



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**INFLUÊNCIA DA SOMBRA DO DOSSEL TEMPORÁRIO DE UM SISTEMA
AGROFLORESTAL NA MATURAÇÃO DE FRUTOS DE CAFÉ**

PAULO HENRIQUE MARQUEZINI LEITE

Araras

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**INFLUÊNCIA DA SOMBRA DO DOSSEL TEMPORÁRIO DE UM SISTEMA
AGROFLORESTAL NA MATURAÇÃO DE FRUTOS DE CAFÉ**

PAULO HENRIQUE MARQUEZINI LEITE

ORIENTADORA: PROFA. DRA. ANASTÁCIA FONTANETTI

CO-ORIENTADORES: PROFA. DRA RENATA EVANGELISTA DE OLIVEIRA

DR. ADEMIR DURRER BIGATON

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de **MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

Araras

2021

Marquezini Leite, Paulo Henrique

Influência da sombra do dossel temporário de um sistema agroflorestal na maturação de frutos de café / Paulo Henrique Marquezini Leite -- 2021.
50f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Anastácia Fontanetti
Banca Examinadora: Elias de Melo Virginio Filho, Paulo Rogério Lopes
Bibliografia

1. Sombreamento de cafezais. 2. Manejo agroflorestal. 3. Radiação fotossinteticamente ativa. I. Marquezini Leite, Paulo Henrique. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SAO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Paulo Henrique Marquezini Leite, realizada em 30/07/2021.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Anastacia Fontanetti (UFSCar)

Prof. Dr. Elias de Melo Virginia Filho (CATIE)

Prof. Dr. Paulo Rogério Lopes (UFPR)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural.

AGRADECIMENTOS

Sou grato pela dádiva da vida e pela oportunidade de trabalhar em harmonia com a sagrada mãe terra.

Este trabalho é fruto de uma força coletiva. Agradeço à Profa. Dra. Anastácia Fontanetti por todos os aportes teóricos e metodológicos, comprometimento e sabedoria, o mundo precisa de mais pessoas com sua dedicação. Obrigado Profa. Dra. Renata Evangelista, seus *insights* e positividade foram cruciais para a pesquisa, e Dr. Ademir Durrer por sua clareza em me ensinar a estatística que fundamenta essa pesquisa.

Agradeço a todos os membros da banca avaliadora. Ao Prof. Dr Paulo Rogério Lopes, grande amigo, de humildade ímpar, inestimável tutor, presente desde início da minha formação acadêmica. Ao Prof. Dr Elias de Melo Virginio Filho, referência em sombreamento de cafezais, profissional que me inspira pela sua capacidade técnica, humildade e simplicidade. À Dr. Verônica Dovis e ao Prof. Dr Flávio Gandara pelas ótimas e coerentes sugestões feitas na fase de qualificação.

À Tia Zaninha eu agradeço pelo meu primeiro apoio em Rio Claro e pelos divertidos tempos que passamos juntos no Sítio. À República Manga Rosa, obrigado por me acolher em Araras, deixando minha vida mais prazerosa e me ensinando muito sobre agricultura urbana e simplicidade.,

Agradeço muito a minha família pelo suporte. Aos meus pais, pelo apoio em toda minha trajetória de vida. À Rosi, pela admirável disposição em ajudar. Ao Maco, pela ajuda na lida da roça, principalmente, na colheita do café. Ao Pedro, pelo aporte científico e pelos equipamentos disponibilizados. À Gabizinha, minha inspiração, por todo carinho, motivação e companherismo

