELLI *et al*., 2022). A seguir, apresenta-se uma proposta de avaliação simultânea e complementar de diferentes métodos sobre os clones que se destacaram e foram escolhidos anteriormente com as melhores performances. Esse tipo de análise multi-informação permite ao melhorista traçar uma ficha de recomendação à luz de diferentes abordagens sobre os genótipos selecionados para esse tipo de avaliação mais refinada (PONTES, 2020).

3.4 Potencial médio e desempenho em ambientes específicos

Dentre os 15 genótipos avaliados, a cultivar BRS 1216, 2336 e o clone 15 foram os que mais se destacaram dentre os oito clones selecionados (Tabela 11), cujas produtividades de grãos beneficiados estiveram entre as seis maiores, tanto em ambientes favoráveis quanto desfavoráveis. As cultivares BRS 2299, BRS 2357, BRS 3193 e BRS 3210 não apresentaram boas classificações em ambiente desfavoráveis, cujas condições são mais desafiadoras.

Esse desempenho é consistente com os achados de Moura *et al*. (2014) e Domingues *et al*. (2023), que destacam a importância de selecionar genótipos com alta produtividade e estabilidade em diferentes condições ambientais.

Tabela 11. Recomendação baseada em análise multi-informação de genótipos de *Coffea canephora* avaliados em três municípios do amazonas em três safras.

Descritor\Genótipos	**BRS1216**		**BRS 2299**		**BRS 2336**		**BRS 2357**		**Referência**		
	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Min.	Máx.	Média
1. Potencial médio											
Amb. Geral	86,28	1	72,50	4	75,26	3	68,15	7	48,68	86,28	μ = 66,93
Amb. Favorável	100,09	1	85,23	4	78,07	6	83,28	5	45,72	100,09	μ = 73,80
Amb. Desfavorável	58,66	5	47,04	10	69,65	2	37,88	15	37,88	71,18	μ = 53,18
2. Plasticidade QMA_j/G_i (decomposição da Anova)	2812,85	13	1947,15	9	146,83	1	2849,82	14	146,83	3007,12	
3. Contribuição Interação											
$-S^2_{GA}$ (Plaisted & Peterson, 1959)	0,10	14	0,05	6	0,04	2	0,08	11	3,03	12,93	
$-SQ_{GA}$ (Wricke, 1965)	0,12	14	0,04	6	0,02	2	0,09	11	0,60	17,13	
4. (Eberhart; Russell, 1966)											
Adaptabilidade	$1,40^{ns}$		$1,57^{ns}$		$0,46^{ns}$		$1,75^{*}$		-0,54	1,81	
Estabilidade (%)	$45,77^{**}$		$83,85^{*}$		$93,46^{ns}$		$70,72^{**}$		4,09	96,19	
5. Padrão de campeão (Lin; Binns , 1988)											
Amb. Geral	34,18	1	226,80	3	261,93	5	324,80	7	34,18	1242,71	
Amb. Favorável	12,10	1	194,51	4	392,31	7	210,10	5	12,10	1795,36	
Amb. Desfavorável	78,34	5	291,37	10	1,16	2	554,20	15	0,00	554,20	
6. Índice de recomendação (Centroides)		VI		V		VII		V			

Tabela 11 continuação.

Descritor\Genótipos	**BRS 3193**		**BRS 3210**		**Clone 09**		**Clone 15**		**Referência**		
	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Min.	Máx.	Média
1. Potencial médio											
Amb. Geral	64,83	10	61,68	11	69,79	6	83,39	2	48,68	86,28	μ = 66,93
Amb. Favorável	73,97	9	68,00	10	76,01	8	92,61	2	45,72	100,09	μ = 73,80
Amb. Desfavorável	46,54	11	49,04	8	57,36	6	64,95	4	37,88	71,18	μ = 53,18
2. Plasticidade QMAj/Gi (decomposição anova)	2103,05	11	1639,41	8	752,30	5	1055,98	6	146,83	3007,12	
3. Contribuição Interação											
$-S^2_{GA}$ (Plaisted & Peterson, 1959)	5,48	8	5,41	7	5,89	9	0,03	1	3,03	12,93	
$-SQ_{GA}$ (Wricke, 1965)	4,68	8	4,57	7	5,37	9	0,01	1	0,60	17,13	
4. (Eberhart; Russell, 1966)											
Adaptabilidade	$1,63^{ns}$		$1,29^{ns}$		$0,53^{ns}$		$1,24^{ns}$		-0,54	1,81	
Estabilidade (%)	$82,86^{*}$		$66,44^{**}$		$24,80^{**}$		$96,19^{ns}$		4,09	96,19	
5. Padrão de campeão (Lin & Binns , 1988)											
Amb. Geral	594,09	9	711,62	10	285,08	6	86,48	2	34,18	1242,71	
Amb. Favorável	739,38	9	944,91	10	379,92	6	120,04	2	12,10	1795,36	
Amb. Desfavorável	303,50	11	245,03	8	95,39	6	19,36	4	0,00	554,20	
6. Índice de recomendação (Centroides)		V		V		V		I			

