



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM MANEJO E PRODUÇÃO FLORESTAL

**COMPONENTE ARBÓREO INTEGRADO A AMBIENTES DE
PRODUÇÃO DE CAFEEIROS ARÁBICA
NO NORTE DE MINAS GERAIS**

GABRIELA DE OLIVEIRA SILVA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL

2024

GABRIELA DE OLIVEIRA SILVA

**COMPONENTE ARBÓREO INTEGRADO A AMBIENTES DE
PRODUÇÃO DE CAFEIROS ARÁBICA
NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual do Sudoeste da
Bahia, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais, área de
concentração em Manejo e Produção
Florestal, para a obtenção do título de
“Mestre”.

Orientadora: *D. Sc. Sylvana Naomi Matsumoto*

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2024


Gabriela de Oliveira Silva

**COMPONENTE ARBÓREO INTEGRADO À AMBIENTES DE
PRODUÇÃO DE CAFEEIROS ARÁBICA
NO NORTE DE MINASGERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo e Produção Florestal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 23 de julho de 2024.


Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 RICARDO DE ANDRADE SILVA
Data: 24/07/2024 06:34:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ricardo de Andrade Silva, (D.SC. Fitotecnia) – Sul América



Prof. Anselmo Eloy Silveira Viana, (D.SC. Produção Vegetal) – UESB

Documento assinado digitalmente
 SYLVANA NAOMI MATSUMOTO
Data: 23/07/2024 14:57:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Sylvana Naomi Matsumoto, (D.SC., Fisiologia Vegetal) - UESB, orientadora

S58p

Silva, Gabriela de Oliveira.

Componente arbóreo integrado a ambientes de produção de cafeeiros arábica no norte de Minas Gerais. / Gabriela de Oliveira Silva, 2024.

79f. il.

Orientador (a): Dr^a. Sylvana Naomi Matsumoto.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2024.

Inclui referências. 67 - 79.

1. *Coffea arabica* L.. 2. Arborização com mogno. 3. Trocas gasosas. 4. Classificação física. 5. Análise sensorial de bebida. I. Matsumoto, Sylvana Naomi. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD: 633.73

Catálogo na fonte: Karolyne Alcântara Profeta – CRB 5/2134

UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

*Aos meus pais, Antônio e
Raquel; À minha irmã, Lídia;
Ao meu filho, Vinícius.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida, por renovar a cada momento a vontade de seguir em frente, concedendo-me o discernimento necessário ao longo de toda a jornada. A Ti, toda honra e toda glória, agora e para sempre.

Aos meus pais, Antônio e Raquel, por todos os conselhos, dedicação e apoio na direção dos meus sonhos.

Ao meu querido filho, Vinícius, por todo amor, carinho, e compreensão em meus momentos de ocupação.

À minha irmã, Lídia, pelo comprometimento, apoio e auxílio para me manter em Vitória da Conquista.

À Prof^a. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, pela orientação, dedicação, confiança e grande compreensão durante essa jornada. Minha eterna gratidão e admiração.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e pelas valiosas contribuições para a melhoria do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de capacitação profissional.

À equipe do Laboratório de Fisiologia Vegetal, principalmente à Aline Gonçalves, pelo acolhimento, apoio e orientações no desenvolvimento da pesquisa.

À Regiane Alves, Aline Amorim, Veruza Prates, Cleide Chaves, Liliana Silva, pelo auxílio na coleta dos dados. Vocês contribuíram de forma significativa para este momento se tornar mais fácil.

À Embrapa Café pelo subsídio financeiro para realização desta pesquisa.

À Empresa Faro Agrícola, principalmente a Pedro Jorge, por ter aberto as portas para realização do experimento. Agradeço por todo companheirismo, compreensão e auxílio.

À Empresa Front Agrociência, em especial a Ricardo de Andrade Silva, por ter cedido os dataloggers, sem vocês esse projeto não seria possível.

Aos degustadores, Silvio Leite, Anderson Dias, José Carlos Novaes, Vinícius Dias Lima, Carlos Henrique, Edmilson Generoso, Everton Tales, José

Naves, Julio Ferreira, Kleumon Moreira e Matheus Tavares Silva, por realizarem a avaliação sensorial dos cafés. Vocês contribuíram de forma significativa para os resultados desta pesquisa.

Aos colegas e amigos do Mestrado, pelos bons momentos de estudo, descontração e troca de ideias.

Aos demais amigos pela compreensão quando não pude manter contato, pelo carinho, pela paciência, pelo apoio e amor oferecidos.

Aos funcionários da Diretoria do Campo Agropecuário (DICAP), pelo auxílio durante o desenvolvimento do experimento.

Enfim, gratidão a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

*"A ciência é mais que um corpo de conhecimento, é uma forma de pensar, uma forma cética de interrogar o universo, com pleno conhecimento da falibilidade humana."
- Carl Sagan*

RESUMO

SILVA G. O. **Componente arbóreo integrado a ambientes de produção de cafeeiros arábica no Norte de Minas Gerais.** Vitória da Conquista – BA: UESB, 2024. p. (Dissertação: Mestrado em Ciências Florestais; Área de Concentração: Manejo e Produção Florestal).

Propôs-se por meio deste estudo investigar o impacto de diferentes sistemas de cultivo, a pleno sol sob pivô central com LEPA e arborizado por gotejamento, nas características do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.), cultivar Arara. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Três Lagoas, no município de Águas Vermelhas (MG). As análises de crescimento, vigor, trocas gasosas e *status* hídrico do cafeeiro foram realizadas em cinco períodos distintos. A colheita para análise da produtividade foi realizada em cinco unidades experimentais, onde cada unidade possui dez plantas, em ambos os sistemas de cultivo. A colheita para análise da qualidade foi realizada de forma seletiva em cinco unidades experimentais em ambos os tratamentos. O processamento destes frutos foi realizado por via seca, constituindo o café natural. Para a análise do rendimento, foram coletadas amostras de café em estágio de maturação uniforme e sem danos mecânicos, totalizando 100 frutos. As amostras foram beneficiadas e pesadas para obter a massa beneficiada, torradas e submetidas à classificação física e análise sensorial. O diâmetro do caule foi notavelmente menor nas plantas sombreadas. Em período de menor índice de pluviosidade, o índice SPAD foi superior quando comparado ao sistema a pleno sol. No cultivo de café a pleno sol, o amadurecimento é acelerado devido ao excesso de radiação solar e temperatura, potenciando uma maior produtividade, porém levando a uma maior incidência de grãos subdesenvolvidos e com baixa qualidade. Em contraste, o ambiente arborizado proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento e maturação tardia dos frutos, resultando em grãos maiores e mais pesados, o que aumenta o volume de café beneficiado. Os dois sistemas de cultivo obtiveram uma uniformidade na classificação física dos grãos e notas acima de 80%, tendo sido classificados como cafés especiais na análise sensorial. Independentemente do sistema produtivo adotado, com um manejo adequado na produção, colheita e pós-colheita, é possível produzir cafés semelhantes na qualidade da bebida.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; arborização com mogno; trocas gasosas; classificação física; análise sensorial de bebida.

*Orientadora: Sylvana Naomi Matsumoto, D. Sc., UESB.

ABSTRACT

SILVA G. O. **Tree component integrated into arabica coffee production environments in northern Minas Gerais.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2024. p. (Dissertation: Master's Degree in Forestry Sciences; Area of Concentration: Forest Management and Production).

The aim of this study was to investigate the impact of different cultivation systems, in full sun under center pivot with LEPA and drip irrigation, on the morpho-physiological characteristics of arabica coffee trees, Arara cultivar. The research was conducted at Três Lagoas farm, in the municipality of Águas Vermelhas (MG). Growth, vigor, gas exchange and water status of soil and coffee trees were carried out in five periods. Data for analyzing productivity was carried out in five experimental units, each with ten plants, in both cultivation systems. The fruit quality analysis was carried out selectively in five experimental units in both treatments. The fruit was processed dry, making up natural coffee. For the yield analysis, coffee samples were collected at a uniform stage of ripeness and without mechanical damage, totaling 100 fruits. The samples were processed and weighed to obtain the mass, roasted and subjected to physical classification and sensory analysis. Stem diameter was noticeably smaller in the shaded plants. In a period of lower rainfall, the SPAD index was higher when compared to the full sun system. In full sun coffee cultivation, ripening is accelerated due to the excess of solar radiation and temperature, boosting productivity but leading to a higher incidence of underdeveloped beans with poor quality. In contrast, the intercropping environment provides favorable conditions for the development and late maturation of the fruits, resulting in larger and heavier beans, which increases the volume of processed coffee. Both cultivation systems promoted uniformity in the physical classification of the beans and scores above 80%, having been classified as specialty coffees in the beverage sensory analysis. Regardless of the production system adopted, with proper management in production, harvesting and post-harvesting, it is possible to produce coffees that are similar in quality.

Keywords: *Coffea arabica* L.; mahogany afforestation; gas exchange; physical classification; beverage sensorial analysis.

*Advisor: Sylvana Naomi Matsumoto, D. Sc., UESB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da localização do município de Águas Vermelhas – MG (LIMA, A. A. X., 2020).....	29
Figura 2 – Imagem de satélite da Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG.	30
Figura 3 – Áreas de estudo do cafeeiro arábica cv. Arara (em amarelo) na Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG.....	31
Figura 4 – Precipitação e temperatura média na área experimental entre setembro de 2022 a setembro de 2023. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas – MG.	32
Figura 5 – Placas fixadas para identificação dos pontos amostrais do experimento na Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas – MG.....	33
Figura 6 – Croqui do experimento no ano de 2022/2023. Sistema a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA); Sistema arborizado com mogno brasileiro irrigado por gotejamento (ARBOGO). Fazenda Três Lagoas, Águas Vermelhas – MG.....	33
Figura 7 – Datalogger para caracterização do microclima em cultivares do cafeeiro arábica cv. Arara. Caixa de proteção do Datalogger HOBO (A); Datalogger HOBO (B). Fazenda Três Lagoas, Águas Vermelhas – MG.....	34
Figura 8 – Distância (cm) do colo da planta de café até a aurícula visível de inserção mais alta. Fazenda Três Lagoas, Águas Vermelhas – MG.	35
Figura 9 – Marcação com fita para identificação do local exato para medição do diâmetro do caule. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas – MG.....	35
Figura 10 – Preparação das amostras para análise sensorial na COOPERBAC. Barra do Choça – BA.	40
Figura 11 – Temperatura média ao longo do dia nas diferentes estações, Verão (A), Outono (B), Inverno (C), Primavera (D), em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).	43
Figura 12 – Altura (A) e diâmetro (B) de plantas em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara em cultivares de café arábica na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).....	44

Figura 13 – Cafeeiro arábica tombado (A) e inclinados (B) no sistema arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento na Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG.	45
Figura 14 – Índice SPAD de plantas em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) na face Leste (A) e na face Oeste (B).	46
Figura 15 – Umidade do solo entre linhas (A) e entre as plantas (B) de cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).....	47
Figura 16 – Potencial hídrico foliar em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) com medições antemanhã (A) e ao meio dia (B).	48
Figura 17 – Correlação entre a umidade do solo e o potencial hídrico de cafeeiros arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas no cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e no cultivo arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.	49
Figura 18 – Condutância estomática (A), transpiração (B), assimilação líquida de CO ₂ (C) e concentração interna de CO ₂ (D) em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) nos meses de maior incidência de chuvas (nov/22), média incidência de chuvas (jan/23) e nenhuma incidência de chuvas (set/23).....	50
Figura 19 – Correlação entre as trocas gasosas foliares de cafeeiros arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas no cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e no cultivo arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.	51
Figura 20 – Eficiência de carboxilação (A), eficiência do uso da água (B) e eficiência intrínseca do uso da água (C) em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno	

brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) nos meses de maior incidência de chuvas (nov/22), média incidência de chuvas (jan/23) e nenhuma incidência de chuvas (set/23).....	53
Figura 21 – Correlação entre o potencial hídrico e a eficiência do uso da água de cafeeiros arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e em sistema de cultivo arborizado com mogno brasileiro com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.	55
Figura 22 – Produção (A), produtividade (B), rendimento (C) e dimensão do fruto (D) de cafeeiro arábica cv. Arara, safra de 2023, em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).	56
Figura 23 – Classificação física de cafeeiro arábica cv. Arara torrado em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).	58
Figura 24 – Soma das notas da análise sensorial atribuídas por especialistas em café (Q-graders) de cafeeiro arábica cv. Arara da safra de 2023, em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).	59
Figura 25 – Gráfico biplot a partir da análise sensorial de cafeeiro cv. Arara da safra de 2023 em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOL) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBO).	62
Figura 26 – Correlação entre os atributos de cafeeiro arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e em sistema de cultivo arborizado com mogno brasileiro com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média das notas atribuídas por especialistas em café (Q-graders) para o cafeeiro arábica cv. Arara processado por via seca no sistema a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e no sistema arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO). 60

Tabela 2 – Principais descritores sensoriais de cafeeiro arábica cv. Arara processados por via seca em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO). 64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
A/C_i	Eficiência de Carboxilação
A/E	Eficiência do uso da água
ABIC	Associação Brasileira da Indústria de Café
AFE	Área Foliar Específica
Anet	Fotossíntese líquida potencial
ATP	adenosina trifosfato
BSCA	<i>Brazilian Speciality Coffee Association</i>
BV	<i>Brightness Values</i>
C_i	Concentração Interna de Carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$)
COB	Classificação Oficial Brasileira
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CQI	<i>Coffee Quality Institute</i>
COOPERBAC	Cooperativa Mista dos Cafeicultores de Barra do Choça e Região
DC	Diâmetro do caule
DV	Desvio Padrão
EUA	Eficiência do uso de água
E	Taxa de transpiração ($\text{mmol vapor d'água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
g_s	Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
A/g_s	Eficiência intrínseca do uso da água
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Chan</i>
IRGA	Analisador de gases por radiação infravermelha
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LEPA	<i>Low Energy Precision Application</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MB	Massa beneficiada (g)
MFF	Massa fresca de frutos (g)
MSF	Massa seca de frutos (g)
PH	Potencial Hídrico
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
RuBisCO	Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenasse
SC	Score (pontuação final)
SCAA	<i>Speciality Coffee Association American</i>
SPAD	<i>Soil Plant Analysis Development</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UEP	Umidade do solo entre plantas
UEL	Umidade do solo entre linhas
U_g	Umidade gravimétrica
Ψ_w	Potencial hídrico foliar (MPa)
Ψ_{am}	Potencial hídrico foliar no período antemanhã (MPa)
Ψ_{md}	Potencial hídrico foliar ao meio-dia (MPa)
$^{\circ}\text{C}$	graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Cultura do cafeeiro arábica (<i>Coffea arabica</i> L.).....	19
2.1.1	Aspectos gerais da morfologia e fisiologia	19
2.1.2	Cultivar Arara.....	20
2.1.3	Importância econômica e aspectos de produção	20
2.1.4	Fatores ambientais relacionados à produção do café arábica	22
2.2	Arborização de cafezais.....	23
2.3	Sistemas de irrigação do cafeeiro	25
2.3.1	Sistema de Pivô Central	25
2.3.2	Sistema localizado por gotejamento.....	26
2.4	Extremos térmicos e otimização do uso da água.....	26
2.5	Classificação física, sensorial e qualidade do café	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Caracterização da área experimental	29
3.2	Período da coleta dos dados	32
3.3	Temperatura do ambiente em diferentes horários e épocas do ano	34
3.4	Crescimento e vigor dos cafeeiros	34
3.5	<i>Status</i> hídrico dos sistemas	36
3.6	Trocas gasosas foliares	37
3.7	Produtividade e rendimento do cafeeiro.....	37
3.8	Classificação física dos grãos.....	39
3.9	Análise sensorial.....	39
3.10	Análise Estatística.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Temperatura do ambiente em diferentes horários e épocas do ano	42
4.2	Crescimento e vigor dos cafeeiros.....	43
4.3	<i>Status</i> hídrico dos sistemas	46
4.4	Trocas gasosas foliares	49
4.5	Produtividade e rendimento do cafeeiro.....	55
4.6	Classificação física do grão	57
4.7	Análise sensorial.....	59
5	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

O café está presente no cotidiano de, pelo menos, um terço da população mundial, sendo uma das bebidas mais consumidas em todo o mundo, com importante papel social, possibilitando a constituição de uma cadeia produtiva na demanda de serviços, principalmente nos países subdesenvolvidos (SEMEDO et al., 2018).

O Brasil tem uma elevada diversidade de biomas, nos quais a cafeicultura é definida por manejos específicos. O avanço da tecnologia da irrigação, em regiões anteriormente não inseridas no zoneamento agrícola para café, viabilizou o desenvolvimento deste cultivo no Oeste da Bahia e no Norte de Minas Gerais. No cenário atual, não apenas a viabilidade, mas também a eficiência do uso da água é um importante foco de estudos a ser explorado.

O Norte de Minas Gerais é caracterizado por solos friáveis e profundos, relevo plano, favoráveis à mecanização e irrigação dos cafezais. Entretanto, as temperaturas máximas, mesmo em locais de altitude superior a 600m, são elevadas, fato que pode restringir a produtividade dos cafezais (SOUZA, 2021). A composição do sistema de produção do café, por exemplo, a escolha da densidade da arborização, pode mitigar a expressão dessas limitações, amenizando extremos térmicos, sem diminuir a produtividade (SOUZA, 2022).

A implementação de sistemas agroflorestais, com plantações de árvores consorciadas ao cultivo de cafezais arábica, atenua a ação direta da radiação solar e otimiza aspectos morfofisiológicos dos frutos, conferindo melhor qualidade sensorial da bebida, em relação aos cafezais conduzidos a pleno sol (SOUZA, 2016).

Algumas formas de manejo de irrigação têm sido abordadas e comparadas, com o intuito de alcance da eficiência de uso dos recursos hídricos. O sistema de irrigação por pivô central atende à demanda hídrica dos plantios de café, com excelência, entretanto, há um elevado consumo de água por meio da evapotranspiração. Sistemas mais sustentáveis, como o de irrigação localizada, apesar da maior frequência de operações de manutenção, podem resultar em maior economia de água. Na cultura de café, o sistema de irrigação por gotejamento vem sendo utilizado devido à praticidade, potencial de automatização e menor gasto com mão de obra (GOMES; ROLAND, 2018).

Quando o manejo da água e da luz é realizado com um sistema de irrigação adequado e uma arborização bem planejada, há elevação do vigor e da produtividade

dos cafezais (LIU et al., 2021). A arborização e irrigação condicionam um microclima de atenuação térmica e hídrica favorável que minimiza o mecanismo isohídrico dos cafeeiros, favorecendo a elevação da fotossíntese e a atenuação da transpiração.

O cultivo do café arábica no município de Águas Vermelhas, em ambiente com temperatura elevada, clima seco e limitação hídrica, reduz a estabilidade da cafeicultura. Nessa condição, a arborização e o manejo adequado da irrigação se apresentam como alternativas para atenuar o efeito das altas temperaturas locais, tornando a condição climática ajustada, agregando maior valor ao produto final. Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo é verificar se o componente arbóreo propicia um microclima favorável resultando em elevação da produtividade e qualidade do café arábica comparado a pleno sol.

Como objetivos específicos, foram definidos: (I) analisar se as condições microclimáticas em sistemas de produção de cafeeiros modificam os aspectos morfofisiológicos e como podem contribuir para manutenção do *status* hídrico das plantas; (II) avaliar os efeitos da arborização sobre o *status* hídrico do solo do sistema agroflorestal em comparação com o café a pleno sol; (III) correlacionar o vigor dos cafeeiros com os aspectos de produtividade e qualidade nos diferentes sistemas e ambientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.)

2.1.1 Aspectos gerais da morfologia e fisiologia

Nativo das florestas montanhosas da Etiópia, Norte do Quênia e Sudeste do Sudão (AERTS et al., 2017), o cafeeiro teve sua domesticação no lêmên durante o período do Renascimento (1300 – 1700). Sua semente foi inserida nos continentes asiático e em sequência por toda Europa e América. Posteriormente, o café chegou ao Brasil a partir do estado do Pará por volta do ano 1727, conquistando todo o território nacional (JUSTINO, 2022). O cafeeiro possui plasticidade fenotípica que é definida como a capacidade de um determinado ser vivo apresentar diferentes características em razão das condições ambientais, isso sugere que o cafeeiro se adapta bem a diferentes ambientes (LIMA et al., 2017).

O cafeeiro é uma planta eudicotiledônea, pertencente à família Rubiácea, da classe das Angiospermas e já tem por volta de 120 espécies do gênero *Coffea* sp. catalogadas. Todavia, 99% da produção mundial é representada pelo Robusta (*Coffea canephora* L. Linden) e o Arábica (*Coffea arabica* L.) por sua aceitação e por possuírem relevância econômica no mercado nacional e internacional. (TORRES, 2019; DOMINGUES et al., 2020; ŠEREMET et al., 2022).

O café arábica costuma ser mais aceito pelos apreciadores por produzir uma bebida mais delicada, adocicada, com aroma frutado e maior acidez. O café robusta possui um amargor característico, além de menor acidez, sendo empregado em misturas com café à base arábica (CHINDAPAN; SOYDOK; DEVAHASTIN, 2019; ŠEREMET et al., 2022).

O fruto do cafeeiro, independentemente da espécie, possui pericarpo resistente, constituído por película prateada exterior, com coloração esverdeada em frutos imaturos, e variando entre amarelo ou vermelho, dependendo dos genótipos da fruta, após a maturação. O mesocarpo externo é recoberto pelo pericarpo, sob ele há uma camada de pectina fina, incolor, translúcida, hidratada e endocarpo fino amarelado, também chamado de pergaminho. O endosperma recobre cada hemisfério do grão de café. (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; PEREIRA et al., 2019).

2.1.2 Cultivar Arara

A cultivar Arara, da espécie *Coffea arabica* L., originada por meio de cruzamento natural entre a cultivar Catuaí e Obatã híbrido de Saechimor, vem sendo estudada pela Fundação Procafé desde 1997 (MATIELLO; ALMEIDA, 2018).

Quanto às suas características morfológicas, os grãos produzidos pela cultivar Arara possuem coloração amarelada, tamanho médio a grande e alta resistência à queda e maturação tardia, conferindo boa qualidade e alto vigor. A produção desse grão, que ocorre nos ramos mais velhos da planta, mesmo quando são produzidos em menor quantidade, é capaz de aumentar a produção, devido ao fato de promover o acúmulo de gemas florais (PROCAFÉ, 2017). Por possuir copa mais compactada e com maior diâmetro, a colheita mecanizada é favorecida, agilizando em até 20% o processo da colheita (PROCAFÉ, 2017). Em virtude da sua alta tolerância à ferrugem e resistência a pseudomonas, não é acometido por doenças que podem causar manchas de coloração parda e queima dos frutos, além de ser imune à mancha da phoma, sem perder o vigor, propiciando elevada produtividade. Devido à redução do uso de produtos agroquímicos, possui um valor agregado na sua comercialização, visto que ela possibilita um cultivo orgânico. Vem tendo ainda alta pontuação em concursos devido à qualidade de sua bebida (MATIELLO; ALMEIDA, 2018).

