FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ RONDÔNIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA – REDE BIONORTE

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA BEBIDA E PRODUTIVIDADE DOS CAFÉS (*Coffea* spp.) CULTIVADOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

CAROLINA AUGUSTO DE SOUZA

Porto Velho-RO

2022

CAROLINA AUGUSTO DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA BEBIDA E PRODUTIVIDADE DOS CAFÉS (*Coffea* spp.) CULTIVADOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Fundação Oswaldo Cruz Rondônia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Barros Rocha.

Porto Velho-RO

2022

Catalogação na fonte
Fundação Oswaldo Cruz
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde
Biblioteca de Saúde Pública

S729c Souza, Carolina Augusto de.
Caracterização da qualidade da bebida e produtividade dos cafés (coffea spp.) cultivados na Amazônia Ocidental/ Carolina Augusto de Souza. -- 2022.
viii, 78 f. : il. color. ; tab.

Orientador: Rodrigo Barros Rocha.
Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE) – Fundação Oswaldo Cruz Rondônia, Porto Velho-RO, 2022.

1. Café. 2. Cafeicultura. 3.Agricultura. 4. Coffe. arabica . 5. Coffea canephora. 6. Produtividade. I. Título.

CDD – 23.ed. – 633.73

Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica: Ana Paula Neves Longobuco – CRB/7-6876

CAROLINA AUGUSTO DE SOUZA

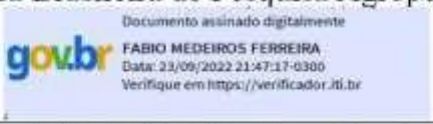
CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA BEBIDA E PRODUTIVIDADE DOS CAFÉS (*Coffea* spp.) CULTIVADOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, Fundação Oswaldo Cruz Rondônia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em 29/08/2022

Banca examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Barros Rocha (Orientador)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira
Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Lúcia Wadt
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Dr. Alexsandro Lara Teixeira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. Marcelo Curitiba Espindula
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Dedico aos meus pais

Ronaldo Guedes de Souza e

Maria Rosa Augusto de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus que me concedeu o dom da vida.

Aos meus pais, Ronaldo e Rosa, e minha irmã, Suély, que são a fortaleza dos meus princípios.

Ao meu melhor amigo e futuro marido Ronaldo Willian, por acreditar mais em mim do que eu mesma, por sempre me ouvir e por me incentivar a ser uma pessoa melhor.

À minha amiga Edilaine, da faculdade para vida toda, por estar presente quando precisei. "Amizade é quando você encontra uma pessoa que olha na mesma direção que você, compartilha a vida contigo e te respeita como você é! " - Renato Russo.

Ao meu querido orientador Dr.Rodrigo Barros Rocha, por não poupar seus esforços e pelo total incentivo dedicados ao nosso trabalho durante esses quatro anos, além de ser um excelente profissional é uma pessoa idônea.

Aos pesquisadores Maurício e Jose Roberto, que disponibilizaram os laboratórios de cultura de tecido e de fitopatologia e ajudaram a alimentar e construir meu sonho de concluir essa etapa da minha vida.

A toda equipe de trabalho do café, e meus colegas estudantes de graduação, mestrado ou doutorando que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse terminar minha tese. Em especial ao estudante Rodrigo pelo auxilio durante a realização de trabalhos e juntamente com o Francisco terem sido ótimos amigos nesses anos.

Meus Agradecimentos vão também para Universidade Federal de Rondônia.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE).

Aos professores da BIONORTE, pelos ensinamentos e dedicação ao programa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pela oportunidade de estágio e pelo suporte físico e material no desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

A todos, que de maneira geral, contribuíram para elaboração desta pesquisa.

O doutorado é a finalização de um ciclo que se iniciou em 2010. Foram cinco anos de graduação (2010-2015), dois anos de mestrado (2015-2017) e quatro anos de doutorado(2018-2022)!

Gratidão pela oportunidade!

Valeu a pena? Tudo vale a penaSe a alma não é pequena.

Quem quer passar além do BojadorTem que passar além da dor.

Deus ao mar o perigo e o abismo deu,Mas nele é que espelhou o céu.

(Fernando Pessoa)

SOUZA, Carolina Augusto de. **Caracterização da qualidade da bebida e produtividade dos cafés (*coffea* spp.) Cultivados na Amazônia ocidental.** 2022. 110 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2022.

RESUMO

Na região amazônica o *Coffea canephora* apresenta maior adaptabilidade, comparado à espécie *Coffea arabica* que tem seu cultivo limitado pela precocidade de maturação e altas taxas de abortamento floral em regiões de altas temperaturas diurnas e noturnas. Ambas espécies possuem importância econômica nacional, o seu valor é determinado pela produtividade e qualidade da bebida. Esse trabalho teve como objetivos: caracterizar a produtividade e a qualidade da bebida de linhagens de *C. arabica* cultivadas em ambientes da Amazônia Ocidental (Capítulos I e II), e otimizar a polinização *in vitro* e procedimentos de microscopia de fluorescência para caracterizar a autoincompatibilidade gametofítica de genótipos de *Coffea canephora*, buscando impactar na eficiência de polinização dessa espécie (Capítulo III). Para avaliação da produtividade e qualidade de *C. arabica* foram considerados quatro e três ensaios de competição clonal respectivamente instalados em diferentes municípios dos estados de Rondônia e Acre. Cada ensaio foi composto por 21 linhagens e 4 cultivares referências, avaliadas como testemunhas. No capítulo 3, para otimização da metodologia de caracterização do grupo de compatibilidade foi considerado uma população de melhoramento da espécie *C. canephora* composta por 80 genótipos e foram utilizadas técnicas de polinização *in vitro*. O estudo da produtividade mensurada em sacas por hectare, indicou as linhagens 12 e 13 obtiveram resultados superiores às testemunhas no ambiente de Alta Floresta D'Oeste-RO, local que se diferencia dos demais por apresentar maior altitude e menor temperatura. Por sua vez, o estudo da qualidade da bebida indica a importância do efeito da interação genótipo x ambiente, duas linhagens se destacaram por associar produtividade com qualidade de bebida: linhagem 2 e 11. No capitulo três a utilização de plantas testadoras dos grupos de compatibilidade permite reduzir o número de hibridações necessárias para caracterizar a compatibilidade dos clones (uma redução de 79%). O método de polinização *in vitro* levaram a um aumento na eficiência da polinização, sem apresentar contaminação causada por presença de grãos de pólen de plantas não doadoras. O uso da microscopia de fluorescência permitiu a redução do tempo necessário para diagnosticar a compatibilidade nas hibridizações. O teste de germinação permitiu identificar a viabilidade polínica.

Palavras-chave: *C. arabica; C. canephora;* Produtividade; Qualidade da bebida; Autoincompatibilidade.

SOUZA, Carolina Augusto de. **Characterization of the beverage quality and productivity of coffees (*coffea* spp.) cultivated in the western Amazon**. 2022. 110 f. Thesis (PhD in Biodiversity and Biotechnology) – Federal University of Rondônia, Porto Velho, 2022.

ABSTRACT

In the Amazon region, *Coffea canephora* has greater adaptability, compared to the *Coffea arabica* species, which has its cultivation limited by the precocity of maturation and high rates of floral abortion in regions of high daytime and nighttime temperatures. This study aimed to characterize the productivity and beverage quality of *C. arabica* strains cultivated in Western Amazon environments (Chapters I and II), and to optimize *in vitro* pollination and fluorescence microscopy procedures to characterize the gametophytic self-incompatibility of *Coffea canephora* genotypes, seeking to impact the pollination efficiency of this species (Chapter III). To evaluate the productivity and quality of *C. arabica*, four clonal competition assays installed in different municipalities in the states of Rondônia and Acre were considered. Each trial consisted of 21 lines and 4 reference cultivars, evaluated as controls. In chapter 3, to optimize the methodology of characterization of the compatibility group, a breeding population of the species *C. canephora* was considered, composed of 80 genotypes and *in vitro* pollination techniques were used. The study of productivity measured in bags per hectare, indicated that the environments of Ariquemes, Porto Velho and Rio Branco were not suitable for the cultivation of *C. arabica*. Lines 12 and 13 obtained better results than the controls in the environment of Alta Floresta D'Oeste-RO, a place that differs of the others due to its higher altitude and lower temperature. In turn, the study of the quality of the beverage indicates the importance of the effect of the genotype x environment interaction, resulting from the differentiated quality of the beverage from the strains cultivated in different environments. Two strains stood out for associating productivity with beverage quality: strain 2 with a final score of 77.6, characterized by exotic, fruity and citrus nuances, and strain 11 with a final score of 75.1; with fruity, citrus and sweet nuances. In chapter three, the use of test plants from the compatibility groups makes it possible to reduce the number of hybridizations necessary to characterize the clones' compatibility (a 79% reduction). The *in vitro* pollination method led to an increase in pollination efficiency, without showing contamination caused by the presence of pollen grains from non-donor plants. The use of fluorescence microscopy allowed the reduction of the time needed to diagnose the compatibility in hybridizations. The germination test allowed the identification of pollen viability.

Keywords: *C. arabica; C. canephora; P*roductivity; Beverage quality; Autoincompatibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da localização das cidades onde foram desenvolvidos os experimentos. **22**

Figura 2. Temperaturas médias e precipitação mensal dos municípios. **23**

Figura 3. GGE biplot "mean vs. stability" e "which won where" para a produtividade de café beneficiado. **28**

Figura 4. Mapa da localização e da altitude do experimento realizado em Alta Floresta d'Oeste. **40**

Figura 5. Mapa da localização e da altitude do experimento realizado em porto velho-RO. **41**

Figura 6. Mapa da localização e da altitude do experimento realizado em Rio Branco-AC. **42**

Figura 7. Biplot do ipca1 (82%) *versus* notas finais de qualidade da bebida de 21 linhagens de *Coffea arabica* e 4 testadores avaliados em três ambientes da Amazônia Ocidental. **51**

Figura 8. Biplot da produtividade média de três anos de café e os índices de qualidade da bebida. **53**

Figura 9. Grãos de pólen em meio de cultura no momento da transferência sob luz branca (100x). **63**

Figura 10. Método de polinização *in vitro.* **64**

Figura 11. Tubos polínicos desenvolvidos visualizados nos estigmas de plantas receptoras compatíveis usando microscopia de fluorescência 30 horas após a polinização *in vitro* (a 200x). **66**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo das principais características dos ensaios avaliados nos municípios de Alta Floresta D'Oeste – RO, Ariquemes – RO, Porto Velho – RO, Rio Branco – AC **27**

Tabela 2. Resumo da ANOVA dos efeitos de linhagens e de anos e dos principais parâmetros genéticos estimados no ensaio de seleção avaliado no município de Alta Floresta D'Oeste – RO nos anos de 2014-2015, 2015-2016, 2016- 2017 **30**

Tabela 3. Estimativas de produtividade de café beneficiado e do progresso genético com a seleção de linhagens no município de Alta Floresta D'Oeste – RO. **31**

Tabela 4. Lista das linhagens e cultivares controle, com suas respectivas instituições de origem **38**

Tabela 5. Resumo da média das notas finais de qualidade da bebida de 21 linhagens de Coffea arabica e 4 testadores avaliados em três ambientes da Amazônia Ocidental. **47**

Tabela 6. Resumo da análise de variância e parâmetros genéticos estimados dos notas finais de qualidade da bebida de 21 linhagens de *Coffea arabica* e 4 testemunhas avaliadas em três ambientes da Amazônia Ocidental. **50**

Tabela 7. Resumo das hibridazações realizadas de 30 genótipos com plantas testadoras dos grupos de compatibilidade I, II e III. **69**

Tabela 8. Eficiência e taxa de erro da polinização *in vitro* considerando o número de hibridações realizadas com plantas testadoras dos grupos de compatibilidade (I, II e III). **70**

Tabela 9. Descrição das fontes de erro e das formas de controle mais importantes para diagnóstico da compatibilidade utilizando polinização *in vitro* e microscopia de fluorescência. **71**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 10

1.1 OBJETIVOS GERAL **12**

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS **12**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13

2.1 *C. arabica e C. canephora* **13**

2.2 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE *C. arabica* NA AMAZÔNIA OCIDENTAL **14**

2.3 AUTOINCOMPATIBILIDADE GAMETOFÍTICA DE *Coffea canephora* **16**

3. CAPÍTULOS 18

3.1 CAPÍTULO I- ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS DE *Coffea arabica* NA AMAZÔNIA OCIDENTAL **18**

3.1.1 Introdução 19

3.1.2. Material e métodos 21

3.13. **Resultados e discussão 27**

3.1.4 Conclusão 32

3.1.5 Referencias 32

3.2 CAPÍTULO II: INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE PARA O PERFIL SENSORIAL DE LINHAGENS DE *Coffea arabica* EM REGIÕES DE ALTA TEMPERATURA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL **35**

3.2.1 Introdução 37

3.2.2. Material e métodos 38

3.2.3. Resultados e discussão 45

3.2.4 Conclusão 54

3.2.5 Referencias 55

3.3 CAPÍTULO III: POLINIZAÇÃO *IN VITRO* E MICROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO DA AUTOINCOMPATIBILIDADE GAMETOFÍTICA DE *Coffea canephora Pierre* EX A. FROEHNER **59**

3.3.1 Introdução 60

3.3.2. Material e Métodos 61

3.3.3. Resultados e discussão 67

3.3.4 Conclusões 72

3.3.5 Referencias 72

4. CONCLUSÃO 75

REFERÊNCIAS. 76

1. INTRODUÇÃO GERAL

O *Coffea arabica* é uma espécie nativa de florestas tropicais da Etiópia que se distribui por uma faixa de altitude entre 1600-2800 metros em relação ao nível do mar, região essa em que, a temperatura do ar apresenta média anual de 20º C (MOAT *et al.* 2017). Por sua vez o *Coffea canephora*, de origem nas regiões equatoriais de baixa altitude da bacia do Rio Congo, possui ampla distribuição geográfica, ocorrendo em uma faixa tropical e subtropical do continente africano, da República do Guiné e Libéria ao Sudão e Uganda, com elevada concentração de variedades botânicas na República do Congo (FERRÃO *et al.* 2017).

A região amazônica apresenta clima equatorial úmido com altas temperaturas diurnas e noturnas e altitudes baixas. O *C. canephora* tem uma melhor adaptação a região amazônica em comparação com a espécie *C. arabica*, que tem o seu cultivo limitado pela precocidade de maturação dos frutos, que amadurecem no período de maior pluviosidade na região, entre os meses de fevereiro e abril, e pelo abortamento floral que acontece nos meses mais quentes (TEIXEIRA *et al.* 2014; RODRIGUES *et al.* 2016).

Em um cenário de mudanças climáticas, cultivares de *C. arabica* adaptadas às regiões de clima tropical úmido serão importantes para segurança da produção do cafeeira no país. Linhagens de *C. arabica* com maior adaptabilidade à altas temperaturas foram relatadas por Fazuoli *et al.* (2007), Bergo *et al.* (2008) e Martins *et al.* (2016), entretanto na Região Amazônica são escassas as avaliações de adaptabilidade e estabilidade para essa espécie.

Tanto a produtividade quanto a qualidade de bebida do *C. arabica* se caracterizam pela interação entre genótipos e ambientes (GxE), ou seja pelo comportamento diferenciado dos genótipos cultivados em diferentes ambientes, seja devido a interação com fatores previsíveis (adubação, preparo do solo, irrigação...) ou com fatores imprevisíveis (clima, incidência de pragas e doenças) (GENETI, 2019). No melhoramento genético a interação genótipo x ambientes dificulta a identificação de linhagens superiores nos processos de seleção e recomendação de cultivares (TEODORO *et al.* 2016). Por sua vez a produtividade e a manutenção da qualidade da bebida do *C. canephora* é depende da eficiência de polinização, uma vez que essa espécie se caracteriza pela fecundação cruzada e autoincompatibilidade.

Para a seleção de plantas, diferentes estratégias podem ser utilizadas para quantificar a estabilidade e a adaptabilidade das linhagens de *C. arabica*. Métodos baseados em estatística multivariada apresentam a vantagem de permitir a avaliação simultânea de grande número de

genótipos, caracterizando o desempenho diferencial dos genótipos em diferentes ambientes (TEN CATEN *et al.* 2011; ROCHA *et al.* 2015; SANTOS *et al.* 2017). O modelo GGE biplot e o modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (AMMI) são ferramentas adequadas para a avaliação simultânea de inúmeros genótipos, quantificando seu desempenho em diferentes ambientes em uma dispersão biplot (SANTOS *et al.*, 2017; YAN *et al.* 2000).

Outro método utilizado para análise de interação genótipo ambiente é o Lin e Binns (1988), que consiste em ponderar os desvios de comportamento das cultivares nos ambientes associados à resposta relativa de cada genótipo, com a finalidade a identificação de genótipos com desempenho superior nos ambientes, por meio de estatística, denominada de Pi. As vantagens do método se referem à maior facilidade na interpretação e especificidade de recomendação dos cultivares a grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis (CARGNIN *et al*, 2008; PELUZIO *et al.* 2008).

As espécies *C. arabica* e *C. canephora* também apresentam diferentes sistemas reprodutivos, o *C. arabica* é uma espécie autógama e o *C. canephora* é alógama, apresentando autoincompatibilidade do tipo gametofítica. A reação de incompatibilidade ocorre entre o tubo polínico e o grão de pólen, que não deve compartilhar o mesmo alelo da planta receptora (LASHERMES *et al.* 1996; NOWAK *et al.* 2011).

Na cafeicultura clonal, o plantio de clones de *C. canephora* não compatíveis pode comprometer a produtividade e a qualidade dos grãos devido a menor eficiência da polinização e aumento na taxa de grãos do tipo moca (FERRÃO *et al.* 2017). A mistura de grãos tipo chato e moca influenciam negativamente na qualidade da bebida, pois durante a torra do café os grãos maiores torram lentamente, enquanto os menores torram rapidamente e queimam, diminuindo a qualidade da bebida (CARVALHO SILVEIRA *et al.* 2015). No *C. canephora* a autoincompatibilidade tem sua expressão governada por apenas um gene multialélico identificado pela letra S (BERTHAUD, 1980). É ligada aos alelos S1, S2, S3 e S4 (CONAGIN; MENDES, 1961; BERTHAUD, 1980). Embora avaliações no centro de origem indiquem a existência de até cinco formas alélicas do gene S (OMOLAJA e FAWOLE, 2004), observações de campo indicam a ocorrência de apenas três formas alélicas na expressão desta característica em germoplasma brasileiro (S_1, S_2 e S_3) (MORAES *et al.* 2018; CONAGIN e MENDES, 1961; FERRÃO *et al.* 2017). Neste contexto, o presenteestudo tem como hipótese central: existem linhagens de *C. arabica* de maior adaptabilidade e estabilidade para ambientes da Amazônia Ocidental e a metodologia de polinização *in vitro* é satisfatória para determinação dos grupos de compatibilidade de *C. canephora*.

Este documento foi organizado de forma a apresentar as pesquisas realizadas com a espécie *C. arabica* e com a espécie do *C. canephora*. O primeiro capítulo apresenta a quantificação da interação genótipo x ambientes de linhagens de *C. arabica* que fazem parte do programa de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em quatro diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, visando à seleção de linhagens produtivas para a região.

No segundo capítulo é estudada a interação genótipo x ambiente da qualidade da bebida das linhagens de *C. arabica* cultivadas em três ambientes da Amazônia Ocidental, visando subsidiar a seleção de linhagens que associem maior qualidade de bebida e maior produtividade.

No terceiro capítulo é descrita uma metodologia para otimizar a polinização *in vitro* utilizando procedimentos de microscopia de fluorescência para caracterizar a autoincompatibilidade gametofítica de genótipos de *Coffea canephora*.

1.1 OBJETIVOS GERAL:

- Subsidiar a seleção de novas linhagens de *C. arabica* de maior adaptabilidade e estabilidade na região da Amazônia Ocidental que tenha qualidade de bebida e fornecer subsídios para manipulação da autoincompatibilidade gametofítica de *C. canephora* visando otimizar a metodologia de polinização *in vitro*.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Quantificar a interação genótipo x ambientes de linhagens de *C. arabica* em quatro diferentes ambientes da Amazônia Ocidental,
- Quantificar o efeito da interação genótipo x ambiente na qualidade da bebida de linhagens de *C. arabica* em três ambientes da Amazônia Ocidental.
- Caracterizar uma metodologia para determinar o grupo de compatibilidade de *C. canephora* visando a eficiência de polinização e caracterização de clones.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 C. arabica e C. canephora

O café pertence à família *Rubiaceae*, subfamília *Ixoroideae*, tribo *Coffeeae* DC. e compreende os gêneros *Coffea* L. e *Psilanthus Hook*.f. Estes gêneros agrupam 124 espécies de acordo com a atualização mais recente, que se distribui pelas regiões tropicais do mundo (DAVIS *et al.*, 2011). Duas espécies são utilizadas de maneira significativa o *Coffea arabica Linnaeu* de origem do sudoeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia (CARVALHO, 2008). Uma faixa de altitude entre 1600-2800 metros em relação ao nível do mar, essa em que, a temperatura do ar apresenta baixa variação e média anual de 20º C representa cerca de 70 % da produção mundial (MOAT *et al.* 2017). Por sua vez o *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, de origem nas regiões equatoriais de baixa altitude e úmidada bacia do Rio Congo, possui ampla distribuição geográfica, ocorrendo em uma faixaocidental e central tropical e subtropical do continente africano, da República do Guiné e Libéria ao Sudão e Uganda, com elevada concentração de tipos na República do Congo (CRAPARO *et al.* 2015).

O Brasil é o maior produtor de café do mundo com aproximadamente 53 milhões de sacas de 60 kilos de café beneficiadas no ano de 2022 sendo 67% da espécie do *C. arabica* e 33% da espécie do *C. canephora* (Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB, 2022).

As duas principais espécies utilizadas *C. canephora* e *C. arabica,* possuem avaliações sensoriais conforme seus atributos organolépticos, as bebidas originadas do *C. arabica* são consideradas melhores, por esse motivo durantes anos as pesquisas para classificação e eventos de qualidade eram voltadas em sua maioria para essa espécie, além de possuir um valor econômico maior que o *C. canephora,* entretanto nos últimos anos começou a haver uma preocupação com a classificação da bebida originada do *C. canephora* até então considerada de qualidade inferior, sendo elaborado um protocolo de degustação próprio para aespécie, em 2010 a OIC lançou o Protocolo de Degustação de Robusta Fino (PDRF), com a finalidade de uniformizar a classificação da bebida dessa espécie internacionalmente.