Nota: **, * e ^{ns}: significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente; (1) Referência: produtividade mínima (Min), máxima (Max) e média de grãos, respectivamente; V, média adaptabilidade geral; VI, média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII, média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.
Fonte: Autor (2024)

3.5 Plasticidade e resposta à interação GA

Dentre os clones avaliados (Tabela 11), os clones BRS2336 e 09 apresentaram as menores estimativas do quadrado médio de ambientes dentro de genótipos (QMA_j/G_i), indicando, assim, uma menor plasticidade fenotípica. Esses genótipos, provavelmente, apresentaram menor variação fisiológica ou morfológica nos três ambientes avaliados, evidenciando maior estabilidade fenotípica (FERRÃO *et al*., 2008). Por sua vez, as cultivares BRS1216 e BRS2357 exibiram maior plasticidade e, portanto, maior variação no desempenho produtivo entre os ambientes testados. A plasticidade fenotípica é um aspecto crítico para se compreender como os diferentes clones de cafeeiro respondem às variações ambientais sob avaliação da adaptabilidade ecológica (ZHANG *et al*., 2021) .

3.6 Contribuição sobre a interação GA (S^2GA e SQGA)

O parâmetro da contribuição relativa para a interação GA, também chamado de ecovalência (w_i, em %), indica quanto um determinado genótipo contribuiu para a interação GA. BRS2336 e o Clone 15 apresentaram os menores postos nessa classificação dentre os 15 genótipos avaliados, indicando serem os mais estáveis em relação à produtividade ao longo dos diferentes ambientes estudados (PLAISTED; PETERSON, 1959; WRICKE, 1965), ao contrário de BRS1216 e BRS2357.

A menor contribuição sobre a interação GA é crítica para a recomendação de clones em regiões com grande variabilidade ambiental. Ademais, Beksisa *et al*. (2018) enfatizaram a importância de genótipos que apresentam menor interação GA com o ambiente para garantir estabilidade no rendimento.

Nascimento *et al*. (2010) destacaram a eficácia de metodologias não paramétricas para eliminar a influência de pontos extremos, garantindo uma avaliação mais precisa da estabilidade genotípica. Esses dois estimadores, S^2GA e SQGA, permitem estudar a invariância do ambiente e podem ser aplicados em um número limitado de ambientes. No entanto, têm como desvantagens, a imprecisão do parâmetro de estabilidade, que é inerente a qualquer componente de variância, e a falta de informações sobre os ambientes avaliados, bem como sobre como os cultivares respondem às variações ambientais (CRUZ *et al*., 2012).

3.7 Análise de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart; Russell (1966)

Para a apresentação dos resultados obtidos pelo método de Eberhart; Russell (1966), utilizamos a análise dos coeficientes de regressão (β_1) dos valores fenotípicos e das variâncias dos desvios (σ^2) em relação ao índice ambiental. Esse método avalia a adaptabilidade dos genótipos pelos coeficientes de regressão e a estabilidade pelas variâncias dos desvios, fornecendo estimativas precisas sobre o seu desempenho em diferentes condições ambientais.

Os resultados obtidos com a metodologia de Eberhart; Russell (1966) revelam aspectos significativos sobre a adaptabilidade e previsibilidade dos clones de *C. canephora* no Amazonas. A maioria dos oito clones selecionados apresentou adaptabilidade ampla, evidenciando um bom desempenho em diversas condições ambientais, com exceção do clone BRS 2357, que demonstrou adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, o que pode restringir o seu uso em regiões com condições ideais.

A previsibilidade também é um fator de grande relevância. Assim, a maior parte dos clones selecionado se mostrou imprevisível, o que pode representar um desafio para os agricultores e melhoristas, que buscam consistência na produção. Em contraste, o Clone 15 se destacou pela sua alta previsibilidade aliada à ampla adaptabilidade, configurando-se como uma opção valiosa para o cultivo em diferentes ambientes.