2.1.3 Importância econômica e aspectos de produção

O café é uma cultura com histórico economicamente expressivo no Brasil, bem como nos vários estados que o cultivam, desde o período conhecido como Brasil Império. (ANTUNES; REDIN, 2022). Recentemente, contudo, vários estudos foram demonstrando a importância de um melhor ajuste nas estratégias para produção, uma vez que a competitividade e as novas tecnologias exigem uma melhor qualificação de todos os autores que fazem parte da cadeia produtiva (MARQUES; MOREIRA, 2024).

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), o Brasil é o segundo maior consumidor de café do mundo. Entre novembro de 2022 e outubro de 2023, o consumo per capita de 6,40 kg por ano de café cru e 5,12 kg por ano de café torrado e moído, o que resultou em um crescimento de 7,47% em relação ao mesmo período do ano anterior com 5,96 kg/ano de café cru e 4,77 kg/ano de café torrado (ABIC, 2024). No ano de 2018, chegou ao recorde de produção com 60 milhões de sacas, 60% destinados para a exportação e 40% para o mercado interno.

O País exportou 5,43 milhões de sacas de 60 kg de cafés diferenciados de julho 2017 a junho 2018 (ABIC, 2024).

De acordo com o segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a área destinada à cafeicultura nacional em 2022 foi de 2,24 milhões de hectares, sendo a área total plantada com a cultura do café da espécie Arábica no Brasil totalizou 1,81 milhão de hectares, este valor corresponde aproximadamente a 81% da área total destinada à cafeicultura nacional. Os estados que mais se destacam em área para o cultivo do café arábica, espécie mais produzida no Brasil, são Minas Gerais, com 73% da área total destinada ao plantio do grão; São Paulo, com 12%; Espírito Santo, com 9%; e Bahia, com 4%, classificando-os como os principais produtores, responsáveis por 97% da produção nacional (CONAB, 2023).

O Brasil exportou US\$ 2,4 bilhões, nos quatro primeiros meses de 2023, o que foi equivalente a 11,2 milhões de sacas de 60 quilos de café para 133 países, mais para os Estados Unidos (18,3%) e a Alemanha (14,7%), o que representa uma redução de 20,3% na comparação com igual período do ano anterior que exportou 14,1 milhões de sacas exportadas, resultando em um recorde de US\$ 9,2 bilhões. Essa redução é devido a uma restrição da oferta interna nos primeiros meses do ano, o que limita a disponibilidade de café para a exportação (CONAB, 2023).

Esse cenário de estoques restritos no início de 2023 foi resultante das adversidades climáticas limitantes da produção de café no Brasil. Após o ano de 2020, quando o Brasil bateu recorde de produção com 63,1 milhões de sacas de 60 quilos de café, no ano de 2021 a produção caiu para 47,7 milhões de sacas (CONAB, 2023).

Em 2021, outros fatores intensificaram ainda mais a queda da produtividade, entre eles se destacam a influência trazida pelo fenômeno climático La Niña, a seca mais intensa neste ano e a bienalidade natural negativa do arábica. No ano de 2022, houve uma melhoria na produtividade do café, com 50,9 milhões de sacas de 60 quilos, no entanto as geadas ocorridas no inverno de 2021 foram limitantes na produtividade dos cafezais (CONAB, 2023).

O café é uma cultura que apresenta um ano com alta produção seguido por outro de baixa produção e este fenômeno é conhecido como bienalidade. Este fenômeno pode ser explicado pela relação fonte-dreno, sendo que em anos de baixa produtividade os fotossintetizados são direcionados à formação de ramo que são considerados fonte, referente aos anos de alta produtividade, ocorre o

direcionamento, prioritariamente, dos fotossintetizados para os frutos, que possuem tecidos em crescimento, atuando como dreno (MENDONÇA et al., 2011; BOTE; VOS, 2017).

Quanto à safra cafeeira no País em 2023, ano em que o café se encontrava no ciclo de bienalidade negativa, houve uma produção total de 55,1 milhões de sacas beneficiadas, incluindo as espécies arábica e conilon. Comparativamente à safra de 2021, na qual foram produzidas 47.716 mil sacas, o resultado da presente safra é 13,4% superior, visto que os dois anos são de bienalidade negativa (CONAB, 2023).

A produção do primeiro quadrimestre de 2023 foi de 7,5%, ou 3.822,8 mil de sacas superior à colhida em 2022, um ano de bienalidade positiva. Isso ocorreu devido às adversidades climáticas que acometeram os cafezais durante grande parte do seu desenvolvimento no ano de 2022, como longas estiagens com baixas precipitações pluviométricas, e temperaturas elevadas, ocorridas nas várias regiões produtoras, incluindo a região Norte de Minas Gerais (CONAB, 2023).

Referente à cafeicultura na região Norte de Minas Gerais, a área em produção no ano de 2023 apresentou boas expectativas de incremento em comparação à temporada anterior, mesmo em um ano considerado de bienalidade negativa. Isso adveio por ação da inclusão das áreas que estavam em renovação no último ciclo, a fim de evitarem produzir em condições climáticas desfavoráveis ocorridas no período anterior (CONAB, 2023).

A cafeicultura, portanto, promove um aumento significativo do PIB brasileiro, envolvendo ao longo de sua cadeia produtiva milhões de pessoas, sendo o meio de subsistência de pelo menos 25% desse total de agricultores familiares (BUNN et al., 2015; RAMALHO et al., 2018; DaMATTA et al., 2019). No entanto, devido às transformações ambientais recentes, tem se apresentado como uma cultura sensível e potencialmente vulnerável às variações climáticas atuais (DAVIS et al., 2019; FAIN et al., 2018; GOMES et al., 2020).

2.1.4 Fatores ambientais relacionados à produção do café arábica

As mudanças climáticas, devido às frequentes emissões globais de gases de efeito estufa, vem tornando mais frequentes eventos como secas prolongadas e irregularidade das precipitações, podendo, em um futuro próximo aumentar a temperatura global de 0,3 °C até 4,8 °C (IPCC, 2014; IPCC, 2019). Em consequência,

com o aumento na concentração atmosférica de CO₂ (C_a), pode haver impactos negativos na cafeicultura, como redução da produtividade, assimilação de CO₂ (RODRIGUES et al., 2016; DaMATTA et al., 2019) e da qualidade dos grãos (RAMALHO et al., 2018).

Os estômatos do cafeeiro, desde que este esteja bem irrigado, não reduzirão sua abertura em resposta ao aumento em C_a (em até 700 ppm) (DaMATTA et al., 2016; AVILA et al., 2020; MARÇAL et al., 2021). A abertura estomática pode estimular um acréscimo nas taxas de fotossíntese líquida (A) (MARÇAL et al., 2021; RAKOCEVIC et al., 2021). No entanto, mesmo com um bom manejo do cultivo, as taxas de fotossíntese líquida se mantêm abaixo do seu potencial (DaMATTA et al., 2016), devido a limitações hidráulicas das folhas (NARDINI et al., 2014). Desse modo, a condutividade hidráulica da planta exerce um efeito direto na regulação da condutância estomática (g_s) e, conseqüentemente, nas taxas de fotossíntese líquida (McADAM et al., 2016; BARTLETT et al., 2016; VENTURAS et al., 2018; MARTINS et al., 2019; OLIVEIRA, 2022). Tanto a condutância hidráulica da folha, quanto a g_s, são influenciadas pela irradiação (XIONG et al., 2018).

A arborização do café arábica vem sendo utilizada como alternativa estratégica para minimizar os efeitos negativos das mudanças climáticas (VAAST et al., 2016) e dos extremos de temperatura do ar (MOREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2021). Com a melhoria no microclima dentro do dossel, o déficit de pressão de vapor de pressão é reduzido e, conseqüentemente, os estômatos se abrem sem efeitos na taxa de transpiração (mas com maior A), ou seja, maior eficiência no uso da água (OLIVEIRA, 2022).

2.2 Arborização de cafezais

A cafeicultura brasileira é desenvolvida com base em rígidas legislações trabalhistas e ambientais, e este aspecto faz da atividade cafeeira no Brasil uma das mais atentas às questões sociais e ambientais no mundo, devido à necessidade em produzir um café que seja considerado sustentável. O volume expressivo de cafés sustentáveis produzidos anualmente aliado à alta diversidade e qualidade das safras brasileiras fazem do Brasil um fornecedor confiável e capaz de atender às demandas mais exigentes, nacionais e internacionais (MAPA, 2017).

A cada ano vem aumentando os investimentos em certificações que promovem

a preservação ambiental. Isso estimula um melhor aproveitamento das terras e uso racional de recursos, além do aperfeiçoamento de técnicas gerenciais mais eficientes nas propriedades. Essas mudanças trouxeram aos produtores brasileiros uma preocupação em preservar a flora e a fauna nativa, proteger as fontes de água e evitar os processos erosivos. (MAPA, 2017).

Os sistemas agroflorestais, quando implantados corretamente, podem proporcionar resultados satisfatórios, além de contribuir na recuperação de áreas degradadas. Na cultura do café, a aplicação de modelos mais conservacionistas de produção, com atenção à viabilidade econômica de implantação e aspectos de produtividade e qualidade atendem às necessidades ambientais e agregam valor à bebida (SILVA et al., 2023).

O termo arborização indica um sombreamento mais ralo, que permite aos cafeeiros receberem uma quantidade suficiente de radiação solar, que propicia condições microclimáticas mais favoráveis sem reduzir a produtividade (CAMARGO, 2010).

A espécie *Coffea arabica* L. é originária de sub-bosque de florestas caducifólias, onde o seu cultivo era arborizado, atualmente, em sua maior parte, ainda é sombreado (BOTE; STRUIK, 2011). Essa prática foi abandonada no Brasil no início dos anos 1950, em razão do desenvolvimento de cultivares e tecnologias que viabilizaram o cultivo a pleno sol (DaMATTA, 2004). Todavia, devido ao aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera, elevação da temperatura global e aumento das anomalias na precipitação, a produção agrícola vem sendo afetada de diferentes formas em todo o mundo (ANWAR et al., 2013). Neste cenário, o sombreamento dos cafezais vem ressurgindo como prática conservacionista capaz de viabilizar o cultivo, mesmo em sistemas intensivos, além de produzir serviços ambientais (CERDA et al., 2017).

A arborização de cafezais se assemelha à prática inicial utilizada no cultivo do cafeeiro, já que esse tipo de cultivo se caracteriza pelo consórcio entre culturas florestais com cultivares de interesse agrícola. Entre os benefícios da implantação da arborização de cafezais, é possível citar o aumento de renda para o produtor, a diversificação da produção, além da melhoria na qualidade da bebida, o que agrega valor comercial ao produto (MACHADO et al. 2020).

A cultura cafeeira é muito suscetível ao aumento de temperatura, principalmente a *Coffea arabica* L. (ZARO, et al. 2021). O grau de modificações

microclimáticas depende da intensidade do sombreamento, sendo que a atenuação da intensidade de radiação em climas mais quentes e em altitudes menores (800 a 1000m) causam efeitos microclimáticos mais evidentes. (MACHADO et al., 2020).

De acordo com o exposto, a arborização dos cafezais, por meio da interação do componente arbóreo ou arbustivo com fatores bióticos e abióticos, condiciona um microclima favorável, durante as fases juvenis e produtivas do cafeeiro, podendo amenizar os efeitos de estresses relacionados à exposição da planta ao sol. A presença da bienalidade na cultura do café é evidenciada em cultivos a pleno sol, podendo interferir na análise quantitativa e qualitativa do café (SOUZA, 2016).

A adoção de um manejo produtivo de espécies florestais consorciadas com cafezais se mostra promissor na tentativa de adaptação às mudanças climáticas. Quando árvores são colocadas em consórcio com cultivos de cafeeiro, a temperatura máxima do ar pode ser reduzida em até 5 °C, amenizando os efeitos das altas temperaturas, uma menor perda da umidade, o que favorece a cultivar quando esta é submetida a longos períodos de estiagem. Este aspecto favorece a otimização do uso de água, por diminuir a necessidade da quantidade de água utilizada para irrigação (GOMES; CAMARGO, 2021).

2.3 Sistemas de irrigação do cafeeiro

O investimento em um sistema de irrigação bem planejado propicia um retorno econômico superior aos custos gerados para sua implementação. Para este estudo, serão explanados o sistema de Pivô Central e o sistema de irrigação localizada por gotejamento e o quanto um manejo bem aplicado pode proporcionar a otimização do uso da água na agricultura.

2.3.1 Sistema de Pivô Central

O *Low Energy Precision Application* (LEPA), que traduzindo-se significa aplicação precisa de água com baixo consumo de energia, é um método altamente eficiente de aplicação de água às culturas em sistemas de pivô central e lateral móvel. Os bicos borbulhadores LEPA para irrigação por aspersão operam a 203,2–457,2 mm do solo, operam mais abaixo do que outros bicos aspersores. Isso traz uma aplicação de água mais precisa, por reduzir o potencial de deriva da pulverização e favorecer a diminuição do volume de água utilizado, o que não ocorre com a utilização dos bicos

convencionais. (TROUT; KINCAID, 2007; PETERS et al., 2016; ADEYEMI et al., 2017; FONTELA, 2018; OKER et al., 2021; SENNINGER, 2023).

2.3.2 Sistema localizado por gotejamento

Na cultura do café, quanto maior o tempo da lavoura, a irrigação por gotejamento se mantém em vantagem como a opção mais eficaz quando comparado ao pivô central por reduzir a ocorrência das pulverizações, trazendo praticidade para os produtores e um economia nos custos, além de promover um manejo mais sustentável e eficiente (GONÇALVES et al., 2024).

2.4 Extremos térmicos e otimização do uso da água

A deficiência hídrica é um dos fatores limitantes para o cafeeiro, pois, associada a altas temperaturas, pode ocasionar danos irreversíveis à fisiologia e a produtividade das plantas (SILVEIRA et al., 2014; GUEDES et al., 2018). Entre as consequências trazidas pela diminuição do teor de água na folha, uma das mais preocupantes é a interrupção da produção de carboidratos, devido à redução na entrada de CO₂, processo fotossintético, provocado pelo fechamento dos estômatos (SCHEEL et al. 2016).

A fotossíntese no dossel do cafeeiro pode saturar a uma irradiância entre 600 a 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, porém algumas folhas ficam mais expostas e outras, extremamente sombreadas, por se localizarem na parte interna da copa do café e podem, assim, receber apenas cerca de 1,5% da radiação total. A fotossíntese pode variar ao longo do dia, sendo associada, portanto, aos valores de condutância estomática, temperatura, transpiração e umidade relativa do ar (DaMATTA et al., 2016). Nesse sentido, elevadas temperaturas associadas ao déficit hídrico e uma alta intensidade luminosa podem saturar o aparelho fotossintético, ocorrendo então, a foto inibição (DENOEUUD et al., 2014).

O cafeeiro, quando submetido a altos níveis de radiação e cultivados em temperaturas acima do limite recomendado, apresenta modificações em sua anatomia, especialmente na folha, variando as espessuras do parênquima paliçádico e esponjoso, alterando as estruturas dos estômatos, espessura do limbo foliar, entre outras modificações fisiológicas (BATISTA et al., 2010).

Como forma de dissipar o excesso de energia trazida pelo calor excessivo,

acontece o processo de fotorrespiração, na tentativa de haver uma diminuição na fixação de CO₂ e eliminar esse excesso de energia na forma de ATP. Se esse processo não fosse possível, o crescimento e o desenvolvimento das plantas ficariam comprometidos. Porém, a fotorrespiração traz a consequência de diminuir a produção de carboidratos, o que reduz a produtividade da planta (DaMATTA et al., 2016).

A temperatura do ar na cafeicultura é considerada o fator mais importante para a maturação dos frutos de café (PEZZOPANE et al., 2011). Temperaturas elevadas resultam em abortamento das flores de café, principalmente quando associada ao estresse hídrico, no início da antese (LOPEZ et al., 2021). A redução dos extremos térmicos condicionada pela arborização corrobora a diminuição desses abortamentos, consequentemente favorecendo a produtividade e rentabilidade da lavoura.

Desse modo, como o maior tempo de amadurecimento dos frutos de café em sistemas sombreados é atribuído à redução da temperatura média diária (MUSCHLER, 2001) e o maior tempo de maturação dos frutos pode contribuir para produção de grãos de café maiores, mais pesados e com melhor qualidade de bebida (BOTE; STRUIK, 2011), sendo que a disponibilidade hídrica tem grande influência no amadurecimento dos frutos, uma vez que, quando menor, é capaz de acelerar o processo de maturação (PETEK et al., 2009). Desta forma o sombreamento de cafezais diminui o déficit de pressão de vapor entre a folha do cafeeiro e o ar, reduzindo sua taxa de transpiração, podendo melhorar a qualidade dos frutos, e, assim também, otimizar sua eficiência de uso da água (PEZZOPANE et al., 2011).

Para garantir uma boa produtividade, é necessário um planejamento prévio de quanto, quando e como irrigar, acompanhando de preferência um calendário de irrigação, associado ao monitoramento meteorológico contínuo. (CHEMURA et al., 2017). Quando a irrigação é realizada com monitoramento constante, assegurando a quantidade e no momento certo, priorizando sua eficiência e eficácia, o cafeeiro apresenta uma maior produtividade e uma bebida de melhor qualidade (CALDAS et al., 2018).

2.5 Classificação física, sensorial e qualidade do café

Para a obtenção de uma maior homogeneidade dos grãos, visando a uma melhor qualidade da torrefação, a avaliação física dos grãos é realizada por meio da classificação por “peneiras”, as quais separam os grãos, diferenciando-os quanto ao

seu tamanho (miúdo, médio e graúdo) e formato (chato e moca) (PIMENTA, 2020).

Referente à classificação sensorial, diversos países possuem normas específicas para realização dessa classificação, com padrões para determinação da qualidade do café. Para classificá-lo são utilizados parâmetros baseados em fatores ambientais (temperatura, altitude), morfológicos (tamanho, cor e formato dos grãos) e tipo de preparo (colheita, armazenagem, torra e qualidade durante a análise sensorial) (SUNARHARUM et al., 2014). A classificação sensorial da bebida e a classificação física dos grãos são os parâmetros utilizados no Brasil para análise da qualidade do café (REIS; CUNHA; CARVALHO, 2011).

Entre uma das propriedades físicas relevantes a uma boa qualidade do café é a umidade, visto que ela propicia a atividade de enzimas e microrganismos, e em altos teores, pode alterar atributos sensoriais do produto. A fim de atender à padronização que a legislação exige, referente a não exceder os máximos limites toleráveis de 12,5% (doze e meio por cento), regulamentados pelos órgãos de fiscalização, dos teores de umidade do “café beneficiado grão cru”, deve haver sempre um monitoramento do teor de umidade do café (AGNOLETTI et al., 2019).

Para cafés especiais, adota-se o método da *Specialty Coffee Association American* (SCAA), que identifica o potencial de qualidade a partir de uma avaliação objetiva, com utilização de uma escala que vai de zero a cem pontos para quantificar a qualidade do café com protocolos de análise sensorial, com atribuição de notas de 0 a 10, com intervalos de 0,25 pontos na avaliação dos principais atributos do perfil sensorial para café.

Estes atributos são os de fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos (xícara limpa), doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, defeitos e qualidade geral. A nota final é constituída a partir da soma de todos os atributos, sendo que notas individuais acima de 8,0 são consideradas excelentes. A classificação de qualidade dos tipos de café, de acordo com a pontuação final, considera que o café com nota final acima de 80 pontos é classificado como “Especial”. A classificação subclassificados especifica uma pontuação final menor do que 80 – “Abaixo da qualidade especial”; de 80 a 84,99 – “Muito bom”; de 85 a 89,99 – “Excelente” e, de 90 a 100 é “Excepcional” (SCAA, 2015; PIMENTA, 2020; CARDOSO et al., 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado no município de Águas Vermelhas, que, segundo dados do IBGE (2021), está situado na mesorregião do Norte de Minas e microrregião de Salinas, no estado de Minas Gerais (Figura 1), com altitude de 729 metros. Está inserido nas bacias hidrográficas do Rio Mosquito e Rio Pardo, sendo seu solo caracterizado como Latossolo Amarelo. Quanto ao clima, esse município é categorizado como tropical, com temperatura média anual de 26 °C. A amplitude térmica considerada favorável ao cultivo do café arábica é entre 18 °C e 23 °C, de temperatura média anual, estando o município de Águas Vermelhas com temperatura média anual acima da recomendada para cafeicultura (RODRIGUES et al. 2018).

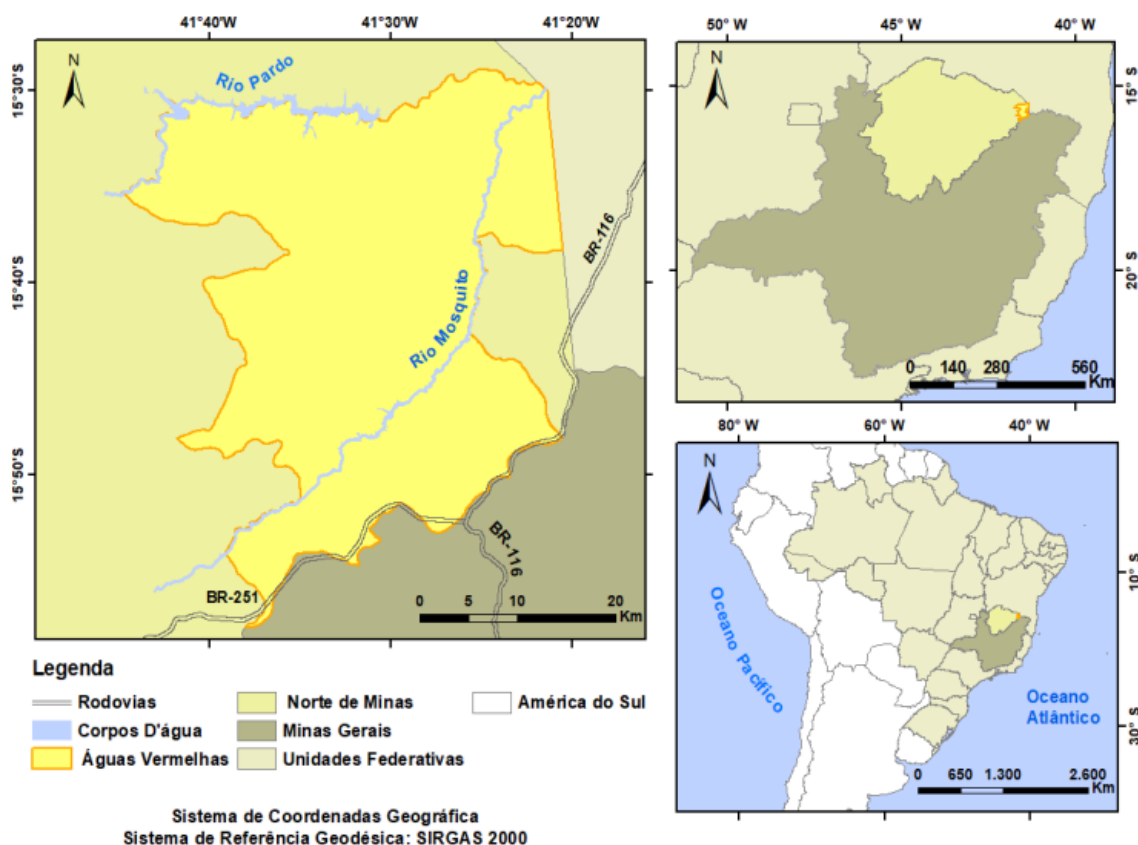


Figura 1 – Mapa da localização do município de Águas Vermelhas – MG (LIMA, A. A. X., 2020).