A qualidade da bebida é uma característica influenciada tanto pelo genótipo quanto pelo ambiente, uma vez que aroma e sabor dos grãos também são influenciados por características edafoclimáticas (SUNARHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014).

2.2 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE *C.* NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

O cultivo de *C. arabica* é em regiões da Amazônia Ocidental é limitado pela precocidade de maturação dos seus frutos, que amadurecem no período de maior pluviosidade na região, entre os meses de fevereiro e abril, e pela sua menor adaptação a regiões de baixas altitudes e climas quentes em comparação com a espécie *C. canephora* (TEIXEIRA *et al.* 2014; RODRIGUES *et al.* 2016). O abortamento floral pode ser observado em regiões com ocorrências de temperaturas acima de 30ºC durante longos períodos na fase do florescimento (FERREIRA *et al.* 2013; RODRIGUES *et al.* 2016).

O zoneamento climático para o cultivo do café desenvolvido para o estado de Rondônia classifica as regiões aptas para plantio aquelas com temperatura entre 22º e 26º C e déficit hídrico acumulado inferior a 200 mm. A falta de informações sobre o desenvolvimentodo café arábica em regiões marginais para o cultivo na Amazônia Ocidental limita o cultivo ea seleção de novos materiais (TEIXEIRA *et al.* 2014).

A avaliação de novas linhagens em regiões de baixa altitude e altas temperaturas pode contribuir para o desenvolvimento de novas cultivares de maior resiliência as mudanças climáticas. Segundo o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), nos últimos cinquenta anos o Brasil teve um aumento de 0,7º C na temperatura, valor esse mais alto que a média de aquecimento global de 0,64º C (FERREIRA *et al.* 2017). Na cafeicultura temperaturas elevadas associadas a maiores períodos de estiagem podem resultar em abortamento de flores, desuniformidade de maturação, menor produtividade e maior precocidade na maturação dos frutos (PETEK *et al.* 2009; CAMARGO, 2010).

A produtividade e a qualidade da bebida são desejáveis em uma cultivar, o café torrado ou café solúvel são utilizados para o preparo da bebida, os quais se originam da industrialização de grãos de café beneficiados, também conhecido como café cru (MATIELLO *et al.*, 2010). Diversas etapas são realizadas para possibilitar o preparo de uma bebida saborosa de café, desde da escolha da variedade a implantação e manejo do cafezal, colheita, armazenamento e beneficiamento dos grãos (REZENDE *et al.*, 2007a; MATIELLO *et al.*, 2002).

As bebidas originárias das espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* possuem atributos distintos que caracterizam a espécie. O *Coffea arabica* produz uma bebida muito apreciada no mercado mundial, tendo uma alta demanda e valor econômico (MALTA *et al.*, 2008). Segundo Mendonça *et al.* (2005) esse fato é devido ao *C. arabica* apresentar um

equilíbrio entre os compostos químicos desejáveis, de acordo com o padrão de qualidade de café.

O café que chega ao consumidor, é resultado de diversas etapas distintas da produção agrícola, passando de fruto quando é recém colhido a um grão após passar pelo beneficiamento sendo assim diferenciado dos demais grãos cultivados em larga escala, por apresentar certas especialidades, tais como elevado teor de água, aproximadamente 60% (bu)e desuniformidade em relação à maturação (RESENDE *et al.*, 2009). Para a qualidade final doproduto é importante conhecer tanto o desenvolvimento do fruto quanto a classificação do grão.

A espécie *C. canephora* produz uma bebida com alto teor de cafeína e ácida, devido à grande quantidade de sólidos solúveis (MOURA *et al.* 2007), fato que também resulta no gosto mais pronunciado da sua bebida (NASCIMENTO *et al.* 2007). O *C. canephora* se caracteriza pela sua maior produtividade, resistência a doenças e maior rendimento após o processo de torração quando comparado ao *C. arabica* (RIBEIRO *et al.* 2014).

A qualidade da bebida depende tanto da linhagem cultivada quanto dos efeitos do ambiente (SUNARHARUM *et al.* 2014). Os principais atributos da bebida avaliados durante a prova de xícara, tais como a acidez, o corpo, o sabor e aroma são afetados pelo ciclo de maturação e nutrição das plantas (ALVES *et al.* 2011). O desempenho diferencial das plantas é avaliado considerando os ambientes que favorecem ou que reduzem a qualidade da bebida produzida nesses locais (ROCHA *et al.* 2016). Em ambientes marginais para o cultivo é importante a seleção de materiais que associem uma maior adaptabilidade entendida com desempenho superior, a uma maior estabilidade definida como a capacidade da linhagem manter seu comportamento em diferentes ambientes.

A qualidade da bebida do café é quantificada em um teste de análise sensorial, que tem como objetivo caracterizar o perfil organoléptico do café usando terminologia estabelecida pela Organização Internacional do Café (OIC) atribuindo notas conforme o protocolo e os atributos da bebida do café (CHENG *et al.* 2016). Essa técnica além de classificar o café influencia na sua valorização econômica. Bebidas com notas acima de 80 pontos, são considerados especiais com valor econômico que pode alcançar 40 a 80% a mais que os cafés commoditie (MARTINEZ *et al.* 2014)**.**

2.3 AUTOINCOMPATIBILIDADE GAMETOFÍTICA DE *COFFEA CANEPHORA*

O *C. canephora* é uma planta que apresenta a fecundação cruzada e autoincompatibilidade, essa característica favorece a manutenção da variabilidade genética diminuindo a possibilidade de expressão de alelos recessivos e dos efeitos causados pela depressão endogâmica. Não é necessário emasculação das flores para a realização de cruzamentos.

A capacidade de se evitar a autofecundação é uma importante característica do sistema reprodutivo de várias espécies vegetais alógamas, incluindo a espécie *Coffea canephora,* eque evoluiu como uma forma de evitar os efeitos deletérios da endogamia (CASTRIC e VEKEMANS, 2004). A autoincompatibilidade (AI) é um mecanismo fisiológico que impede uma planta fértil de formar sementes viáveis quando fertilizada por seu próprio pólen (SCHIFINO-WITTMANN e DALL'AGNOL, 2002). O impedimento à autofecundação deve-se a paralisação do desenvolvimento dos tubos polínicos, que impossibilita a fertilização do gametófito feminino (BERTHAUD, 1980).

O *C. canephora* apresenta autoincompatibilidade gametofítica e a reação de incompatibilidade ocorre entre o tubo polínico e o grão de pólen, que não deve compartilhar o mesmo alelo da planta receptora (LASHERMES *et al.*, 1996; NOWAK *et al.*, 2011). Nesta espécie, a autoincompatibilidade tem sua expressão governada por apenas um gene multialélico identificado pela letra S (BERTHAUD, 1980).

Na cafeicultura clonal, o plantio de clones não compatíveis pode comprometer a produtividade e a qualidade dos grãos devido a menor eficiência da polinização e aumento na taxa de grãos do tipo moca (FERRÃO *et al.*, 2017). Embora avaliações no centro de origem indiquem a existência de até cinco formas alélicas do gene S (OMOLAJA e FAWOLE, 2004), observações de campo indicam a ocorrência de apenas três formas alélicas na expressão desta característica em germoplasma brasileiro (S_1, S_2 e S_3) (MORAES *et al.*, 2018; CONAGIN e MENDES, 1961; FERRÃO *et al.*, 2017).

Apesar da incompatibilidade do *C. canephora* ter sido relatada ainda na década de 60, poucos trabalham se dedicaram a caracterizar a compatibilidade, entre os quais destacam-se: Devreux *et al.* (1959) observaram que após a autopolinização o tubo polínico para seu desenvolvimento. Conagin e Mendes (1961) e Berthaud (1980) levantaram evidências de que a autoincompatibilidade deve ser governada pela ação de um único gene, com três formas alélicas. No centro de origem e de diversificação desta espécie, Omolaja e Fawole (2004) quantificaram a interação de cinco formas alélicas na expressão desta característica.

Lashermes *et al.,* (1996) identificaram um marcador molecular associado a essa característica pelo desenvolvimento de populações duplo-haploídes, homozigotas para o gene S. De Franceschi *et al.* (2012) descreveram que a incompatibilidade se deve a interação de glicoproteínas específicas no estigma da flor e nos grãos de pólen, que se combinam para formação de dímeros. Nowak *et al.* (2011) caracterizaram o polimorfismo deste gene entre várias espécies do gênero *Coffea*. Mais recentemente Ferrão *et al.*, (2017) apresentaram uma revisão sobre a importância da compatibilidade para programas de melhoramento. Moraes *et al.* (2018) caracterizaram a genealogia do gene S em progênies de *C. canephora*, agrupando os genótipos em três grupos de compatibilidade diferentes. Lopes (2015) identificou plantas de cada um dos grupos que podem ser utilizadas como plantas testadoras.

3. CAPÍTULOS

3.1 CAPÍTULO I- ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS DE *Coffea arabica* NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

RESUMO: O cultivo do *Coffea arabica* em regiões da Amazônia Ocidental é limitado pela precocidade de maturação e pela sua menor adaptação a regiões de baixas altitudes e altas temperaturas. O objetivo neste trabalho foi quantificar a interação genótipo x ambientes de linhagens de *C. arabica* em quatro diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, buscando subsidiar a seleção de novas linhagens de maior adaptabilidade e estabilidade para a região. Nos meses de dezembro de 2012 e janeiro de 2013 foram instalados quatro ensaios de competição em municípios dos estados de Rondônia e Acre. Cada ensaio foi composto por 21 linhagens e 4 cultivares referências avaliadas como testemunhas indicadas para plantio na região sudeste. Na análise conjunta, não foram detectadas diferenças significativas entre as linhagens e testemunhas, a média da produtividade de café beneficiado foi de 12,05 sacas ha^{-1}. O ambiente de Alta Floresta Do Oeste apresenta maior produtividade sendo o único ambiente favorável para o cultivo de *C. arabica*, o qual se diferencia dos demais por apresentar altas altitudes e baixas temperaturas. Através das análises gráficas GGE biplot verificou-se que as cultivares 12 e 13 identificadas como H514-7-10-6- 9 e H514-7-10-6-2-3-9 obtiveram resultados superiores as testemunhas no município de Alta Floresta Do Oeste, Rondônia. O ganho de seleção obtido de 56% e 46% respectivamente para linhagens G12 e G13 apresentou desempenho superior à melhor testemunha. O germoplasma estudado não apresentou variabilidade genética que subsidie a seleção de plantas adaptadas às regiões de baixa altitude e altas temperaturas da região amazônica..

Palavras-chave: Café arábica, interação genótipo x ambientes, GGE biplot.

ABSTRACT: Growing *Coffea arabica* in regions of the Western Amazon is limited by early maturation and by its limited adaptation to regions of low altitude and high temperature. The aim of this study was to quantify the genotype × environment interaction of *C. arabica* lines in four different environments of the Western Amazon, seeking to assist selection of new lines with greater adaptability and stability for the region. In the months of December 2012 and January 2013, four clonal competitive trials were set up in municipalities of the states of Rondônia and Acre. Each trial was composed of 21 lines and 4 reference cultivars evaluated as controls recommended for planting in the southeast region. In combined analysis, significant differences were not detected between the cultivars and controls; the mean yield ofhulled coffee was 12.05 bags ha^{-1}. The Alta Floresta D'Oeste environment has higher yield and is the only environment favorable for growing *C. arabica*; that environment is differentiated from the others through its higher altitudes and low temperatures. Through GGE biplot analyses, lines 12 and 13, identified as H514-7-10-6-9 and H514-7-10-6-2-3-9, were found to have results superior to the controls in the municipality of Alta Floresta D'Oeste, RO. The gain from selection of 56% obtained from line G12 and the gain of 46% obtained from line G13 show performance superior to the best control. The germplasm studied does not have genetic variability that contributes to selection of plants for adaptationto the low altitude and high temperatures in the amazonic region.

Keywords : *Arabica coffee*, genotype × environment interaction, GGE biplot.

3.1.1 Introdução

As espécies do gênero *Coffea* têm seu Centro de Origem em regiões do continente africano que se caracterizam pela chuva abundante e bem distribuída, com umidade do ar aproximando-se da saturação na época das chuvas (CRAPARO *et al.* 2015). O *Coffea arabica* é uma espécie nativa de florestas tropicais da Etiópia que se distribui por uma faixa de altitude entre 1600-2800 metros em relação ao nível do mar e a temperatura do ar apresenta baixa variação e média anual de 20º C (MOAT *et al.* 2017).

O cultivo do *C. arabica* em regiões da Amazônia Ocidental é limitado pela precocidade de maturação dos seus frutos, que amadurecem no período de maior pluviosidadena região, entre os meses de fevereiro e abril, e pela sua menor adaptação a regiões de baixas altitudes e climas quentes em comparação com a espécie *C. canephora* (TEIXEIRA *et al.*

2014; RODRIGUES *et al.* 2016a). O abortamento floral pode ser observado em regiões com ocorrências de temperaturas acima de 30ºC durante longos períodos na fase do florescimento (FERREIRA *et al.* 2013; RODRIGUES *et al.* 2016b).

O zoneamento climático para o cultivo do café desenvolvido para o estado de Rondônia classifica as regiões aptas para plantio aquelas com temperatura entre 22º e 26º C e déficit hídrico acumulado inferior a 200 mm (MAPA, 2011). A falta de informações sobre o desenvolvimento do café arábica em regiões marginais para o cultivo na Amazônia Ocidental limita o cultivo e a seleção de novos materiais (TEIXEIRA *et al.* 2014).

A avaliação de novas linhagens em regiões de baixa altitude e altas temperaturas pode contribuir para o desenvolvimento de novas cultivares de maior resiliência as mudanças climáticas. Segundo o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), nos últimos cinquenta anos o Brasil teve um aumento de 0,7º C na temperatura, valor esse mais alto que a média de aquecimento global de 0,64º C (FERREIRA *et al.* 2017).

Na cafeicultura temperaturas elevadas associadas a maiores períodos de estiagempodem resultar em abortamento de flores, desuniformidade de maturação, menor produtividade e maior precocidade na maturação dos frutos (PETEK *et al.* 2009;CAMARGO, 2010). Embora tenham sido relatadas linhagens com maior adaptabilidade àaltas temperaturas (FAZUOLI *et al.* 2007; BERGO *et al.* 2008; MARTINS *et al.* 2016), na Região Amazônica são escassas as avaliações de adaptabilidade e estabilidade de cultivares dessa espécie.

O maior dispêndio de tempo e de recursos são necessários para avaliação de experimentos em diferentes ambientes, o que dificulta a avaliação de espécies perenes, tais como o *C. arabica* (FURLANI *et al.* 2007), de forma que essas avaliações são realizadas nas fases finais do programa, buscando o desenvolvimento de novos cultivares (SANTOS *et al.* 2011).

A interação genótipos x ambientes está associada às mudanças no desempenho dos genótipos em diferentes ambientes, que limita a seleção de cultivares de ampla adaptabilidade (RESENDE, 2002; ROCHA *et al.* 2016). Na ocorrência da interação genótipos x ambientes a seleção deve considerar genótipos de adaptabilidade geral visando à recomendação a um conjunto de ambientes, e a identificação de genótipos de adaptabilidade específica buscando capitalizar o efeito da interação selecionando indivíduos adaptados a ambientes específicos (BORÉM *et al.* 2017).

Diferentes estratégias podem ser utilizadas para quantificar a estabilidade e a adaptabilidade dos genótipos, entendidas como a previsibilidade de seu comportamento e desempenho superior em um conjunto de ambientes (SOUZA *et al.* 2017). Métodos baseados em estatística multivariada apresentam a vantagem de permitir a avaliação simultânea de grande número de genótipos, caracterizando o desempenho diferencial dos genótipos em diferentes ambientes (TEN CATEN *et al.* 2011; ROCHA *et al.* 2015; SANTOS *et al.* 2017).

O modelo GGE biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction) fundamenta-se na análise de componentes principais para representar o comportamento dos genótipos em um conjunto de ambientes, quantificando a interação em gráficos de duas dimensões que mostram as relações entre os ambientes e genótipos (YAN *et al.* 2007). Além disse apresenta também vantagens do uso de pontos referenciais nas análises de componentes principais, como realizado no método centroide (MOURA *et al.* 2017).

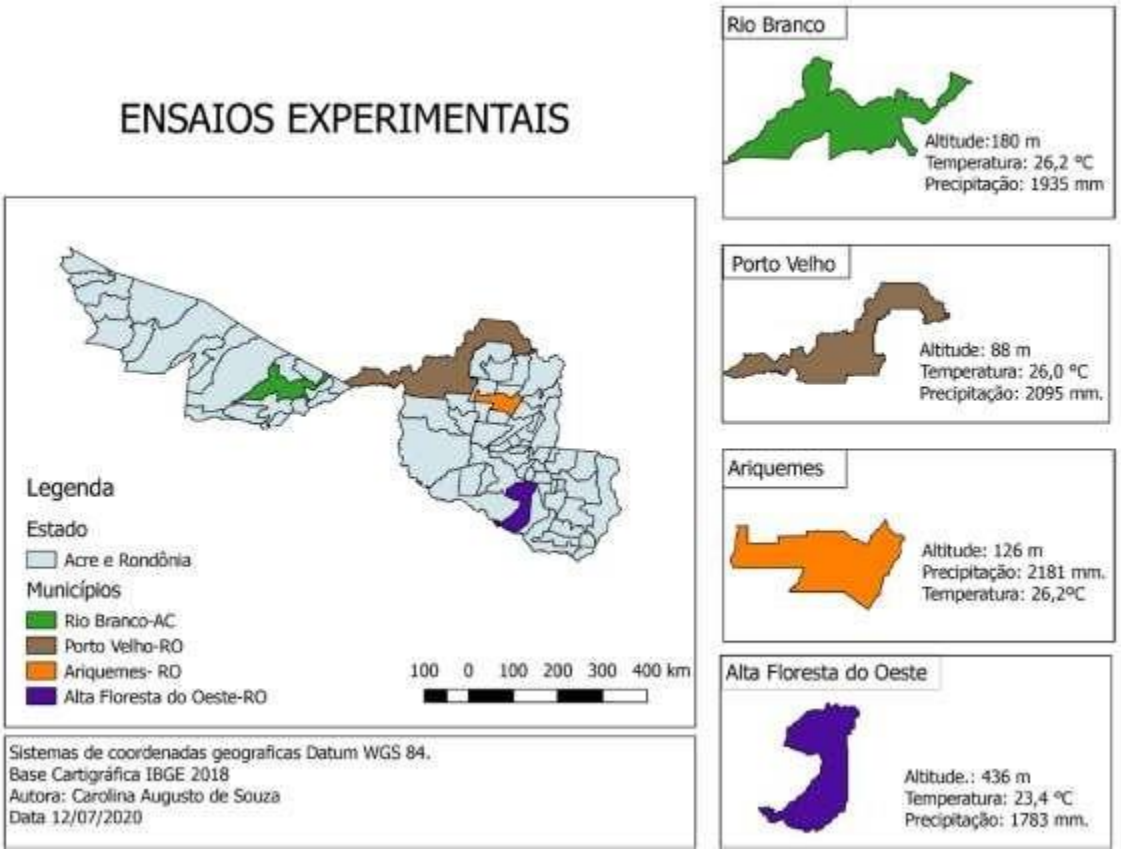
O objetivo desse trabalho foi quantificar a interação genótipo x ambientes de linhagens de *C. arabica* em quatro diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, buscando subsidiar o desenvolvimento de novos materiais de maior adaptabilidade e estabilidade.

3.1.2. Material e métodos

Em dezembro de 2012 e janeiro de 2013, foram instalados quatro ensaios de competição sendo três em municípios do estado de Rondônia e um no estado do Acre. As temperaturas médias e os índices pluviométricos mensais dos ambientes em que foram instalados osensaios de competição estão sumarizados na Figura 1.

Ensaio nº 1 – Conduzido em lavoura cafeeira localizada no município de Alta Floresta D'Oeste-RO nas coordenadas Latitude: 12°08'17,63" S Longitude: 61°59'38,89" Oeste, à altitude de 350 m. O clima do município é do tipo "Aw" pela classificação Köppen, definido como tropical úmido com período de estiagem durante o inverno e chuvoso durante o verão, com temperatura média de 23,4 °C e precipitação média anual de 1783 mm. A temperatura média mensal varia de 22,3ºC a 24,0ºC, sendo que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de agosto e setembro.

Figura 1- Mapa da localização das cidades onde foram desenvolvidos os experimentos.



Os experimentos são detalhados a seguir:

Ensaio nº 2 – Conduzido no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, localizada no município de Porto Velho - RO com coordenadas 8°48'05.5"S e 63°51'02.7"W“, a 88 m de altitude. O clima predominante da região é tropical chuvoso com inverno seco, tipo “Am” (Köppen), com temperatura média de 26,0 °C e precipitação média anual de 2095 mm. O mês de setembro é o mais quente do ano (27,1 °C), e maio o mês mais frio (24,9 °C).

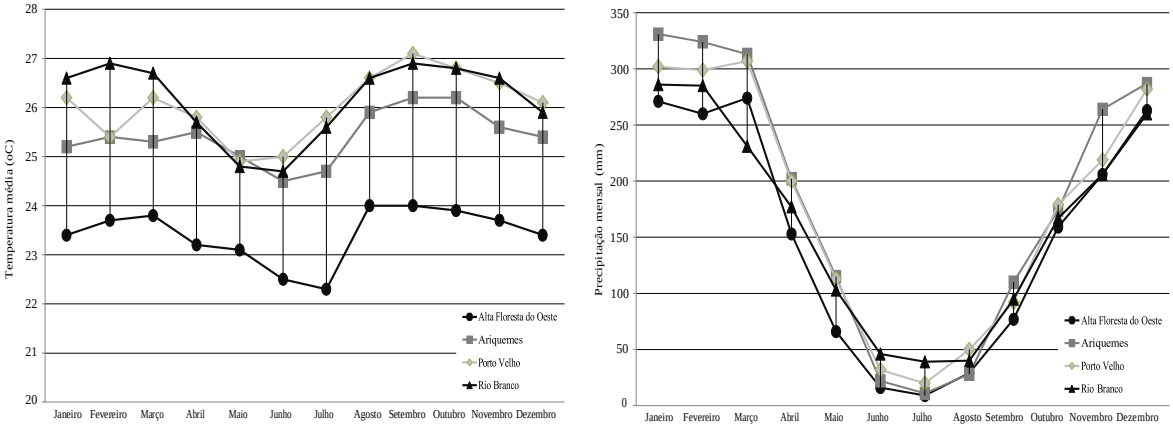
Ensaio nº 3 - Conduzido no Instituto Federal de Rondônia, Campus Ariquemes, em Ariquemes - RO coordenadas locais são 9°57'09,8"S e 62°56'53,7"W, a 126 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo “Aw” (Köppen), com estação seca bem definida, compreendida entre junho e agosto. Com temperatura média de 25,4 °C e precipitação média anual de 2181 mm. A temperatura média mensal varia de 24,5ºC a 26,2ºC, sendo que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de agosto e setembro.