Esses resultados sugerem a necessidade de uma seleção criteriosa dos clones para o cultivo. Genótipos como o Clone 15, que combinam alta adaptabilidade e previsibilidade, são preferíveis para maximizar a eficiência e a estabilidade da produção. Para clones menos previsíveis, pode ser necessário desenvolver estratégias de manejo específicas para mitigar os impactos da variabilidade ambiental, tais como irrigação suplementar, manejos equilibrados de nutrição, dentre outros aspectos.

4. CONCLUSÃO

A interação genótipo x ambiente (GA) para a produtividade de grãos de *C. canephora* no Amazonas se apresentou como de natureza complexa.

Os clones BRS 1216, Clone 15, BRS 2336, BRS 2357, BRS 2299 e Clone 09 se destacaram pela sua superioridade produtiva, comportamento previsível e capacidade de resposta às variações ambientais em diferentes locais, sendo recomendados em relação a produtividade para o estado do Amazonas.

Os clones BRS 2336 e Clone 15 apresentaram menor plasticidade fenotípica e maiores estabilidade fenotípica, ou seja, menos invariantes perante os ambientes amazonenses.

Os clones BRS2336 e o Clone 15 contribuíram mais com a interação GA.A construção de fichas de recomendação pela análise multi-informacional de adaptabilidade e estabilidade, que representaram uma ferramenta prática capaz de refinar e complementar informações sobre genótipos superiores de cafeeiros canéfora, escolhidos para o cultivo em regiões específicas.

5. REFERÊNCIAS

ALBRECHT, J. C. *et al*. Adaptability and stability of irrigated wheat genotypes in the Cerrado of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1727-1734, 2007.

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMORIM, E. P. *et al*. Adaptability and stability inbred wheat lines of in São Paulo State. **Bragantia**, v. 65, p. 575-582, 2006.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.

BARBOSA, D. H. G. S. *et al*. Adaptability and stability of conilon coffee in areas of high altitude. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 7879-7888, 2014.

BEKSISA, L. *et al*. Genotype environment interaction and yield stability of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 4, p. 210-219, 2018.

BERGO, C. L. L. *et al*. Estimation of genetic parameters and selection of *Coffea canephora* progenies evaluated in Brazilian Western Amazon. **Coffee Science**, v. 15, e151663-e151663, 2020.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHE-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 384 p.

CARGNELUTTI FILHO, A. *et al*. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 571-578, 2007.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; FOGAÇA, C. M. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Revista Ceres**, v. 55, n. 4, p. 243-250, 2008.

CASSAMO, C. T. *et al*. Shade and Altitude implications on the physical and chemical attributes of green coffee beans from Gorongosa Mountain, Mozambique. **Agronomy**, v. 12, p. 2540, 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília: Conab, 2024.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2012. v. 1

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2016.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by SILVA and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, v. 2, 2003.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. v. 1. 480 p.

DAMATTA, F. M. *et al*. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.

DAVIS, A. P. *et al*. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.

DAVIS, A. P. *et al*. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data: implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 167, n. 4, p. 357-377, 2011.

DAVIS, A. P. *et al*. Lost and Found: *Coffea stenophylla* and *C. affinis*, the Forgotten Coffee Crop Species of West Africa. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 521618, 2020.

de MORAIS, J. A. D. *et al*. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, e52095, 2020.

DIAS, R. E. B. A. *et al*. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de progênies F4 de *Coffea arabica*. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 508 - 516, 2017.

DOMINGUES, D. S.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Coffee - From Plant to Cup. **Agronomy**, v. 13, n. 9, p. 2346, 2023.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

EEUWIJK, F. A. V.; BUSTOS-KORTS, D. V.; MALOSETTI, M. What Should Students in Plant Breeding Know About the Statistical Aspects of Genotype Environment Interactions. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2119–2140, 2016.

ESPINDULA, M. C., *et al*. Café em Rondônia, *In*: PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I. (Ed,), **CAFÉ CONILON**: Gestão e Manejo com Sustentabilidade, Alegre, ES: CAUFES, 2017. p. 60-88

ESPINDULA, M. C. *et al*. Condução de cafeeiros *Coffea canephora*. *In*: MARCOLAN, A.; ESPINDULA, M. C. (org.). **Café na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 219-236

ESPINDULA, M. C. *et al*. **Novas cultivares de cafeeiros *Coffea canephora* para a Amazônia Ocidental Brasileira**: principais características. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2019.