O ensaio foi conduzido em plantações comerciais de café Arábica, da cultivar Arara, na Fazenda Três Lagoas (Figura 2), pertencente à empresa Faro Agrícola, no município de Águas Vermelhas, região Norte do Estado de Minas Gerais.



Figura 2 – Imagem de satélite da Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG.

A área de estudo compreende o plantio de cafés cultivar Arara, localizados no talhão 01 de 09 hectares, implantada em agosto de 2019, com espaçamento de 3,80 x 0,50 m, cultivado a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA. No talhão 18, com 20 hectares, introduzido em fevereiro de 2020, com espaçamento de 4,00 x 0,60 m, cultivado sob arborização do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* L. King), com espaçamento de 7,50 x 5,00 m, com irrigação localizada por gotejamento (Figura 3).

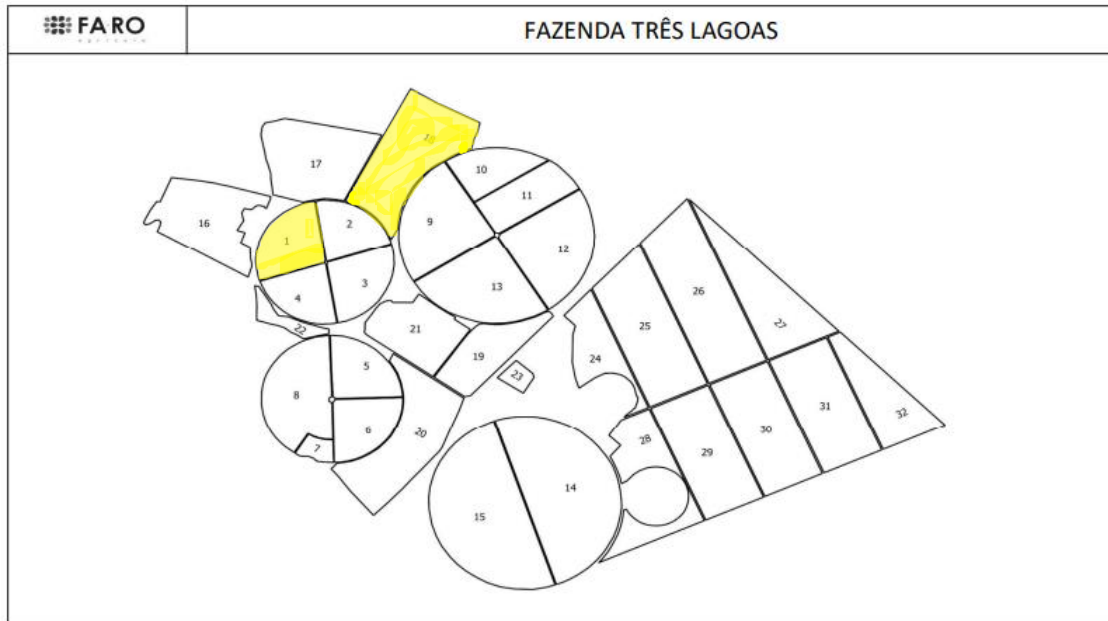


Figura 3 – Áreas de estudo do cafeeiro arábica cv. Arara (em amarelo) na Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG.

A precipitação média anual no município de Águas Vermelhas no ano de 2023 foi de 44,75 mm, valor este considerado um dos menores volumes do Estado durante o período chuvoso. Desse modo, a utilização de sistemas de irrigação se tornou uma alternativa viável para suprir a deficiência de chuva desta região com baixo índice de precipitação. Na figura 4 é apresentada a precipitação e temperatura média do local onde foi conduzido o experimento, entre os meses de setembro de 2022 a setembro de 2023, na Fazenda Três Lagoas.

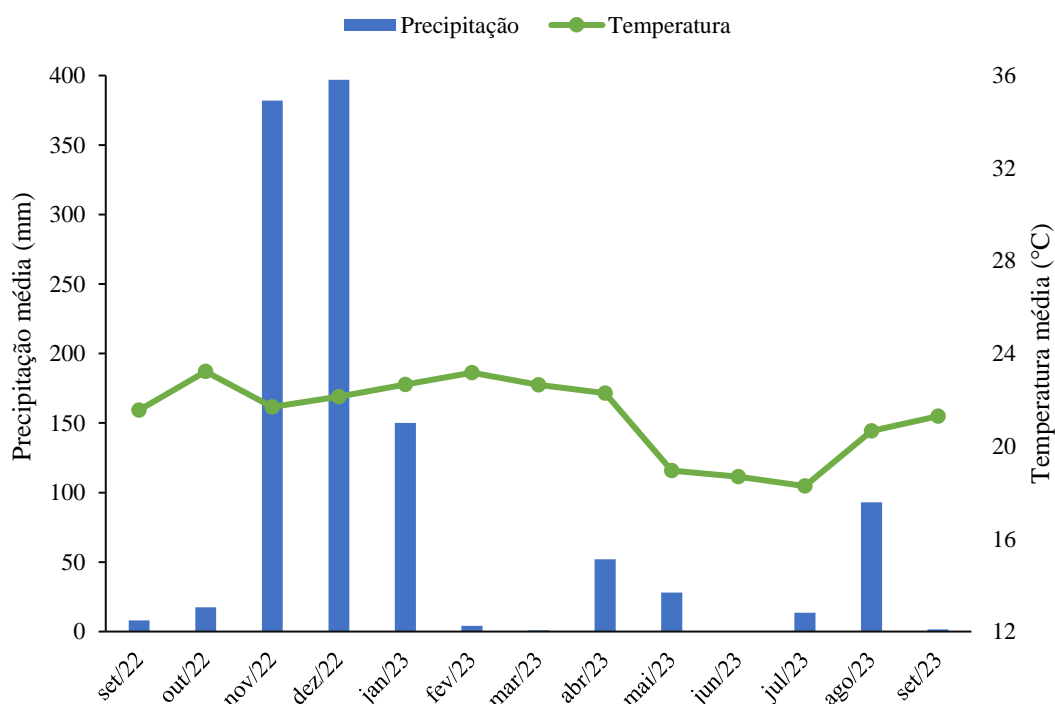


Figura 4 – Precipitação e temperatura média na área experimental entre setembro de 2022 a setembro de 2023. Empresa Faro Agrícola LTDA., Águas Vermelhas – MG.

As menores temperaturas foram registradas entre os meses de maio e julho de 2023, que correspondem ao final do outono e início do inverno. No restante do ano, a temperatura média se manteve por volta de 23 °C, considerada uma temperatura propícia para desenvolvimento do cafeeiro arábica. Quanto à precipitação, a área de estudo foi marcada por um verão chuvoso, com início das chuvas no final da primavera e em todo o verão. Houve registros de precipitação também no final do outono e inverno. O início do inverno foi marcado com tempo frio e seco (Figura 4).

3.2 Período da coleta dos dados

Para as análises de crescimento, foram realizadas cinco coletas, vigor e *status* hídrico do cafeeiro e do ambiente seis coletas, ambas com intervalo médio de 10 semanas. Para as análises de trocas gasosas foram escolhidos três períodos distintos para coleta, nos meses que apresentaram alta, média e baixa precipitação, novembro de 2022, janeiro e setembro de 2023, respectivamente. Para as demais análises de produtividade, rendimento, caracterização do fruto, classificação física do grão e análise sensorial, uma coleta. Devido à extensão da área, para facilitar a coleta, todos os pontos amostrais foram identificados com placas (Figura 5).



Figura 5 – Placas fixadas para identificação dos pontos amostrais do experimento na Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas – MG.

No talhão 01, foram medidas as plantas contidas na 5^a, 14^a, 19^a, 31^a e 46^a linha a partir da primeira linha do início do talhão e no talhão 18 foram medidas as plantas contidas na 7^a, 11^a, 13^a, 19^a e 23^a linha, escolhidas de forma aleatória (Figura 6).

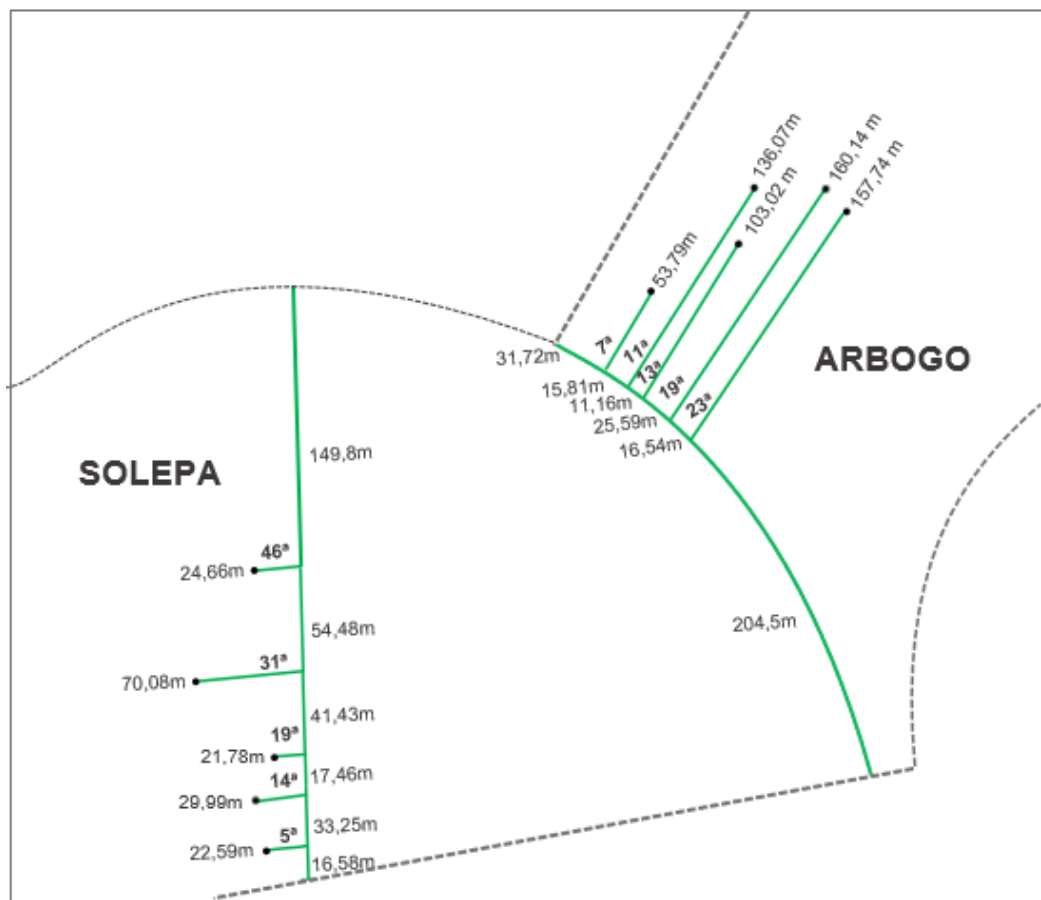


Figura 6 – Croqui do experimento no ano de 2022/2023. Sistema a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA); Sistema arborizado com mogno brasileiro irrigado por gotejamento (ARBOGO). Fazenda Três Lagoas, Águas Vermelhas – MG.

3.3 Temperatura do ambiente em diferentes horários e épocas do ano

Para se registrar a temperatura da área experimental foram colocados em pontos amostrais a 1,5 metro do solo data logger de temperatura, MX2305, HOBO, Estados Unidos, a fim de acompanhar e caracterizar o microclima em cada sistema, a pleno sol e arborizado, sendo realizadas medições a cada hora (Figura 7). A média das temperaturas foi realizada utilizando a média diária do mês e, em seguida, organizadas de acordo com as estações do ano.

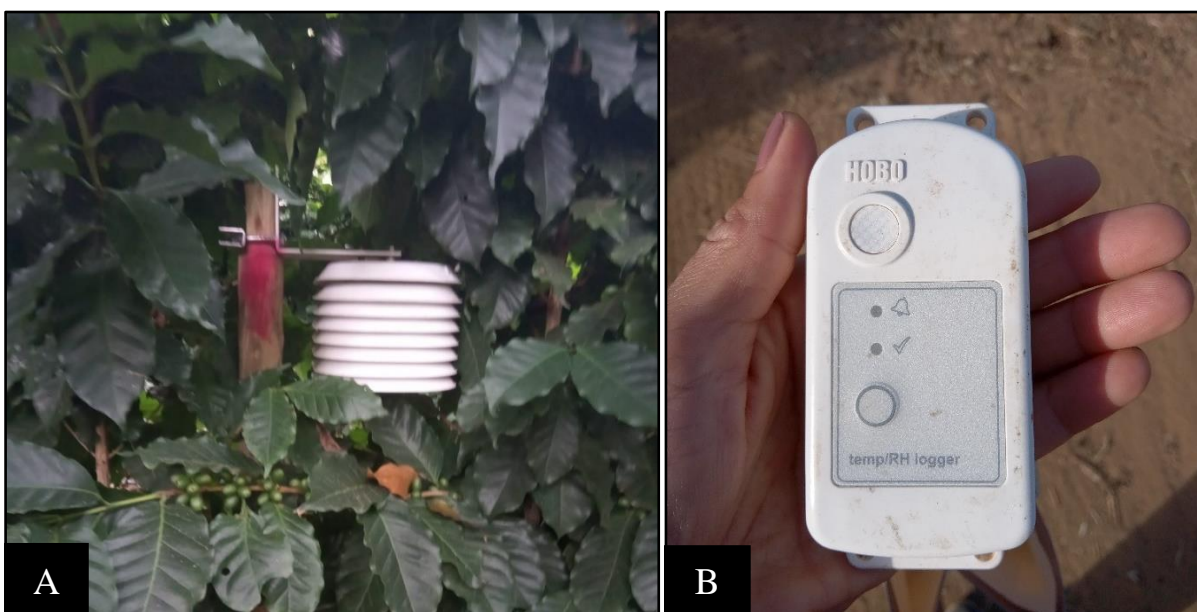


Figura 7 – Datalogger para caracterização do microclima em cultivares do cafeeiro arábica cv. Arara. Caixa de proteção do Datalogger HOBO (A); Datalogger HOBO (B). Fazenda Três Lagoas, Águas Vermelhas – MG.

3.4 Crescimento e vigor dos cafeeiros

A altura da planta, expressa em cm, foi mensurada a partir da distância do colo da planta até a aurícula visível de inserção mais alta com auxílio de uma trena (Figura 8). No total foram mensuradas cinquenta plantas, sendo cinco plantas em cada um dos dez pontos amostrais, sendo que 25 correspondem aos cafezais cultivados a pleno sol e 25 aos cafezais arborizados com mogno brasileiro.



Figura 8 – Distância (cm) do colo da planta de café até a aurícula visível de inserção mais alta. Fazenda Três Lagoas, Águas Vermelhas – MG.

Para medição do diâmetro do caule, expresso em mm, foi utilizado paquímetro digital de precisão de 0,01 mm, a 1,3 m acima do solo, na região do terço médio da planta identificada com uma fita (Figura 9).



Figura 9 – Marcação com fita para identificação do local exato para medição do diâmetro do caule. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas – MG.

Para determinar o índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) na folha, utilizou-se o medidor portátil de clorofila SPAD 502 (MINOLTA, Japão), o qual mede a coloração verde das folhas em unidades SPAD, com leituras realizadas em cinco

pontos da terceira folha totalmente expandida e madura, localizada no terço médio da planta, após certificação de que a superfície das folhas estavam suficientemente limpas, livre de camadas que pudessem encobrir a real superfície das folhas e sem a presença de gotículas de água. O horário das medições ocorreu por volta das 10 horas da manhã, antes da irrigação, em diferentes posições, face leste e oeste, relacionado à incidência de radiação luminosa, sendo a face leste a que recebe luz solar no período da manhã e sombra no período da tarde; e a face oeste a que recebe sombra de manhã e sol a tarde.

3.5 Status hídrico dos sistemas

A leitura do potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi realizada com auxílio de uma bomba de pressão (PMS 1000, PMS, Inglaterra), de acordo com Scholander et al. (1964), no período antemanhã (às 5h), e ao meio-dia (entre as 12h e às 13h) na 1ª folha totalmente expandida do terço médio da planta.

Para a análise da umidade do solo, com o auxílio do trado holandês, amostras de solo com estrutura deformada foram coletadas nos vinte pontos amostrais a uma profundidade de 0-20 cm, sendo que dez desses pontos se referem a área do café arábica cultivado a pleno sol com irrigação por pivô central com LEPA; e as outras dez correspondem à área de café arborizada com mogno brasileiro e irrigação localizada por gotejamento, sendo que cinco de cada um desses pontos foram coletados entre as linhas; e outros cinco entre as plantas do cafeeiro. Em sequência, o solo foi disposto em embalagem impermeável e vedada. Posteriormente, as amostras foram levadas até o laboratório de Fisiologia Vegetal da UESB para obter a massa do solo úmido.

Em seguida, foram levadas para secagem em estufa a 105 °C durante 24 horas, obtendo ao final, com a pesagem, a massa do solo seco para determinação da umidade. Por fim, após a obtenção do peso das amostras de solo, foi realizado o cálculo de umidade gravimétrica (U_g), utilizando a seguinte fórmula:

$$U_g = \frac{m.s.u - m.s.s}{m.s.s} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

U_g – umidade gravimétrica;

$m.s.u$ – massa da amostra úmida (g);

m.s.s – massa da amostra seca a 105 °C (g).

3.6 Trocas gasosas foliares

As características avaliadas referente às trocas gasosas, taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E - $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), a concentração interna de carbono (C_i - $\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}\text{ ar}$), a eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), foram realizadas utilizando-se um sistema portátil aberto de análise de gases por infravermelho IRGA (modelo LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd., UK). Foram escolhidos três períodos distintos para realização das medições, o mês de novembro de 2022, por ser o mês que registrou um alto índice de precipitação; o mês de janeiro de 2023, com registros de média precipitação; e o mês de setembro de 2023, por representar um mês seco, onde não houve registros de precipitação. As medições foram realizadas na parte mediana do caule, na 1ª folha totalmente expandida, no sentido basal, no horário das 11h (horário solar), em um dia com sol intenso, sem nebulosidade, para evitar variações rápidas de radiação solar, o que poderia resultar em instabilidade no momento da medição. Estas foram realizadas em diferentes posições, face leste (nascente) e face oeste (poente), relacionadas à incidência de radiação luminosa, com utilização de fonte luminosa actínica de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), fixada em 1000 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$.

3.7 Produtividade e rendimento do cafeeiro

Para análise da produtividade, foi realizada a colheita de frutos de dez plantas em cada unidade experimental, totalizando 100 plantas, em 17 de julho de 2023, por meio da derrça manual no pano. Os frutos coletados em cada parcela foram pesados em gramas, ainda úmidos, para obtenção do peso total da massa fresca. Foi determinada a produção por parcela e feita a correspondência para produtividade, considerando a área total do experimento (sacas ha^{-1}).

Para análise do rendimento e posteriormente da qualidade, foi realizada uma colheita seletiva com amostras de dez quilos, apenas com frutos em estágio de maturação, com coloração uniforme e sem indícios de danos mecânicos. Vale salientar que a colheita deve ser efetuada apenas quando os frutos estiverem

maduros, mesmo que esta precise ser seletiva, uma vez que essa prática agrega mais valor e qualidade ao produto final (FERNANDES et al., 2020). O processamento desses frutos foi realizado por via seca, constituindo o café natural (café em coco).

As amostras de café de ambos os tratamentos foram então separadas por diferença de peso, lavadas em água e retiradas as impurezas. Durante esse processo, os frutos foram separados por duas categorias de qualidade em razão da densidade. A categoria que boiava sobre a água, considerada de uma qualidade inferior, foi descartada; e a que afundou na água, considerada de melhor qualidade (GONÇALVES, 2022).

Em seguida, foram acondicionadas em sacos de pano de algodão cru, devidamente identificados, e transportadas em veículo com sistema de ar condicionado, à temperatura média de 20°C, quando foram até uma estufa recoberta com plástico polietileno 150 (unidade) na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* de Vitória da Conquista–Bahia.

Com o objetivo de uniformizar a secagem dos frutos, as amostras foram então rotacionadas manualmente duas vezes ao dia em dias frios e três vezes ao dia em dias quentes por 30 dias, até atingirem a umidade entre 10-11%, conforme Borém et al. (2014). O teor de umidade foi medido por meio do medidor de umidade de grãos portátil (Modelo G600, Gehaka).

As amostras foram então acondicionadas em dois sacos de papel “Kraft”, envolvidos por uma embalagem plástica e mantidos em descanso, sob temperatura em torno de 15 °C, durante o período de 30 dias. Após este período, foi verificada a umidade das amostras antes do beneficiamento. Como as amostras estavam com uma umidade acima de 11%, superior ao recomendado para descascamento, foram submetidos à secagem em estufa (Modelo TE-394/4 MP, Tecnal), com circulação e renovação de ar a 35 °C, até atingirem a umidade adequada, quando foram descascados por meio de duas passagens em descascador. Em seguida, foram descartados os grãos que se encontravam com defeito, visando à uniformização dos lotes.

Para análise do rendimento, 100 frutos em coco de cada uma das amostras com três repetições foram separados e pesados, para obtenção da massa fresca em gramas (MFF), os quais foram acondicionados em dois sacos de papel “Kraft”, e colocados em estufa, sob temperatura de 35 °C até atingir umidade entre 10-11%,

sendo, ao final, realizada a pesagem e obtenção da massa seca dos frutos em gramas (MSF). Por fim, as amostras secas de 100 frutos foram beneficiadas e pesadas para a obtenção da massa beneficiada (MB).

Para caracterização dos frutos, foram avaliadas as dimensões (comprimento e largura), de 150 frutos, divididos em cinco repetições, para cada um dos sistemas produtivos, com a utilização de um paquímetro digital.