Ensaio nº 4 - Conduzidos na Embrapa Acre, em Rio Branco – AC, coordenadas locais são 10° 1'30.98"S e 67°42'21.77"W, a 180 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo “Aw” (Köppen), com estação seca bem definida, compreendida entre junho e

agosto. Com temperatura média de 26,2 °C e precipitação média anual de 1935 mm. A temperatura média mensal varia de 24,7ºC a 26,9ºC.

As condições edafoclimáticas foram interpretadas de acordo com as Normais Climatológicas de 1981 a 2010, considerando a precipitação (mm), e a temperatura (ºC) medidas registradas mensalmente (Figura 2).

Figura 2. Temperaturas médias e precipitação mensal dos municípios de Alta Floresta D'Oeste - RO, Ariquemes – RO, Porto Velho – RO, e Rio Branco – AC de acordo com as Normais Climatológicas de 1981 a 2010.



Cada ensaio composto por 21 linhagens e 4 testemunhas referências, atualmente indicada para plantio na região sudeste. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 25 tratamentos em três repetições, utilizado quatro plantas por parcela. O espaçamento utilizado foi de 3x1 metros. As práticas de manejo foram realizadas de acordo com as recomendações do Sistema de Produção para o cultivo de café em Rondônia (MARCOLAN *et al.* 2009). Os ensaios de Alta Floresta D'Oeste – RO, Porto Velho e de Rio Branco - AC foram irrigados a partir da primeira florada até o início do período das chuvas, que compreende entre os meses de julho a outubro.

Para se estimar a produtividade de grãos em sacas de café beneficiado por hectare cada parcela foi colhida e pesada em campo. Posteriormente foram coletadas amostras de 3 quilos, que foram secas em terreiro de cimento tipo barcaça até atingirem 13% de umidade, obtendo-se assim o quociente entre café da roça e café beneficiado. A produtividade café beneficiado em sacas de 60 kg por hectare foi e determinada através da equação:

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

Em que $PROD$ é a produtividade de café em sacas por hectare; cr é produção de café da roça por parcela; qp é o número de plantas da parcela; 3.333 refere-se ao número de plantas por hectare; $rend$ é a razão de produção obtida da divisão da quantidade de café descascado pelo peso dos frutos de café colhidos; 60 corresponde ao peso em quilogramas de uma saca decafé beneficiado.

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

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

Em que I_j é o índice de classificação ambiental; $\bar{y}_j$ é a média geral dos genótipos no ambiente j, e $\bar{y}$ é a média geral dos genótipos em todos os ambientes. Este índice permite classificar os ambientes que apresentam I_j igual ou superior a zero em "favoráveis", e ambientes com Ij negativo em "desfavoráveis" (CRUZ; SOUZA CARNEIRO., 2006)

A variância genotípica entre os clones em cada ambiente foi estimada de maneira individual com base na produtividade de café beneficiado (sacas ha^{-1}) nas safras de 2014/15, 2015/16 e 2016/17, seguindo o modelo estatístico:

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

Em que Y_{ijk} se refere à observação k do linhagem i no bloco j; m é a média experimental; G_i é o efeito do genótipo i; B_j é o efeito do bloco j; E_{ijk} é o erro médio.

Verificada homogeneidade das variâncias residuais foi realizada análise de variância conjunta da produção de café beneficiada, conforme modelo abaixo:

$$Y_{ijk} = m + G_i + A_j + B_k + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Onde Y_{ijk} refere a produção de café da linhagem i no bloco k, na colheita j; m é a média experimental; G_i é o efeito do genótipo i; A_j é o efeito da colheita j; B_k é o efeito do bloco; GA_{ij} é o efeito da interação entre genótipo i e colheita j; e E_{ijk} é o erro médio. Os efeitos do genótipo foram considerados de natureza aleatória, e os de anos (colheitas) como fixos.

A avaliação da interação genótipo x ambiente foi realizada utilizando o modelo GGE biplot (YAN, 2011), que considera o efeito principal de genótipo somado ao efeito da interação G × A, na obtenção de uma dispersão em dois planos que representa graficamente o desempenho das linhagens nos diferentes ambientes. Essa dispersão é construída utilizando os dois primeiros componentes da análise de componentes principais obtida associado a modelos de regressões locais (SHUKLA *et al.* 2015).

Nesse método, o co-seno do ângulo entre dois ambientes corresponde a correlação genética entre eles, de acordo com o seguinte modelo apresentado por Yan *et al.* (2001):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \Phi_{ij}$$

Em que Y_{ij} é o desempenho esperado do genótipo i no ambiente j; u é a média geral das observações; α_i é o efeito principal de genótipo; β_j é o efeito principal de ambiente, Φ_{ij} é a interação entre o genótipo i e o ambiente j. Esse modelo não separa o efeito de genótipo G da interação GxA, que são mantidos juntos em termos que se associam de maneiramultiplicativa:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{i1} + g_{i2}e_{i2} + \varepsilon_{ij}$$

Em que Y_{ij} é o rendimento esperado do genótipo i, u é a média geral das observações; β_j é o efeito principal de ambiente j, g_{i1} e e_{i1} são respectivamente os notas principais do genótipo i e ambiente j; g_{i2} e e_{i2} são os notas secundários para o genótipo i e ambiente j, e ε_{ij} é o

resíduo não explicado por ambos os efeitos.

Ganhos em produtividade com seleção de genótipos de adaptabilidade geral, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e adaptabilidade específica a ambientes

desfavoráveis foram interpretados para seleção de plantas. As análises estatísticas foram realizadas no software GENES (CRUZ, 2016).

3.1.3. **Resultados e discussão**

A produtividade dos municípios de Ariquemes, Porto Velho e Rio Branco ficaram abaixo de 30 sacas. ha^{-1}, com produtividade média de três anos de 5,1 e 6,4 e 10,9 sacas ha^{-1} de café beneficiado, respectivamente. Os ambientes desses municípios se caracterizam pela baixa altitude e pelas altas temperaturas diurnas e noturnas (Figura 1). Souza *et al.* (2015) avaliaram 33 progênies de *C. arabica* no estado de Minas Gerais e observaram dois grupos distintos. Um grupo com alta produtividade de 31,47 a 40,98 sacas ha^{-1} e outro com produtividade considerada baixa, entre 21,78 e 30,41 sacas ha^{-1}. Baixas produtividades limitam a viabilidade econômica do cultivo do cafeeiro. Segundo (ALVES *et al.* 2017) a viabilidade econômica do cafezal considera produtividades médias que se aproximem de 28 sacas por hectare.

A temperatura ideal para o desenvolvimento do *C. arabica* está entre 18 a 23°C, sendo que temperaturas acima de 23º C podem resultar no desenvolvimento acelerado dos frutos o que é prejudicial (CAMARGO; CAMARGO 2001; BARDIN-CAMPAROTTO *et al.* 2012). Nos ambientes de baixa altitude foi observado alta incidência de abortamentos florais durante todos os anos de avaliação. Segundo Pezzopane *et al.* (2008) e Teixeira *et al.* (2015),o abortamento floral no cafeeiro é ocasionado pela desidratação e a má formação das flores, denominadas de flores “estrelinhas” (RODRIGUES *et al.* 2016a).

Tabela 1. Resumo das principais características dos ensaios avaliados nos municípios de Alta Floresta D’Oeste – RO, Ariquemes – RO, Porto Velho – RO, Rio Branco – AC.

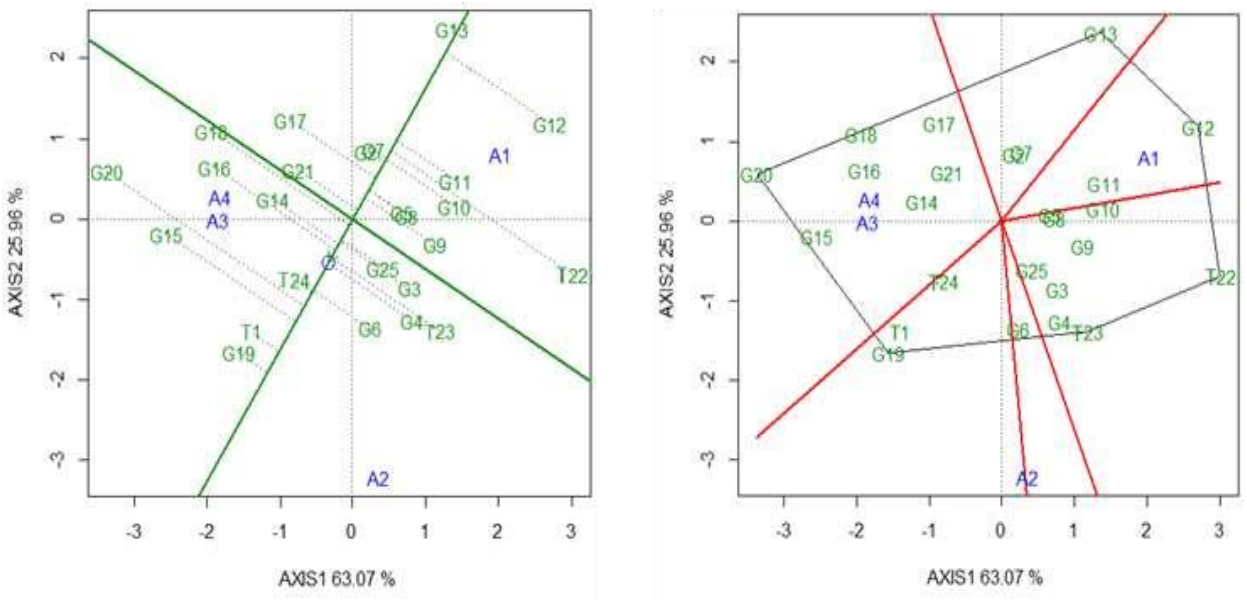
Ambientes	ALT	Prodmed	Prodmin	Prodmax	Ij	CV%	F	h^2
Alta Floresta D’Oeste	436 m	25,9	9,5	55,6	14.2	27,19	3,08**	67,54
Ariquemes	126 m	5,0	0,7	10,7	-7.2	49,06	$1,18^{NS}$	15,86
Porto Velho	88 m	6,4	0,5	20,5	-5.6	40,25	4,44**	66,55
Rio Branco	180 m	10,9	1,0	21,7	-1.4	35,14	6,67**	85,02

ALT: altitude do ambiente em que os ensaios foram avaliados, **PRODmed:** Produtividade média do ensaio, **PRODmax:** Produtividade da melhor linhagem em cada um dos ambientes, **PRODmin:** Produtividade da linhagem de menor adaptação em cada um dos ambientes, **Ij:** índice ambiental, **CV%:** coeficiente de variação percentual, **F:** teste F da análise de variância, **h2:** herdabilidade média de linhagens.

Melhor desempenho das linhagens foi observado no município de Alta Floresta D'Oeste que apresentou produtividade média de 25,9 com amplitude entre linhagens variandode 9,5 a 55,6 sacas de café beneficiado por hectare (Tabela 1). O Índice de qualidadeambiental (Ij), definido como o contraste entre a média de cada ambiente e a produtividade média de todos os ambientes, classificou somente esse ambiente como favorável para o cultivo do cafeeiro (MELO MOURA *et al.* 2014) (Tabela 1). Esse ambiente apresenta regime pluviométrico similar às outras regiões, com altitude acima de 400m e temperaturas médias menores em aproximadamente 4º C durante todas as épocas do ano (Figura 2).

Além do desempenho inferior, os ambientes de baixa altitude e alta temperaturatambém apresentaram estimativas dos parâmetros de qualidade experimental que indicam menor acurácia dos experimentos conduzidos nesses ambientes (Tabela 1). O coeficiente de variação foi considerado adequado apenas para o ambiente de Alta Floresta D'Oeste (FERRÃO *et al.* 2008).

Figura 3. GGE Biplot "Mean vs. Stability" e "which won where" para a produtividade de café beneficiado de 21 linhagens e 4 testemunhas avaliados em 4 ambientes da Amazônia Ocidental nos municípios de A1. Alta Floresta D'Oeste - RO, A2. Ariquemes - RO, A3. PortoVelho - RO, A4. Rio Branco – AC.



Para interpretar a adaptabilidade e estabilidade das linhagens em todos os ambientes foi utilizada a dispersão dos dois primeiros componentes principais do método GGE Biplot (Figura 3). Nessa dispersão a proximidade dos ambientes representa sua similaridade e a proximidade das linhagens com o eixo do ambiente mensura sua estabilidade produtiva. Observa-se que o ambiente de Alta Floresta D'Oeste, favorável para o cultivo se diferenciou de todas as outras regiões em relação ao ordenamento produtivo das linhagens nesse ambiente.

O gráfico "When won where" mostra a formação de um mega-ambientes, correlacionando os ambientes A3 e A4. As linhagens G13 e G12 e a testemunha T22,próximos do ambiente favorável de Alta Floresta D'Oeste (A1), foram as mais produtivas nesse ambiente (Figura 3). A baixa adaptabilidade associada à inconsistência no desempenho das linhagens nos ambientes de baixa altitude e alta temperatura limita a seleção de plantas nesses locais, não tendo sido identificado nenhum material genético que se sobressaiu nesses ambientes da Amazônia Ocidental. De modo que a seleção das linhagens superiores e as estimativas de progresso genético foram realizadas considerando apenas o ambiente de Alta Floresta D'Oeste.

A análise de variância individual no ambiente Alta Floresta D'Oeste indicou que os efeitos de Linhagens, de Testemunha e d

e Anos foram significativos (Tabela 2). O efeito não significativo da interação linhagens x anos indica a manutenção no desempenho das linhagens ao longo do tempo. A relação entre as estimativas do coeficiente de variação genético e coeficiente de variação experimental (CVr), indica condições adequadas para a obtenção de ganhos com a seleção. Estimativas de CVr próximas ou superiores a unidade, caracterizam condição favorável para a obtenção de progresso genético com a seleção de plantas (RAMALHO *et al.* 2000).

A estimativa de herdabilidade indica uma predominância do efeito do genótipo na expressão da produção de café beneficiado, resultado da expressão genética diferenciada entre linhagens (h^2=0,80). Teixeira *et al.* (2017), observaram estimativas de herdabilidade para a produção de café beneficiado de 78,96% ao avaliar o desempenho de 256 genótipos de *C. canephora* na região de Ouro Preto do Oeste-RO (Tabela 2).

A cultivar Catucai Amarelo 2SL (T22) foi a melhor testemunha tendo apresentado uma produtividade média de 40.94 sacas ha^{-1} (TEIXEIRA *et al.* 2015). Essa cultivar foi selecionada por apresentar elevadas produtividades em regiões de temperaturas elevadas. Por sua vez a cultivar Acauã que obteve produtividade de 26 sacas ha^{-1}, segundo Carvalho (2008)

essa cultivar possui alta resistência ao déficit hídrico. As linhagens 12 e 13 foram mais produtivas superando a melhor testemunha em 12 % e 5% respectivamente.

Tabela 2. Resumo da ANOVA dos efeitos de linhagens e de anos e dos principais parâmetros genéticos estimados no ensaio de seleção avaliado no município de Alta Floresta D'Oeste – RO nos anos de 2014-2015, 2015-2016, 2016- 2017.

FV	**gl**	**SQ**	**QM**	**F**
Blocos	2	2446.3	1223.2	
Tratamentos	(24)	10983.2	457.6	5.4^{**}
Genótipos (Linhagens)	20	9239.7	462.0	5.4^{**}
Testemunha	3	1427.7	475.9	5.6^{**}
Genótipo x Test	1	315.8	315.8	3.7^{NS}
Anos	2	4491.0	2245.5	21.2^{**}
TratxAnos	(48)	5074.2	105.7	1.2^{NS}
GenxAnos	40	4172.0	104.3	1.2^{NS}
TesxAnos	6	891.9	148.6	1.7^{NS}
GrupoxAnos	2	10.3	5.1	0.1^{NS}
Resíduo	148	12607.4	85.2	
Total	224	35602.2		
Média geral	25.9			
Média das linhagens	25.4			
Média das testemunhas	28.6			
Cve	35.7			
MaiorQMR/MenorQMR	2.1			
Parâmetros genéticos				
Variância genotípica	41.9			
Variância GenxAnos	4.20			
Variância residual	85.2			
Herdabilidade (média)	81.6			
Correlação intraclasse	33.0			
CVg	25.5			
CVg/Cve	0.70			

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade, NS: não significativo, FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrado da soma, F: Teste F da análise de variância, CVe: Coeficiente de variação experimental, CVg: coeficiente de variação genético.

As linhagens 12 e 13 apresentam produtividade superior a melhor testemunha, com produtividades médias de três anos de café beneficiado de 41,42 e 38,84 sacas ha^{-1} respectivamente (Tabela 3). Teixeira *et al.* (2015) ao avaliar a produção ao longo de quatro safras de *C. arabica* em Ouro Preto do Oeste-RO, relataram um ganho de seleção 44% tendo selecionado a linhagem 12 com produtividade média de três safras de 51,20 sacas ha^{-1}.

Tabela 3.Estimativas de produtividade de café beneficiado e do progresso genético com a seleção de linhagens no município de Alta Floresta D'Oeste – RO. As linhas pontilhadas destacam as testemunhas utilizadas nos experimentos.

Linhagem	Identidade	2014_2015	2015_2016	2016_2017	Prod.média	*GS(%)
12	H514-7-10-6-9	34.5	54.4	35.4	41.42	56.4
13	H514-7-10-6-2-3-9	26.0	44.1	46.4	38.84	46.7
22	Catucai Amarelo 2SL	30.0	51.4	29.3	36.90	39.4
11	H514-7-10-6-25	26.5	42.7	35.0	34.75	31.3
10	H514-7-10-6-29	25.1	42.6	32.2	33.30	25.8
7	H419-6-2-5-3-17	29.2	37.8	26.5	31.17	17.7
2	H419-10-6-2-1-6	30.3	39.3	21.4	30.34	14.6
9	H514-7-10-6-12	26.9	35.1	28.8	30.25	14.2
8	H514-7-10-6-17	28.2	23.0	35.2	28.80	8.8
23	Acauã	26.8	24.5	33.3	28.22	6.6
25	Obatã IAC1669-20	19.3	39.4	25.0	27.90	5.4
5	H419-10-6-2-1-8	25.0	31.0	26.8	27.59	4.2
17	P29 - Plant no.6	24.5	39.4	17.7	27.19	2.7
21	P109 - Plant no. 6	23.3	30.2	18.6	24.04	-9.2
3	H419-10-6-2-1-10	18.0	18.3	34.2	23.51	-11.2
4	H419-10-6-2-1-7	13.0	24.8	30.7	22.84	-13.7
14	P27 - Plant no.2	18.5	36.6	11.6	22.22	-16.1
16	P29 - Plant no. 5	16.2	31.7	17.0	21.65	-18.2
18	P94 - Plant no. 1	15.5	27.5	21.8	21.60	-18.4
6	H419-10-6-2-3-21	15.8	23.6	23.7	21.02	-20.6
24	Tupi	16.1	22.2	22.5	20.26	-23.5
1	UFV 8710	15.1	29.8	13.8	19.53	-26.2
19	P94 - Plant no. 5	13.6	24.2	11.5	16.43	-37.9
15	P27 - Plant no. 4	9.0	19.9	20.2	16.38	-38.1
20	P109-Plant no. 4	15.5	10.5	21.3	15.78	-40.4

* **GS(%)**: ganho por seleção.

O germoplasma estudado não apresenta variabilidade genética que subsidie a seleção de plantas adaptadas as regiões de baixa altitude e altas temperaturas da Amazônia Ocidental, características dos ambientes A2, A3 e A4. Os ambientes foram irrigados, de forma que não ocorreu déficit hídrico na região de cultivo.

As linhagens 12 e 13 apresentaram as melhores produtividades média de 41,42 e 38,84 sacas ha^{-1}, ambas são de ciclo de maturação intermediárias, e possuem alta tolerância ao estresse térmico, fator importante para o desenvolvimento da linhagem uma vez que o excesso de radiação e altas temperaturas são os principais fatores limitantes a produtividade (SOUZA *et al.* 2011).

A testemunha Catucai Amarelo 2SLCAK é de ciclo de maturação precoce, suscetível à ferrugem e resistente a déficit hídrico (CARVALHO, 2008) obteve um desempenho satisfatório com valor médio de 36.90 sacas ha^{-1}. Por sua vez as testemunhas Acauã e Tupi de ciclo precoce e moderadamente resistente á ferrugem (CARVALHO, 2008), obtiveram médias de produção a baixo de 30 sacas ha^{-1} (Tabela 3).

O cultivo de *C. arabica* em regiões de baixa altitude da Amazônia Ocidental depende da identificação de novas linhagens de ciclo de maturação tardia e resistentes ao aborto floral, que não foram observadas na população de melhoramento avaliada.

3.1.4 Conclusão

Os ambientes de Ariquemes, Porto Velho e Rio Branco não foram adequados para o cultivo do *C. arabica*. As linhagens 12 e 13 identificadas como H514-7-10-6-9 e H514-7-10-6-2-3-9 obtiveram resultados superior a testemunhas para o município de Alta Floresta D'Oeste-RO, ambiente que se diferencia dos demais por apresentar altas altitudes e baixas temperaturas. A baixa produtividade e alta instabilidade das cultivares nos ambientes A2, A3 e A4 limitam o cultivo do *C. arabica* nesses locais. Portanto, nenhuma linhagem adaptada a ambientes de alta temperatura e baixa altitude foi observada na população avaliada.