ESPINDULA, M. C. *et al*. **Desempenho agronômico e análise econômica do cultivo de cafeeiros clonais no estado do Amazonas**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2022a.

ESPINDULA, M. C. *et al*. **Robustas Amazônicos**: os cafeeiros cultivados em Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2022b. 144.

ESPINDULA, M. C., *et al*. **Poda de formação em cafeeiros *Coffea canephora***. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2016. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia. embrapa.br/infoteca/handle/doc/1067652. Acesso em: 4 jul. 2023.

FERRÃO, R. G. *et al*. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br. Acesso em: 06 fev. 2024.

FERRÃO, R. G. *et al*. (ed.). **Cultivars of Conilon Coffee**. Vitória: Incaper, 2019.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 6, p. 742-754, 1963.

HAIR J. R. *et al*. **Multivariate Data Analysis**. 7. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2009.

FONSECA, A. F. A. da. **Análises biométricas em café Conilon (*Coffea canephora* Pierre)**. 1999. 121 f. Tese - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

FREITAS, M. L. M. *et al*. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* **(**Vell.) ex Steud. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, n. único, p. 95-102, 2006.

LEON, N. *et al*. Introduction to a special issue on genotype by environment interaction. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2081-2089, 2016.

LEROY, T. *et al*. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora*. II. Estimations of genetic parameters. **Euphytica**, v. 74, p.121-128, 1994.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 1, p.193-198, 1988.

MARCOLAN, A. L. *et al*. **Cultivo dos cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 67 p.

MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. **Café na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2015. v. 1. p. 281-307

MARTINS, M. Q. *et al*. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 238-242, 2019.

MEIRELES, E. J. L. *et al*. **Fenologia do cafeeiro**: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004-2005. Brasília: EMBRAPA Café; MAPA, 2009. 130 p. (Documento, 5).

MISTRO, J. C. **Estimativas de parâmetros genéticos visando o melhoramento do café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex. a. froehner)**. 2013. 152 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.

MONTAGNON, C. *et al*. Genetic parameters of several biochemical compounds from green coffee, *Coffea canephora*. **Plant Breeding**, v. 117, p. 576- 578, 1998.

MORAES, M. S. *et al*. Characterization of gametophytic selfincompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n.1, p. 1-11, 2018.

MORAES, M. S. *et al*. Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon. **Ciência Rural**, v. 50, n. 1, 2020.

MORI, A. L. B. *et al*. Coffee brews composition from *Coffea canephora* cultivars with different fruit-ripening seasons. **British Food Journal**, v. 122, n. 3, p. 827-840, 2020.

MOURA, W. D. M., *et al*. Adaptability and stability of organic-grown arabica coffee production using the modified centroid method. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 359-365, 2017.

MOURA, W. M. *et al*. Adaptability and stability of coffee genotypes in the organic cultivation in Minas Gerais, Brazil. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1936-1942, 2014.

MURAKAMI, D. M. *et al*. Some considerations about two methodologies for stability and adaptability analysis. **Ciência Rural**, v. 34, p. 71-78, 2004.

NASCIMENTO, M. *et al*. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 263-269, mar. 2009.

NASCIMENTO, M. *et al*. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 41-48, 2010.

OLIVEIRA, T. R. A. *et al*. Correlation among adaptability and stability assessment models in maize cultivars. Australian **Journal of Crop Science**, v. 11, n. 5, p. 516-521, 2017.

OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; ROCHA, M. M. Seleção de genótipos de feijão- caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva no Estado do Amazonas. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 3, p. 292-300, 2015.

PARTELLI, F. L. *et al*. Adaptability and stability of *Coffea canephora* to dynamic environments using the Bayesian approach. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 11608, 2022.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to 18 yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, v. 36, n. 2, p. 381-385, 1959.

PINTO, M. F. *et al*. Eficiência na seleção de progênies de cafeeiro avaliadas em Minas Gerais. **Bragantia**, v. 71, p. 1-8, 2012.

POLIZEL, A. C. *et al*. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 910-920, 2013.

PONTES, D. S. **Desempenho de genótipos de alfafa considerando modelos com diferentes estruturas da matriz de covariâncias e na análise multi-informação**. 2020. 74 f. Tese - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2020.

RAMALHO, A. R. *et al*. **Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto-Características agronômicas e agroindustriais**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2014.