3.8 Classificação física dos grãos

Após o beneficiamento, a classificação física dos grãos, quanto ao tamanho, foi realizada conforme a Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, a qual define a Classificação Oficial Brasileira (COB) para avaliação de cafés tipo commodity, onde os cafés foram catados manualmente para retirada dos defeitos intrínsecos (pretos, verdes, ardidos, conchas, brocados, chochos e quebrados) e extrínsecos (paus, pedras, cascas, marinheiros e cocos) (BRASIL, 2003).

A partir de uma amostra de 0,3 kg de cada parcela, houve a distribuição em um conjunto de peneiras com crivos circulares e oblongos, na seguinte ordem: peneira 16 UP circular, 10 oblongo, 15, 14 e 13 circular e fundo, sendo que as peneiras de crivo circular retêm os grãos chatos, enquanto as peneiras de crivo oblongo retêm os grãos moca. Conforme os grãos ficaram retidos nas peneiras, a separação foi feita nas seguintes categorias: chato graúdo (peneiras 16 circular); moca (peneiras 10 oblongo); chato médio (peneiras 15 circular) e chato miúdo (peneira 14 e menores) (BRASIL, 2003).

3.9 Análise sensorial

A partir da peneira 15, 0,3 kg de amostra foram torrados seguindo curva de torra padrão determinada pelo *software* Cropster com tempo de torra entre 8 e 10 min, por meio do modelo de torrador Probatino (Probat®) sendo realizada a torra moderadamente leve (SCAA, 2013). Posteriormente, foi realizado um teste de torra, conferindo o padrão desta utilizando duas xícaras de cada amostra. Em seguida, as amostras foram embaladas e levadas para montagem de um painel sensorial seguindo o protocolo de provas sensoriais, baseado na *Specialty Coffee Association American* (SCAA), conforme metodologia proposta por Lingle (2011) (Figura 10).



Figura 10 – Preparação das amostras para análise sensorial na COOPERBAC. Barra do Choça – BA.

As amostras de cafés foram moídas com moedor elétrico (Bunn G3), com granulometria média/grossa. Entre a realização da moagem de cada amostra foi realizada a adequada purificação do moedor, para não haver interferência entre as amostras, além de assegurar uniformidade na quantidade de pó colocada em cada xícara, sendo posteriormente hermeticamente fechada (LINGLE, 2011).

Cada lote de café foi degustado com cinco xícaras, sendo adotada a concentração ótima de 9,5 gramas de café moído em 150mL de água, com ponto de infusão de água de 95 °C, em conformidade com o ponto médio do gráfico de equilíbrio ótimo para obtenção do *Golden Cup* (SCAA, 2013).

Para prova das xícaras, as amostras foram encaminhadas para a Cooperativa Mista dos Cafeicultores de Barra do Choça e Região (COOPERBAC), onde estavam onze provadores especialistas em café (*Q-graders*) credenciados e certificados pelo *Coffee Quality Institute* (CQI) que avaliaram os atributos aroma, sabor, retrogosto, acidez, corpo, equilíbrio, uniformidade, ausência de defeitos (xícara limpa), doçura, intensidade de defeitos e qualidade geral. As notas foram atribuídas em uma escala de 0 a 10 na avaliação dos principais atributos do perfil sensorial para café. A nota geral foi estabelecida a partir da soma das pontuações dos atributos individuais. A classificação de qualidade dos tipos de café, de acordo com a pontuação final, considerou que o café com nota final acima de 80 pontos é classificado como “Especial” (SCAA, 2015; PIMENTA, 2020; CARDOSO et al., 2021). Os *Q-Graders*

iniciaram as avaliações quando a temperatura das xícaras atingiu os 55 °C, respeitando o tempo de 4 minutos para a degustação após a infusão.

A avaliação individual dos provadores deve seguir alguns parâmetros específicos, como detectar as diferenças entre os atributos sensoriais e haver uma homogeneidade e concordância na distribuição de notas (SIPOS et al. 2021). A eliminação de notas discrepantes é uma alternativa recomendada para obtenção desta homogeneidade (FERREIRA et al., 2018; ALMEIDA, 2022).

3.10 Análise Estatística

Para análise de normalidade foi utilizado o teste de Lilliefors; e para a verificação da homogeneidade foi utilizado o teste de Cochran C. a 5% de significância. As médias foram comparadas por meio do teste “t” ao nível de 5% de significância. O *software* StatSoft STATISTICA 12.0® foi utilizado para as análises. Foi realizada uma Análise de Componentes Principais e Correlação de Pearson a 5% de significância. Os gráficos foram plotados por meio do programa Excel 2016, XLSTAT e R-Studio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura do ambiente em diferentes horários e épocas do ano

Nos meses que correspondem ao verão (dezembro a fevereiro), os sistemas a pleno sol e o arborizado se mantiveram equilibrados quanto à temperatura média noturna por volta de 19 °C. Durante o dia, a temperatura média do cultivo a pleno sol, às 15h, atingiu 28,23 °C; no sistema arborizado; neste mesmo horário, registrou-se a temperatura 27,13 °C, com mais de um grau Celsius de diferença entre um sistema e outro (Figura 11A). Nos meses entre junho e agosto, que compreendem o inverno, a diferença de temperatura durante o dia oscilou ainda mais: no sistema arborizado, às 15h, foi registrado 24,79 °C, diferença de quase 2,5 °C do sistema a pleno sol que atingiu 27,11 °C neste mesmo horário. As temperaturas mínimas médias registradas nesse período para o sistema a pleno sol e arborizado foram 14,61 °C e 13,85 °C, respectivamente (Figura 11C).

Nos meses correspondentes à primavera e ao outono, foram registradas temperaturas noturnas de 18 °C e diurnas em torno de 26 °C no sistema arborizado. Na primavera, no sistema a pleno sol, ocorreram temperaturas noturnas em torno de 17 °C e diurnas chegando a 28,64 °C às 15h (Figura 11B e D). A temperatura noturna no sistema arborizado se manteve superior ao sistema a pleno sol, enquanto houve redução da temperatura diurna. Isso foi possível devido ao microclima propiciado pelo sombreamento, o que permite uma menor variação de temperatura, otimização da radiação solar e do uso da água (CHARBONNIER et al., 2017; EHRENBERGEROVÁ et al., 2017).

Durante o outono, o sistema a pleno sol teve registros de temperaturas diurnas atingindo 28,75 °C às 15h, e temperaturas noturnas superiores a 19 °C. Diante do exposto, o microclima propiciado pelo sistema arborizado atenuou em quase 3 °C a temperatura (Figura 11B). Em estudo realizado por Valentini et al. (2010) foi verificado que cafeeiros consorciados com árvores amenizam os efeitos das altas temperaturas com redução da temperatura máxima do ar em até 3 °C em dias mais quentes.

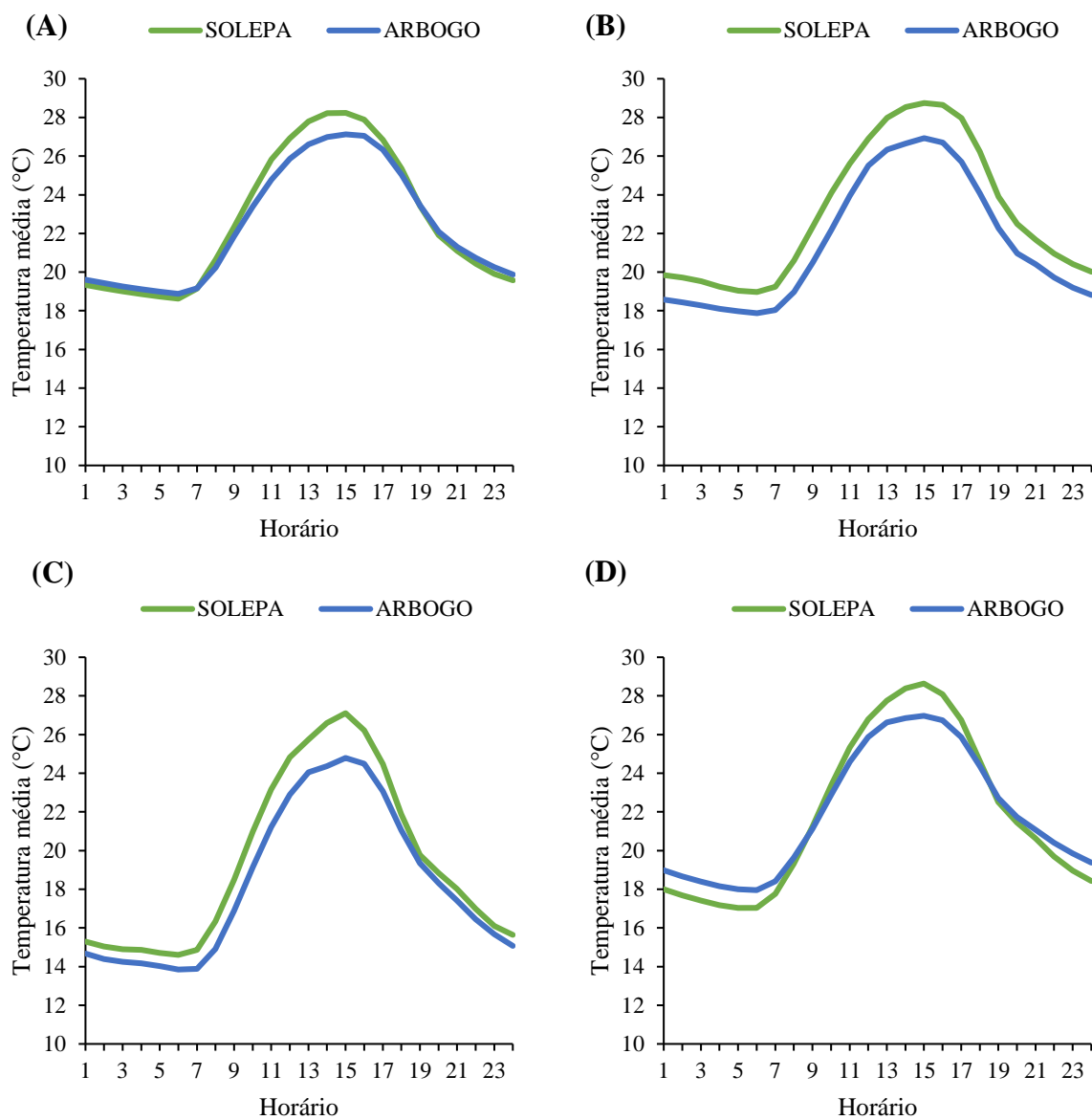


Figura 11 – Temperatura média ao longo do dia nas diferentes estações, Verão (A), Outono (B), Inverno (C), Primavera (D), em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

4.2 Crescimento e vigor dos cafeeiros

Em todas as avaliações realizadas, a restrição de luz imposta pelas árvores de mogno brasileiro não induziu ao estiolamento dos cafeeiros em comparação às

plantas mantidas em pleno sol (Figura 12A). A diferença entre os sistemas de plantio foi encontrada quando se avaliou o diâmetro do caule dos cafeeiros, ocorrendo maiores valores para o sistema a pleno sol (Figura 12B). Para o presente estudo, a maior incidência de radiação solar no sistema a pleno sol aumentou a atividade metabólica da planta, ocorrendo maior fluxo de fotoassimilados, associado ao desenvolvimento do tecido floemático e maior diâmetro do caule dos cafeeiros.

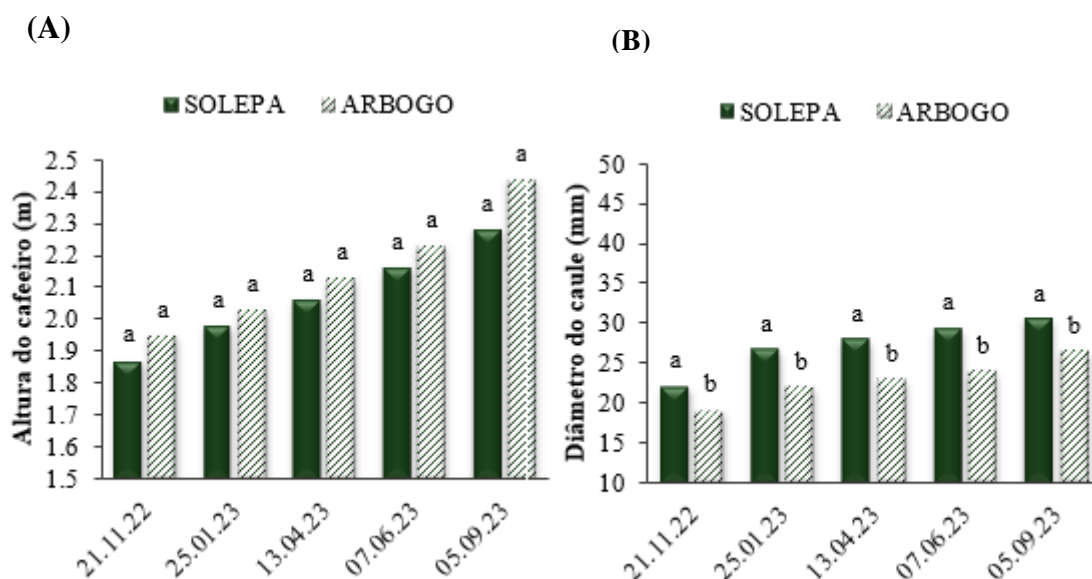


Figura 12 – Altura (A) e diâmetro (B) de plantas em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara em cultivares de café arábica na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo t a 5% de significancia.

Quando comparado à altura, o diâmetro do caule é um indicador para a plasticidade fenotípica mais expressivo para cafeeiros quando se deseja comparar ambientes com contrastes ecológicos relacionados à disponibilidade de radiação (ROMERO-JOSÉ et al., 2024), conforme corroborado o presente estudo.

A expressão destas alterações que permite a aclimação das plantas ao ambiente, atenuando os danos de temperaturas elevadas, mas não elimina o risco quando as plantas são expostas a situações extremas (GAGLIARDI et al., 2014). Para o presente estudo, a restrição de radiação luminosa imposta pela arborização acentuada, aliada à disponibilidade de água e nutrientes otimizada, resultou em cafeeiros com elevado vigor da parte aérea e sistema radicular com desenvolvimento superficial. Devido ao manejo da irrigação por gotejamento, a disponibilidade de água localizada aliada à friabilidade do solo, resultou na redução da rusticidade (relação

entre a altura e o diâmetro do ramo ortotrópico), ocorrendo a instabilidade do eixo vertical de crescimento e queda das plantas (Figura 13).



Figura 13 – Cafeeiro arábica tombado (A) e inclinados (B) no sistema arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento na Fazenda Três Lagoas. Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG.

Quando se analisou a face da copa da planta voltada para o leste (Figura 14A), embora tenha sido constatada tendência de menores valores do índice SPAD foliar no sistema a pleno sol em relação ao sistema arborizado, este efeito foi expresso apenas nos períodos de extremos dos índices de pluviosidade (janeiro e setembro de 2023). Para a face da planta voltada para o oeste, padrão de diferença semelhante entre os sistemas foi verificado apenas em setembro de 2023 (período de menor índice pluviométrico) no sistema a pleno sol em relação ao arborizado (Figura 14B).

Devido às leituras SPAD terem sido realizadas no período da manhã, a face da copa voltada para o leste foi submetida, neste horário, a maior radiação fotossinteticamente ativa em relação à face da copa voltada para o poente, resultando em tendências mais definidas de leituras SPAD de contrastes entre os dois sistemas. Diversos estudos corroboram variações nas leituras do índice SPAD em relação à disponibilidade de radiação fotossintética diurna em plantas de trigo (MAMRUTHA et al., 2017), feijão (NOGUEIRA MARTINS et al., 2020), pimentão (PADILLA RUIZ et al., 2019), ocorrendo menor variação em leituras realizadas em condição de maior radiação fotossinteticamente ativa.

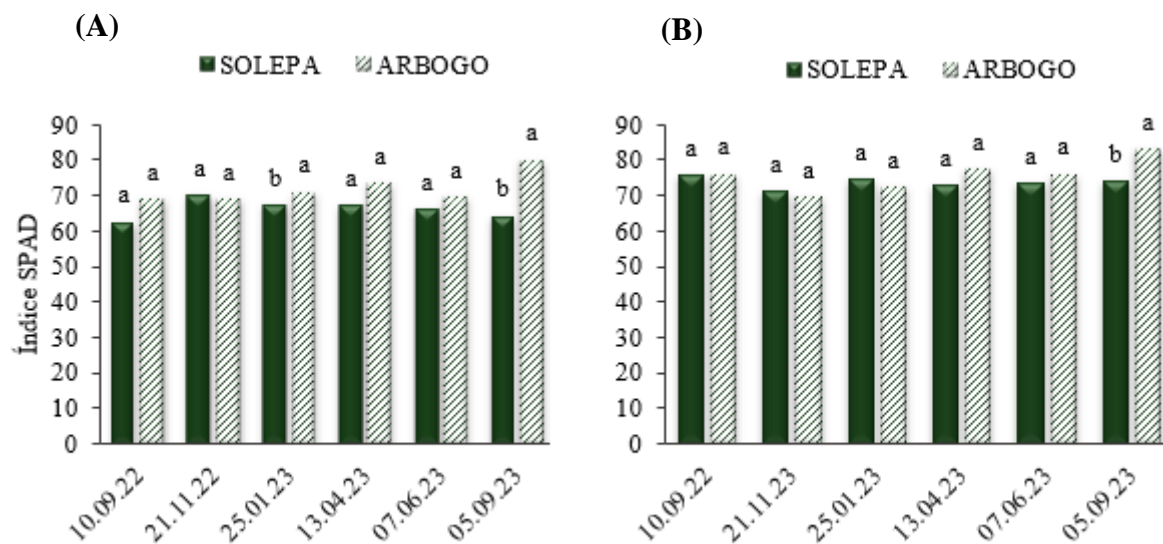


Figura 14 – Índice SPAD de plantas em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) na face Leste (A) e na face Oeste (B). *Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

Menores concentrações de clorofila em sistema a pleno sol estão associadas à ocorrência de um “mecanismo de compensação”, devido ao aumento da disponibilidade de radiação neste ambiente em relação ao sistema arborizado (CORZO-BACALLAO et al., 2023).

4.3 Status hídrico dos sistemas

Apenas na avaliação feita em setembro de 2022, maiores valores da umidade do solo, determinada entre as linhas dos cafeeiros, foram verificados para o sistema a pleno sol quando comparado com o sistema arborizado. Para as demais avaliações, tanto entre as linhas como entre as plantas de cafeeiros, não ocorreram diferenças de umidade do solo entre os dois sistemas. Quando se analisou a umidade do solo, sem a interferência direta dos cafeeiros (entre as linhas), foi observada maior variação de valores, indicando flutuações de disponibilidade hídrica nos dois sistemas (Figura 15A). Embora o manejo de irrigação tenha sido diferenciado, houve uma homogeneidade de valores de umidade de solo entre as plantas de cafeeiros (Figura 15B).

Durante as estações com precipitação elevada, a reserva hídrica dos solos dos sistemas arborizados é maior em relação aos sistemas a pleno sol (PADOVAN et al., 2018); em períodos de restrição de disponibilidade hídrica, há uma tendência do sistema a pleno sol ter maior capacidade de reserva hídrica quando comparado ao sistema arborizado. A contribuição do componente arbóreo pode estar associada a este efeito, podendo ocorrer competição entre cafeeiros e árvores em um cenário de déficit hídrico acentuado (PADOVAN et al., 2018, SARMIENTO-SOLER et al., 2019).

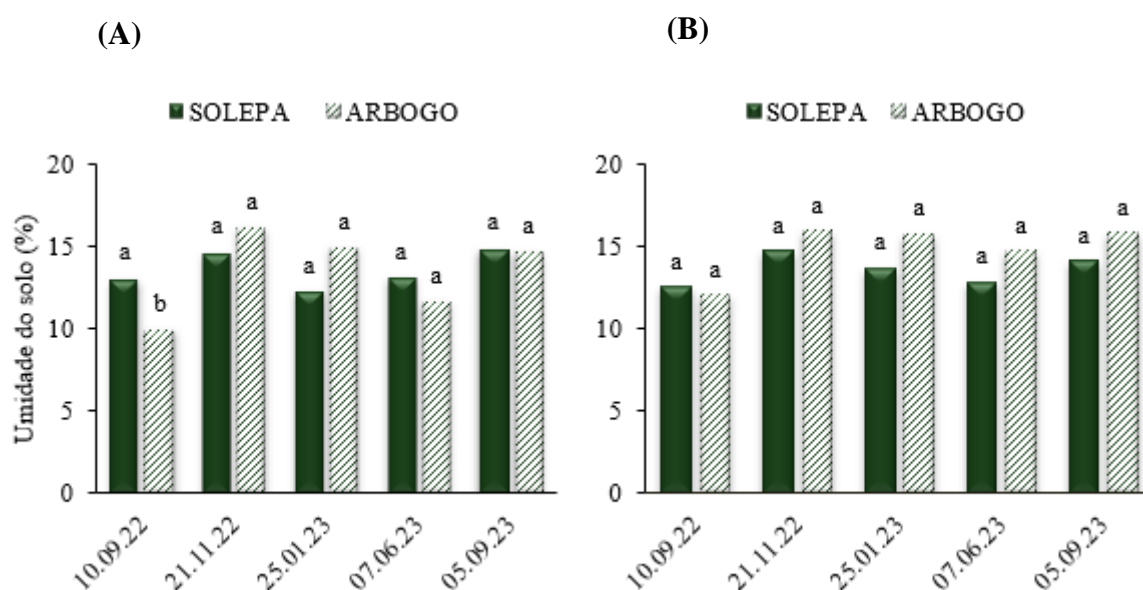


Figura 15 – Umidade do solo entre linhas (A) e entre as plantas (B) de cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO). *Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

Efeitos diferenciados foram verificados nas comparações entre os sistemas a pleno sol e arborizado, quando analisado o potencial hídrico foliar em diferentes horários (antemanhã e ao meio-dia). Para o período antemanhã, quando ocorreu uma estreita relação entre planta-solo, devido ao fechamento dos estômatos, foi verificada tendência de maiores valores para o sistema a pleno sol em comparação ao sistema arborizado, nos meses de abril e junho de 2023 (Figura 16A). Para as avaliações realizadas ao meio-dia, período em que ocorre elevada interação entre solo-planta-atmosfera, foram registrados menores valores de potencial hídrico foliar em relação ao determinado no período antemanhã. Neste cenário, efeito oposto foi expresso em quatro das cinco avaliações, ocorrendo menores valores de potencial hídrico para o sistema a pleno sol, quando comparado ao sistema arborizado (Figura 16B).