3.1.5 Referencias

ALVES, E.L; PEREIRA, F.A.C.; DALCHIAVON, F.C. Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. **Revista iPecege,** v. 3, n. 1, p. 24-38, 2017.

BARDIN-CAMPAROTTO, L. de; CAMARGO, M.B.P; MORAES, J.F.L. Estimated time of grain ripening of different arabica coffee cultivars for the São Paulo State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 4, n. 27, p. 1333-1333, 2012.

BERGO, C.L.; PEREIRA, R.D.C.A.; SALES, F.D. Evaluation of Arabica and Robusta coffee genotypes in the state of Acre. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 32, n. 1, p. 11-16, 2008.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V.; FRITSCHE-NETO, R. **Melhoramento de Plantas.** Viçosa: Editora UFV. 2017, p.543

CAMARGO, A.D.; CAMARGO, M.D. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68,. 2001.

CAMARGO, M.BP de. The impact of climatic variability and climate change on Arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia,** v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

CARVALHO, C.H. S. de. **Cultivares de café:** origem, características e recomendações. 1.ed. Brasília, Embrapa Café, 2008. p.334

CRAPARO, A. *et al. Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 207, n. 1, p. 1-10, 2015.

CRUZ, C.D.; SOUZA CARNEIRO, P.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, Editora Universidad Federal de Viçosa, 2006. p.480

CRUZ, C.D. Programa Genes - Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum,** v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

FAZUOLI, L; THOMAZIELLO, R; CAMARGO, MD. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. **O Agronômico**, v. 59, n. 1, p. 19-20, 2007.

FERRÃO, RG *et al.* Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.

FERREIRA, E.D.B *et al.* Vegetative growth of *Coffea arabica* L. as affected by irrigation and climatic conditions of the Cerrado of Goiás State. S**emina: Ciências Agrárias,** v. 34, n. 6Supl1, p. 3235-3244, 2013.

FURLANI JUNIOR, E. *et al.* Avaliação de cultivares de café arábica em região marginal. **Acta Scientiarumentiarum Agronomy,** v. 29, n. 2, p. 197-203, 2007.

IPCC, **Climate Change:** Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge, University Press, 2014. p. 688

MARTINS, MQ *et al.* Protective response mechanisms to heat stress in interaction with high [CO2] conditions in Coffea spp. **Frontiers in plant science,** v. 7, n. 1, p. 947-959, 2016.
MARCOLAN, A. L. *et al.* **Cultivo dos cafeeiros conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho, EMBRAPA Rondônia, 2009. p. 67

MELO MOURA. W de *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de café no cultivo orgânico em Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 1936-1942, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA. **Secretaria de política agrícola**, Portaria Nº 77, de 25 de fevereiro de 2011. Available at:http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?methovisualizarAtoPortalMapa&chave=1462308348>. Accessed on 14 Sep 2018.

MOAT, J *et al.* Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature plants,** v. 3, n. 7, p. 17-81, 2017.

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, n. 4, p. 359-365, 2017.

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,** v. 68, n.1, p. 169-181, 2009.

PEZZOPANE, J.R.M *et al.* Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1781-1786, 2008.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras, UFLA, 2000. p. 326

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.** Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 975

ROCHA, R.B. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de progênies de meios-irmãos de pinhão-manso em diferentes regiões do Brasil. **Revista Ceres,** v. 63, n. 2, p. 174-182, 2016.

.

RODRIGUES, W.P, *et al.* Long-term elevated air [CO2] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global change biology**, v. 22, n. 1, p. 415-431, 2016a.

RODRIGUES, W.P. *et al.* Physiological aspects, growth and yield of' Coffea spp. in areas of high altitude. **Australian Journal of Crop Science,** v. 10, n. 5, p. 666-674, 2016b.

SANTOS, M.B.S dos *et al.* Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do IAPAR. **Coffee science,** v. 6, n. 3, p. 245-255, 2011.

SANTOS, R.V *et al.* Estatística multivariada aplicada em dados de custos da fase de pós-colheita do café. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 223-230, 2017.

SHUKLA S, *et al.* Comparative study for stability and adaptability through different models in developed high thebaine lines of opium poppy (Papaver somniferum L.). **Industrial Crops and Products,** v. 74, n. 1, p. 875-886, 2015.

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

SOUZA, M.R.B de *et al.* Avaliação agronômica de cafeeiros da cultivar Mundo Novo no Estado de Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2363-2377, 2015.

SOUZA, M.A. *et al.* Melhoramento para tolerância ao calor. In: FRITSCHE, N.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. 1 ed. Viçosa, Suprema, 2011. p.p.199-226.

TEIXEIRA, A.L. *et al.* Performance of intraspecific hybrids (Kouillou x Robusta) of *Coffea canephora Pierre*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 35, p. 2675-2680, 2017.

TEIXEIRA, A.L. *et al.* Selection of arabica coffee progenies tolerant to heat stress. **Ciência Rural,** v.45, n.7, p.1228-1234, 2015.

TEIXEIRA, AL *et al.* Yield, maturation, and beverage quality of arabica coffee progenies under selection in Rondonia state, Brazil. **African Journal of Agricultural Research,** v. 9, n.38, p. 2854-2861, 2014.

TEN CATEN, A. *et al.* Estatística multivariada aplicada à diminuição do número de preditores

no mapeamento digital do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 46, n. 5, p. 554-562, 2011.

YAN, W. *et al.* GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop science,** v. 47, n. 2, p. 643-653, 2007.

YAN, W. *et al.* Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. **Crop Science,** v. 4, n. 3, p. 656-663, 2001.

YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics,** v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

3.2 CAPÍTULO II: INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE PARA O PERFIL SENSORIALDE LINHAGENS DE *Coffea arabica* EM REGIÕES DE ALTA TEMPERATURA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

RESUMO: O objetivo deste estudo foi selecionar linhagens de *Coffea arabica* com melhor adaptabilidade às condições edáficas tropicais. Provas competitivas foram montadas em três localidades dos estados de Rondônia e Acre. Cada ensaio foi composto por 21 linhagens na geração F5 e quatro cultivares de referência avaliadas como testemunhas. Para analisar a qualidade da bebida, foram coletados seis litros de frutos de café no estádio de maturação M3 para cada linha nos ambientes de Alta Floresta D'Oeste do Oeste, RO (E1), Porto Velho, RO (E2) e Rio Branco, AC (E3). No mesmo dia, após a coleta, os frutos foram lavados ecolocados para secar (processamento natural) a pleno sol sobre lona, até que as amostras atingissem 11-12% de umidade. A análise sensorial das amostras foi realizada por três juízes/degustadores (Q Grader), de acordo com o método de análise sensorial da Specialty Coffee Association of America. A análise de variância mostrou que o efeito da interação genótipo x ambiente foi significativo, indicando desempenho diferenciado das linhagens cultivadas nas diferentes localidades. Os ambientes E2 e E3 não foram favoráveis para a qualidade da bebida, enquanto o ambiente E1 apresentou melhores condições para produçãode cafés especiais. Na análise sensorial, seis linhas apresentaram maiores pontuações de qualidade final da bebida do que os controles. A linha 2 teve nota final de 80, a linha 11 teve nota final de 79 e a linha 12 teve nota final de 77. Além da boa qualidade da bebida, as linhas 2, 11 e 12 também tiveram rendimentos superiores a 30 sacas ha^{-1} na média de três safras, indicando a possibilidade de seleção de linhagens com melhor adaptação às regiões tropicais.

Palavras-chave: café arabica; interação linha x ambiente; qualidade da bebida;

ABSTRACT: The aim of this study was to select *Coffea arabica* lines with improved adaptability to tropical edaphic conditions. Competitive trials were set up at three locations of the states of Rondônia and Acre. Each trial was composed of 21 lines in the F5 generation and four reference cultivars evaluated as controls. To analyze beverage quality, six liters of coffee

fruit at the M3 maturity stage was collected for each line in the environments of Alta Floresta D'Oeste do Oeste, RO (E1), Porto Velho, RO (E2), and Rio Branco, AC (E3). On the same day, after collection, the fruit was washed and placed to dry (natural processing) in full sun over canvas, until the samples reached 11-12% moisture. Sensory analysis of the samples wascarried out by three judges/cuppers (Q Grader), according to the sensory analysis method of the Specialty Coffee Association of America. Analysis of variance showed that the effect of the genotype x environment interaction was significant, indicating differentiated performance of the lines grown in the different locations. Environments E2 and E3 were not favorable for beverage quality, whereas environment E1 showed better conditions for production of specialty coffees. In sensory analysis, six lines had higher final beverage quality scores than the controls. Line 2 had a final score of 80, line 11 had a final score of 79, and line 12 had a final score of 77. In addition to good beverage quality, lines 2, 11 and 12 also had yields higher than 30 bags ha^{-1} in the average of three harvest periods, indicating the possibility of selecting lines with improved adaptation to tropical regions.

Keywords: *Coffea arabica ;* Line x environment interaction; Beverage quality.

3.2.1 Introdução

O *Coffea arabica* tem seu centro de origem no continente africano em uma faixa de altitude entre 1600-2800 metros em relação ao nível do mar e a temperatura do ar entre 18ºC- 20º C (MOAT *et al.* 2017). Em comparação com a bebida de *C. canephora*, produz uma bebida de maior valor econômico, com aroma e doçura fortes e menos corpo (PARTELLI *et al*,. 2014; RENDÓN *et al.* 2014; SOUZA *et al.* 2018).

A Amazônia Ocidental é considerada marginal para o cultivo do *C. arabica*, uma vez que baixas altitudes associadas a altas temperaturas dos trópicos favorecem o abortamento floral e aceleramento do amadurecimento dos frutos reduzindo a acumulação de açúcar e precursores aromáticos que conferem sabor para a bebida (RODRIGUES *et al.* 2016). Quandocultivadas na Amazônia Ocidental as cultivares apresentam maior precocidade do seu ciclo dematuração resultando no amadurecimento dos frutos no período de maior pluviosidade na região, entre os meses de fevereiro e abril dificultando procedimentos de pós colheita (TEIXEIRA *et al.* 2014). Nesse cenário, a seleção de cafeeiros com boa produtividade, ciclo de maturação tardio e boa qualidade da bebida tem potencial para subsidiar o desenvolvimento de novas cultivares mais adaptadas às regiões de clima tropical.

A qualidade da bebida do café é quantificada em um teste de análise sensorial, que tem como objetivo caracterizar o perfil organoléptico do café usando terminologia estabelecida pela Organização Internacional do Café (OIC) atribuindo notas conforme o protocolo e os atributos da bebida do café (CHENG *et al.* 2016). Essa técnica além de classificar o café influencia na sua valorização econômica. Bebidas com notas acima de 80 pontos, são considerados especiais com valor econômico que pode alcançar 40 a 80% a mais que os cafés commoditie (MARTINEZ *et al.* 2014)**.**

A qualidade da bebida depende tanto do gentotipo cultivado quanto dos efeitos do ambiente (SUNARHARUM *et al.* 2014). Os principais atributos da bebida avaliados durante a degustação são: acidez, corpo, sabor e aroma, os quais são influenciados ambiente (nutrição das plantas, maturação do ciclo, temperatura). O desempenho das plantas é avaliado considerando a interação de genótipos e ambientes (GE) que podem favorecer ou reduzir a qualidade da bebida produzida nesses locais (CZERNY *et al.*, 1999; ALVES *et al.*, 2011). Em ambientes marginais à cafeicultura, é importante selecionar linhagens que associem maior adaptabilidade, entendida como melhor desempenho, com maior estabilidade, definida como a capacidade de manter a resposta em diferentes ambientes (ROCHA *et al.*, 2016).

O Additive Main Effect and Multiplicative Interaction (AMMI) é uma ferramenta de seleção baseada em análise multivariada que permite a avaliação simultânea de inúmeros genótipos, quantificando seu desempenho em diferentes ambientes em uma dispersão biplot (SANTOS *et al.*, 2017). Para analisar a interação GE, o biplot é interpretado considerando a magnitude e o

sinal dos notas dos genótipos, em que notas baixos representam genótipos de maior estabilidade. Para ordenar os genótipos de maior adaptabilidade, foi empregada a metodologia não paramétrica de Lin e Binns (1988); considera o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta máxima observada nos ambientes. O índice de qualidade ambiental (Ij) também foi utilizado na classificação dos ambientes em relação à sua contribuição para o desempenho da planta (SCHMILDT *et al.*, 2011).

O objetivo neste estudo foi quantificar o efeito da interação genótipo x ambiente na nota de qualidade de bebidas de linhagens de *C. arabica* cultivadas em três ambientes diferentes da Amazônia Ocidental, para auxiliar na seleção de linhagens com maior adaptabilidade às condições edáfoclimaticas da Amazônia Ocidental.

3.2.2. Material e métodos

Foram avaliadas 21 linhagens de cafeeiro arábica que se encontram na geração F_5 e quatro cultivares comerciais recomentada para a região sudeste do Brasil. Essas linhagens foram pré-selecionadas em avaliações anteriores, realizadas por Teixeira *et al.* (2013, 2015) (Tabela 4)

Tabela 4: Lista das linhagens e cultivares controle, com suas respectivas instituições de origem.

Linhagem	Origem	Linhagem	Origem
G1 (UFV 8710)	Epamig/UFV	G14 (P27-2)	IAC
G2 (H419-10-6-2-1-6)	Epamig/UFV	G15 (P27–4)	IAC
G3 (H419-10-6-2-1-10)	Epamig/UFV	G16 (P29 – 5)	IAC
G4 (H419-10-6-2-1-7)	Epamig/UFV	G17 (P29 – 6)	IAC
G5 (H419-10-6-2-1-8)	Epamig/UFV	G18 (P94 -1)	IAC
G6 (H419-10-6-2-3-21)	Epamig/UFV	G19 (P94 – 5)	IAC
G7 (H419-6-2-5-3-17)	Epamig/UFV	G20 (P109 - 4)	IAC
G8 (H514-7-10-6-17)	Epamig/UFV	G21 (P109- 6)	IAC
G9 (H514-7-10-6-12)	Epamig/UFV	T22(Catucaí Amarelo 2SL)	Fundação Procafé
G10 (H514-7-10-6-29)	Epamig/UFV	T23 (Obatã IAC1669-20 [1])	IAC
G11 (H514-7-10-6-25)	Epamig/UFV	T24 (Acauã[1])	Fundação Procafé
G12 (H514-7-10-6-9)	Epamig/UFV	T25 (Tupi[1])	IAC
G13 (H514-7-10-6-2-3-9)	Epamig/UFV		

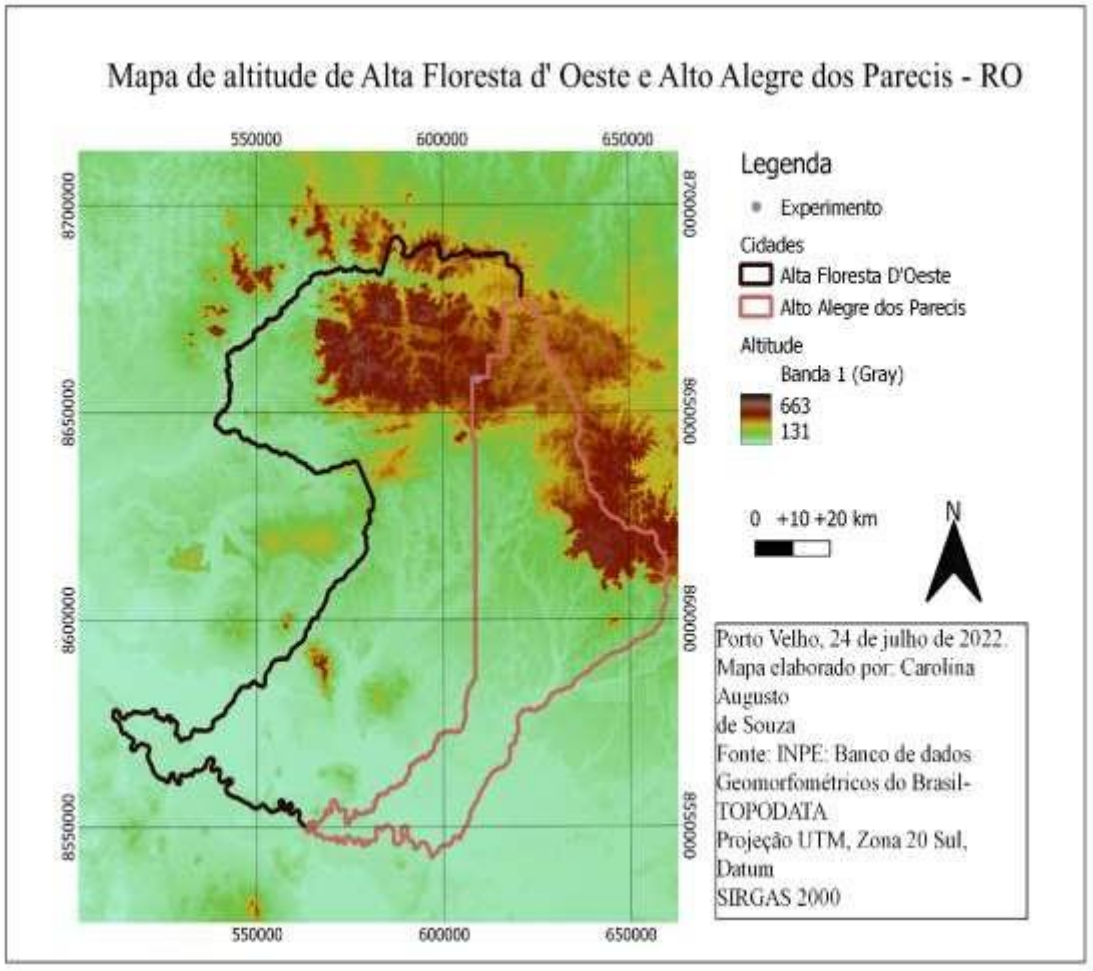
1:Controles; EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; IAC- Instituto agronomico de Campinas; UFV- Universidade Federal de Viçosa.

As cultivares comerciais utilizadas como testemunhas foram o Acauã, Catucaí Amarelo 2SL, Obatã IAC 1669-20 e o Tupi. A Acauã é uma cultivar que possui alta resistência ao déficit hídrico e de boa qualidade de bebida (CARVALHO, 2008) o Catucaí Amarelo 2SL, se destaca pela resistência a ferrugem e alta produtividade e em regiões de temperatura elevada e alta qualidade de bebida (CARVALHO *et al.* 2012). O Obatã IAC 1669-20, é uma cultivar resistente à ferrugem, de maturação tardia e possui uma boa qualidade da bebida (FAZUOLI *et al.* 2018). Já a cultivar Tupi apresenta porte baixo, resistência a ferrugem e média qualidade de bebida, recomendada para o cultivo em regiõesde solos férteis e clima ameno (CARVALHO, 2008).

O delineamento experimental utilizado foi o blocos ao acaso, com 25 tratamentos e três repetições, com quatro plantas por parcela. As práticas de manejo foram realizadas de acordo com as recomendações do Sistema de Produção para o cultivo de café em Rondônia em espaçamento de 3,00 x 1,00 metros (MARCOLAN *et al.* 2009). Todos os experimentos foram irrigados a partir da primeira florada até o início do período das chuvas, que compreende entre os meses de julho a outubro. A seguir estão descritos os locais de instalaçãodos ensaios:

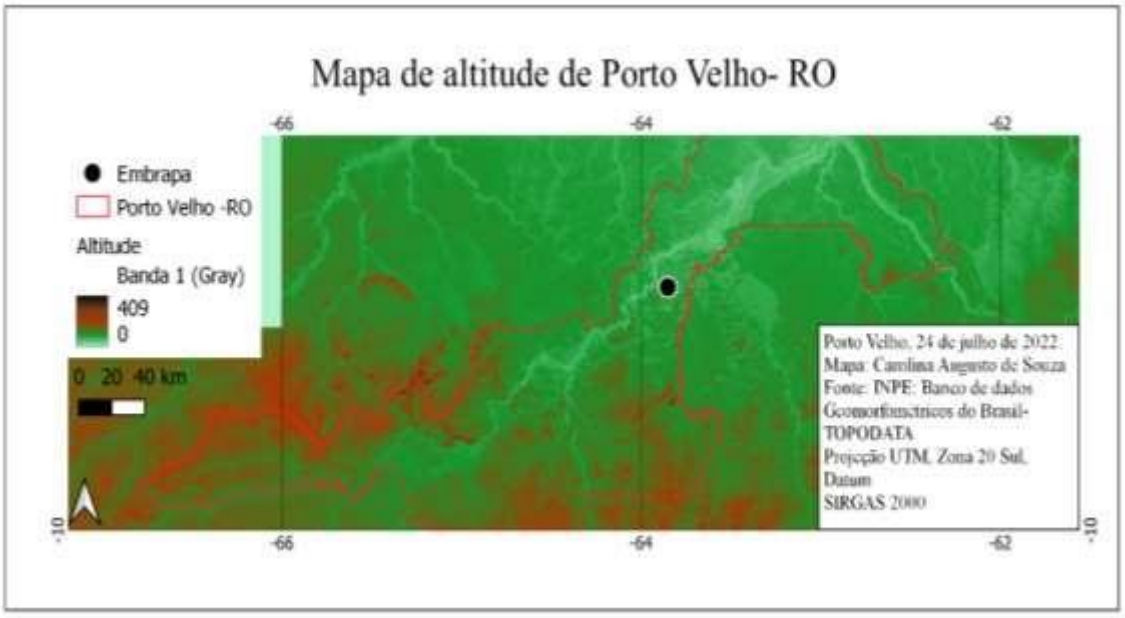
Ensaio 1: Município de Alta Floresta D'Oeste-RO na propriedade rural de Jacinto Migliorini, com coordenadas de Latitude: 12°08'17,63" S Longitude: 61°59'38,89" O, à altitude de 350 m. O clima predominante da região é tropical úmido com estação seca bem definida entre junho e agosto, tipo "Aw" pela classificação de Köppen e (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura entre outubro de 2016 e outubro de 2017 foi em média 26 °C, variando entre 14 °C e 38 °C (BRASIL, 1992). Neste ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm são pH, 6,00; P, 24 mg/dm^3; K, 0,64 cmolc/dm^3; Ca, 8,25 cmolc/dm^3; Mg, 0,97 cmolc/dm^3; Al+H, 5,45 cmolc/dm^3; Al, 0,00 cmolc/dm^3; OM, 30,30 g/kg; e V, 64,00%. O experimento foi irrigado (Figura 4).