RAMALHO, M. A. P. *et al*. A interação genótipos por ambientes. *In*: RAMALHO, M. A. P. *et al*. (org.). **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. p. 365-456

RAMALHO, A. R. *et al*. Progresso genético da produtividade de café beneficiado com a seleção de clones de cafeeiro 'Conilon', **Revista Ciência Agronômica**, v, 47, n, 3, p, 516-523, 2016

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

ROBERTSON, A. Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations: biometrical genetics. **Biometrics**, v. 15, n. 2, p. 219-226, 1959.

ROCHA, R. B. *et al*. Utilização do método Centroide para estudo de estabilidade e adaptabilidade ao ambiente. **Ciência Florestal**, v. 15, n.3, p. 255-266, 2005.

ROCHA, R. B. *et al*. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1531-1537, 2015.

RODRIGUES, W. N. *et al*. Estimativa de parâmetros genéticos em grupos de clones de café Conilon, **Coffee Science**, v. 7, n. 2, p. 177-186, 2012.

RODRIGUES, W. P. *et al*. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 2391-2399, 2013.

SANTOS, E. L. *et al*. Uni and multivariate methods applied to studies of phenotypic adaptability in maize (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 633-639, 2011.

SAKATA, W. M. An overview of genotype x environment interaction and yield stability analysis in applied plant breeding: great emphasis given to coffee (*Coffea arabica* L.). **International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology (IJARIT)**, , v. 11, n. 2, p. 117-123, 2021.

SCHMIDT, R. *et al*. Poda apical e vergamento da haste principal na formação de cafeeiros clonais. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 266-270, abr./jun. 2015.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

SILVA, V. A. *et al*. Adaptability, stability, and genetic divergence of conilon coffee in Alto Suaçuí, Minas Gerais, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 25-31, 2017.

SILVA, D. O. *et al*. Genetic progress with selection of *Coffea canephora* clones of superior processed coffee yield. **Ciência Rural**, v. 48, n. 3, 2018.

SOUZA, M. A. de; CARGNIN, A.; FOGAÇA, C. M. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Revista Ceres**, v. 55, n. 4, p. 243-250, 2008.

SOUZA, C. A. D. *et al*. Adaptability and stability of *Coffea arabica* lines in the Western Amazon. **Coffee Science**, v. 14, n. 2, p. 240-244, 2019.

TEIXEIRA, A. L. *et al*. Amazonian Robustas-new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. e323420318, 2020.

WRICKE, G. Zur berechnung der ökovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, v. 52, n. 91, p. 127-138, 1965.

ZHANG, S. *et al*. Evaluation of coffee ecological adaptability using Fuzzy, AHP, and GIS in Yunnan Province, China. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, p. 1-48, 2021.

6. CONCLUSÃO GERAL

A interação significativa entre genótipos e ambientes (GA) indica que o comportamento e desempenho produtivo dos clones de *C. canephora* variam conforme o ambiente, porém com os efeitos genéticos desempenhando um papel predominante na produtividade de grãos, rendimentos e uniformidade de maturação, reforçando a importância da seleção genética na cafeicultura.

O ambiente de Itacoatiara se mostrou mais favorável para os índices de rendimento e produtividade, enquanto Porto Velho se destacou pela maior uniformidade de maturação dos frutos.

Os clones BRS1216, Clone 15 e BRS2336 apresentaram superioridade produtiva, comportamento previsível e responsivo às variações ambientais, mostrando ampla adaptabilidade e alta estabilidade fenotípica, sendo promissores para o cultivo no Amazonas.

As cultivares BRS3210 e BRS3220 demonstraram alta uniformidade de maturação, com a BRS3210 adaptada a ambientes favoráveis e a BRS3220 a ambientes desfavoráveis. A BRS3220 também se destacou pelo alto rendimento de campo.

As fichas de recomendação de clones são ferramentas úteis para os melhoristas, extensionistas e agricultores na seleção de genótipos superiores de *C. canephora*, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da cafeicultura na Amazônia.

Os clones e cultivares Robustas Amazônicos avaliados apresentaram ciclos de maturação conforme o esperado, confirmando a sua adequação aos ambientes estudados.

Este trabalho gerou informações para melhoristas, extensionistas e agricultores na seleção e recomendação de cultivares mais adaptadas e produtivas de café robusta na Amazônia. Os resultados também contribuem para o desenvolvimento sustentável da cafeicultura na região, visando a otimização do desempenho agronômico e a melhoria da qualidade da produção de café.