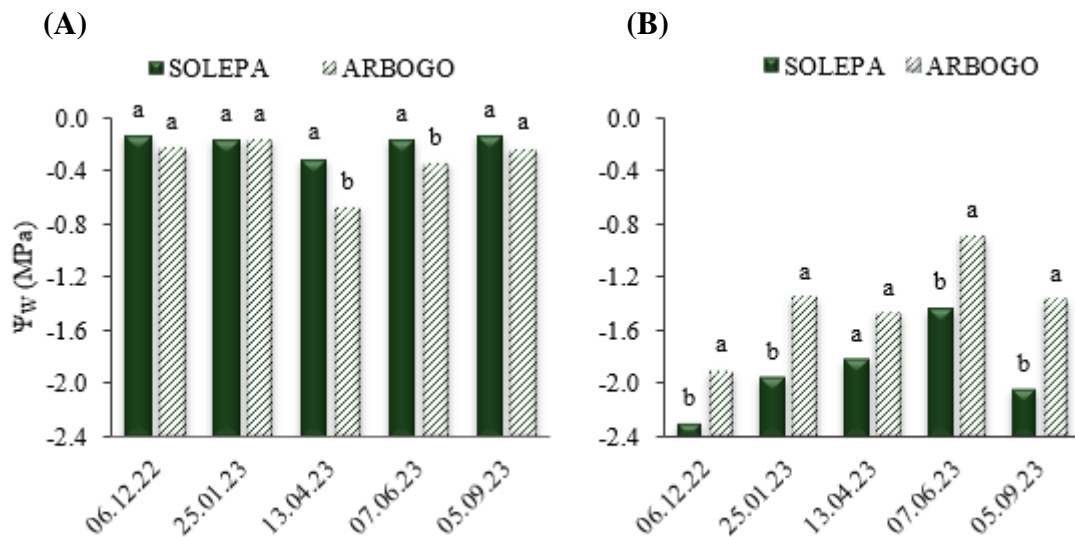


Figura 16 – Potencial hídrico foliar em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara na safra de 2022/2023 em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) com medições antemã (A) e ao meio dia (B).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

Devido à irrigação sob pivô central abranger uma maior área de distribuição de água no solo em relação ao sistema de gotejamento, quando se analisou a relação entre solo-planta, maiores valores de potencial hídrico antemã foram evidenciados para o sistema a pleno sol em relação ao sistema arborizado. Foi constatada correlação de Pearson positiva entre a umidade do solo avaliada entre as linhas e o potencial hídrico antemã de cafeeiros no sistema arborizado, corroborando a estreita relação entre tais características (Figura 17).

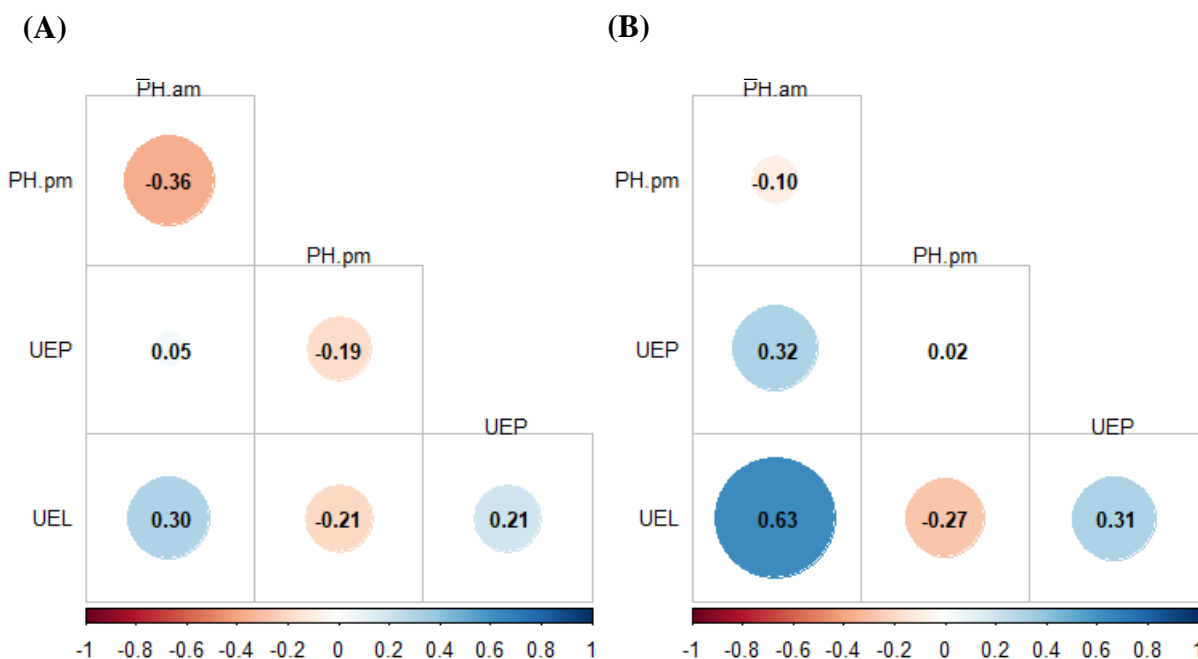


Figura 17 – Correlação entre a umidade do solo e o potencial hídrico de cafeeiros arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas no cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e no cultivo arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.

Menores valores de potencial hídrico ao meio-dia para o sistema a pleno sol foram associados ao maior nível de requerimento hídrico das plantas, devido à maior carga de drenos de crescimento reprodutivo em relação ao sistema arborizado. No sistema arborizado, devido ao menor volume de estruturas reprodutivas, o *status* hídrico dos órgãos vegetativos foi otimizado, quando comparado ao sistema a pleno sol.

4.4 Trocas gasosas foliares

As leituras realizadas com fonte de luz actínica saturante, não detectaram diferença entre os sistemas quando se avaliou a face da copa voltada para o leste e para a face oeste. A suplementação da fonte de luz actínica foi fator de interferência, resultando na homogeneidade de g_s na comparação dos sistemas (Figura 18A). Apesar de valores de transpiração (E) serem semelhantes entre os sistemas (Figura 18B), é importante verificar os valores do “*water footprint*” dos cafeeiros, o qual considera o consumo de água para o volume de café produzido (SILVA et al. 2022). Devido à menor produção de frutos de cafeeiros no sistema arborizado, os valores de economia hídrica são maiores no sistema a pleno sol.

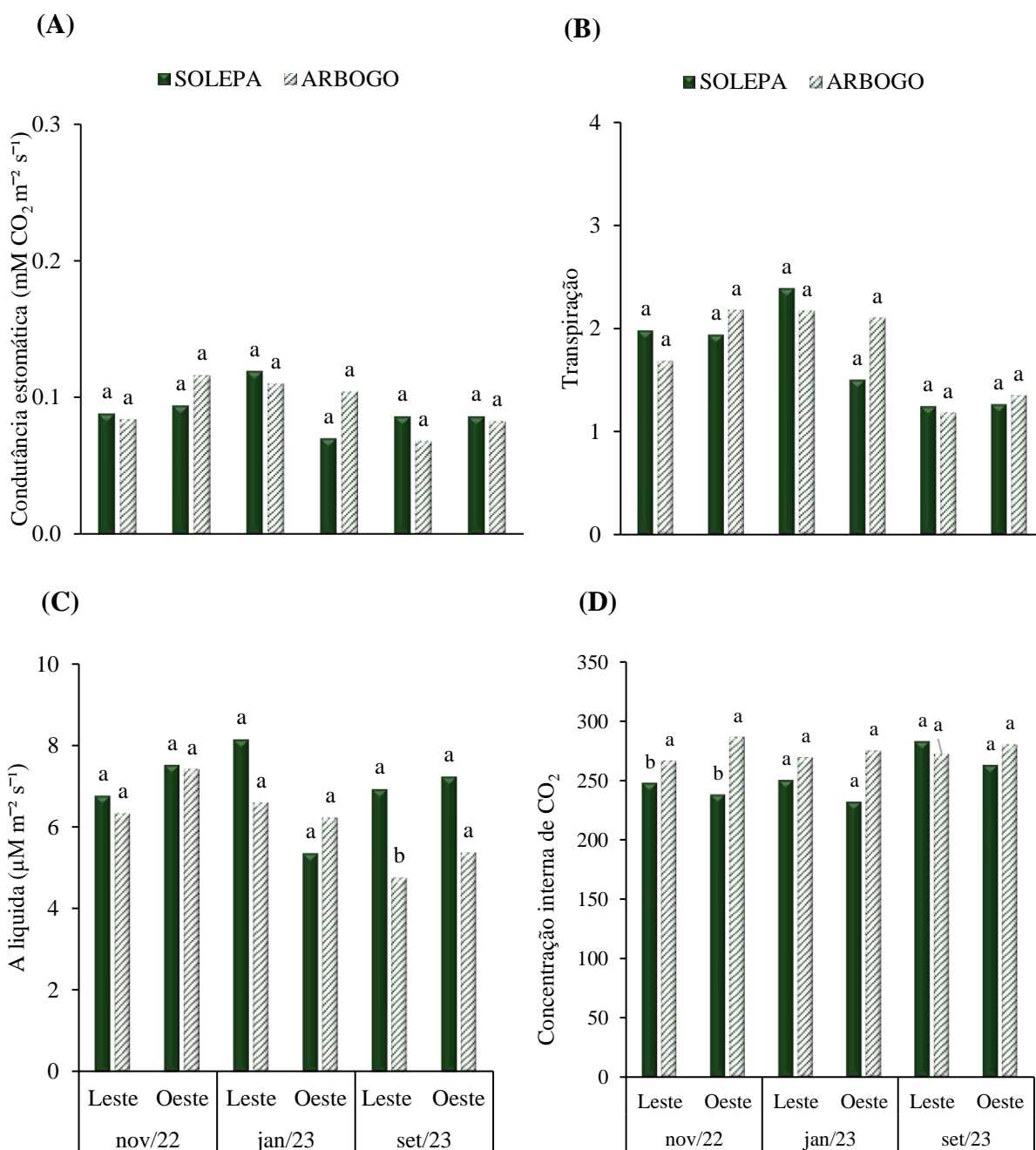


Figura 18 – Condução estomática (A), transpiração (B), assimilação líquida de CO₂ (C) e concentração interna de CO₂ (D) em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) nos meses de maior incidência de chuvas (nov/22), média incidência de chuvas (jan/23) e nenhuma incidência de chuvas (set/23).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

Para a fotossíntese líquida potencial (Anet), apenas no mês de setembro de 2023 foi verificada menor taxa para o sistema arborizado quando comparado ao sistema a pleno sol. Devido ao cafeeiro arábica apresentar elevada plasticidade fenotípica (POMPELLI et al., 2012), alterações morfofisiológicas foram induzidas pela

restrição de luz resultante da arborização. Entretanto, em um cenário de baixa precipitação, como ocorrido no sistema arborizado no mês de setembro/2023, mesmo quando as leituras de trocas gasosas foram realizadas com suplementação de fonte de luz actínica, as alterações morfofisiológicas no sistema arborizado não foram suficientes para suplantar a maior Anet verificada no sistema a pleno sol (Figura 18C)

Maior C_i foi verificada para o sistema arborizado quando comparada ao sistema a pleno sol nos períodos de maior precipitação (novembro/2022). Comumente é estabelecida uma correlação positiva entre C_i e g_s , entretanto, para o presente estudo, tal efeito foi observado somente no sistema arborizado (Figura 19).

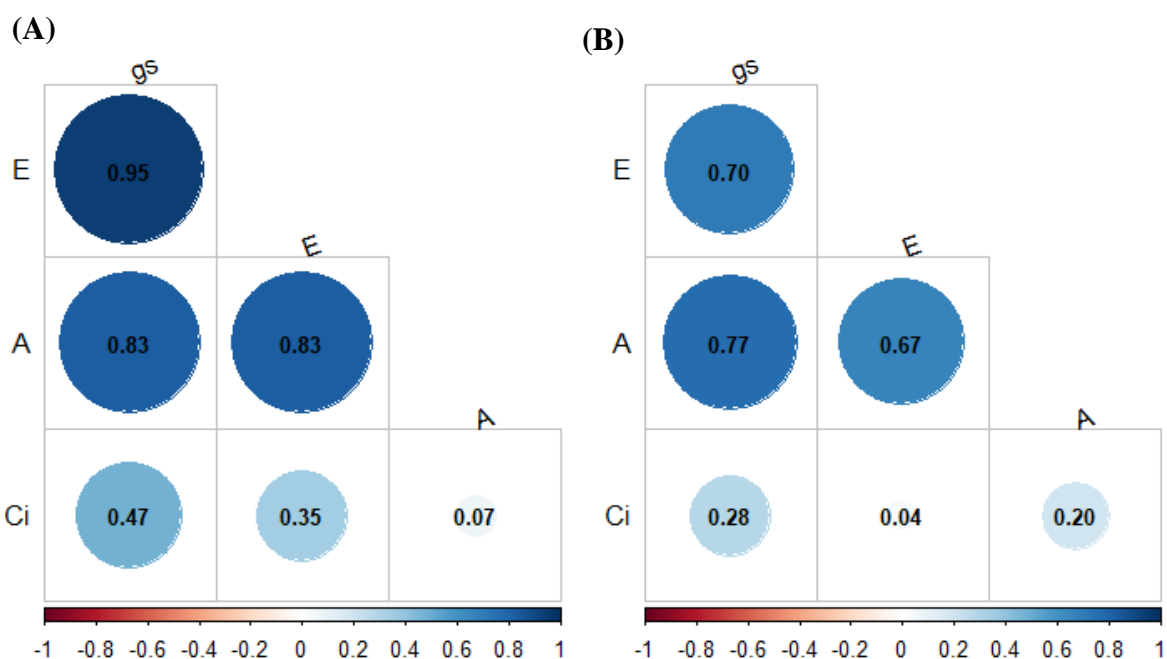


Figura 19 – Correlação entre as trocas gasosas foliares de cafeeiros arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas no cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e no cultivo arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.

Conforme citado anteriormente, o nível metabólico dos cafeeiros no sistema a pleno sol é maior quando comparado ao sistema arborizado. O maior número de frutos produzidos no sistema a pleno sol é um fato que corrobora a elevada carga de drenos neste sistema quando comparado ao sistema arborizado. Portanto, no sistema a pleno sol, devido à maior carga de “órgãos drenos”, a eficiência de carboxilação é elevada, resultando em menor concentração de C_i na câmara subestomática das folhas. Embora a elevação da eficiência de carboxilação no sistema a pleno sol em comparação ao sistema arborizado tenha sido expressa somente na face leste, no

mês de setembro/2023, é observada tendência de maiores valores em todas as avaliações realizadas (Figura 18D).

As correlações positivas entre g_s , E e A_{net} , corroboram a estreita relação de g_s com as trocas gasosas foliares, em relação à CO_2 e vapor d'água (CHEKOL et al., 2022; OLIVAS et al., 2023), para os dois sistemas (Figura 19A e B). No sistema arborizado, folhas com limbo de maior área e menor espessura, com maior área foliar específica (AFE), condicionam relações mais estreitas entre g_s e o fluxo de CO_2 entre planta e ar atmosférico (AYALEW; DEBELA, 2019). A maior estabilidade da camada limítrofe condicionada pelo sistema arborizado é um fato que maximiza a relação entre g_s e C_i . A presença das árvores reduz a velocidade dos ventos, aumentando a espessura da camada limítrofe de ar ao redor da folha, reduzindo o déficit de pressão de vapor, tornando mais explícita a relação com g_s (MAURI et al., 2020).

A eficiência de carboxilação (A/C_i) tende a um acréscimo linear em razão do aumento dos níveis de sombreamento. Esse resultado é devido, em parte, à atenuação da temperatura nos ambientes sombreados (MARTINS et al., 2014). No mês com menor índice de pluviosidade, quando medida a face leste da planta de café, houve diferença, sendo que o sistema a pleno sol foi mais eficiente quando comparado ao sistema arborizado. Os demais resultados, apesar de não haver diferença, seguem a mesma tendência (Figura 20A).

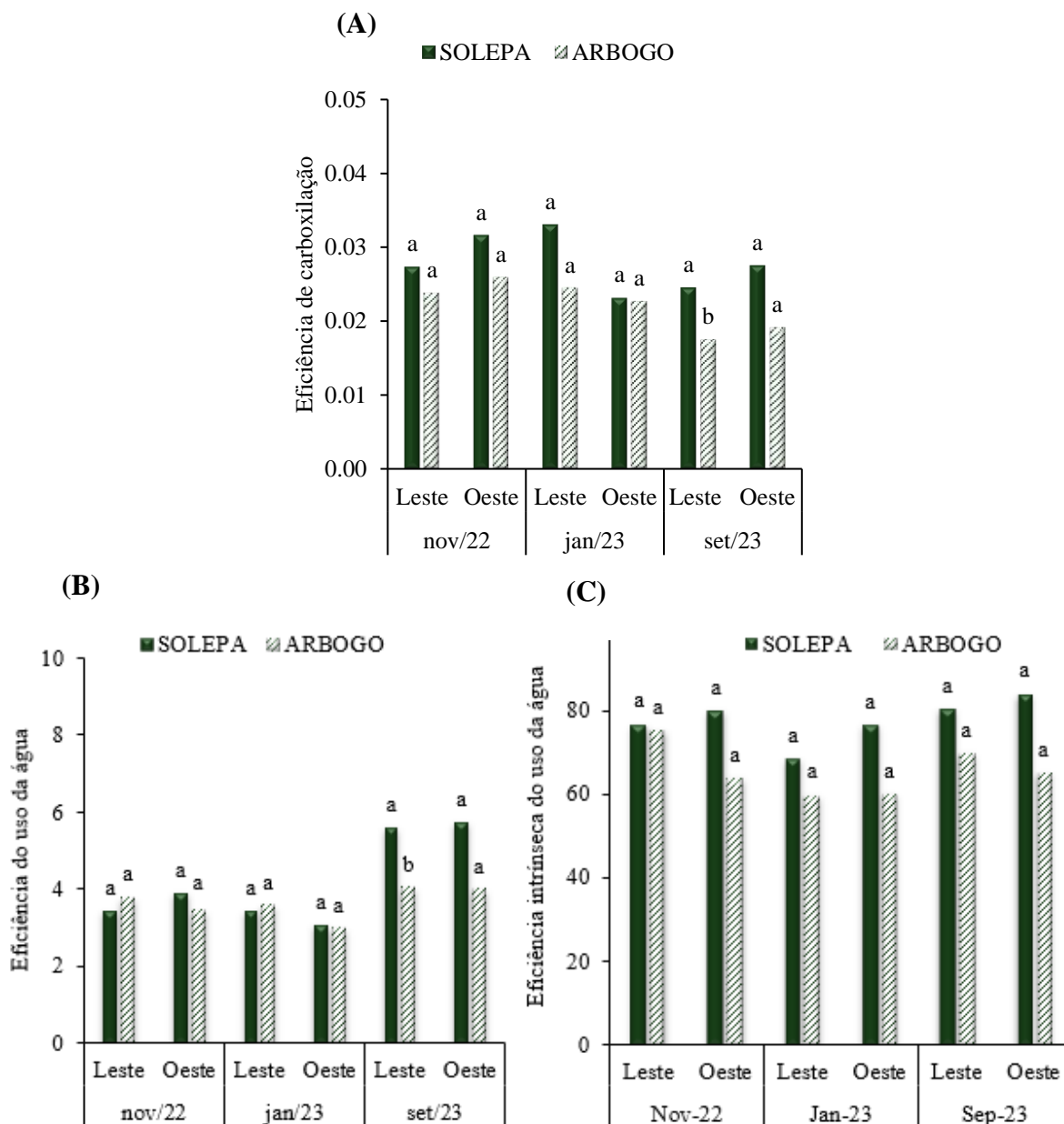


Figura 20 – Eficiência de carboxilação (A), eficiência do uso da água (B) e eficiência intrínseca do uso da água (C) em cultivares de cafeeiro arábica cv. Arara em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO) nos meses de maior incidência de chuvas (nov/22), média incidência de chuvas (jan/23) e nenhuma incidência de chuvas (set/23).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

As taxas de fotossíntese e fotorrespiração dependem das atividades de catálise da enzima presente no cloroplasto ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase/oxigenase (RuBisCO). (TAIZ et al., 2017). Com o aumento da temperatura, a atividade da enzima oxigenase aumenta, em consequência a afinidade da rubisco pelo CO₂, bem como a solubilidade do CO₂ diminuem. Como consequência, ocorre uma menor eficiência de carboxilação no sistema arborizado quando comparado ao sistema a pleno sol devido

ao aumento da C_i e diminuição na taxa de assimilação de carbono pela restrição luminosa. Quanto menor a concentração interna de carbono, maior a eficiência de carboxilação e, conseqüentemente, maior a eficiência instantânea do uso da água.

No mês de setembro de 2023, foi observada uma maior eficiência do uso da água no sistema a pleno sol na face leste, quando comparado ao sistema arborizado (Figura 20B). Essa eficiência depende da abertura estomática, correspondendo à quantidade de CO_2 fixado na matéria seca em razão da quantidade de água transpirada. Logo, quanto maior a fotossíntese, maior será essa eficiência, devido ao maior consumo de CO_2 (TAIZ; ZEIGER, 2004). Portanto, a absorção de CO_2 no processo fotossintético se torna maior à medida que os estômatos ficam abertos por mais tempo. Como consequência, a eficiência no uso da água é reduzida, devido à menor assimilação líquida observada no sistema arborizado no mês de setembro de 2023 (MACHADO et al., 2020).

A condutância estomática é diretamente proporcional à taxa de assimilação líquida, à eficiência de carboxilação e à eficiência intrínseca e instantânea do uso da água. Referente à eficiência intrínseca do uso da água, não houve diferença entre os sistemas arborizados e a pleno sol, porém o sistema a pleno sol manteve uma tendência superior desta relação, com variação de 60 a 86, respectivamente (Figura 20C). Devido à maior taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) ocorrer em cafeeiros a pleno sol e mantida a condutância estomática equivalente em ambos os sistemas, houve tendência de maior valor da eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s) em comparação ao sistema arborizado.

Em um estudo sobre cultivos consorciados com café arábica, tanto a eficiência do uso da água quanto a eficiência intrínseca do uso da água foram menores no sistema consorciado, com valores que variaram de 3 a 4 e 28 a 58, respectivamente, devido a uma maior taxa de assimilação líquida (OLIVAS, 2018). Em contrapartida, uma maior eficiência no uso da água, tanto a intrínseca (A/g_s) quanto a instantânea (A/E), foi observada em cultivos de café arborizado em comparação aos cafeeiros mantidos a pleno sol. Sistemas a pleno sol quando comparados a sistemas arborizados, maior capacidade de assimilação de carbono por unidade de água transpirada via fluxo estomático foi verificada, o que torna as trocas gasosas mais eficientes no cafeeiro (CRISTO et al., 2021).

No sistema arborizado, a correlação de Pearson entre potencial hídrico no

período antemanhã e a eficiência do uso da água foi negativa (-0,58*) (Figura 21A), ocorrendo efeito inverso para o sistema a pleno sol (0,58*, correlação de Pearson entre potencial hídrico antemanhã e eficiência do uso da água) (Figura 21B). No sistema a pleno sol, os maiores valores de potencial hídrico foliar foram associados a elevações na fotossíntese líquida potencial, e não da transpiração.