Figura 4. Mapa da localização e da altitude do experimento realizado em Alta Floresta d' Oeste.



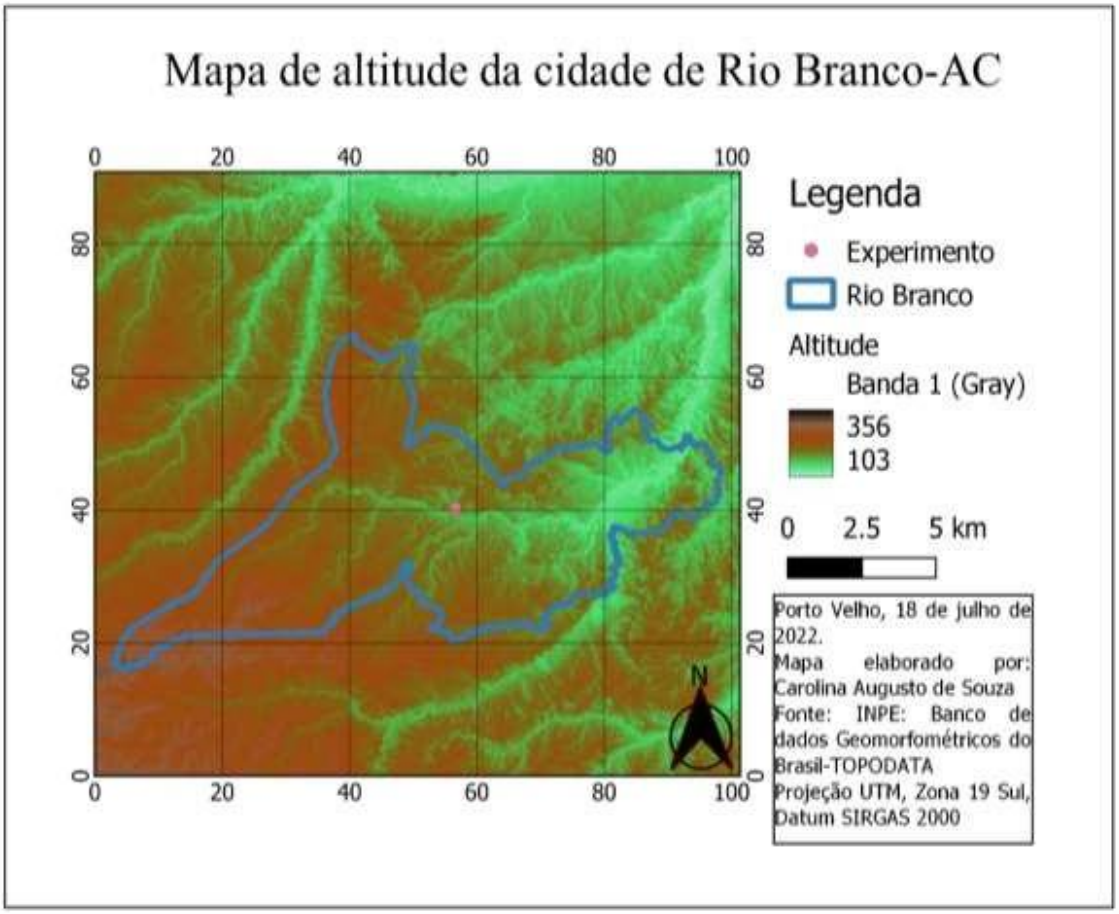
Ensaio 2: Município de Porto Velho-RO no campo experimental da Embrapa Rondônia, coordenadas 08º 47‟ 56” de latitude Norte e 63º 50‟ 49” de longitude Oeste, com uma altitude de 88 m. O clima predominante da região é tropical chuvoso com inverno °C, com máximas de 37° C e mínimas de 20°C Álvares *et al.*, 2013) (Figura 5). Neste ambiente,as características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm são pH, 5,40; P, 2,00 mg/dm3; K, 0,09 cmolc/dm3; Ca, 1,48 cmolc/dm3; Mg, 1,02 cmolc/dm3; Al+H, 13,53 cmolc/dm3; Al, 0,87 cmolc/dm3; MO, 50,90 g/kg; e V, 16,00% (Figura 5).

Figura 5. Mapa da localização e da altitude do experimento realizado em Porto Velho-RO.



Ensaio nº 3 – Município de Rio Branco-AC no campo experimental da Embrapa Acre, coordenadas locais são 10° 1'30.98"S e 67°42'21.77"W, a 180 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo “Aw” classificação de Köppen. A temperatura média em torno de 28,5 bem definida, compreendida entre junho e agosto (BRASIL, 1992). Com temperatura média de 26,2°C e precipitação média anual de 1935 mm. A temperatura média mensal varia de 24,7ºC a 26,9ºC (Figura 6). Neste ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm são pH, 5,45; P, 3,78 mg/dm3; K, 0,15 cmolc/dm3; Ca, 2,10 cmolc/dm3; Mg, 0,55 cmolc/dm3; Al+H, 1,88 cmolc/dm3; OM, 11,18 g/kg; e V, 59,80% (Figura 6)

Figura 6. Mapa da localização e da altitude do experimento realizado em Rio Branco-AC.



A coleta dos grãos de café foi realizada na safra de 2017/2018 em três ambientes da Amazônia Ocidental, conforme descritos anteriormente. Foram coletados seis litros de frutos de café por cultivar, no estádio de maturação M_3, de coloração vermelho claro e maduros fisiologicamente. No mesmo dia após a coleta, realizou-se a limpeza, utilizando uma peneira 16 com o objetivo de separar os frutos das impurezas trazidas do campo e os frutos foram lavados e postos para secagem por via seca (processamento natural) em barcaça, até as amostras atingirem entre 11 e 12% de umidade.

O café foi descascado em uma sala de preparo de amostras no campo experimental da Embrapa, em Ouro Preto do Oeste, RO. Os grãos de café foram embalados em três repetições de amostras de 500 gramas

A torrefação e análise sensorial das amostras foi realizada no laboratório da empresa “Prove Café” em Venda Nova do Imigrante - ES (Brasil) por três provadores/degustadores (Q

Grader) treinados e certificados para análise de cafés especiais, de acordo com o método de análise sensorial da Specialty Coffee Association of America (Lingle, 2011; SCAA, 2014).

Na metodologia SCAA (2014), as avaliações são conduzidas às cegas. As amostras foram avaliadas entre 08 e 24 horas após a torra. Em seguida, foram moídos em moinho elétrico Ditting 5.5 (Ditting Maschinen AG, Bachenbulach, Suíça) para granulometria média/grossa. Foram degustadas cinco xícaras de cada lote de café, utilizando uma concentração de 8,25 g de café moído em 150 mL de água, de acordo com o ponto médio da tabela de equilíbrio (SCAA, 2014). O ponto de infusão da água ocorreu após a água atingir 92,2 - 94,4 ºC. Os provadores iniciaram as avaliações quando a temperatura da xícara atingiu 55 ºC, respeitando o tempo de 4 minutos para degustação após a infusão.

Em cada avaliação, cinco xícaras de café foram amostradas e pontuadas na faixa de 0 a 10 pontos para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, equilíbrio e impressão global. A pontuação final representou a soma dos atributos, resumidos em um único valor da média aritmética entre os provadores. Cada método de processamento foi avaliado separadamente. Se a amostra do café atinge pontuação final maior ou igual a 80 pontos, é classificada como café especial. As opiniões sensoriais dos provadores de cada amostra foram registradas durante a sessões de degustação de café como as nuances de bebida do café (LINGLE, 2011)..

Foram avaliadas a produtividade de café beneficiado (sacas ha^{-1}) nas safras de 2014/15, 2015/16 e 2016/17. Para isso cada parcela foi colhida e pesada em campo utilizando balança de precisão. Posteriormente foram coletadas amostras de 3 quilos, que foram secas em terreiro de cimento tipo barcaça até atingirem 11 ou 12% de umidade, obtendo-se assim o quociente entre café da roça e café beneficiado. A produtividade café beneficiado em sacas de 60 kg por hectare foi e determinada através da equação:

$$PROD = \frac{(\frac{cr}{qp})}{60} * 3.333 * rend$$

Onde o $PROD$ é a produtividade de café beneficiado em sacas por hectare; cr é produção de café da roça por parcela; qp é o número de plantas da parcela; 3,333 refere-se ao número de plantas por hectare; $rend$ é o rendimento, obtido da divisão da quantidade de café beneficiado pela peso de café da roça; 60 corresponde ao peso em quilogramas de uma saca de café beneficiado.

A significância dos efeitos dos genótipos em cada ambiente foi testada individualmente, de acordo com o modelo (CRUZ ; CARNEIRO, 2006):

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

onde Y_{ij} refere-se a observação do ith genótipo, no jth bloco; m é a média experimental; G_i é o efeito do ith genótipo (efeito da linhagem); B_j é o jth efeito do bloco; e E_{ijk} é o erro experimental que afeta todas as observações feitas durante o experimento.

Após verificar a homogeneidade das variâncias, foi realizada análise combinada de variância para quantificar o efeito da interação genótipo x ambiente (G x E), conforme modelo (CRUZ ; CARNEIRO, 2006), da equação:

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

Onde Y_{ijk} refere-se a observação do i- ésimo genótipo, no k- ésimo bloco, e no j- ésimo

ambiente; m é a média experimental; G_i é o efeito da i- ésimo linhagem de café arabica (genótipo) ; B/A_{jk} é o efeito do k- ésimo bloco dentro do j- ésimo ambiente; A_j é o efeito doj-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 foi considerado aleatório, enquanto o efeito ambiental foi considerado fixo.

Para quantificar a contribuição dos diferentes ambientes para o desempenho dos genótipos, o índice de qualidade ambiental (I_j) foi estimado com base em Eberhart e Russel (1966), como segue na equação:

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

Onde I_j é o índice de qualidade ambiental; $\bar{y}_j$ é a média geral dos genótipos no ambiente j , e $\bar{y}$ é a média geral dos genótipos em todos os ambientes. Esse índice permite a classificação dos ambientes que possuem I_j maior ou igual a zero como "favorável" e negativos como ambientes "desfavorável".

Para quantificar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos em diferentes ambientes, o estimador proposto por Lin e Binns (1988) foi interpretado da seguinte forma na equação.

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

Onde P_i é o a adaptabilidade e estabilidade estimadas do i-ésimo genótipo; Xij é o rendimento do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente; M_j é a resposta máxima observada entre todos os genótipos no j-ésimo ambiente; e n é o número de ambientes. Esse estimadorfoi interpretado considerando a decomposição de P_i em ambientes favoráveis e desfavoráveis. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software GENES (Cruz, 2016).

3.2.3. Resultados e discussão

Análises de variância individuais (ANOVA) foram interpretadas para quantificar a precisão experimental e práticas pós-colheita (Tabela 5). O meio ambiente da Alta Floresta D'Oeste do Oeste, RO (E1) apresentou maiores notas de qualidade da bebida em comparação com Porto Velho, RO (E2) e Rio Branco, AC (E3). Este ambiente de temperatura média mais baixa (23,4°) e altitude maior (350 m) também foi classificada como favorável à qualidade da bebida (*Ij*

=4,4). Temperaturas mais baixas tendem a favorecer o acúmulo de açúcar nos grãosde café retardando a maturação dos frutos (ALVES *et al.*, 2011). Figueiredo *et al.* (2018) avaliaram a qualidade da bebida de *C. arabica* em três ambientes com diferentes altitudes e observou que todos os ambientes eram adequados para a produção de café, embora apenas o ambiente de maior altitude foi favorável para a produção de cafés especiais (ALT ≅ 920 m).

As estimativas do coeficiente de variação podem ser consideradas baixas, indicando alta acurácia experimental e desempenho adequado dos procedimentos pós-colheita (Tabela 5). Menores estimativas do coeficiente de variação (CV < 5%) também foram observadas por Oliveira *et al.*, (2013) para os atributos acidez, corpo, retrogosto, equilíbrio e impressão global da bebida *C. arabica*. Souza *et al.*, (2018) observaram estimativas de coeficientes de variação superiores aos deste estudo, com intervalo de 12,1 a 15,7% na avaliação de dez atributos doProtocolo de degustação de Robustas Finos para genótipos 130 *C. canephora*.

A qualidade da bebida é influenciada tanto pelo genótipo quanto pelo ambiente (DAMATA *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2020). O clima, o solo, o manejo do café e o processamento pós-colheita são alguns fatores importantes para a qualidade da bebida. Assim como o cultivo em regiões de altas temperaturas acelera o ciclode amadurecimento dos frutos, o uso de irrigação com altas doses de nitrogênio pode reduzir aqualidade da bebida por acelerar o amadurecimento dos frutos (MARTINEZ *et al.*, 2014). Clemente *et al.*, (2013) avaliaram a influência da nutrição mineral na qualidade da bebida da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, observando que apenas o K contribuiu para o aumento dos teores de cafeína, fenóis totais, açúcares totais, redutores, índice de cor e acidez total.

A região de cultivo do café na Amazônia Ocidental está sujeita aos tipos climáticos Am e Aw, caracterizados como climas tipicamente tropicais, úmidos e quentes, com pequena amplitude térmica anual e expressiva amplitude térmica diurna de maio a setembro (Alvares *et al.*, 2013). A cafeicultura está localizada em regiões de baixa altitude entre 95 e 405 m, temperaturas médias anuais do ar entre 25°C e 27°C, com temperaturas máximas entre 30°C e 35°C e mínimas entre 18°C e 20°C (ALVARES *et al.* al., 2013). O ambiente Alta Floresta D'Oeste, que apresentou índice de qualidade final da bebida superior aos demais ambientes, possui altitude mais elevada (350m) e temperatura média mais baixa, com chuvas semelhantes aos demais ambientes.

Tabela 5. Resumo da média das notas finais de qualidade da bebida de 21 linhagens de *Coffea arabica* e 4 testadores avaliados em três ambientes da Amazônia Ocidental.

Linhagens	Alta Floresta D'Oeste RO (E1)	Porto Velho RO (E2)	Rio Branco AC (E3)	Media[1]	Pi
2	81.0	79.0	80.3	80	1
11	79.3	79.0	77.7	79	2
12	78.0	75.0	78.7	77	3
20	77.5	75.1	75.1	76	4
T25	81.7	71.3	73.2	75	5
13	76.5	75.2	73.5	75	6
T23	80.0	72.3	71.5	75	7
T24	81.7	65.6	75.5	74	8
T22	81.8	67.0	73.3	74	9
10	75.2	70.5	73.7	73	10
15	77.7	66.6	73.3	73	11
5	82.8	60.0	73.9	72	12
6	77.3	67.3	71.8	72	13
1	75.3	73.9	66.1	72	14

7	74.3	70.4	67.3	71	15
19	72.3	66.0	73.0	70	16
17	77.9	60.7	71.8	70	17
16	71.3	61.5	75.0	69	18
14	72.0	61.3	74.3	69	19
8	76.2	64.1	65.8	69	20
3	66.0	64.4	73.2	68	21
21	70.3	61.7	70.0	67	22
4	84.7	62.0	60.6	67	23
18	75.0	60.3	64.9	67	24
9	69.3	70.3	69.0	61	25
BQ_{mean}	77	68	72		
BQ_{max}	85	79	80		
BQ_{min}	66	60	61		
Ij	4.4	-4.2	-0.1		
$CV_{(\%)}$	3.57	3.56	3.68		
F	8.54**	18.23**	8.62**		
h^2	0.88	0.94	0.88		

Média1: Médias da pontuação final da qualidade da bebida das linhas e dos testadores, Pi: classificação de acordo com Linn & Binns (1988), BQmédia: pontuações finais da qualidade média da bebida, BQmax: pontuações finais da qualidade máxima da bebida, BQmin: pontuações finais da qualidade mínima da bebida, Ij: ambiental índice, CV(%): coeficiente de variação em porcentagem, F: teste F de análise de variância, h2: herdabilidade média das linhagens. T22-T25: cultivares comerciais utilizadas como testadoras. A qualidade final da bebida foi pontuada a partir da soma da pontuação de cada atributo avaliado individualmente, em uma escala que varia de 0 a 10. Se a amostra de café atingir pontuação final maior ou igual a 80 pontos, é classificado como café especial.

Além dos efeitos ambientais, o genótipo também é um fator importante para a qualidade da bebida. Os notas de qualidade da bebida apresentaram estimativas de herdabilidade individual variando de 0,88 a 0,94, o que, segundo Cruz e Carneiro (2006) indica predominância do efeito dos genótipos na expressão da qualidade da bebida (Tabela 5). Carvalho *et al.*, (2016) avaliaram características agronômicas de 33 progênies do grupoCatucaí, tendo observado que duas progênies apresentaram qualidade superior em relação ao controle Catucai Amarelo 2SL. Cheng *et al.*, (2016) também observaram que a qualidade da bebida foi influenciada tanto pelo genótipo quanto pelo ambiente. No entanto, o metabolismo do café ainda não é totalmente compreendido, sendo necessário considerar a imprevisibilidade da interação genótipo x ambiente, que deve ser estudada considerando cada linhagem separadamente.

A análise de variância combinada indicou que os efeitos da interação genótipo x ambiente (GE) foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 6). Na ocorrência de interação, a resposta das falas deve ser interpretada individualmente, devido à resposta diferencial da

qualidade da bebida nos diferentes ambientes (CHENG *et al.*, 2016). A interação G×E também limita a seleção de linhagens de ampla adaptabilidade, uma vez que a interação é caracterizada por mudanças no desempenho relativo dos genótipos em diferentes ambientes (CRUZ E CARNEIRO, 2006). Mota *et al.*, (2020) ao avaliar as cultivares Bourbon Amarelo eCatucaí em cinco ambientes de Minas Gerais, observaram que as cultivares apresentavam diferentes perfis de compostos voláteis, e diferentes análises sensoriais de acordo com o ambiente.

A herdabilidade estimada pode ser considerada de magnitude média (h2 =48,58), o que indica a existência da interação G x E do tipo complexo (Tabela 6) (STURION e RESENDE, 2005). As interações dos complexos são caracterizadas por mudanças no desempenho das linhas em diferentes ambientes (CRUZ E CARNEIRO, 2006). A razão entre os coeficientesde variação genética e ambiental (CVg/Cve) também indica a possibilidade de se obter ganhoscom a seleção de linhagens. De acordo com Ramalho *et al.*, (2000), quando esta razão é semelhante ou superior a 1, melhores são as condições para a obtenção de ganhos com a seleção (Tabela 6).

O biplot das pontuações finais do IPCA1 versus qualidade da bebida foi interpretado para identificar as linhagens de maior adaptabilidade no eixo x e maior estabilidade no eixo y, uma vez que as linhagens mais estáveis se aproximam de zero nesse eixo. Dessa forma, aspontuações mais baixas no eixo y, caracterizam linhas com desempenho estável em todos os ambientes (DIAS *et al.*, 2017). Muitas linhagens tiveram pontuações baixas no eixo y, 15, 10, 12, 11, 2, 13, T23 17, 21, 4, 18, 14, 16, 8, 7 e 1. No entanto, apenas um conjunto menor apresentou maior estabilidade associado a uma maior adaptabilidade, interpretada como os mais altos graus de qualidade da bebida (Figura 7)

Os controles T23 Obatã IAC1669-20 1, T24 Acauã e T25 Tupi apresentaram maiores notas de qualidade da bebida e menor estabilidade. A cultivar Obatã IAC 1669-20 de ciclo de maturação tardio e a cultivar Acauã resistente à deficiência hídrica apresentaram maior qualidade de bebida em relação à cultivar Tupi, geralmente recomendada para cultivo em regiões de solos férteis e clima ameno (Carvalho, 2008; Fazuoli *et al.*, 2018).). A testemunha T22 Catucaí Amarelo 2SL de alta produtividade em regiões de altas temperaturas apresentou maior grau de qualidade da bebida no ambiente Alta Floresta D'Oeste D´Oeste – RO (A1) (CARVALHO *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2019).

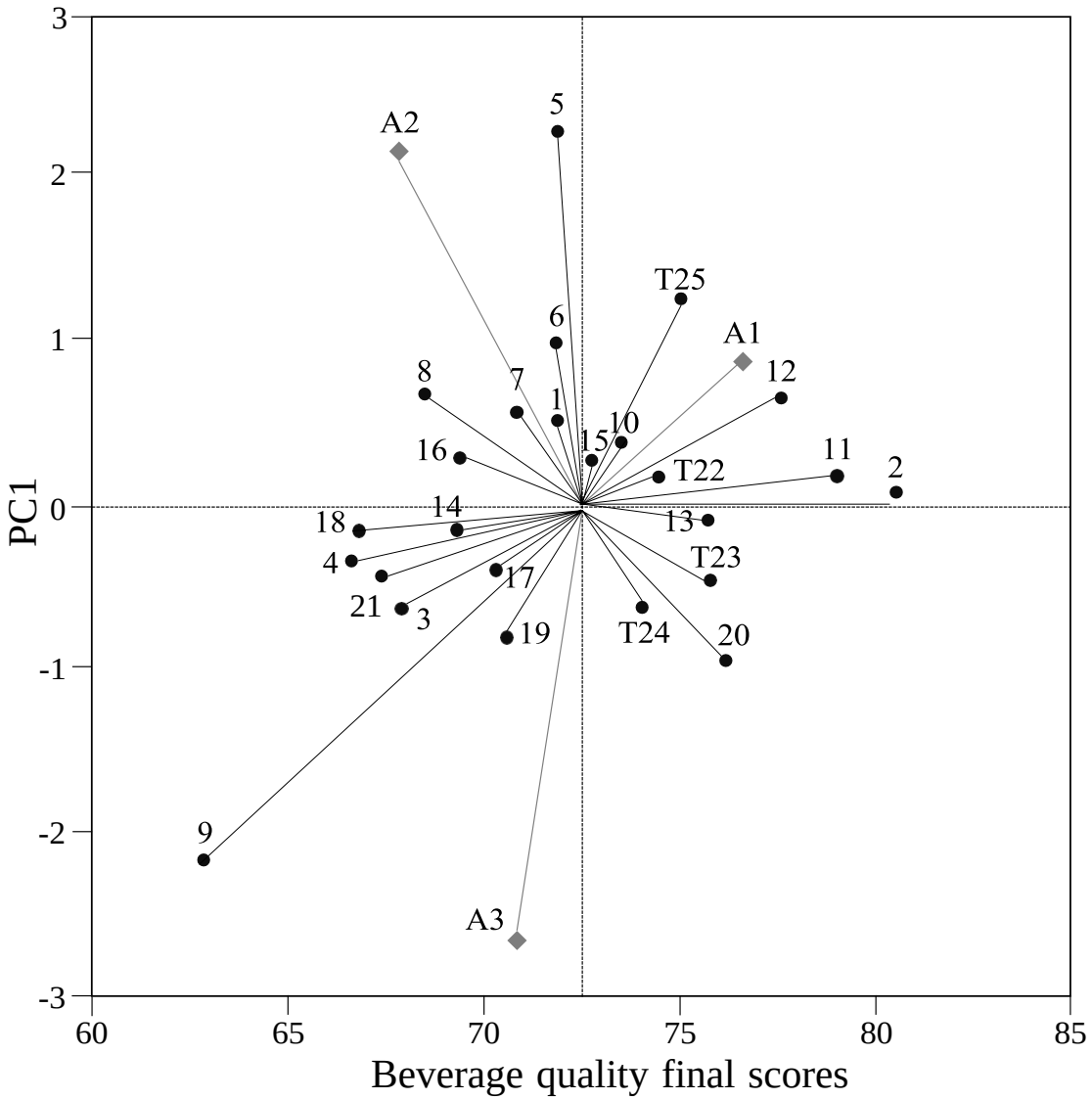
Tabela 6. Resumo da análise de variância e parâmetros genéticos estimados dos notas finais de qualidade da bebida de 21 linhagens de *Coffea arabica* e 4 testemunhas avaliadas em três ambientes da Amazônia Ocidental.