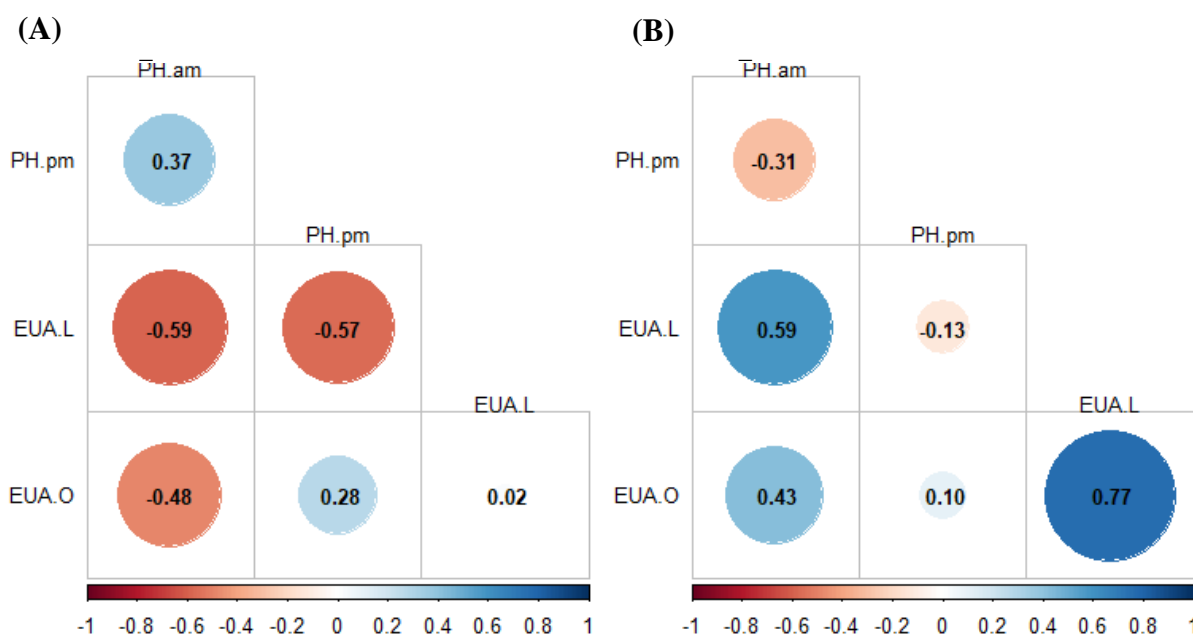


Figura 21 – Correlação entre o potencial hídrico e a eficiência do uso da água de cafeeiros arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e em sistema de cultivo arborizado com mogno brasileiro com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.

Essa correlação pode ser explicada pela relação fonte-dreno. No sistema a pleno sol, os nutrientes podem ter sido transportados para os frutos, o que pode ter impulsionado uma maior produtividade nesse sistema. Este fato não foi evidenciado no sistema arborizado, em que a atividade funcional das folhas foi de dreno, evidenciado pelo maior aporte da parte aérea e menor produtividade (BOTE; VAS, 2017).

4.5 Produtividade e rendimento do cafeeiro

A produção e a produtividade do sistema a pleno sol foram maiores quando comparadas ao sistema arborizado (Figura 22A e B). Em um estudo sobre a produtividade do café, mesmo com o sistema a pleno sol apresentando uma maior produtividade em sacas na primeira etapa de colheita (saca de 60 kg.ha⁻¹), os autores

atribuíram a menor produtividade do café sombreado a uma melhor qualidade da bebida, uma vez que houve um retardamento da maturação dos frutos do café (RICCI et al., 2006).

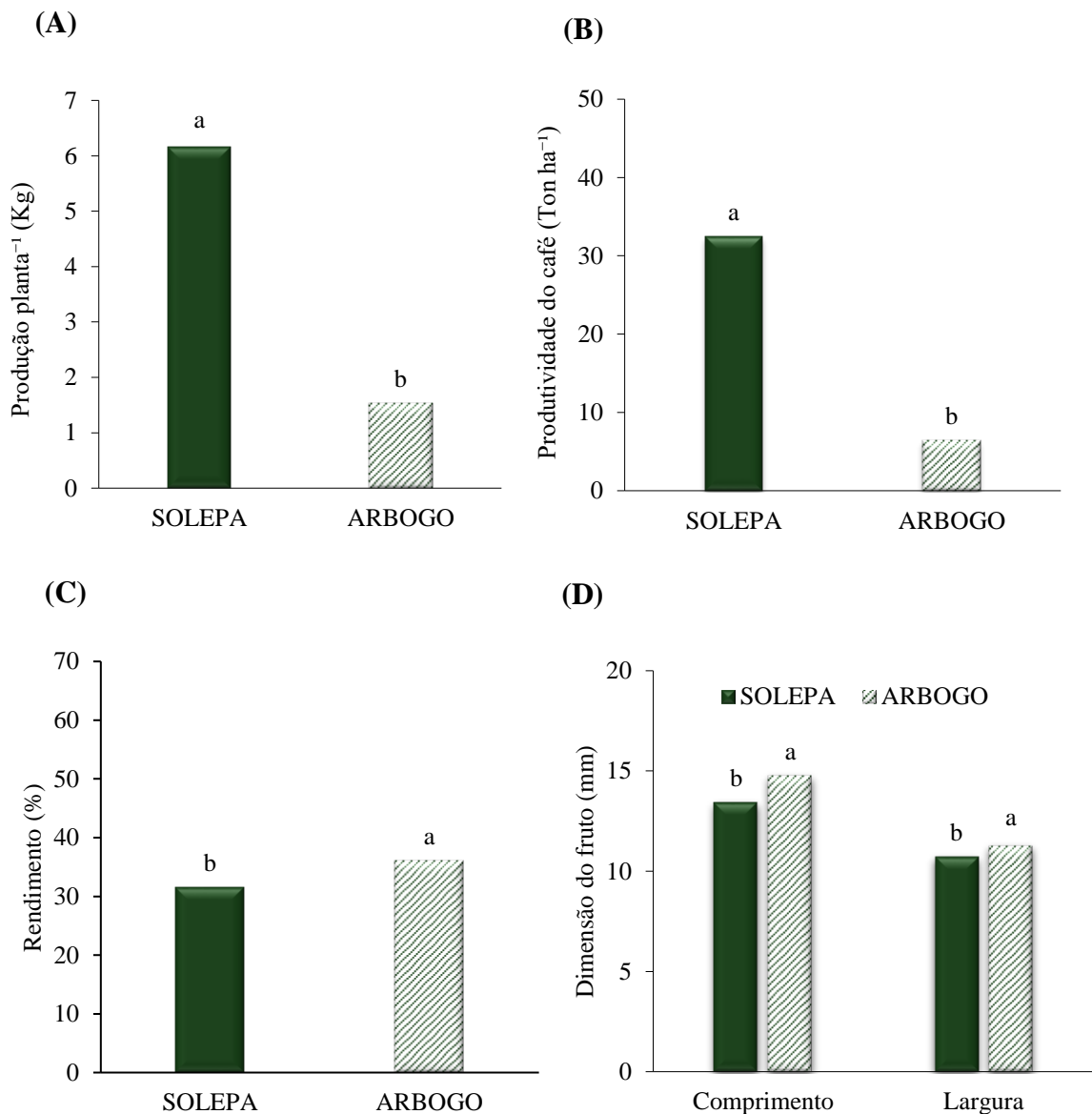


Figura 22 – Produção (A), produtividade (B), rendimento (C) e dimensão do fruto (D) de cafeeiro arábica cv. Arara, safra de 2023, em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

Devido à definição de microclima caracterizado por intensa restrição de luz condicionado pelo adensamento do componente arbóreo ocorreu menor produção de frutos (PACHECO, 2019). Esta é uma das restrições à introdução do componente arbóreo na cafeicultura, pois, para que se justifique a maior adoção a este sistema

de cultivo, a produtividade deve ser elevada. Mesmo quando se discute a inserção ambiental deste sistema, para que os índices de sustentabilidade hídrica do sistema arborizado sejam válidos, a produtividade dos cafeeiros arborizados deve alcançar maiores índices (SILVA et al., 2022).

Ao se avaliar o rendimento dos grãos, foi constatado o valor de 36% para o sistema arborizado quando comparado ao sistema a pleno sol com rendimento de 31% (Figura 22C). Isso se deve à alteração no desenvolvimento fenológico do café, devido à consequente diminuição da radiação solar, proporcionando maior período de desenvolvimento de frutos (DaMATTA, 2004; BOTE; VOS, 2017). Durante o enchimento do fruto, há uma competição por carboidratos. Cafeeiros cultivados a pleno sol com uma maior carga de frutos reduzem o tamanho do grão (VAAST et al., 2006).

No café a pleno sol, a radiação solar e altas temperaturas pode induzir à maturação precoce dos frutos do café, podendo ocasionar maior número de grãos com menor massa interna. No ambiente arborizado, as condições ambientais de temperaturas amenas e restrição de luminosidade promovem desenvolvimento e maturação mais lentos, resultando em frutos de maior peso que proporcionaram maior volume de café beneficiado (SOUZA, 2010; BOTE; VOS, 2017).

Quanto às dimensões dos frutos, foram verificados maiores valores para o sistema arborizado, quando comparado ao sistema a pleno sol (Figura 22D). O sombreamento confere ao cafeeiro um maior tempo para o enchimento dos frutos, visto que há um retardamento na maturação (FREITAS, 2020). Os efeitos do componente arbóreo nas dimensões do grão de café podem ser explicados pelo menor número de galhos produzidos sob sombra, com número de nós reduzidos por galho e menor número de flores por nó, contribuindo para uma menor carga de frutos e melhor enchimento (KOUTOULEAS et al., 2022).

4.6 Classificação física do grão

Com relação à classificação física do grão, quando se avaliou a peneira 16 UP, não foi observada diferença entre os tratamentos, sendo que 81,22% dos grãos do café arborizado ficaram retidos. Os grãos do sistema a pleno sol obtiveram uma porcentagem menor de 77,82% (Figura 23). Essa retenção de grãos em ambos os tratamentos evidenciou uma boa qualidade de café arábica da cv. Arara.

A peneira 15 reteve 7,37% dos grãos cultivados no sistema a pleno sol, em comparação a 4,3% dos grãos do café arborizado. Quando comparadas as peneiras 14, 13 e o fundo, houve um quantitativo maior dos grãos do sistema arborizado nas peneiras 14 e 13, ficando no fundo uma quantidade maior de grãos de café cultivados no sistema a pleno sol. Esta observação sugere que o sistema arborizado pode favorecer a uniformidade e o tamanho dos grãos, o que pode ser um indicativo de uma melhor qualidade do produto final (CAMARGO et al., 2023). Quanto à quantidade de grãos retidos na peneira moça, o sistema a pleno sol apresentou tendência a maiores valores quando comparada ao sistema arborizado.

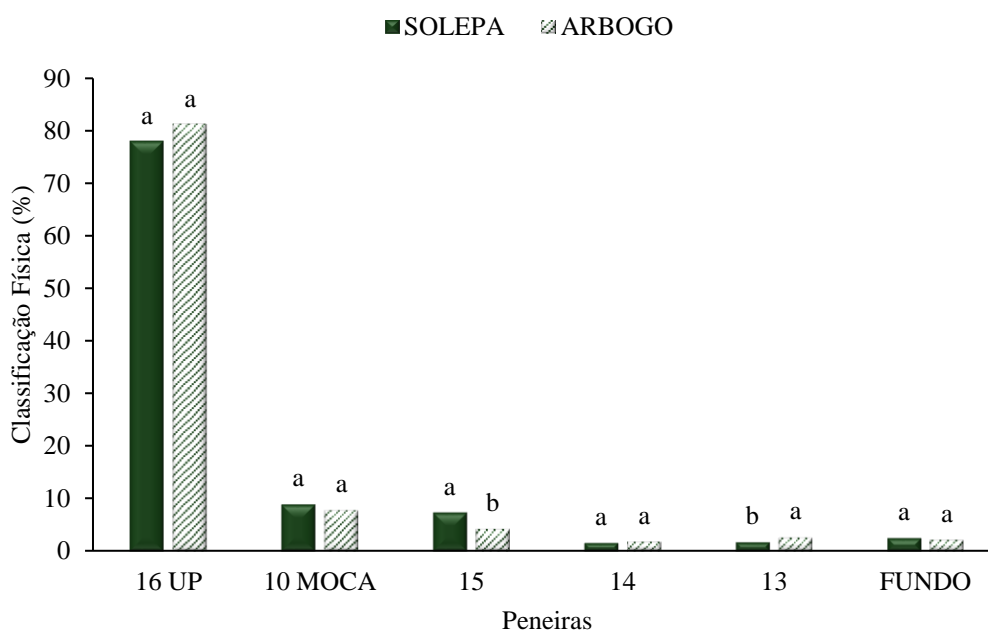


Figura 23 – Classificação física de cafeeiro arábica cv. Arara torrado em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de significância.

A classificação física com a retenção de grãos em peneiras de maiores crivos é fundamental por possibilitar a obtenção de maiores percentuais de grãos maiores antes da torra, visto que a qualidade da bebida está associada ao tamanho do grão (SOARES et al., 2019). Desse modo, a retenção de grãos em peneira média (15 e 16) é um resultado desejado pelos produtores de café, uma vez que está associado a um maior rendimento e a uma maior qualidade da bebida (CORRÊA et al., 2016).

4.7 Análise sensorial

Para a avaliação do total geral da análise sensorial, foram observados dois padrões, em relação à diferenciação entre a bebida de cafés a pleno sol (SOLEPA) e arborizado (ARBOGO). Um grupo de cinco avaliadores discriminou a maior nota para bebida de cafés ARBOGO em relação à SOLEPA, embora todas as notas fossem superiores a 80, sendo classificados como cafés especiais.

A arborização de cafezais pode atenuar diferenças de qualidade da bebida, suprimindo as limitações relativas à aplicação de menores inputs externos, característicos de sistemas de baixa adoção a tecnologias. (Odeny et al., 2015) Devido ao elevado nível tecnológico empregado nos dois sistemas, o efeito da arborização não foi evidenciado a ponto de compor um consenso entre os avaliadores, principalmente para os atributos de aroma, sabor, corpo e equilíbrio.

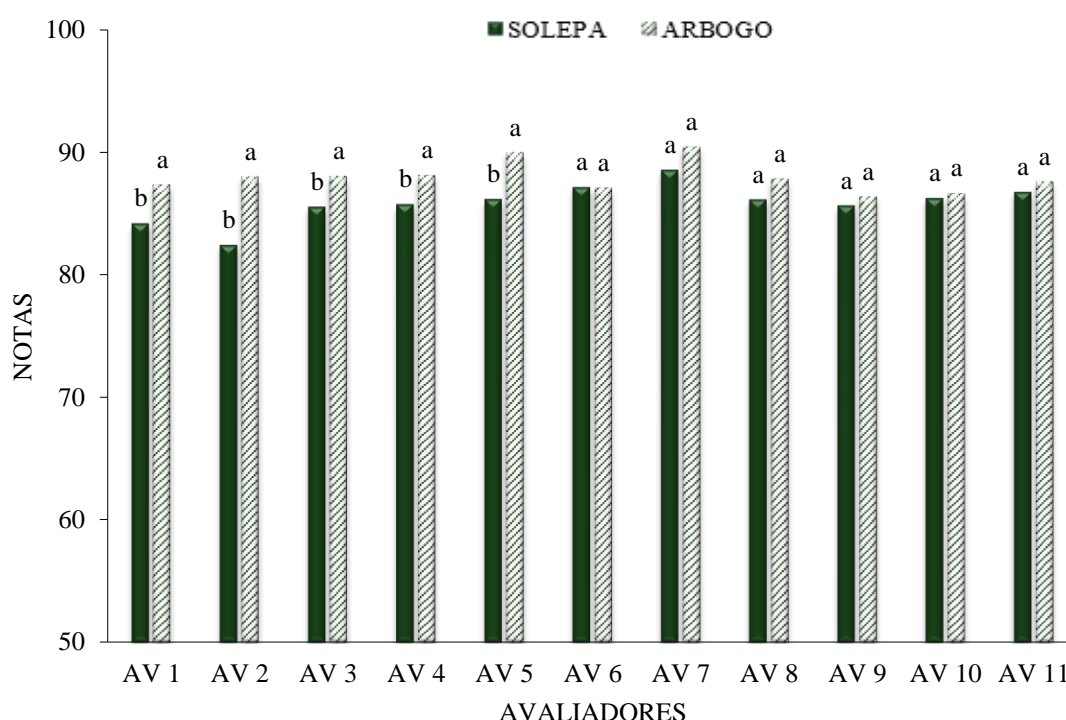


Figura 24 – Soma das notas da análise sensorial atribuídas por especialistas em café (*Q-graders*) de cafeeiro arábica cv. Arara da safra de 2023, em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si pelo t a 5% de significância.

A média geral dos grãos de café arábica cv. Arara de ambos os sistemas classifica-os como “Especial” (SCAA, 2015), sendo o café arborizado com mogno

brasileiro e irrigado por gotejamento considerado como “Excelente”, com 85,15 pontos (Tabela 1). Apesar de o vigor dos frutos do café arborizado ter sido maior em comparação ao cultivo a pleno sol, para o total geral da análise sensorial, houve similaridade entre os sistemas. Dessa forma, o peso não define, exclusivamente, a qualidade sensorial da bebida; o equilíbrio na proporção entre os principais grupos de constituintes bioquímicos dos grãos é um fator preponderante (BERTRAND et al. 2012; RIBEIRO et al., 2016).

Tabela 1 – Média das notas atribuídas por especialistas em café (Q-graders) para o cafeeiro arábica cv. Arara processado por via seca no sistema a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) e no sistema arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

Atributos	SOLEPA	ARBOGO
Aroma	8,11 b	8,36 a
Sabor	7,97 b	8,33 a
Retrogosto	7,94 a	8,16 a
Acidez	8,01 a	8,18 a
Corpo	8,01 b	8,28 a
Equilíbrio	7,93 b	8,19 a
Uniformidade	10,00 a	9,89 a
Xícara limpa	10,00 a	9,89 a
Doçura	10,00 a	9,89 a
Qualidade Geral	7,89 b	8,11 a
Total Geral	84,81a	85,16a

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste *t* de Student a 5% de significância.

Os sistemas arborizados, mesmo em regiões de menor altitude (abaixo de 600 metros), estão relacionados à maior qualidade sensorial de bebida, por propiciar uma temperatura mais amena, principalmente em áreas com restrições de disponibilidade hídrica e extremos térmicos (BERTRAND et al., 2012; GOMES et al., 2020). Para o presente estudo, a suplementação hídrica, embora com sistemas de irrigação diferenciados, foi otimizada nos dois sistemas de cultivo. Dessa forma, a igualdade de valores de qualidade sensorial de bebida parece estar mais diretamente associada ao *status* hídrico. O efeito positivo da arborização para a qualidade sensorial da bebida, relatado em outros estudos, pode ser um fator de interferência indireto, relacionado ao condicionamento de um microclima com maior disponibilidade hídrica (SILVA, 2022; FERREIRA, 2023).

Apesar da similaridade de valores do total geral entre os sistemas, houve uma

tendência de menores valores dos atributos aroma, sabor, corpo, equilíbrio e nota geral para o sistema a pleno sol quando comparado ao arborizado. O componente arbóreo realça o aroma da bebida do café arábica, uma vez que a temperatura elevada pode ser um agravante durante o desenvolvimento das sementes, comprometendo o sabor da bebida de café (BERTRAD et al., 2012; TUCCIO et al., 2019). A temperatura, e não a disponibilidade de água, foi o fator mais predominante na diferença destes atributos na qualidade da bebida do café arborizado em relação ao café a pleno sol (BERTRAND et al., 2012; SANTOS et al., 2015).

O maior tempo de maturação dos frutos no campo favorecido pelo componente arbóreo promove uma bebida mais equilibrada, com a incorporação de açúcares e lipídios que intensificam o sabor, o aroma e o corpo que está relacionado à quantidade de óleos essenciais presentes no café (SCAA, 2015). Cafeeiros cultivados a pleno sol, em temperaturas elevadas, tendem a ter baixo teor de lipídios, indicam que a maturação precoce do grão não completou totalmente a síntese de lipídios (VAAST et al., 2006; SENINDE; RAMALHO et al., 2018; SENINDE; CHAMBERS, 2020).

Em ambos os sistemas, a maior pontuação foi atribuída para uniformidade, xícara limpa e doce, caracterizando um café consistente, sem interferência de impressões negativas e com a presença do sabor doce natural agradável da bebida (SCAA, 2015). Temperatura amena é um fator que está relacionado ao sabor doce e uniforme na bebida do café (SENINDE; CHAMBERS, 2020).

Ambientes com temperaturas elevadas favorece a maturação incompleta dos grão de café, concentrando altos teores de sacarose, precursora de polissacarídeos, dificultando as atividades das enzimas sacarose sintase (EC 2.4.1.13) e sacarose-fosfato sintase (SPS: EC 2.4.1.14) que convertem a sacarose em açúcares redutores que proporcionam o sabor doce da bebida (GEROMEL et al., 2006; RAMALHO et al., 2018; SENINDE; CHAMBERS, 2020).

No sistema a pleno sol, a menor nota foi para o atributo equilíbrio, conferindo um café pouco homogêneo entre as características de finalização, acidez e corpo. A arborização favorece a menor amplitude de variação térmica diurna resultando em um café mais equilibrado com acentuado sabor em comparação a cafeeiros cultivados a pleno sol (KOUTOULEAS et al., 2022; TUCCIO et al., 2019). Para o café arborizado, o atributo retrogosto foi o que teve menor pontuação. Bosselmann et al. (2009) encontraram pontuações mais altas de retrogosto para cafeeiros arábica cultivados a

pleno sol em comparação com os cafeeiros cultivados sob arborização.

Referente à nota de qualidade geral, a pontuação de 7,89 foi verificada para o sistema a pleno sol; e para o sistema arborizado foi determinada a nota de 8,11. Em um estudo semelhante, com cafeeiro a pleno sol e arborizado, Freitas (2020) verificou que as notas da qualidade geral do cafeeiro a pleno sol foi de 7,30, enquanto o café arborizado obteve pontuação de 7,90, enfatizando o componente arbóreo como um fator determinante na maior pontuação para qualidade da bebida.

A arborização está relacionada ao condicionamento de menor amplitude térmica, reduzindo a ocorrência de frutos verdes e imaturos, que conferem sabor amargo e adstringente à bebida (SENINDE; CHAMBERS, 2020). O sombreamento também é um fator que evita a elevação do teor de cafeína quando ocorre o manejo de elevadas concentrações de nitrogênio, diminuindo o sabor mais amargo na bebida de café (KOEHLER, 2017).

Para o café arborizado, foi observada correlação positiva entre os atributos aroma, sabor, retrogosto e corpo (Figura 25). A qualidade destes atributos é favorecida pelo microclima propiciado pela arborização (BERTRAND et al., 2012; SANTOS et al., 2015).