FV	GL	SQ	QM	F
Genótipos (G)	24	2737.69	114.07	1.94*
Ambientes (E)	2	2762.74	1381.37	23.54**
GxE	48	2815.55	58.65	8.64**
Residual	150	1018.47	6.79	
Total	224	9334.44		
Media Geral	72.24			
C.V.%	3.61			
Parâmetros genéticos				
Variação genotípica	6.16			
Variação G x E	17.29			
Variação residual	6.79			
Herdabilidade	48.58			
Correlação intraclasse	20.36			
CVg	3.43			
CVg/Cve	0.95			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, F: teste F de análise de variância, CVg/CVe: coeficiente de variação genético / coeficiente de variação ambiental, CVg: coeficiente genético de variação, ** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade..

Os controles T25 Tupi, T24 Acauã e T22 Catucaí Amarelo 2SL apresentaram melhor qualidade apenas no ambiente A1 (81,7, 81,7, 81,8). As linhas 5 e 4 apresentaram desempenho semelhante de melhores notas de qualidade da bebida no ambiente A1 (82,8 e 84,7) e pontuações abaixo de 75 pontos nos demais ambientes.

Figura 7. Biplot do IPCA1 (82%) versus notas finais de qualidade da bebida de 21 linhagens de *Coffea arabica* e 4 testadores avaliados em três ambientes da Amazônia Ocidental: Alta Floresta D'Oeste D´Oeste - RO (E1); Porto Velho – RO (E2) e Rio Branco – AC (E3). As linhagens são identificadas por números e as cultivares comerciais pelo prefixo T (testadores).



Assim como as linhagens, os ambientes localizados mais próximos ao eixo y apresentam maior estabilidade, entendida como a menor variação no desempenho dos genótipos (DIAS *et al.*, 2017). O ambiente A1 de maior altitude e menor temperatura apresentou o melhor desempenho médio e a maior estabilidade (Figura 7). Neste biplot, as linhagens e os

ambientes agrupados no mesmo quadrante interagem positivamente, e negativamente se caírem em quadrantes opostos (OSIRU *et al.*, 2009). As linhagens 12, 11, 2 e os controlesT22 e T25 apresentaram maior adaptabilidade e interação positiva com o ambiente A1.

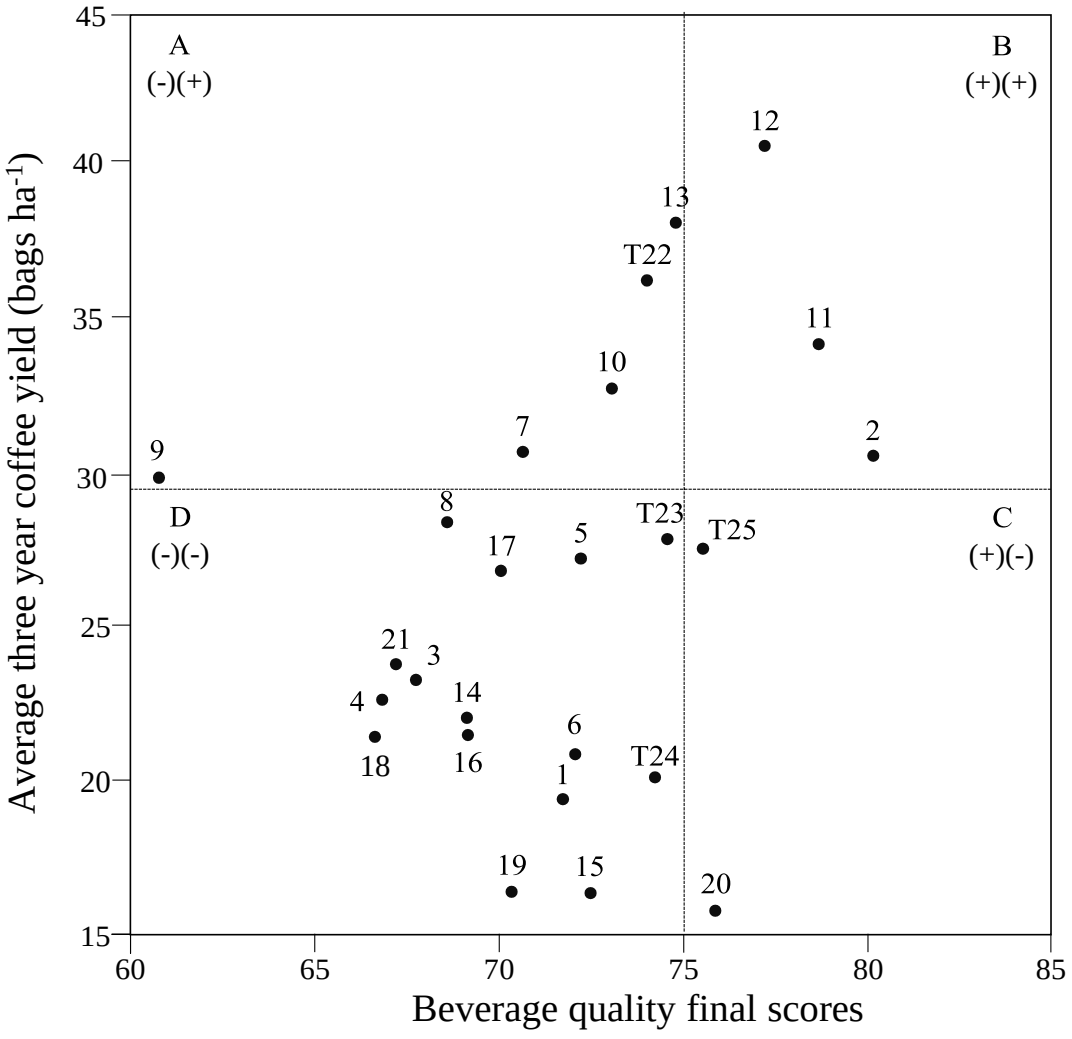
As linhagens 2, 11 e 12 também tiveram nuances que foram apreciadas nas avaliações da qualidade da bebida. A linhagem 2 teve nuances descritas como exóticas, frutadas, doces e cítricas. A linhagem 11 tinha nuances frutadas, cítricas e doces, e as linhagens 12 e 13 tinham nuances cítricas. Na literatura as nuances de frutado, caramelo, chocolate, floral e doce estão associadas à melhor qualidade da bebida (SCHOLZ *et al.*, 2013; MOREIRA *et al.*, 2015).

A seleção de plantas para o desenvolvimento de novas cultivares pode considerar um conjunto de características agronômicas favoráveis (BOTELHO *et al.*, 2010). Para selecionar linhagens de maior qualidade de bebida e também de maior produtividade, a seleção foi feita considerando a qualidade da bebida e a produtividade média de três anos, avaliada por Souza *et al.*, (2019) (Figura 8). Os quadrantes A e C representam as linhas que apresentam desempenho divergente quanto à qualidade e rendimento da bebida, seja por apresentarem baixa qualidade de bebida e alto rendimento médio (Quadrante A) ou por apresentarem alta qualidade de bebida e baixo rendimento médio (Quadrante C) (Figura 8).

A linha 20 e a testemunha T25 foram classificadas no quadrante C de boa qualidade da bebida e baixa produtividade (abaixo de 30 sacas ha^{-1}). Apesar do maior índice de qualidade da bebida, o controle T25 (Obatã IAC1669-20) apresentou menor produtividade que o controle T22 (Catucai Amarelo 2SLCAK), que foi considerado o melhor controle por associarmaior qualidade e produtividade da bebida (36,90 $saca.ha^{-1}$) (Figura 8).

Os quadrantes de desempenho convergente são aqueles que apresentaram alta qualidade de bebida e alto rendimento médio (Quadrante B), e baixa qualidade de bebida e baixo rendimento médio (Quadrante D). Das vinte e uma linhagens avaliadas, treze (62%) foram agrupadas no quadrante D de baixa produtividade e baixa qualidade da bebida. Esses genótipos apresentaram baixa adaptabilidade aos ambientes, e podem não ser considerados para cultivo na Amazônia Ocidental. Beksisa *et al.*, (2018) avaliando a interação GxA da produtividade de *C. arabica* em 8 ambientes na Etiópia, observaram também apenas duas linhas superiores, sendo o ambiente o fator mais relevante na produtividade (42,75%). Bonomo *et al.*, (2004) avaliaram 28 progênies F3 de cruzamentos entre Híbrido Timor, CatuaíVermelho e Catuaí Amarelo, em que seis progênies apresentaram desempenho superior para um conjunto de características agronômicas.

Figura 8. Biplot da produtividade média de três anos de café e os índices de qualidade da bebida de 21 linhagens de *Coffea arabica* e 4 testadores avaliados em três ambientes da Amazônia Ocidental: Alta Floresta D'Oeste D´Oeste - RO (E1); Porto Velho – RO (E2) e RioBranco – AC (E3). As linhagens são identificadas por números e as cultivares comerciais peloprefixo T (testadores). Quadrante A(+)(-): notas finais de baixa qualidade de bebida e alto rendimento de café, Quadrante B (+)(+): notas finais de alta qualidade de bebida e alto rendimento de café, Quadrante C(-)(+): alta qualidade de bebida notas finais e baixo rendimento de café, Quadrante D(-)(-): notas finais de baixa qualidade de bebida e baixo rendimento de café.



As linhagens 2, 11 e 12 foram agrupadas no Quadrante B, diferenciando-se dos demais genótipos, com rendimentos médios de 30,34, 34,75 e 41,42 sacas por hectare e notas de qualidade final da bebida de 80, 79 e 77 em todos os ambientes, apresentando desempenho

superior aos melhores controle (T22-Catuaí Amarelo 2SL) de 36,90 saca ha^{-1} e índice de qualidade da bebida de 74 nos ambientes. Zaidan *et al.*, (2017) avaliaram a qualidade da bebida *C. arabica* em 14 municípios mineiros, com altitudes que variam de 600 a 1200 m, nosquais observaram a maior qualidade da bebida da cultivar Catuaí Amarelo em altitudespróximas a 700 m . Dias *et al.* (2017) selecionaram duas linhagens superiores de *C. arabica* de 10 progênies avaliadas em 13 ambientes.

Estimativas de correlação negativa entre duas características de interesse podem dificultar a seleção de plantas que busquem aumentar ambas as características simultaneamente (DIAS *et al.*, 2004). O rendimento do café e a qualidade da bebida apresentaram estimativa de correlação de 0,30, não significativa pelo teste t a 5% de probabilidade. Outros estudos também indicam que a correlação entre o rendimento do café e a qualidade da bebida é baixa ou inexistente (FREITAS *et al.*, 2020). Em *C. canephora*, Dalazen *et al.* (2020) observaram que os clones mais cultivados no estado de Rondônia devido ao seu maior potencial produtivo, apresentam pouca diferença na qualidade da bebida. Selecionando clones na mesma região, Teixeira *et al.* (2020) também não observaram associação entre produtividade de café e qualidade da bebida.

A adaptação de genótipos a ambientes específicos é essencial para o desenvolvimento de novas cultivares (CARGNIN *et al.*, 2006). As linhagens 2, 11 e 12 estão na quinta geração de autofecundação (F5) do Programa de Melhoramento Genético do Café, a partir dos cruzamentos entre cultivares comerciais realizados pela EPAMIG e UFV. Estas linhagens foram selecionadas para avançar gerações para o desenvolvimento de novas variedades.

3.2.4 Conclusão

1. O ambiente de Alta Floresta D'Oeste do Oeste (A1), foi favorável para a qualidade da bebida com média de até 5 pontos nos notas de qualidade da bebida.
2. As estimativas dos parâmetros genéticos indicaram uma predominância do componente genético na expressão da qualidade da bebida e uma tendência das linhagens selecionadas em manter sua superioridade genética em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental.
3. Entre os genótipos de maior qualidade de bebida, apenas as linhagens 2 (H419-10-6-2-1-6),11 (H514-7-10-6-2511) e 12 (H514-7-10-6 -9) também tiveram maior produtividade.

3.2.5 Referencias

ALVARES, C.A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologia**, v. 22, n 1, p. 711-728, 2013.

ALVES, H.M.R.; VOLPATO, M.M.L.; VIEIRA, T.G.C.; BORÉM, F.M. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário,** v. 32, n. 261, p. 18-29, 2011.

BEKSISA, L.; ALAMEREW, S.; AYANO, A.; DABA, G. Genotype environment interaction and yield stability of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes. **African Journal of Agricultural.**, v.13, p. 210-219, 2018.

BONOMO, P.; CRUZ, C.D.; VIANA, J.M.S.; PEREIRA, A.A.; *et al.* Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do Híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. **Bragantia**. V.63, p. 207-219, 2004.

BOTELHO, C.E.; REZENDE, J.C.D.; CARVALHO, G.R.; CARVALHO, A.M.D.; ANDRADE, V.T.; BARBOSA, C.R. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1404- 1411, 2011.

CARGNIN, A; SOUZA, M.A.D; CARNEIRO, P.C.S; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **PesquisaAgropecuária Brasileira,** v.41, p. 987-993, 2006.

CARVALHO, A.M; MENDES, A.N.G; BOTELHO, C.E; BAIÃO, A.C.O; *et al.* Desempenho agronômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 481-487, 2012.

CARVALHO, A.M.D; MENDES A.N.G; REZENDE, F.V; BOTELHO, C.E, *et al.* Seleção de progênies de cafeeiros do grupo catucaí. **Coffee Science**. v.11, n.1, p. 244-254, 2016.

CARVALHO, C.D. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. 1 ed. Brasília, Embrapa Café, 2008. p. 279.

CHENG, B.; FURTADO, A.; SMYTH, H.E.; HENRY, R.J. Influence of genotype and environment on coffee quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 57, n. 1, p. 20-30, 2016.

CLEMENTE, J.M.; MARTINEZ, H.E.P.; ALVES, L.C.; LARA, M.C.R. Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee bean size. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 279-285, 2013.

CRUZ, C.D. Genes Software - Extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 38, n. 1, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C.D.; SOUZA CARNEIRO, P.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 480p.

CZERNY, M.; MAYER, F.; GROSCH, W. Sensory study on the character impact odorants of roasted arabica coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 2, p. 695- 699, 1999.

DALAZEN, J.R.; ROCHA, R.B.; PEREIRA, L.L.; ESPINDULA, M.C.; SOUZA, C.A. Beverage quality of most cultivated *Coffea canephora* clones in the Western Amazon. **Coffee Science**. v. 15, ID.e151711, p. 7, 2020.

DIAS, L.A.D.S.; PICOLI, E.A.D.T.; ROCHA, R.B.; ALFENAS, A.C. A priori choice of hybrid parents in plants. **Genetic Molecular Research**, v. 3, n. 1, p. 356-368, 2004.

DIAS, R.B.; CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; CARVALHO, A.M.; *et al.* Adaptability and phenotypic stability of F4 progenies of *Coffea arabica*. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 508-516, 2017.

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

FAZUOLI, Luiz Carlos *et al.* IAC Obatã 4739-dwarf arabic coffee cultivar with yellow fruits and resistant to leaf rust. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 330-333, 2018.

FIGUEIREDO, L. P.; BORÉM, F. M.; RIBEIRO, F. C.; GIOMO, G. S.; MALTA, M. R.; TAVEIRA, J. H. DA S. Sensory analysis and chemical composition of 'bourbon' coffees cultivated in different environments. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 122-131, 2018.

FREITAS, A.F.D.; NADALETI, D.H.S.; SILVEIRA, H.R.D.O.; CARVALHO, G.R; *et al.* Productivity and beverage sensory quality of arabica coffee intercropped with timber species. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**. v. 55, ID.e02240, p. 1- 8, 2020.

LIN, C., 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, 1988.

LINGLE, T.R. **The coffee cupper´s handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee´s flavor. 4st edn. Long Beach. Specialty Coffee Association of America, 2011. P 43.

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

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, n. 1, p. 838-848, 2014.

MOAT, J. *et al.* Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature plants**, v. 3, n. 7, p. 1-14, 17081, 2017.

MOREIRA SOBREIRA, F. *et al.* Sensory quality of arabica coffee ('*Coffea arabica* ') genealogic groups using the sensogram and content analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 6, p. 486, 2015.

MOTA, M.C.B.; BATISTA, N.N.; RABELO, M.H.S.; RIBEIRO, D.E.; *et al.* Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. **Food Research International,** v. 136, n. 1, p. 109482-109493, 2020.

OLIVEIRA, P.D. *et al.* Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality. **Coffee Science,** v. 8, n. 2, p. 211-220, 24. 2013.

OSIRU, M.O. *et al.* Yield Stability Analysis of *Ipomoea batatus* L. cultivars in diverse environments. **Australian Journal of Crop Science**. v. 3, n. 1, p. 213-230, 2009.

PARTELLI, F.L. *et al.* Quality of conilon coffee dried on a concrete terrace in a greenhouse with early hulling. **Semina**: Ciências Agrárias, v. 35, n. 5, p. 2367-2372, 2014.

RAMALHO, M.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na Agropecuária**. 2 ed. Lavras, Editora UFLA, 2000. p. 256

RENDÓN, M.Y.; SALVA, T.J.G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food chemistry**, v. 147, n.1, p. 279-286, 2014.

RIBEIRO, B.B. *et al.* Sensory evaluation of coffee cultivars in the Campo das Vertentes Mesoregion, Minas Gerais. **African Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 2, p. 179-186, 2020.

ROCHA, R.B. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de progênies de meios-irmãos de pinhão-manso em diferentes regiões do Brasil**. Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 174-182, 2016.

RODRIGUES, W.P. *et al*. Long-term elevated air [CO^2] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global Change Biology**, v. 22, n. 1, p. 415-431, 2016.

SANTOS, R.V.; VIEIRA, H.D.; BORÉM, F.M.; PRADO, M.V.B. Multivariate statistical applied to data costs post-harvest coffee. **Coffee Science,** v. 12, n. 2, p. 223-230, 2017.

SCAA - Specialty Coffee Association of America. **Cupping Specialty Coffee**-SCAA, Santa Ana, Specialty Coffee Association of America, 2014, p.7

SCHMILDT, E.R. *et al.* Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho. **Acta Scientiarumentiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 51-58, 2011.

SCHOLZ, M.B.S. *et al.* Sensory atributes and physico-chemical characteristics of the coffee beverage from the IAPAR cultivars. **Coffee Science,** v. 8, n. 1, p. 6-16, 2013.

SOUZA, C.A.; ROCHA, R.B.; ALVES,E.A.; TEIXEIRA,A.L.; DALAZEN,J.R.; FONSECA, A.F.A.da. Characterization of beverage quality in *Coffea canephora Pierre* ex a. Froehner. **Coffee Science**, v. 13, n. 2, p. 210-218, 2018.

SOUZA, C.A.DE; TEIXEIRA,A.L.; TORRES, J.D.; SILVA, C.A.; ESPINDULA, M.C.; ROCHA, R.B. Adaptability And Stability Of *Coffea arabica* Lines In The Western Amazon. **Coffee Science**, v. 14, n. 2, p. 240 - 249, 2019.

STURION, J.; DE RESENDE, M.D.V. Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.). **Pesquisa Florestal Brasileira,** v.1, n. 50, p. 3-10, 2005.

SUNARHARUM, Wenny B.; WILLIAMS, David J.; SMYTH, Heather E. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research International**, v. 62, n.1, p. 315-325, 2014.

TEIXEIRA, A.L.; MEDINA FILHO, H.P.; BORDIGNON, R.; ROCHA, R.B. Yield, maturation, and beverage quality of arabica coffee progenies under selection in Rondônia state, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n . 38, p.2854-2861, 2014.

TEIXERA, A.L. *et al.* Performance of arabica coffee cultivars under high temperature conditions. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n.33, p. 4402-4407. 2013.

TEIXEIRA, A.L. *et al.* Selection of arabica coffee progenies tolerant to heat stress. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1228-1234, 2015.

TEIXEIRA, A.L. *et al.* Amazonian Robustas - new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology,** v. 20, ID.e323420318, p. 1-8, 2020.

ZAIDAN, U.R.; CORREA, P.C.; FERREIRA, W.P.M.; CECON, P.R. Environment and variety influence on coffee quality of" Matas de Minas". **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 240-247, 2017.

ZOBEL, R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy journal**, v. 80, n. 3, p. 388-393, 1988.

3.3 CAPÍTULO III: POLINIZAÇÃO *IN VITRO* E MICROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO DA AUTOINCOMPATIBILIDADE GAMETOFÍTICA DE *COFFEA CANEPHORA PIERRE* EX A. FROEHNER.

Resumo: *Coffea canephora* apresenta autoincompatibilidade gametofítica. Os objetivos desse trabalho foram otimizar procedimentos de polinização *in vitro* e de microscopia de fluorescência para caracterizar a autoincompatibilidade gametofítica de genótipos de C. canephora. Para isso foram realizadas 115 polinizações *in vitro* entre 30 matrizes das variedades botânicas Conilon e Robusta. Plantas testadoras dos grupos de compatibilidade I, II e III, foram utilizadas como doadores de grãos de pólen. Flores dos genótipos receptores foram coletadas um dia antes da antese, emasculadas e colocadas em recipiente contendo meio de cultura sólido. No dia seguinte, grãos de pólen dos genótipos doadores foram colocados em um dos lados do estigma bífido de cada flor receptora. Após 30 horas, o desenvolvimento dos tubos polínicos, característico de hibridações compatíveis, foi avaliado em microscópio de fluorescência, utilizando corante azul de anilina a 1%. 11 genótipos (37%)foram classificados no grupo I, 13 (43%) no grupo II e 6 (20%) no grupo III. A polinização *in vitro* não apresenta contaminação por grãos de pólen de plantas não doadoras, pode ser realizada em diferentes ocasiões ao longo do ano, por necessitar de menor quantidade de flores e os resultados são obtidos rapidamente.
PALAVRAS-CHAVE: Café canéfora, Conilon, Robusta, compatibilidade.

Abstract: The objectives of this study were to optimize *in vitro* pollination andvfluorescence microscopy procedures to characterize the gametophytic selfincompatibility of Coffea canephora genotypes. For that purpose, 115 *in vitro* pollinations were carried out among 30 parent plants of the Conilon (17) and Robusta (13) botanical varieties. Tester plants of compatibility groups I, II, and III were used as pollen grain donors. On the day of anthesis, pollen grains of the donor genotypes were transferred *in vitro* to one of the sides of the bifid stigma of each receptor flower. After 30 hours, the development of the pollen tubes was evaluated in fluorescence microscopy. Eleven genotypes (37%) were classified in compatibility Group I, thirteen (43%) in Group II, and six (20%) in Group III. *In vitro* pollination allowed reduction in the time necessary to diagnose compatibility, without exhibiting contamination caused by the presence of pollen grains of non-donor plants.
KEYWORDS: *Canephora coffee*, Conilon, Robusta, compatibility.

3.3.1 Introdução

A capacidade de impedir a autofecundação é uma característica importante do sistema reprodutivo do cafeeiro *Coffea canephora*, a qual evoluiu como uma forma de evitar os efeitos deletérios da endogamia (NOWAK *et al.* 2011). A autoincompatibilidade (AI) impede uma planta fértil de formar sementes viáveis quando fertilizada por seu próprio pólen (Vieira *et al.* 2021).

C. canephora apresenta autoincompatibilidade gametofítica e a reação de incompatibilidade ocorre entre o tubo polínico e o estilo, quando estes possuem o mesmo alelo (COULIBALY *et al.* 2002, VIEIRA *et al.* 2021). Nesta espécie, a autoincompatibilidadetem sua expressão governada por apenas um gene multialélico identificado pela letra S e a paralisação no crescimento do tubo polínico deve-se à ação de ribonucleases que degradam o RNA ribossômico, impedindo o crescimento do tubo polínico (RÊGO *et al.* 2000, COULIBALY *et al.* 2003).

Na cafeicultura clonal, o plantio de clones não compatíveis pode comprometer a produtividade e a qualidade dos grãos devido à menor eficiência da polinização e aumento na taxa de grãos do tipo moca (FERRÃO *et al.* 2017, MORAES *et al.* 2018).

Apesar da incompatibilidade do *C. canephora* ter sido relatada ainda na década de 60, poucos estudos se dedicaram a caracterizar a compatibilidade dessa espécie, entre os quais destacam-se: Devreux, Vallaeys *et al.* (1959) observaram que após a autopolinização, o tubo polínico não se desenvolve, impossibilitando que o grão de pólen chegue até o ovário.Conagin and Mendes (1961) e Berthaud (1980) levantaram evidências de que a autoincompatibilidade em *C. canephora* deve ser governada pela ação de um único gene S, com três formas alélicas (S1, S2, S3). Omolaja and Fawole (2005) quantificaram a interação de cinco formas alélicas na expressão desta característica. Lashermes, Couturon *et al.* (1996)e Coulibaly, Noirot *et al.* (2002) identificaram um marcador molecular associado a essa característica pelo desenvolvimento de populações duplo haploides, homozigotas para o gene S, e mostraram que o desenvolvimento do tubo polínico pode ser observado utilizando microscopia de fluorescência. De Franceschi *et al.* (2012) descreveram que a incompatibilidade se deve a interação de glicoproteínas específicas no estigma da flor e nos grãos de pólen que se combinam para formação de dímeros. Nowak *et al.* (2011) caracterizaram o polimorfismo deste gene entre várias espécies do gênero *Coffea*. Maisrecentemente, Moraes *et al.* (2018) identificaram que os genótipos P12, P14 e P10, apresentaram as maiores estimativas de LODscore (Logarithm of the Odds) associada ao seu

agrupamento nos grupos I, II e III, e podem ser utilizadas como plantas testadoras dos seus grupos.

A caracterização da compatibilidade em programas de melhoramento depende do desenvolvimento de um método que considere a utilização de plantas testadoras, fontes e taxas de erro das avaliações e formas de evitá-los. Devido ao florescimento sincronizado do cafeeiro, a principal dificuldade das hibridações em campo é a contaminação, causada por grãos de pólen de plantas não doadoras, que são transportados pelo vento e por insetos (PRADO *et al.* 2019).

A polinização *in vitro* consiste no transporte de grãos de pólen em ambiente controlado das anteras do doador plantas aos estigmas das plantas receptoras (LASHERMES *et al.* 1996). Esta técnica em conjunto com a microscopia de fluorescência técnicas podem potencialmente reduzir o tempo de diagnóstico de compatibilidade e permitir maior precisão na transferência grãos de pólen em hibridizações dirigidas. Os objetivos deste estudo foram otimizar a polinização *in vitro* e a fluorescência procedimentos microscópicos para caracterizar a auto-incompatibilidade gametofítica de genótipos de *C. canephora*.

3.3.2. Material e Métodos

2.1 Plantas testadoras e população de melhoramento

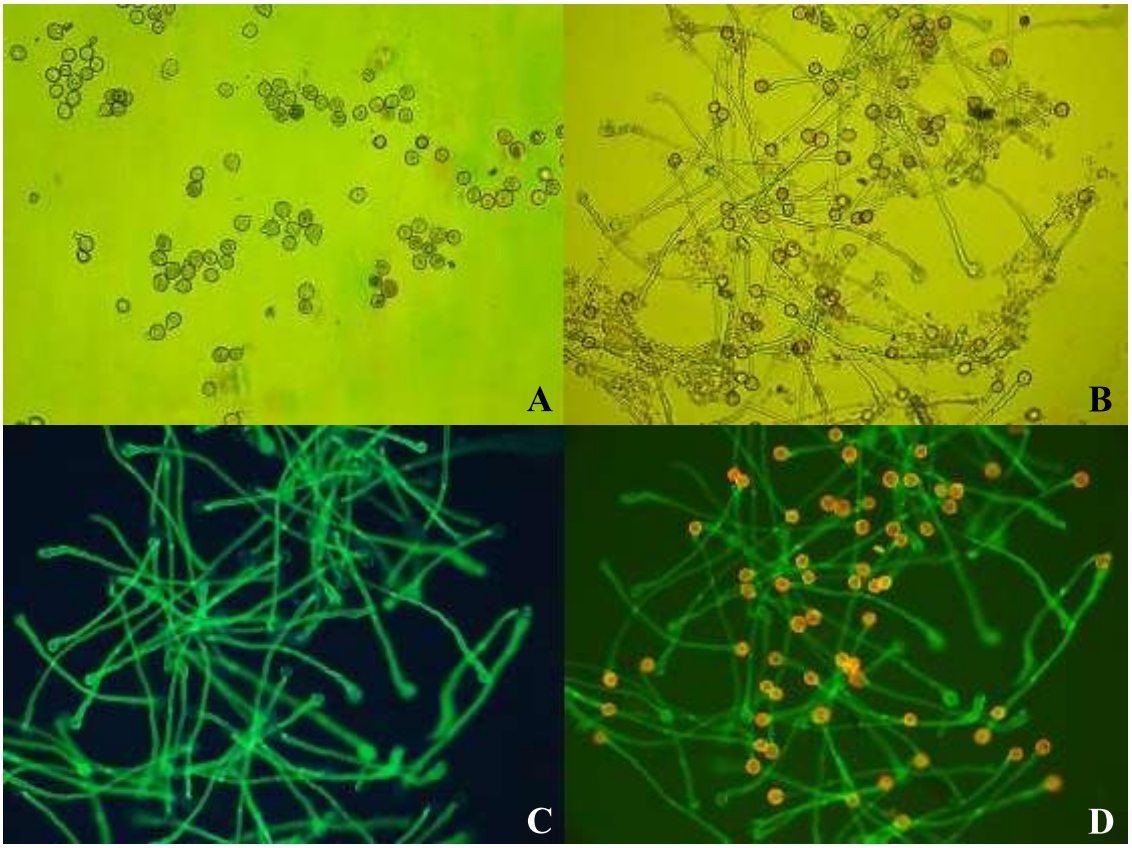
A resposta de compatibilidade de cada genótipo foi avaliada em relação às plantas testadoras. Os genótipos BRS 1216 (Conilon Emcapa03 × Robusta1675), BRS 2299 (genótipo híbrido de polinização aberta) e BRS 3193 (híbrido de polinização aberta genótipo) foram utilizadas como plantas testadoras dos grupos de compatibilidade I, II e III, respectivamente (MORAES *et al.* 2018, TEIXEIRA *et al.* 2020).

A população de melhoramento foi constituída de trinta matrizes com características das variedades botânicas Conilon e Robusta, cultivadas em campo de hibridação instalado no ano de 2017, no campo experimental de Porto Velho – RO. As matrizes desse campo de hibridação foram selecionadas de acordo com a maior divergência genética estimada a partir da avaliação de descritores agronômicos e morfológicos ao longo de três anos (OLIVEIRA *et al.* 2018). Os genótipos da variedade botânica Conilon foram identificados com o prefixo C e as matrizes com variedade botânica Robusta foram identificadas pela letra R.

A polinização *in vitro* consistiu na transferência de grãos de pólen de plantas doadoras para estigmas de plantas receptoras, realizada no laboratório. No campo experimental da Embrapa Rondônia no município de Porto Velho, RO, a floração foi monitoradasemanalmente de janeiro a dezembro de 2019. O menor número de grãos de pólen e flores necessários para *in vitro* a polinização permite que um maior número de hibridizações seja realizado ao longo do ano-safra. Procedimentos de polinização *in vitro* foram realizadas em cinco ocasiões diferentes: 17 de maio de 2019, 5 de junho de 2019, 4 de julho de 2019, 31 de julho de 2019 e 9 de setembro de 2019, para um total de 115 hibridizações dirigidas, com 12, 28, 35, 22 e 18 hibridizações realizadas em cada data, respectivamente.

Antes da polinização *in vitro*, foram realizados testes de germinação dos grãos de pólen para cada planta doadora em 10% de sacarose solução (OWUOR 1985). Para facilitar o desprendimento dos grãos de pólen, as anteras foram imersas em 5,0 ml de sacarose 10% solução em tubos tipo Eppendorf (Figura 9). Utilizando uma pipeta, a solução contendo grãos de pólen foi distribuída em de forma homogênea em uma placa de Petri. Após 60 minutos, usando um microscópio estereoscópico (ampliação de 50x), três réplicas de 100 grãos depólen foram contadas para cada doador de pólen. Os grãos de pólen cujo comprimento dotubo polínico foi maior que o diâmetro do grão de pólen foram considerados germinados. Taxas médias de germinação superiores a 60% indicam boa viabilidade do grão de pólen (OWUOR 1985) (Figura 9).

Figura 9. Grãos de pólen em meio de cultura no momento da transferência sob luz branca (100x) (A), germinação de grãos de pólen em meio de cultura 10 minutos após transferência sob luz branca (100x) (B), germinação de grãos de pólen em cultura meio 10 minutos após a transferência sob fluorescência (100x) (C e D).



Fonte: Fotos de Rodrigo Barros Rocha

No dia anterior à antese, por volta das 16:00 horas, as inflorescências das plantas receptoras e doadoras (testadoras) foram coletadas, que foram acondicionadas em sacos de papel/vasilhas e levadas ao Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais da Embrapa Rondônia.

Os estames e pétalas das flores receptoras foram removidas e as inflorescências, contendo três, quatro, ou cinco flores, foram colocadas em recipientes com meio de cultura (água, 30% sacarose, 6% bacteriológico ágar, amoxicilina 1%), com o pedúnculo imerso no meio de cultura. O meio de cultura pode ser autoclavado e armazenado; não é necessário corrigir o seu pH (TORRES *et al.* 1998). Após a exposição ao meio ambiente, o meio de cultura antibiótico é viável por aproximadamente quatro dias, tempo suficiente para o desenvolvimento do pólen tubos, que requerem aproximadamente 36 horas. Inflorescências das plantas doadoras, com botões ainda fechadas, foram colocadas em recipientes com o

mesmo meio de cultura, com o pedúnculo imerso no meio (Figura 10). Depois disso, todos os recipientes foram lacrados com filme plástico para evitar contaminação por pólen grãos e mantidos em sala de crescimento de plantas a 26 ± 1 °C e fotoperíodo de 16 horas.

Cada diagnóstico de compatibilidade é baseado na avaliação de 10 estigmas polinizados em uma das pontas do estigma bífido. No dia da antese, o pólen grãos foram coletados das flores doadoras por raspagem as anteras deiscentes com um bisturi. A raspagem deve ser realizada até que os grãos de pólen sejam visíveis ao olho nu no bisturi. A lâmina do bisturi, cheia de pólen grãos, foi então delicadamente esfregado em uma das pontas doestigma bífido, levando à aderência do pólen grãos no estigma (Figura 10).

Figura 10. Método de polinização *in vitro*: A. Flor do clone doador (macho) coletada um dia antes da antese. B. Flor do clone doador 3 horas após abertura no meio de cultura. C. Flor da variedade botânica receptora removendo a parte masculina. D. Receptor de flores *in vitro*.

O diagnóstico de compatibilidade é baseado na visualização do desenvolvimento dos tubos polínicos no pistilo das plantas compatíveis. Trinta e seis (36) horas após polinização, os estigmas foram armazenados em solução de FAA (10% formaldeído, 10% ácido acético glacial e 80% etanol), usando frascos de penicilina (10 mL) com tampa de borracha (COULIBALY *et al.* 2002). Em seguida, as amostras foram armazenadas em geladeira a 5°C até o preparo das lâminas.

Para confecção das lâminas, os pistilos foram retirado do FAA, lavado com água destilada, e imerso em hidróxido de sódio (1N NaOH) por 2 horas. Após esse período, os estigmas foram lavados com água destilada e corada por 12 horas com 1% coloração azul de anilina preparada em K2 0,1 M PO4 solução.

Em seguida, os estigmas foram novamente lavados com água destilada. A solução de hidróxido de sódio causa hidrólise alcalina das ligações covalentes do tipo éster entre a lignina e os carboidratos estruturais da parede celular com solubilização da hemicelulose e compostos (TARKOW e FEIST 1969).

Para visualização, dez pistilos foram colocados em cada lâmina, e uma lamínula foi delicadamente pressionada sobre a pistilos para achatá-los na lâmina. O material foi visualizados usando um microscópio Leica DM2500, equipado com sistema de fotodocumentação. Os pistilos foram visualizados em aumentos de 100x e 200x, contando o número de pistilos que se desenvolveram completamente tubos polínicos (Figura 11).

Figura 11. Tubos polínicos desenvolvidos visualizados nos estigmas de plantas receptoras compatíveis usando microscopia de fluorescência 30 horas após a polinização *in vitro* (A 200x).

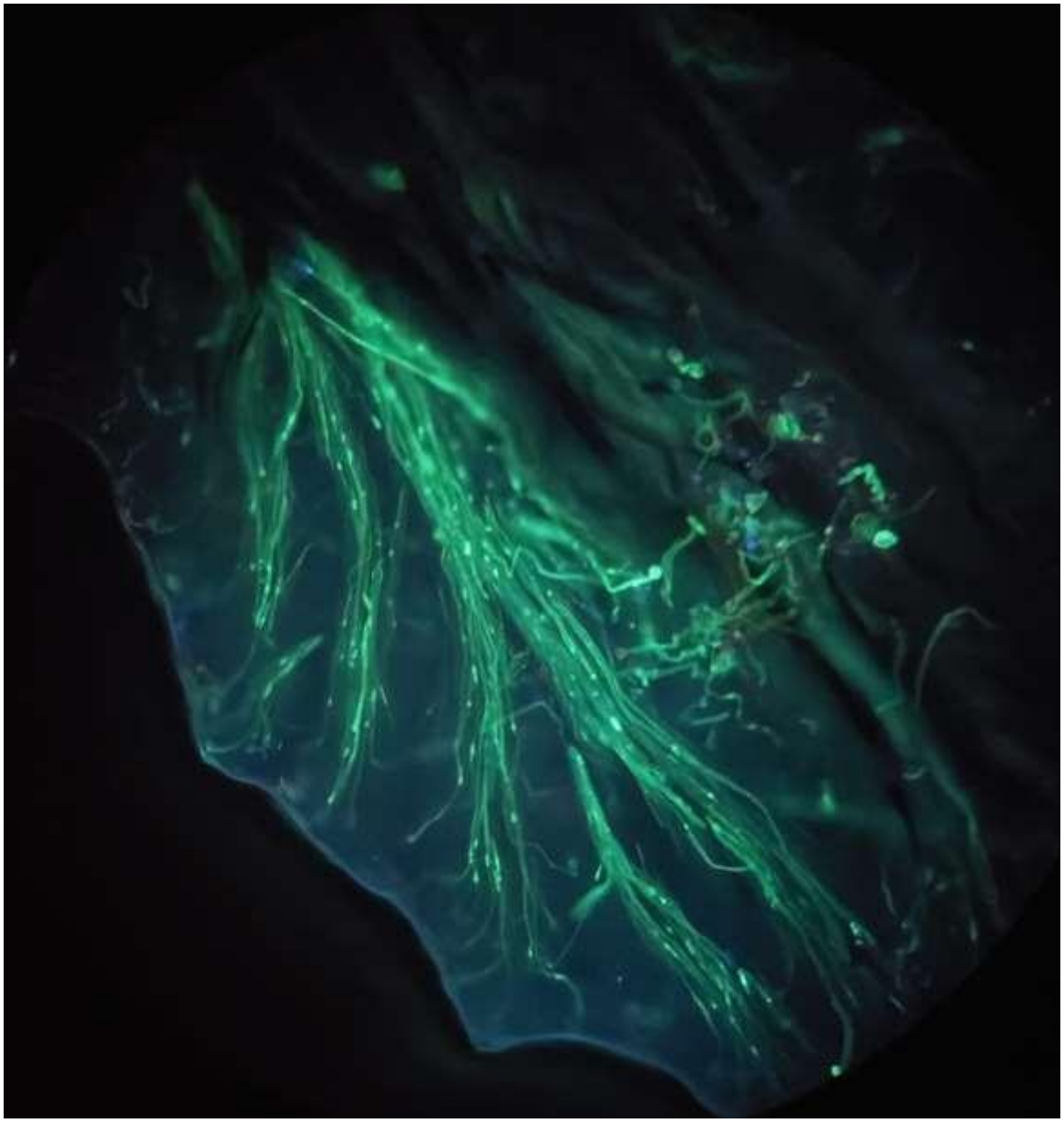


Foto: Carolina Augusto de Souza.

Dez estigmas foram avaliados para cada hibridização, e os cruzamentos que exibiram pólen tubos que foram completamente desenvolvidos no estilo do estigma foram considerados compatíveis. A eficiência de polinização (Ep) foi estimada a partir da razão entre o número de estigmas polinizados (NPS) e o número total de estigmas (TNS).

No diagnóstico de compatibilidade, é importante considerar que cada procedimento tem uma probabilidade de erro, devido às condições de manuseio do material ou ambiente. Os

procedimentos de polinização *in vitro* permitem que a transferência de grãos de pólen seja controlada com precisão, evitando diagnósticos falsos positivos que ocorrem quando dois genótipos são incorretamente considerados compatíveis, devido a contaminação. Erros de tipo falso negativo também podem ocorrer, quando dois genótipos são considerados incompatíveis, devido a alguma falha no procedimento. Assim, para o diagnóstico de compatibilidade, uma taxa de erro de 5% foi considerada em cada procedimento.

3.3.3. Resultados e discussão

O uso de plantas testadoras para determinação de grupos de compatibilidade é baseado na avaliação do resposta de compatibilidade em comparação com uma planta de genótipo conhecido para o gene S. Sob este mesmo princípio, plantas testadoras de *C. canephora* têm sido usadas para identificação de raças de ferrugem (Hemileia vastatrix), uma vez que a resposta de resistência também é governada por poucos genes de maior efeito (PEREIRA *etal.* 2020).

Este método permite reduzir o número de hibridações (n) necessárias para diagnóstico de compatibilidade de g genótipos de n.(n-1)/2 a n.t, onde t é o número de plantas testadoras. Assim, a caracterização de compatibilidade de 30 genótipos em relação a 3 testador plantas requer 90 hibridizações, o que representa uma redução de 79% em relação ao número de 435 hibridizações necessárias para caracterização de compatibilidade entre 30 genótipos sem o uso de plantas testadoras. A genealogia do gene S em progênies de *C. canephora* cultivadas na região Norte do Brasil foi caracterizada por Morais *et al.* (2018), que agruparam os genótipos em três diferentes grupos de compatibilidade. Os clones BRS1216, BRS2299, e BRS3193, usadas como plantas testadoras em nosso estudo, pertencem aos grupos de compatibilidade I, II e III, respectivamente

Flores receptoras e flores doadoras devem ser colhidas um dia antes da antese, no final da tarde, evitando a contaminação de grãos de pólen entre os genótipos doadores. Inflorescências na mesma fase de desenvolvimento, caracterizadas por botões florais bem desenvolvidos, devem ser escolhidas no momento da coleta (PRADO *et al.* 2019).