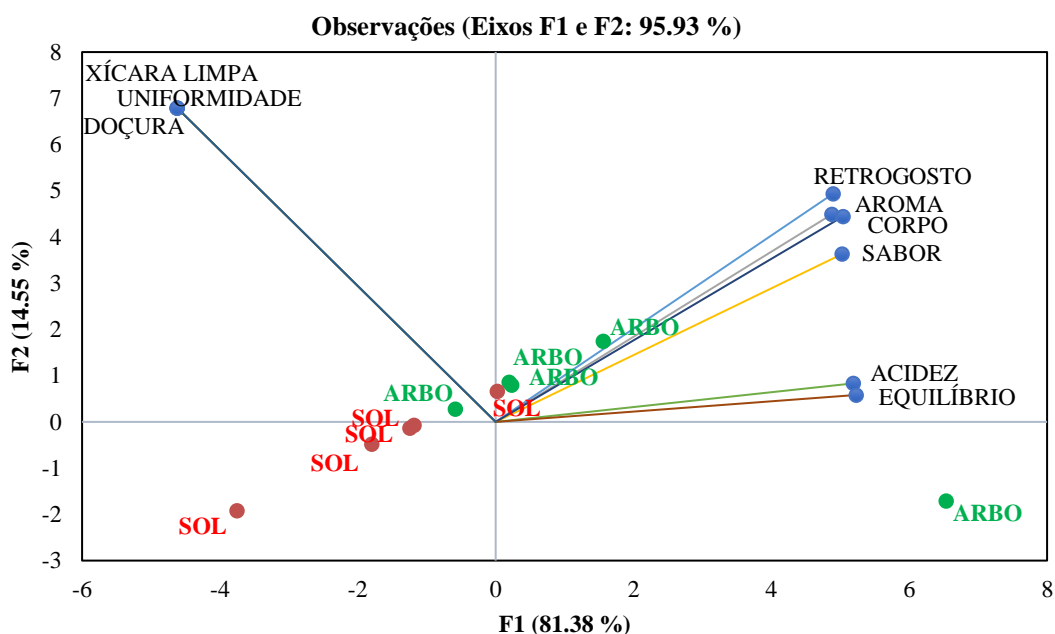


Figura 25 – Gráfico biplot a partir da análise sensorial de cafeeiro cv. Arara da safra de 2023 em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOL) e arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBO). Os pontos correspondem aos sistemas de cultivo, e os vetores representam os atributos da bebida.

Para os dois sistemas de cultivo foi observado um padrão de correlações semelhante, definido por correlação positiva entre os atributos de aroma, sabor, retrogosto, acidez, corpo e equilíbrio. Houve também correlação positiva entre os atributos de uniformidade, xícara limpa e doçura, e correlação negativa destes com os demais atributos (Figura 26). Entretanto, houve uma exceção no sistema SOLEPA, para o qual o atributo aroma não manteve correlação com o sabor e o equilíbrio. Para os atributos sabor, retrogosto, acidez e corpo não houve correlação com a qualidade geral. No sistema ARBOGO, o atributo aroma não teve correlação com a qualidade geral.

Para os atributos de sabor, retrogosto, corpo, e equilíbrio, a arborização tem efeito positivo, independentemente da altitude (SIAHAAN et al., 2023). A densidade de cobertura do componente arbóreo é determinante para estes atributos, sendo a densidade ideal entre 50–55% de sombreamento. Densidades elevadas acima de 85% são prejudiciais à qualidade da bebida do café (TOLESSA et al., 2017; RAMOS et al., 2017). Contudo, é elucidado que há um aumento da qualidade dos atributos da bebida do café em microclimas propiciados pela inclusão de espécies arbóreas (FREITAS et al., 2020).

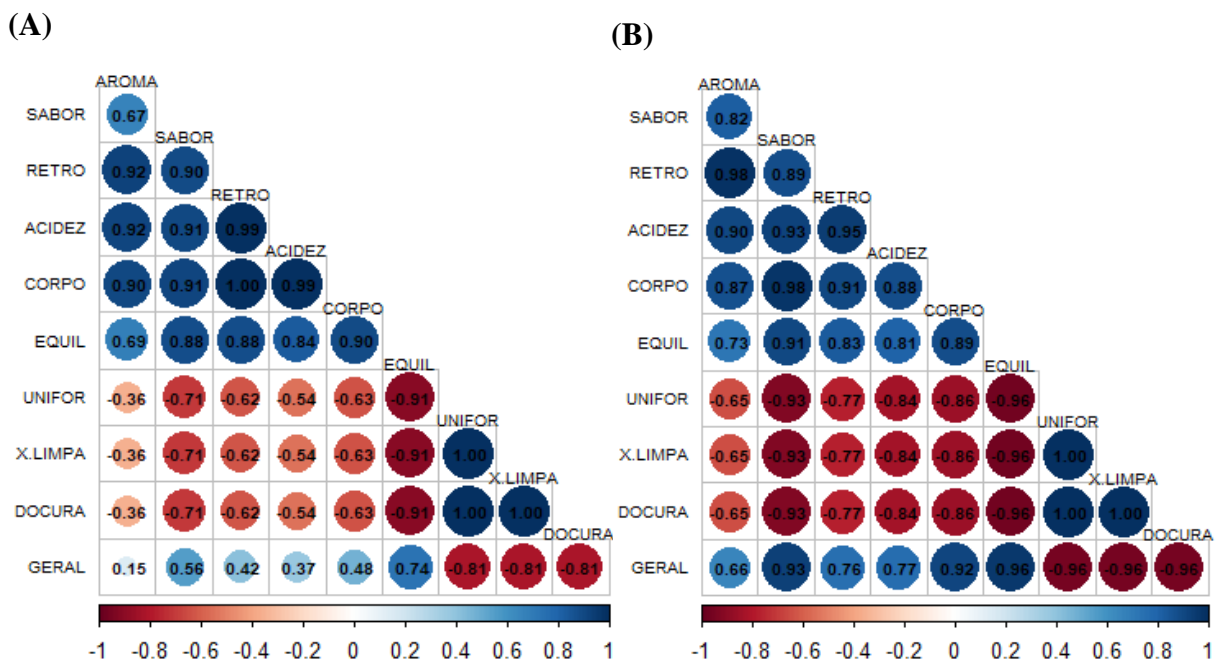


Figura 26 – Correlação entre os atributos de cafeeiro arábica cv. Arara coletados na Fazenda Três Lagoas em sistema de cultivo a pleno sol sob pivô central com LEPA (A) e em sistema de cultivo arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (B). Empresa Faro Agrícola LTDA, Águas Vermelhas–MG. Vitória da Conquista, UESB, 2024.

A nota sensorial ‘mel’, referente ao atributo doçura, foi a mais predominante em

ambos os sistemas, porém mais mencionada no sistema arborizado. A nota sensorial 'caramelo' foi mencionada em ambos os sistemas, mas com maior destaque no sistema a pleno sol. Essa característica distingue a doçura persistente em cada um dos sistemas (Tabela 2). Freitas et al. (2020) também observaram 'caramelo' como nota comum a todos os tratamentos. Uma parte dos carboidratos e açúcares são decompostos no processo de torrefação, o que explica a nota 'caramelo' atribuída a ambos os tratamentos (DMOWSKI, DAŁBROWSKA, 2014; CAPORAS et al. 2018).

A nota 'amanteigado', relacionada ao atributo sensorial corpo, foi menos descrita no café arborizado, comprovando o estudo de Oliveira et al. (2021), que encontraram maior conteúdo de lipídios em grãos de café cultivados a pleno sol quando comparado a cafés cultivados sob sombra.

Tabela 2 – Principais descritores sensoriais de cafeeiro arábica cv. Arara processados por via seca em sistema de cultivo a pleno sol com irrigação sob pivô central com LEPA (SOLEPA) arborizado com mogno brasileiro com irrigação localizada por gotejamento (ARBOGO).

Nota sensorial	Descritores sensoriais	
	Repetições	
	SOLEPA	ARBOGO
Açúcar mascavo	2	4
Adocicado	14	18
Amanteigado	3	2
Caramelo	13	7
Chocolate	8	11
Cítrico	5	7
Cremoso	15	15
Frutado	13	13
Floral	6	9
Mel	20	29
Rapadura	1	5

A nota 'floral' foi superior no sistema arborizado, enquanto a nota 'frutado' foi mais mencionada no sistema a pleno sol. Referente à cremosidade da bebida, ambos os sistemas se mantiveram equilibrados. Em um estudo sobre a qualidade sensorial de grão de cafeeiro arábica em consórcio com espécies madeireiras, os cafeeiros consorciados com cedro rosa com espaçamento mais adensado (9,0 x 13,6) resultaram em notas de 'caramelo', 'frutado', 'chocolate' e 'adocicado'. A nota 'cremoso', referente ao corpo, apareceu apenas para os cafeeiros consorciados

(FREITAS, 2020).

A associação com o mogno brasileiro foi a que obteve maior diversidade de nuances, tendo como principais descritores sensoriais o 'adocicado', 'caramelo', 'cítrico', 'frutado', 'mascavo', 'melado', 'rapadura'. Esses descritores atribuíram uma singularidade única a este café (FREITAS, 2020).

As notas de 'açúcar mascavo', 'adocicado' e 'rapadura' prevalecem no sistema arborizado, denotando o sabor doce natural da bebida do café. Notas de 'chocolate' e 'cítrico' foram preeminentes no sistema arborizado, denotando uma característica agradável a este fruto, com uma composição harmoniosa e cítrica que, em combinação com o açúcar natural do fruto, proporcionam uma sensação prazerosa (SCAA, 2015).

O café produzido em microclimas especiais, aliado à padronização e quantificação, permitiu a comparação entre cafés com sistemas de cultivo diferentes, cada um com sua singularidade e alta qualidade (TUCCIO et al., 2019).

5 CONCLUSÕES

Para a região do Norte de Minas Gerais, em sistemas com manejo de irrigação tecnificada, a arborização reduz a amplitude térmica em relação ao sistema a pleno sol.

A disponibilidade de radiação induz à plasticidade fenotípica, expressada pelo maior diâmetro de caule e menor índice Spad no sistema a pleno sol quando comparado ao sistema arborizado.

As relações hídricas estabelecidas entre solo-planta são favorecidas no sistema a pleno sol com sistema de irrigação com LEPA quando comparada ao sistema arborizado por gotejamento, ocorrendo maiores teores de umidade do solo entre linhas e entre plantas apenas no mês de menor disponibilidade hídrica.

Quando é considerada a relação entre solo-planta-atmosfera, o status hídrico do sistema arborizado por gotejamento é mais favorável em comparação ao sistema a pleno sol irrigado sob pivô central com LEPA.

Sob condição de saturação de luz actínica, as características relacionadas à fotossíntese líquida potencial são maiores no sistema a pleno sol sob pivô central com LEPA quando comparado ao arborizado por gotejamento, na face de exposição Leste.

A elevada densidade do componente arbóreo é um fator determinante para a menor produtividade dos cafeeiros cultivados em sistema arborizado por gotejamento em comparação ao sistema a pleno sol sob pivô central com LEPA.

A morfometria dos frutos do sistema arborizado por gotejamento é maior quando comparada àqueles do sistema a pleno sol sob pivô central com LEPA, porém a porcentagem de peneira 16 UP foi semelhante para os dois sistemas.

Os cafés dos sistemas a pleno sol e arborizado foram classificados como especiais no painel sensorial da bebida.

REFERÊNCIAS

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da Indústria de Café 2023**. Disponível em: < <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/>>. Acesso em 30 de mar. 2024.
- ADEYEMI, O.; GROVE, I.; PEETS, S.; NORTON, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. **Sustainability**, v. 9, p. 353–351.029, 2017. DOI:10.3390/su9030353.
- AERTS, R.; GEERAERT, L.; BERECHA, G.; HUNDERA, K.; MUYS, B.; KORT, H. DE; HONNAY, O. Conserving wild Arabica coffee: Emerging threats and opportunities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 237, p. 75–79, 2017.
- ALMEIDA, V. G.; SARTI, J. K.; SOUSA, C. M.; ÁVILA, E. A. S.; PEREIRA, W.; ALMEIDA FILHO, J. B. Crescimento de cafeeiros irrigados no Cerrado. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 9146-9152, 2020.
- ANDRADE, H. J.; ZAPATA ARANGO, P. C. Ecophysiological performance of coffee (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo at shade in San Juan de Rioseco, Colombia. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 15-27, janeiro – junho de 2020 e-ISSN: 2145-6453.
- ANTUNES, L. D. M.; REDIN, E. Vai um cafezinho aí? : Agricultura familiar e agricultura empresarial na produção de café em Minas Gerais. **Revista Sem Aspas**, v. 11, n. 00, p. e022008, 2022. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/semaspas/article/view/15356>. Acesso em: 3 mar. 2024.
- ANWAR, M.; LIU, D.; MACADAM, I.; KELLY, G. Adaptando a agricultura às mudanças climáticas: uma revisão. **Climatologia Teórica e Aplicada**, v. 113 n. 1-2, p. 225-245, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0780-1>.
- AVILA R. T.; ALMEIDA, W. L.; COSTA, L. C.; MACHADO, K. L. G.; BARBOSA, M. L.; SOUZA, R. P. B.; MARTINO, P. B.; JUÁREZ, M. A. T.; MARÇAL, D. M. S.; MARTINS, S. C. V.; RAMALHO, J. D. C.; DaMATTA, F. M.. Elevated air [CO₂] improves photosynthetic performance and alters biomass accumulation and partitioning in drought-stressed coffee plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 177, p. 104137, 2020.
- AYALEW, B.; DEBELA, A. Shade and Nitrogen Levels Affected Physiological and Leaf Characteristics of Coffee. In Proceedings of Ethiopian Coffee Science Society (ECSS) **Inaugural Conference Held** on 7-8 April 2017, Jimma, Ethiopia, 2019.
- BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L.; CASTRO, E. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.
- BARTLETT, M.K.; KLEIN, T.; JANSEN, S.; CHOAT, B.; SACK L. The correlations and sequence of plant stomatal, hydraulic, and wilting responses to drought.

Proceedings of the National Academy of Science, v. 113, p. 13098-13103, 2016.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; TAVEIRA, J. H. S. Coffee processing. *In: Handbook of coffee post-harvest technology*. Norcross, Georgia: Gin Press, p. 49–68, 2014.

BOSELDMANN, A.S.; DONS, K.; OBERTHUR, T.; OLSEN, C. S.; RÆBILD, A.; USMA, H. A influência das árvores de sombra na qualidade do café em sistemas agroflorestais de café de pequenos produtores no sul da Colômbia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, p. 129:253, 2009.

BOTE, A. D.; VOS, J. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 83, p. 39-46, 2017.

BOTE, A. D.; STRUIK, P. C.. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, v. 3, n. 11, p. 336–341. 2011.

BERTRAND, B.; BOULANGER, R.; DUSSERT, S.; RIBEYRE, F.; BERTHIOT, L.; DESCROIX, F.; JOËT, T. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. **Food chemistry**, v. 13, n. 4, p. 2575-2583, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 8**, de 11 de junho de 2003. Aprova o regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Brasília, 2003. Disponível em: < <https://abic.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Instrucao-Normativa-08-03.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

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

CALDAS, A. L. D.; LIMA, E. M. C.; REZENDE, F. C.; FARIA, M. A.; DIOTTO, A. V.; LEITE JÚNIOR, M. C. R. Produtividade e qualidade de café cv. travessia em resposta à irrigação e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2357–2365, 2018.

CAMARGO, F. T.; FAVARIN, J. L.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; RIGHI, C. A.; ALVES, S. N. R.; REIS, A. R. Crescimento e maturação do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em um sistema arborizado e em monocultivo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 13, n. 2, p. 222-230, 2023.

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

CAPORASO, N.; WHITWORTH, M.B.; CUI, C.; FISK, I.D. Variabilidade de compostos voláteis de café de grãos individuais de cafés torrados Arábica e Robusta analisados por SPME-GC-MS. **Food Research International**, v. 108, p. 628–640, 2018.

CARDOSO, W. S.; AGNOLETTI, B. Z.; FREITAS, R.; ABREU PINHEIRO, F.; PEREIRA, L. L., Aspectos Bioquímicos de Fermentação do Café. Livro: Determinantes da Qualidade na Produção de Café, **Springer**, p. 149-208, 2021.

CERDA, R.; ALLINNE BELLOC, C.; GARY, C.; TIXIER, P.; HARVEY, C.A.; KROLCZYK, L.; MATHIOT, C.; CLEMENT, E.; AUBERTOT, J.N.; AVELINO, J. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 308–319, 2017.

CHARBONNIER, F.; ROUPSARD, O.; LE MAIRE, G; GUILLEMOT, J.; CASANOVES, F.; LACOINTE, A.; VAAST, P.; ALLINNE, C.; AUDEBERT, L.; CAMBOU, A.; CLÉMENT-VIDAL, A.; DEFRENET, E.; DUURSMA, R.A.; JARRI, L.; JOURDAN, C.; KHAC, E.; LEANDRO, P.; MEDLYN, B.E.; SAINT-ANDRÉ, L.; DREYER, E. Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. **Plant Cell and Environment**, v. 40, n. 8, p. 1592-1608, 2017.

CHEKOL, H.; WARKINEH, B.; SHIMBER, T.; MIEREK-ADAMSKA, A.; DĄBROWSKA, G.B.; DEGU, A. Drought Stress Responses in Arabica Coffee Genotypes: Physiological and Metabolic Insights. **Plants**, v. 1, n. 6, p. 828, 2024. DOI: 10.3390/plants13060828. PMID: 38592785; PMCID: PMC10975139.

CHEMURA, A.; MUTANGA, O.; DUBE, T. Remote sensing leaf water stress in coffee (*Coffea arabica*) using secondary effects of water absorption and random forests. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 100, p. 317-324, 2017.

CHEMURA, A.; MUTANGA, O.; ODINDI, J. Empirical modeling of leaf chlorophyll content in coffee (*Coffea arabica*) plantations with sentinel-2 MSI Data- Effects of spectral settings, spatial resolution, and crop canopy cover. **Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 10, n. 12, 2017.

CHINDAPAN, N.; SOYDOK, S.; DEVAHASTIN, S. Roasting kinetics and chemical composition changes of Robusta coffee beans during hot air and superheated steam roasting. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 2, p. 292–302, 2019.

CHRISTO, B. F.; OLIVAS, D. B. L.; CARVALHO, A. H. O.; COLODETTI, T. V.; BARROS, V. M. S.; TEIXEIRA, A. G.; SILVA, I. T. Respostas ecofisiológicas do cultivo do café sob diferentes condições de sombreamento. **Agroecosistemas Tropicais e Subtropicais**, v. 24, n. 1, 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 10 – Safra 2023, n. 2- Segundo levantamento, Brasília, p. 1-44, maio 2023.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; VARGAS-ELÍAS, G. A.; BAPTESTINI, F. M. Particle size and roasting on water sorption in conilon coffee during storage. **Coffee Science**, v. 11, n. 2, p. 221-233, abr./jun. 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8074>. Acesso em: 05 mar. 2024.

CORZO-BACALLAO, J. A.; SALAS-MACÍAS, C. A.; FONSECA RODRIGUEZ, O.; GARCÉS-FIALLOS, F. R.; ALCÍVAR-MUÑOZ, E. I.; BAQUE-LOOR, H. F. Influence

of tree shade on the growth and chlorophyll content of arabica coffee plants established in an agroforestry system at southern Manabí, Ecuador. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 39, n. Special issue 2, p. 37-47, 2023.

DaMATTA, F. M.; RAHN, E.; LÄDERACH, P.; GHINI, R.; RAMALHO, J.C. Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated? **Climatic Change**, v. 152, p. 67-178, 2019.

DaMATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S.C.; RAMALHO, J. C.; Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, p. 5264-5274, 2018.

DaMATTA, F. M.; GODOY, A. G.; MENEZES-SILVA, P. E.; MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, L. M. V. P.; MORAIS, L. E.; TORRE-NETO, A.; GHINI, R. Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 341–352, 2016.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2–3, p. 99–114, 2004.

DAVIS, A. P.; CHADBURN, H.; MOAT, J.; O'SULLIVAN, R.; HARGREAVES, S.; LUGHADHA, E. N. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. **Science Advances**: eaav3473, 2019.

DENOEUDE, F.; CARRETERO-PAULET, L.; DEREPPER, A.; DROC, G.; GUYOT, R.; PIETRELLA, M.; ZHENG, C.... The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. **Science**, v. 345, n. 6201, p. 1181–1184, 2014.

DOMINGUES, L. O. C.; GARCIA, A de O.; FERREIRA, M. M. C.; MORGANO, M. A. Predição sensorial da qualidade do café avaliada por parâmetros físico-químicos e modelo multivariado. **Ciência do Café**, v. 15, p. e151654, 2020.

DMOWSKI, P.; DĄBROWSKA, J. Comparative study of sensory properties and color in different coffee samples depending on the degree of roasting. **Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej W Gdyni**, v. 84, p. 28-36, 2014.

EHRENBERGEROVÁ, L.; ŠENFELDR, M.; HABROVÁ, H. Impacto do sombreamento de árvores no microclima de uma plantação de café: um estudo de caso da Amazônia peruana. Impact of tree shading on the microclimate of a coffee plantation: A case study from the Peruvian Amazon. **Bois et Forêts Des Tropiques**, v. 4, n. 334, p. 13–22, 2017.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 488–495, 2012.

FAIN, S. J.; QUIÑONES, M.; ÁLVAREZ-BERRÍOS, N. L.; PARÉS-RAMOS, I. K.; GOULD W. A. Climate change and coffee: assessing vulnerability by modeling future climate suitability in the Caribbean Island of Puerto Rico. **Climatic Change**, v. 146, p.

175-186, 2018.

FERNANDES, M. I. S.; ASSIS, G. A.; NASCIMENTO, L. G.; CUNHA, B. A.; AIRÃO, A. L. C.; GALLET, D. S. Coffee cultivars productive and quality parameters in the Alto Paranaíba region, Minas Gerais, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1- 18, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6681>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6681>. Acesso em: 2 mar. 2024.

FERREIRA, Daniel Soares. **Desempenho agrônômico e qualidade sensorial de genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em altitude de transição**. 104 f. Universidade Federal de Viçosa – UFV (Tese de doutorado), 2023.

FERREIRA, W. M.; JÚNIOR, J. I.; DIAS, C. R.; DE OLIVEIRA, K. R.; GOMES, J. V.; SOUZA, C. D. F. Requisitos para credibilidade da análise sensorial do café. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 257-269, 2018.

FONTELA, J. Lower pressure for higher efficiency. **New Delhi: Irrigation Today**. Irrigation Association, p. 25–26, 2018.

FREITAS, A. F. **Desenvolvimento de cafeeiros consorciados com espécies madeireiras**. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Lavras (UFL) – Lavras, MG, 2020.

FREITAS, A. F.; NADALETI, D. H. S.; OLIVEIRA SILVEIRA, H. R.; CARVALHO, G. R.; VENTURIN, R. P.; SILVA, V. A. Produtividade e qualidade sensorial da bebida de café arábica em consórcio com espécies madeireiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p.2240, 2020.

GAGLIARDI, S.; RAPIDEL, B.; VIRGINIO FILHO, E. D. M.; ISAAC, M. E. **Intraspecific trait plasticity in coffee agroforestry systems of Costa Rica** (Doctoral dissertation, University of Toronto), 2014.

GEROMEL, C.; FERREIRA, L. P.; DAVRIEUX, F.; GUYOT, B.; RIBEYRE, F.; SCHOLZ, M. B.; PEREIRA, S.; VAAST, P.; POT, D.; LEROY, T.; ANDROCIOLI FILHO, A.; Luiz Gonzaga Esteves VIEIRA, L. G. E.; MAZZAFERA, P.; MARRACCINI, P. Efeitos da sombra no desenvolvimento e metabolismo de açúcar de frutos de café (*Coffea arabica* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 569–579, 2008.

GOMES, E.A.; ROLAND, C.E.F. Irriga café: Construção e análise de um sistema de aquisição de dados para controlar irrigações e medição de uso e consumo de água na irrigação cafeeira. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 9, p. 28-59, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unifacef.com.br/index.php/resiget/article/download/1616/1130>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GOMES, L. C.; BIANCHI, F. J. J. A.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, R. B. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHULTE, R. P. O.. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: a spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 294, 106858, 2020.

GOMES, L. C; CARDOSO, I. M. Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 40-43, 2021.

GONÇALVES, A. N. S. **Café da Chapada Diamantina, Bahia: Qualidade da Bebidas Relações com o Meio Ambiente**. Vitória da Conquista – BA: UESB, p. 72, 2022. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia).

GONÇALVES, D. O; FONSECA, N. D. S. M.; PEREIRA, R. C. M.; POZZA, E. A.; CIRILLO, M. A. Survival models: a tool for managing and analyzing the incidence of rust in irrigated coffee trees. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 2, p. e4338-e4338, 2024.

GUEDES, F.A. F.; NOBRES, P.; FERREIRA, DCR; MENEZES-SILVA, P.E.; RIBEIRO-ALVES, M.; CORREA, R.L.; DaMATTa, F. B.; ALVES-FERREIRA, M..Transcriptional memory contributes to drought tolerance in coffee (*Coffea canephora*) plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 147, p. 220–233, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/aguas-vermelhas/panorama>> Acesso em: 25 out. 2023.

IPCC –**The Intergovernmental Panel on Climate Change 2019**. Climate Change 2019, Climate Change and Land: An IPCC Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, **IPCC**, Geneva, Switzerland, p. 35, 2019.

IPCC –**The Intergovernmental Panel on Climate Change 2014**. Climate change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **IPCC**, Geneva, Switzerland, p.143, 2014.

JUSTINO, M. A. **Uma análise do impacto do ciclo do café no processo de industrialização do Brasil**. Monografia (graduação) - Centro Universitário IBMR - Curso de Ciências Econômicas, Rio de Janeiro, 2022.

KOEHLER, J. Onde o café selvagem cresce: A história não contada do café das florestas nubladas da Etiópia até sua xícara. **Bloomsbury Publishing**, 2017.

KOUTOULEAS, A.; SARZYNSKI, T.; BORDÉUS, M.; BOSSELMANN, A. S.; CAMPA, C.; ETIENNE, H.; TURREIRA-GARCÍA, N.; RIGAL, C.; VAAST, P.; RAMALHO, J. C.; MARRACCINI, P. E.; RÆBILD, A. Shaded-Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? The Review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 2022.

LIMA, Á. A. X.; **Análise Espaço-Temporal dos Impactos do Desmatamento no Município de Águas Vermelhas – MG**. Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo. Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. 2020.

LIMA, N. R. W. L.; SODRÉ, G. A.; LIMA, H. R. R.; PAIVA, S. R.; LOBÃO, A. Q.; COUTINHO, A. J. Plasticidade Fenotípica. **Revista Ciência Elementar**, v. 5, 2017.

LINGLE, T. R. The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7th ed. **Long Beach California: Specialty Coffee Association of America**, p. 66, 2011.

LIU, X.; LI, R.; HAN, Z.; YANG, Q.; JIANG, Z. Effects of deficit irrigation on soil microorganisms and growth of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) under different shading cultivation modes. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 6, p. 99-108, 2021.

MACHADO, A. R.; PUJA, J. D.; MENEZES, K. C.; MACHADO, W.. A cultura do café (*Coffea arabica*) em sistema agroflorestal. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1357-1369, 2020.

MAMRUTHA, H. M.; SHARMA, D.; SUMANTH KUMAR, K.; VENKATESH, K.; TIWARI, V.; SHARMA, I. Influence of diurnal irradiance variation on chlorophyll values in wheat: A comparative study using different chlorophyll meters. **National Academy Science Letters**, v. 40, p. 221-224, 2017.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil e Ementário do Café**, 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>> Acesso em 08 ago. 2023.

MARÇAL, D. M.; AVILA, R.; QUIROGA-ROJAS, L. F.; SOUZA, R. P.; JUNIOR, C. C. G.; PONTE, L. R.; BARBOSA, M. L.; OLIVEIRA, L. A.; MARTINS, S. C. V.; RAMALHO, J. D. C.; DaMATTA F. M. Elevated [CO₂] benefits coffee growth and photosynthetic performance regardless of light availability. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 524-535, 2021.

MARQUES, M. S.; MOREIRA, N. P.. Custos de produção do café arábica: análise das principais regiões produtoras do Brasil. **Contabilometria - Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting**, v. 11, n. 2, p. 64-77, jul.- dez./2024.

MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, M. L.; MORAIS, L. E.; MENEZES-SILVA P. E.; MAURI, R.; AVILA, R. T.; VITAL, C. E.; CARDOSO, A. A.; DaMATTA, F. M. How do coffee trees deal with severe natural droughts? An analysis of hydraulic, diffusive and biochemical components at the leaf level. **Trees**, v. 33, p. 1679–1693, 2019.

MARTINS, S. C. V.; GALMÉS, J.; CAVATTE, P. C.; PEREIRA, L. F.; VENTRELLA, M. C.; DaMATTA, F. M. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. **PLoS One**, v. 9, n. 4, e95571, 2014.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S.R. Cultivar de café Arara, campeã de qualidade. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 44., 2018, Franca. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2018.

MATIELLO, J. B.. Cultivar de café Arara mostra características novas na região de Araxá. **Café Point**, Rede Milkpoint Ventures, Café Editora, 2018. Disponível em:

<<https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/cultivar-de-cafe-arara-206753/>> Acesso em: 5 out. 2023.

MAURI, R.; CARDOSO, A. A.; SILVA, M. M.; OLIVEIRA, L. A.; AVILA, R. T.; MARTINS, S. C.; DaMATTA, F. M. (2020). Leaf hydraulic properties are decoupled from leaf area across coffee species. **Trees**, v. 34, p. 1507-1514, 2020.

MCADAM, S. A. M.; SUSSMILCH, F. C.; BRODRIBB, T.J. Stomatal responses to vapour pressure deficit are regulated by high-speed gene expression in angiosperms. **Plant, Cell and Environment**, v. 39, p. 485-491, 2016.

MENDONÇA, R. F.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A. Abordagem Sobre a Bionalidade de Produção em Plantas de Café. Enciclopédia Biosfera, **Centro Científico Conhecer**, v.7, p.1–9, 2011.

MORAES REIS, A n. G.; MENDES, A. N. G.; ABRAHÃO, J. C. D. R.; SANTOS, M. D. O.; SILVA, V. A. Early selection of drought-tolerant *Coffea arabica* genotypes at the seedling stage using functional divergence. **Agricultural Research in the Tropics/Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, n. 3, 2022.

MOREIRA, S. L.; PIRES, C. V.; MARCATTI, G. E.; SANTOS, R. H.; IMBUZEIRO, H. M.; FERNANDES, R. B. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256, p. 379-390, 2018).

MUSCHLER R.G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131–139, 2001.

NARDINI, A.; ÖUNAPUU-PIKAS, E.; SAVI T. When smaller is better: leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. **Functional Plant Biolog**, v. 41, p. 972-982, 2014).

MARTINS, R. N.; FIALHO E MORAES, H. M.; PORTES, M. F.; ORLANDO JUNIOR, W. D. A.; RIBEIRO JUNIOR, M. F. Do optical sensor readings change throughout the day? An evaluation of two sensor systems. **Journal of plant nutrition**, v. 43, n. 11, p.1689-1696, 2020.

ODENY, D.; CHEMINING'WA, G.; SHIBAIRO, S. I.; KATHURIMA, C. Sensory attributes of coffee under different shade regimes and levels of management. **Food Science and Quality Management**, V.46, 2015.

OKER, T. E.; SHESHUKOV, A. Y.; AGUILAR, J.; ROGERS, D. H.; KISEKKA, I. Evaluating soil water redistribution under mobile drip irrigation, low-elevation spray application, and low-energy precision application using HYDRUS. **J. Irrigation Drainage Eng.** 147, 2021. doi:10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001553.

OLIVAS, D. B. L.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; OLIVEIRA, F. L; CAVATTE, P. C.; CRISTO, B. F.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, L. D.; VARGAS, A. D. Impact of intercropping on the photosynthetic activity of coffee. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 44, n. 2, p. 721-738, 2023.

OLIVAS, D. B. L. **Cultivos consorciados de café arábica: caracterização morfológica, fisiológica e nutricional.** Tese (doutorado) – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Alegre, ES, 2018.

OLIVEIRA, U. S. **Como a elevada [CO₂] pode impactar o desempenho hidráulico e as relações hídricas de cafeeiros cultivados sob diferentes intensidades de luz?** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Viçosa, MG, 2022.

OLIVEIRA, F. F.; TOMAZ, J. P.; DA SILVA, B. S. R.; DOS SANTOS, T. B.; IVAMOTO-SUZUKI, S. T.; SANTOS SCHOLZ, M. B.; PEREIRA, L. F. P. *Coffea arabica* L. genes from isoprenoid metabolic pathways are more expressed in full sun cultivation systems than in agroforestry systems. **Plant Gene**, v. 26, p. 100287, 2021.

PACHECO, A. L. V. **Desenvolvimento reprodutivo e qualidade de café sombreado submetido a preparo natural ou despulpado.** (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa (UFV): Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Viçosa, 2019.

PADILLA RUIZ, F. M. P.; SOUZA IBARRA, S. R.; PEÑA-FLEITAS, M. T.; GRASSO, R.; GALLARDO PINO, L.; THOMPSON, R. **Influence of time of day on measurement with chlorophyll meters and canopy reflectance sensors of different crop N status**, 2019.

PADOVAN, M. D. P.; BROOK, R. M.; BARRIOS, M.; CRUZ-CASTILLO, J. B.; VILCHEZ-MENDOZA, S.J.; COSTA, A. N.; RAPIDEL, B.. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* dc. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, p. 1-14, 2018.

PEREIRA L. F.; MATSUMOTO S. N.; OLIVEIRA U. S.; VIANA A. E. S.; TEIXEIRA E. C. Arabica coffee and cedar tree: integrating biotic and abiotic drivers. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 56, p. 327-337, 2021.

PEREIRA, G. V. M.; CARVALHO NETO, D. P.; JÚNIOR, A. I. M.; VÁSQUEZ, Z. S.; MEDEIROS, A. B.; VANDENBERGHE, L. P. S.; SOCCOL, C. R. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans - a review. **Food Chemistry**, v. 272, p. 441-452, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>>. Acesso em 30 de mar. 2024.

PETERS, R. T.; NEIBLING, H.; STROH, R.; MOLAEI, B.; MEHANNA, H. Low energy precision application (LEPA) and low elevation spray application (LESA) trials in the Pacific Northwest, **Proceedings of 2016 California Alfalfa and Forage Symposium**, p. 1–21, 2016.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. D. E. 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.; SOUZA, P. S. D.; ROLIM, G. D. S.; GALLO, P. B. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta**

Scientiarum - Agronomy, v. 33, n. 2, p. 201–206. 2011.

PIMENTA, C. J. **Qualidade do café/Carlos Jose Pimenta**. – 2. ed. – Lavras: Ed. UFLA, p. 273, 2020.

POMPELLI, M. F.; POMPELLI, G. M.; CABRINI, E. C.; ARRUDA, E. C.; VENTRELLA, M. C.; DaMATTA, F. M. Leaf anatomy, ultrastructure and plasticity of *Coffea arabica* L. in response to light and nitrogen availability. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25 n. 4, p. 13-28, 2012.

RAMALHO J. C.; PAIS I. P.; LEITÃO A. E.; GUERRA M.; REBOREDO F. H.; MÁGUAS C. M.; DaMATTA F. M. Can elevated air [CO₂] conditions mitigate the predicted warming impact on the quality of coffee bean? **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 287, 2018.

RAMOS, P. J.; PRIETO, F. A.; MONTOYA, E. C.; OLIVEROS, C. E. Contagem automática de frutos em ramos de café usando visão computacional. **Computadores e Eletrônica na Agricultura**, v.137, p.9-22, 2017.

RAKOCEVIC, M.; BATISTA, E. R.; PAZIANOTTO, R. A.; SCHOLZ, M.B.; SOUZA, G.A.; CAMPOSTRINI, E.; RAMALHO, J. C. Leaf gas exchange and bean quality fluctuations over the whole canopy vertical profile of Arabic coffee cultivated under elevated CO₂. **Functional Plant Biology** 48: p. 469-482, 2021.

RIBEIRO, A. F. F. Morfofisiologia de plantas jovens de café arábica submetidas a níveis de sombreamento artificial e doses de paclobutrazol. Vitória da Conquista - BA: UESB, p. 104, 2018 (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia).

RIBEIRO, D. E.; BOREM, F. M.; CIRILLO, M. A.; PRADO, M. V. B.; FERRAZ, V. P.; ALVES, H. M. R.; TAVEIRA, J. H. S. Interação do genótipo, ambiente e processamento na expressão da composição química e qualidade sensorial do café arábica. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.2412- 2422, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/ajar2016.10832>

RODRIGUES, W. P.; SILVA, J. R.; FERREIRA, L. S.; MACHADO FILHO, J. A.; FIGUEIREDO, F. A.; FERRAZ, T. M.; BERNADO, W. P.; BEZERRA, L. B. S.; DEIVISSON P.; CESPOM, L.; RAMALHO, J. C.; CAMPOSTRINI, E. Stomatal and photochemical limitations of photosynthesis in coffee (*Coffea* spp.) plants subjected to elevated temperatures. **Crop and Pasture Science**, v. 69, p. 317–325, 2018.

ROMERO JOSÉ, E.; LARRAMENDI, L. A. R.; SALAS MARINA, M. A.; CURIEL, A. G. Phenotypic plasticity of coffee trees in an altitudinal gradient of the Frailesca region of Chiapas. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 15, n. 1, 2024.

SANTOS, C.; LEITÃO, A.; PAIS, I.; LIDON, F.; RAMALHO, J. Perspectivas sobre os potenciais impactos das mudanças climáticas na qualidade da planta e do grão de café. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 27 , p.152–163, 2015.

SARMIENTO-SOLER, A.; VAAST, P.; HOFFMANN, M. P.; RÖTTER, R. P.; JASSOGNE, L.; VAN ASTEN, P. J.; GRAEFE, S. Water use of *Coffea arabica* in

open versus shaded systems under smallholder's farm conditions in Eastern Uganda. **Agricultural and forest meteorology**, v. 266, p. 231-242, 2019.

SCAA – Specialty Coffee Association of American **Protocols** | Cupping Specialty Coffee: Published by the Specialty Coffee Association of America. Published by the Specialty Coffee Association of America. 2015. Disponível em: <<http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>> Acesso em: 22 fevereiro 2024.

SCAA – Specialty Coffee Association of American. **Protocols**. 2013. Disponível em: <<http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

SCHEEL, G.L.; PAULI, E.D.; RAKOCEVIC, M.; BRUNS, R.E.; SCARMINIO, I.S. Environmental stress evaluation of *Coffea arabica* L. leaves from spectrophotometric fingerprints by PCA and OSC-PLS-DA. **Arabian Journal of Chemistry**, p.7, 2016.

SENINDE, D. R.; CHAMBERS, E. Sabor de café: uma revisão. **Bebidas**, v.6, n.3, p. 44, 2020.

SEMEDO, J. E. N.; RODRIGUES, W. P.; DUBBERSTEIN, D.; MARTINS, M. Q.; MARTINS, L. D.; PAIS, I. P.; RODRIGUES, A. P.; LEITÃO, A. E.; PARTELLI, F. L.; CAMPOSTRINI, E.; TOMAZ, M. A.; REBOREDO, F. H.; SCOTTI-CAMPOS, P.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; LIDON, F. C.; DaMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. Coffee responses to drought, warming and high [CO₂] in a context of future climate change scenarios. In: ALVES F.; LEAL FILHO W.; AZEITEIRO U. (eds) Theory and Practice of Climate adaptation. **Climate Change Management**. Springer: Cham, 2018.

SENNINGER. LEPA - Low Energy Precision Application, **Pivot Irrigation Product**, 2023. Disponível em: <<https://www.senninger.com/irrigation-product/ldnr-lepa>> Acesso em: 2 set. 2023.

ŠEREMET, D.; FABEČIĆ, P.; VOJVODIĆ CEBIN, A.; MANDURA JARIĆ, A.; PUDIĆ, R.; KOMES, D. Antioxidant and Sensory Assessment of Innovative Coffee Blends of Reduced Caffeine Content. **Molecules**, v. 27, n. 2, p.448, 2022.

SIAHAAN, A. S. A; HARAHAP, E. M.; HANUM, C.; KARIM, A.; VINCĚVIČA-GAILE, Z. The taste of Arabica coffee in several altitude and shading condition. In: E3S Web of Conferences. **EDP Sciences**, v. 374, p. 00001, 2023.

SILVA, G. J.; ROMÃO, A. P. S.; BARRETO, P. C. C.; BARRETO, L. L.; ARAUJO, A. E. Desenvolvimento do café (*Coffea arabica* L.) sob sistema agroflorestal em brejo de altitude na região semiárida. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 112-128, 2023.

SILVA, N. H. **Características químicas e sensoriais de genótipos de Coffea arabica sob níveis e duração do estresse hídrico no Cerrado**. 77 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

SILVA, L. M. R.; RIBEIRO, M. D. F.; FERREIRA, W. P. M.; ROCHA, P. R. D.; FERNANDES, R. B. A. Water footprint of Arabica coffee from “Matas de Minas”

under shade management. **Revista Ceres**, v. 69, n. 4, p. 488-494, 2022.

SILVEIRA, H.R.O. **Excesso de água em mudas de café (*Coffea arabica* L.): efeitos fisiológicos e anatômicos.** Lavras – MG: Universidade Federal de Lavras – UFLA (Dissertação Mestrado), p. 78, 2014.

SIPOS, L.; NYITRAI, Á.; HITKA, G.; FRIEDRICH, L. F.; KÓKAI, Z. Sensory Panel Performance Evaluation—Comprehensive Review of Practical Approaches. **Applied Sciences**, v. 11, n. 24, p. 11977, 2021.

SOARES, W. L.; BRIGANTE, G. P.; SILVA, T. M.; SOARES, W. L. Qualidade do café arábica por diferentes granulometrias. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 17, n. 1, p. 31-35, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v17i1.6495>. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/6495>. Acesso em: 2 mar. 2024.

SOUSA, N. B. D. **Uma metodologia para identificação de perdas não técnicas em unidades consumidoras irrigantes de café do estado de São Paulo.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2022.

SOUZA, A. P. **Geoambientes e relação solo-vegetação no Norte de Minas Gerais.** 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

SOUZA, A. J. J. **Qualidade do café arborizado e a pleno sol, submetido a diferentes manejos pós-colheita em Barra do Choça, BA.** Vitória da Conquista – BA: UESB, p. 73, 2010. (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia)

SOUZA, A. J. J.; GUIMARÃES, R. J.; COLOMBO, A.; SANT'ANA, J. A. do V.; CASTANHEIRA, D. T. Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining Polymer in an irrigated system. **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza, v. 47, n.1, p.162-171, 2016.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** En Taiz y Zeiger 3ª ed. Artmed. Porto Alegre, Brasil., p. 449-484, 2004.

TOLESSA, K.; D'HEER, J.; DUCHATEAU, L.; BOECKX, P. Influência do crescimento influenciando a altitude, a sombra e o período de colheita na qualidade e bioquímica composição cal do café especial etíope. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 2849–2857, 2017.

TORRES, J. D. **Produtividade e exportação de macronutrientes por cafeeiros**

(Coffea canephora) na Amazônia Ocidental. Embrapa Rondônia-Tese/dissertação (ALICE), 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1119104/1/DissertaoJosemarSIGAA.pdf>> Acesso em: 28 mar..2024.

TROUT, T. J.; KINCAID, D. C. On-farm system design and operation and land management, **Irrigation of agricultural crops**. Editors R. J. Lascano, and R. E. Sojika (Madison, WI: American Society of Agronomy Inc.), p. 133–179, 2007.

VAAST, P.; HARMAND, J.M.; RAPIDEL, B.; JAGORET, P.; DEHEUVELS, O. Coffee and cocoa production in Agroforestry—a climate-smart agriculture model. In: **Climate Change and Agriculture Worldwide** p. 209-224, 2016. Springer, Dordrecht.

VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 2, p. 197-204, 2006.

VALENTINI, L. S. P.; CAMARGO, M. B. P. D.; ROLIM, G. D. S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p.1005-1010, 2010.

VENTURAS, M. D.; SPERRY, J. S.; LOVE, D. M.; FREHNER, E. H.; ALLRED, M. G.; WANG, Y.; ANDEREGG, W. R. A stomatal control model based on optimization of carbon gain versus hydraulic risk predicts aspen sapling responses to drought. **New Phytologist**, v. 220, p. 836-850, 2018.

VILELA, M. S.; CASTANHEIRA, D. C.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, M. A. F.; REZENDE, T. T., VOLTOLINI, G. B.; FARIA, M. M. L.; CAMPOS, A. A. V. Behavior of coffee plants under different cropping systems with a focus on mitigating water scarcity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 15, p. 3670-3689, 2023.

XIONG D.; DOUTHE C.; FLEXAS J. Differential coordination of stomatal conductance, mesophyll conductance, and leaf hydraulic conductance in response to changing light across species. **Plant, Cell & Environment**, v. 41, p. 436– 450, 2018.

ZARO, G. C.; CARAMORI, P. H.; WREGE, M. S.; CALDANA, N. F. D. S.; VIRGENS FILHO, J. S. D.; MORAIS, H.; YADA JUNIOR, G. M.; CARAMORI, D. C. Coffee crops adaptation to climate change in agroforestry systems with rubber trees in southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 80, article e20210142, 2023.