Em condições *in vitro*, a antese pode demorar um pouco mais para ocorrer em comparação com as condições de campo, nas quais a flor abertura ocorre a partir das primeiras horas da manhã, positivamente afetada pela temperatura ambiente (PETERS eCARROLL, 2012). A antese *in vitro* pode ocorrer em um intervalo de até 48 horas, períodoem que os estigmas permanecem receptivos no meio de cultura.

A viabilidade dos grãos de pólen deve ser avaliada antes da transferência dos grãos de pólen do genótipo doador aos genótipos do receptor. O genótipo doador BRS 1216 apresentou taxa média de germinação de 60%, variando de 40% a 75% nos cinco ensaios realizados no ano de 2019. O genótipo BRS 2299 apresentou uma taxa média de germinação de 80%, com amplitude de 70% a 95%, e o genótipo BRS 3193 apresentou média de 75%, com amplitude de 60% a 90%. Esses valores indicam boa viabilidade polínica. Walyaro e Vossen (1977) avaliaram a germinação de grãos de pólen armazenado em freezer sob condições de vácuo a -18 °C e observou que a viabilidade diminuiu para 70% em 9 meses, e para 60% em 11 meses. Conagin e Mendes (1961) observaram que taxas de germinação inferiores a 55% estavam associadas a menor viabilidade de grãos de pólen de *C. canephora*.

A polinização de apenas um dos lados do estigma bífido favorece a visualização ao microscópio pelo contraste entre os estilos polinizado e não polinizado (Figura 4). Em cruzamentos compatíveis, os grãos de pólen que aderem ao estigma germinam, formando um tubo polínico que cresce no estilo. O tubo polínico é um alongamento da célula do grão de pólen que cresce quimiotropicamente na direção do ovário carregando os núcleos vegetativos e germinativos (FU e YANG, 2014).

O azul de anilina tem grande afinidade com a calose, polissacarídeo presente em menor concentração na parede celular e em maior concentração em torno dos andrósporos durante a meiose, permitindo a identificação dos híbridos compatíveis através da contraste dos tubos polínicos (COULIBALY *et al.* 2002). Durante a preparação da lâmina, imersão prévia em solução de NaOH 1N resulta no amolecimento da parede celular do pistilo, essencial tanto para a fixação da mancha quanto para o esmagamento do tecido em configurando os slides.

Nas polinizações *in vitro* entre genótipos compatíveis, foi observada uma eficiência de polinização de 41,7%, com amplitude de 12% a 90%. A eficiência de polinização da polinização *in vitro* (medida a partir da razão entre o número de estigmas polinizados e o número de estigmas fertilizados) foi comparável com as taxas de frutificação observadas no campo em outros estudos. Na avaliação de 80 hibridizações direcionadas realizadas em campo, Moraes *et al.* (2018) observaram uma média taxa de frutificação de 44%, com amplitude de 26% a 77%. Os mesmos autores observaram contaminação em cruzamentos, com taxas médias superiores a 10%. A visualização do desenvolvimento do tubo polínico usando microscopia de fluorescência também permite a redução do tempo necessário para o diagnóstico de compatibilidade (Figura 11).

Tabela 7. Resumo das hibridazações realizadas de 30 genótipos com plantas testadoras dos grupos de compatibilidade I, II e III. As hibridizações não compatíveis são indicadas pelo número entre parênteses e as hibridizações compatíveis são indicadas pelos números sem formatação.

n	Clone	Teste de hibridações			FN	FP	Grupo	*p* value
		I	II	III				
1	C 125	2	(1)	2	0	0	II	0.05
2	C 154	(2)	1	1	0	0	I	0.05
3	C 167	(1)	1	1	0	0	I	0.05
4	C 184	1	(1)	1	0	0	II	0.05
5	C 452	(2)	1	1	0	0	I	0.00
6	C 46	1	(1)	2	0	0	II	0.05
7	C468	1	(1)	2	0	0	II	0.05
8	C 484	1	1	(1)	0	0	III	0.05
9	C 59	1	(1)	1	0	0	II	0.05
10	C 694	2	1	(1)	0	0	III	0.05
11	C 729	1	(1)	2	1	0	II	0.05
12	C 795	1	(1)	1	1	0	II	0.05
13	C 799	(2)	1	1	0	0	I	0.00
14	C 801	1	(1)	1	0	0	II	0.05
15	C 945	1	(1)	1	0	0	II	0.05
16	C 968	1	1	(1)	0	0	III	0.05
17	C 986	(1)	1	1	0	0	I	0.05
18	R 164	2	2	(1)	0	0	III	0.00
19	R 183	(1)	2	1	1	0	I	0.05
20	R 214	(1)	1	1	0	0	I	0.05
21	R 216	(1)	1	1	1	0	I	0.05
22	R 277	1	(1)	1	0	0	II	0.05
23	R 3	(1)	1	2	0	0	I	0.05
24	R 30	(1)	4	1	0	0	I	0.05
25	R 32	3	1	(2)	0	0	III	0.05
26	R 36	2	1	(3)	0	0	III	0.05
27	R 5	(1)	1	1	0	0	I	0.05
28	R 63	1	(1)	1	0	0	II	0.05
29	R 9	1	(1)	1	0	0	II	0.05
30	R 99	3	(1)	2	0	0	II	0.00

n: numeração ordinal dos clones receptores avaliados; Genótipo: numeração do genótipo no programa de melhoramento de café da Embrapa; I: grupo de compatibilidade I (um); II: grupo de compatibilidade II (dois); grupo de compatibilidade III (três); FN: hibridizações com erro do tipo falso negativo; FP: hibridizações com erro do tipo falso positivo; Grupo: diagnóstico do grupo de compatibilidade; e valor de p: probabilidade de erro de classificação do genótipo em seu respectivo grupo de compatibilidade considerando uma taxa de erro de 5%.

Do total de 115 hibridizações dirigidas realizadas em cinco diferentes épocas do ano, cruzamentos compatíveis predominaram (81%) (Tabela 7). De acordo com Falconer e

Mackay (1996), o mecanismo de determinação da compatibilidade coloca o gene S sobre a seleção negativa dependente da frequência, o que significa que a frequência de um alelo é inversamente proporcional ao seu valor adaptativo. Em outras palavras, os indivíduos de uma população que são portadores de doenças mais raras as formas alélicas desse gene se beneficiam da maior frequência de potenciais plantas doadoras de pólen, tornando a taxa de fertilização de um indivíduo inversamente proporcional à frequência do alelo na população.

Os genótipos avaliados neste estudo foram selecionados a partir de um campo de hibridização contendo plantas matrizes do Conilon e variedades botânicas Robusta. Embora estudos mais recentes de mapeamento genético e de genômica funcional não tenham mostraram evidências de conexão entre as características de rendimento e o gene S (LASHERMES *et al.* 1996, NOWAK *et al.* 2011), deve-se considerar que, por meio de erros ao acaso e de amostragem, a seleção pode reduzir a variabilidade desse gene.

Tabela 8. Eficiência e taxa de erro da polinização *in vitro* considerando o número de hibridações realizadas com plantas testadoras dos grupos de compatibilidade (I, II e III).

Polinização *in vitro*	**I**	**II**	**III**	**Total**
Hibridações compatíveis	27	22	30	79
Hibridações não compatíveis	14	13	9	36
Total de hibridações	41	35	39	115
Falso negativo	4			
Falso positivo	0			
Taxa falso negativo	3.45			

I: grupo de compatibilidade I, II: grupo de compatibilidade II, III: grupo de compatibilidade III.

A partir da visualização do desenvolvimento dos tubos polínicos, avaliou-se a compatibilidade de 30 genótipos, que agrupados em três grupos de compatibilidade (11 genótipos agrupados no grupo de compatibilidade I, 13 genótipos em compatibilidade grupo II e 6 genótipos no grupo de compatibilidade III) (Tabela 8). Conagin e Mendes (1961) e Moraes *et al.* (2018) também relataram a ocorrência de 3 grupos de compatibilidade. No continente africano, centro de origem desta espécie, Omolaja e Fawole (2004) observaramseis grupos de compatibilidade. O conhecimento dos grupos de compatibilidade permitenovas culturas clonais o se estabelecer na busca por maior polinização eficiência (ROCHA *et al.* 2015).

Dois tipos de erro podem ocorrer na determinação de compatibilidade: erro tipo I, chamado falso positivo, que ocorre devido à contaminação de grãos de pólen de outros plantas, e erro tipo II, chamado de falso negativo, que ocorre por falha no procedimento (Tabela 9).

Tabela 9. Descrição das fontes de erro e das formas de controle mais importantes para diagnóstico da compatibilidade utilizando polinização *in vitro* e microscopia de fluorescência.

Tipos de erros	**Fontes do erro**	**Formas de controle**
Falso negativo	Viabilidade dos grãos de pólen	Realização de teste de germinação previamente a polinização *in vitro*
	Transferência dos grãos de pólen	Treinamento para desenvolvimento da habilidade manual na raspagem dos grãos de pólen
	Maturidade do estigma	Coleta em campo dos estigmas e transferência para o meio de cultura no dia anterior a antese
Falso positivo	Contaminação de grãos de pólen	Utilização de procedimentos de assepsia durante a polinização *in vitro*
	Diagnóstico equivocado	Treinamento para reconhecimento visual dos tubos polínicos. Cuidadoso preparo das lâminas
	Erro na identificação das amostras	Identificação das amostras em todas as etapas de avaliação e controle do processo

A polinização realizada *in vitro* permite o controle da grãos de pólen utilizados nas hibridizações em ambiente, evitando a contaminação que poderia ao que é chamado de falso positivo. O erro falso negativo, por sua vez, pode ocorrer por vários fatores, incluindo a viabilidade dos grãos de pólen, maturidade dos estigmas e habilidade e cuidado durante a polinização manual.

Como a autoincompatibilidade é um mecanismo pré-zigótico que afeta a taxa de fertilidade dos grãos de pólen, é um fator importante para a variabilidade das populações naturais. No entanto, pode limitar a seleção de plantas, que deve considerar o cultivo de clones compatíveis e maior eficiência de polinização de campo.

Embora a visualização de tubos polínicos de café seja uma técnica conhecida desde a década de 1990, as otimizações apresentados neste estudo suportam o diagnóstico de compatibilidade na rotina dos programas de melhoramento, considerando o uso de plantas testadoras, controle de fontes de erro, possibilidade de avaliações em diferentes épocas do ano e menor tempo de diagnóstico tempo, uma vez que esta técnica não depende do desenvolvimento dos frutos no campo.

Considerando que a expressão de autoincompatibilidade é regida por um único gene, com pouca ou nenhuma efeito, a caracterização da autoincompatibilidade tem o potencial de identificar novas formas alélicas e novas compatibilidades grupos, apoiando melhores eficiências de polinização em plantações de café.

3.3.4 Conclusões

Os métodos de polinização *in vitro* levaram a um aumento na eficiência da polinização, sem apresentar contaminação causada por presença de grãos de pólen de plantas não doadoras.

O uso da microscopia de fluorescência permitiu a redução do tempo necessário para diagnosticar a compatibilidade nas hibridizações. O teste de germinação permitiu identificar a viabilidade polínica.

Dos 30 genótipos, 11 agruparam-se no grupo de compatibilidade I, 13 no grupo de compatibilidade II e 6 no grupo de compatibilidade III.

3.3.5 Referencias

BERTHAUD, J. Incompatibility in *Coffea canephora* - Test Method and Genetic Determinism. **Cafe Cacao The**, v. 24, n. 4, p. 267-274, 1980.

CONAGIN, C.H.T.M.; MENDES, A.J.T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*; autoincompatibilidade em *Coffea canephora*. **Bragantia**, v. 20, n. 1, p. 787-804, 1961.

COULIBALY, I.; NOIROT, M.; LORIEUX, M.; CHARRIER, A.; HAMON, S.; LOUARN, J. Introgression of self-compatibility from Coffea heterocalyx to the cultivated species *Coffea canephora*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 105, n. 6, p. 994-999, 2002.

COULIBALY, I. *et al.* AFLP and SSR polymorphism in a Coffea interspecific backcross progeny [(C. heterocalyx× *C. canephora*)× *C. canephora*]. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 107, n. 6, p. 1148-1155, 2003.

DE FRANCESCHI, P.; DONDINI, L.; SANZOL, J. Molecular bases and evolutionary dynamics of self-incompatibility in the Pyrinae (Rosaceae). **Journal of experimental botany**, v. 63, n. 11, p. 4015-4032, 2012.

DEVREUX, M.; VALLAYES, G.; POCHER, P.; EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p.36-40, 1959.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics.** Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. p. 463

FERRÃO, M.A.G.; RIVA-SOUZA, E.M.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G. Autoincompatibilidade e produção sustentável do café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Ed.). **Café Conilon.** 2 ed. atual. ampliada. Vitória, ES: Incaper, 2017. p.p 177-197.

FU, Z; YANG, P. Proteomics advances in the understanding of pollen–pistil interactions. **Proteomes**, v. 2, n. 4, p. 468-484, 2014.

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, 1996.

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

NOWAK, M.D. *et al.* Expression and Trans-Specific Polymorphism of Self-Incompatibility RNases in *Coffea* (Rubiaceae). **Plos One**, v. 6, n. 6, p. e21019, 2011.

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**, v. 48, n. 4, p. 1-14, 2018.

OMOLAJA, S.S.; FAWOLE, I. Determination of the number of self-incompatibility alleles (SIA) in *Coffea canephora* and the role of pollen-stylar protein in the expression of SIA. **20th International Conference on Coffee Science**. Bangalore, India Anais, 11-15, p.684–687, 2004.

OWUOR, J.B.O. Interspecific hybridization between *Coffea arabica* L. and tetraploid *C. canephora* P. Ex Fr. II. Meiosis in F1 hybrids and back crosses to *C. arabica*. **Euphytica**, v. 34, n. 2, p. 355-360, 1985.

PEREIRA, D.R. *et al.* Genetic and chemical control of coffee rust (Hemileia vastatrix B erk et B r.): impacts on coffee (*Coffea arabica* L.) quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 7, p. 2836-2845, 2021.

PETERS, V.E; CARROLL, C.R. Temporal variation in coffee flowering may influence the effects of bee species richness and abundance on coffee production. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 95-103, 2012.

PRADO, S.G; COLLAZO, J.A; STEVENSON, P.C; IRWIN, R.E. A comparison of coffee floral traits under two different agricultural practices. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2019.

RÊGO, M; RÊGO, E; BRUCKNER, C; SILVA, E; FINGER, F; PEREIRA, K. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses**. Theoretical and Applied Genetics**, v. 101, n. 5, p. 685-689, 2000.

TARKOW, H; FEIST, W.C. A mechanism for improving the digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. **Advances in Chemistry,** v. 95**,** n. 1, p. 197-218, 1969.

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. 1, p. e323420318, 2020.

TORRES, A.C; CALDAS, L.S; BUSO, J.A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, Embrapa, 1998. p.864

VIEIRA, J. *et al.* The identification of the Rosa S-locus and implications on the evolution of the Rosaceae gametophytic self-incompatibility systems. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2021.

WALYARO, D. J.; VAN DER VOSSEN, H. A. M. Pollen longevity and artificial cross-pollination in *Coffea arabica* L. **Euphytica**, v. 26, n. 1, p. 225-231, 1977.

4. CONCLUSÃO

Com as mudanças climáticas é o aumento da temperatura, cultivares de *C. arabica* adaptadas a região se tornam importantes para assegurar a produção do café. Na região Amazônica Ocidental o cultivo dessa espécie é limitado pela precocidade de maturação e pela sua menor adaptação a regiões de baixas altitudes e altas temperaturas.

Os resultados obtidos trouxeram uma contribuição importante para conhecimento da interação genótipo x ambiente de linhagens de *C. arabica*. Esses resultados são importantes para subsidiar a seleção de plantas e desenvolvimento de novas variedades comerciais que reúnam uma série de características favoráveis incluindo a produtividade e a qualidade da bebida.

Coffea canephora apresenta auto-incompatibilidade gametofítica. O conhecimento dos grupos de compatibilidade permite a instalação de novos plantios clonais com maior eficiência de polinização.

Este trabalho traz uma importante contribuição para o melhoramento de *C. canephora*. A polinização *in vitro* apresenta algumas vantagens importantes em relação aos procedimentos de campo: 1- não apresenta contaminação causada pela presença de grãos de pólen de plantas não doadoras, 2- pode ser realizada em diferentes épocas do ano, 3- a os resultados podem ser interpretados rapidamente; não é necessário acompanhar o crescimento dos frutos no campo.

REFERÊNCIAS

ALVES, E.L.; PEREIRA, F.A.C.; DALCHIAVON FC. Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. **Revista iPecege.** v. 3, n.1, p. 24-38, 2017.

BERGO, C.L.; PEREIRA, R.D.C.A.; SALES, F.D. Evaluation of Arabica and Robusta coffee genotypes in the state of Acre. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras. v.32, n.1, p. 11-16, 2008.

BERTHAUD, J. Incompatibility in *Coffea canephora* - Test Method and Genetic Determinism. **Cafe Cacao The**, v. 24, n. 4, p. 267-274, 1980.

CAMARGO, M.B.P.d. The impact of climatic variability and climate change on Arabiccoffee crop in Brazil. **Bragantia**. v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FOGAÇA, C.M. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Revista Ceres**, v. 55, n.1, p. 243-250, 2008.

CARVALHO SILVEIRA, J.M.; DE LIMA JÚNIOR, S.; NASSER, M.D.; CORREIA, E.A.; JANOSKI, S.L. Produção e tamanho de grãos de café *Coffea arabica* L (CV OBATÃ) sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, p. 204. 2015.

CASTRIC, V.; VEKEMANS, X. Invited Review: Plant self-incompatibility in natural populations: a critical assessment of recent theoretical and empirical advances. **Molecular Ecology**, v. 13, n. 10, p. 2873-2889, 2004.

CONAGIN, C.H.T.M.; MENDES, A.J.T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*; autoincompatibilidade em *Coffea canephora*. **Bragantia**, v. 20, p. 787-804, 1961.

CRAPARO, A. *et al. Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Globalimplications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 207, n.1, p. 1-10, 2015.

DEVREUX, M.; VALLAYES, G.; POCHER, P.; EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n.1, p. 36-40, 1959.

FAZUOLI, L.; THOMAZIELLO, R.; CAMARGO, M.D. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. **O Agronômico.** São Paulo, v. 59, n. 1, p. 19-20, 2007.

FERRÃO, M.A.G.; RIVA-SOUZA, E.M.; FONSECA, A.F.A. da.; FERRÃO, R.G. Autoincompatibilidade e produção sustentável do café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A.F.A. da.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H.(Ed.). **Café Conilon.** 2 ed. atual. ampli. Vitória, ES: Incaper, 2017, p.p 177-191.

FERREIRA, W.P.M; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; SOUZA, C.F de. Climate change does not impacts on Coffea arabica yield in Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 12, p. 5270-5282, 2017.

FRANCESCHI, P.; DONDINI, L.; SANZOL, J. Molecular bases and evolutionary dynamicsof self-incompatibility in the *Pyrinae* (Rosaceae). **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n.1, p. 4015-4032, 2012.

FURLANI JUNIOR, E. *et al.* Avaliação de cultivares de café arábica em região marginal. **Acta Scientiarum Agronomy.** v. 29, n.2, p. 197-203, 2007.

GENETI, D. Review on Genetic, Environment and Their Interaction (G x E) for Stability of Coffee Quality. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare,** v. 9, n. 21, p. 23-28, 2019.

IPCC, **Climate Change:** Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge, University Press, 2014. p.688

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, 1996.

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, 1988.

LOPES, T.A. Caracterização da autoincompatibilidade gametofíticas de clones superiores de *Coffea canephora*. **Dissertação** (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA),Universidade Federal de Rondônia -UNIR. 64 f. Porto Velho.2015.

MARTINS, M.Q. *et al.* Protective response mechanisms to heat stress in interaction with high [CO2] conditions in Coffea spp. **Frontiers in plant science,** Barcelona, v. 7, n. 4, p. 947-959, 2016.

MOAT, J. *et al.* Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature plants**, v. 3, n. 7, p. 17081, 2017.

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

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, n. 4, p. 359-365, 2017.

NOWAK, M.D. *et al.* Expression and Trans-Specific Polymorphism of Self-Incompatibility RNases in *Coffea* (Rubiaceae). **Plos One**, v. 6, n. 6, p. e21019, 2011.

OMOLAJA, S.S.; FAWOLE, I. Determination of the number of self-incompatibility alleles (SIA) in *Coffea canephora* and the role of pollen-stylar protein in the expression of SIA. **20th International Conference on Coffee Science**. Bangalore, India Anais, 11-15, p.684–687, 2004.

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.** v. 68, n. 1, p.169-181, 2009.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.** Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.975

ROCHA, B.R. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de progênies de meios-irmãos de pinhão-manso em diferentes regiões do Brasil. **Revista Ceres.** v. 63, n.2, p. 174-182, 2016.

ROCHA, R.B. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado *em Coffea canephora*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 1531-1537, 2015.

RODRIGUES, W.P, *et al.* Long-term elevated air [CO2] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global change biology**, v. 22, n. 1, p. 415-431, 2016.

SANTOS, R.V. *et al.* Estatística multivariada aplicada em dados de custos da fase de pós-colheita do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 223 - 230, 2017.

SCHIFINO-WITTMANN, M. T.; DALL'AGNOL, M. Autoincompatibilidade em plantas**.** **Ciência Rural**, v. 32, v.1, p. 1083-1090, 2002.

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

TEIXEIRA, A.L. *et al.* Yield, maturation, and beverage quality of arabica coffee progenies under selection in Rondonia state, Brazil. **African Journal of Agricultural Research,** Nigeria, v. 9, n. 38, p. 2854-2861, 2014.

TEN CATEN, A. *et al.* Estatística multivariada aplicada à diminuição do número de preditores no mapeamento digital do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 46, n. 5, p. 554-562, 2011.

TEODORO, P.E. *et al.* Identification of sorghum hybrids with high phenotypic stability using GGE biplot methodology. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2**,** p. 1-8, 2016.

VEKEMAN, X.; SLATKIN, M. Gene and allelic genealogies at a gametophytic self-incompatibility locus. **Genetics and Molecular Biology**, v. 137, n. 1, p. 1157-1165, 1994.

YAN, W *et al.* GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Cropscience.** v. 47, n. 2, p. 643-653, 2007.