Agradeço a todos os integrantes do PPGADR, especialmente à Cris, pela disposição e competência, sua alegria é essencial para o funcionamento da pós-graduação. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Sombreamento de cafezais	4
2.2 Quantificação dos índices de sombreamento em cafezais sombreados ..	8
2.3 Maturação dos frutos de café	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Agroecossistema estudado	13
3.2 Desenho e histórico do SAF	14
3.3 Práticas culturais	17
3.4 Delineamento experimental	18
3.5 Avaliações	18
3.5.1 Nível de sombreamento	18
3.5.2 Biomassa seca do cafeeiro	19
3.5.3 Volume de frutos total	19
3.5.4 Porcentagem de frutos secos	20
3.6 Análises estatísticas	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÕES	29
6 CONSIDERAÇÃO FINAIS	29
7 LITERATURA CITADA	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Renque de bananeiras, face sul do Sistema Agroflorestal, obtida em abril de 2019.....	13
Figura 2. Balanço hídrico e temperatura média durante a época de estudo.....	14
Figura 3. Túnel de guandu, após desbaste, em dezembro de 2016.....	15
Figura 4. Perfil transversal do SAF a ser formado quando maduro.....	16
Figura 5. Ordenamento cronológico das principais etapas de implantação, manejo e avaliação do SAF multiestratificado.....	17
Figura 6. Ilustração das distâncias avaliadas, da face norte para o interior do sistema agroflorestal.....	18
Figura 7. Média do valores (barras) e desvio padrão (linhas) e suas significâncias pelo teste de Mann-Whitney (letras) para cada distância da bordadura norte (D1= 1m, D2= 4m, D3= 7m, D4=10m) das seguintes variáveis: a.)= nível de sombreamento, b.)= porcentagem de frutos colhidos no estágio seco, c.)= incidência de PAR no interior do agroecossistema, d.)= volume de frutos colhidos em todos os estádios de maturação fisiológica, e.)= biomassa seca do cafeeiro.....	22
Figura 8. Representação gráfica das regressões lineares entre as variáveis, seus níveis de significância estatística (valor p) e coeficiente de determinação (R^2): a.) porcentagem de frutos secos (Dried %) e distancia da borda do SAF (Distance), b.) porcentagem de frutos secos (Dried %) e volume total de frutos (Total), c.) porcentagem de frutos secos (Dried %) e nível de sombra (Shade%), d) porcentagem de frutos secos (Dried %) e biomassa seca do cafeeiro (AGB).....	23

Figura 9. Análise multivariada de componentes principais. Plota os 40 pontos amostrados, em função da distância da bordadura da face norte D1=1 m, D2=4m, D3= 7 m, D4= 10 m, em quatro quadrantes onde são indicadas a relação de grandeza das variáveis quantificadas, Distance= Distância da borda do SAF, Dried (%)= Porcentagem de frutos colhidos no estágio seco, Total = Volume de frutos colhidos em todos os estágios de maturação fisiológica, Shade (%)= Nível de sombreamento, AGB= Biomassa seca do cafeeiro).....

INFLUÊNCIA DA SOMBRA DO DOSSEL TEMPORÁRIO DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA MATURAÇÃO DE FRUTOS DE CAFÉ

Autor: PAULO HENRIQUE MARQUEZINI LEITE

Orientadora: PROFA. DRA. ANASTÁCIA FONTANETTI

Coorientadores: PROFA. DRA. RENATA EVANGELISTA DE OLIVEIRA E DR. ADEMIR DURRER BIGATON

RESUMO

No Brasil, os cafeeiros têm sido incluídos em sistemas agroflorestais, devido principalmente às emergências climáticas e aumento na demanda por cafés especiais. Os níveis de sombreamento no interior de uma agrofloresta multiestratificada dependem do desenho, manejo e, principalmente do tempo de desenvolvimento e evolução do sistema. Compreender essas variações ao longo do tempo, bem como os efeitos do dossel temporário nos componentes de produção do cafeeiro pode contribuir para a definição de desenhos agroflorestais mais eficientes, especialmente em sistemas agroflorestais (SAFs) em fase de estabelecimento. Em cafezal agroflorestal jovem, com quatro anos de idade, em processo de estratificação e estabelecimento com dossel temporário formado por *Ricinus communis* L. objetivou-se avaliar os níveis de sombreamento e sua influência na maturação dos frutos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Bourbon amarelo. Determinou-se o sombreamento em quatro distâncias, a 1 m (D1), 4 m (D2), 7 m (D3) e 10 m (D4), da borda mais ensolarada (face Norte) para o interior do SAF. Foram avaliados os níveis de sombreamento, calculado pela diferença da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) a pleno sol e dentro do SAF, quantificado o volume total de frutos produzidos, a porcentagem de frutos secos e a biomassa seca do cafeeiro. À medida que as distâncias da borda para o interior do SAF aumentaram, maior foi o nível de sombreamento. Os cafeeiros avaliados responderam de forma

homogênea dentro de cada distância, os mais sombreados produziram maior volume de frutos e menor porcentagem destes, secos. A biomassa seca do cafeeiro foi maior na distância D4. Este trabalho contribui para o entendimento de como os fatores ambientais, design e manejo da agrofloresta influenciam na maturação dos frutos do café, fator crucial para um ordenamento da colheita e produção de cafés de melhor qualidade.

Palavras-chave: agrofloresta multiestratificada, biomassa, manejo agroflorestal, radiação fotossinteticamente ativa.

INFLUENCE OF THE SHADE OF THE TEMPORARY CANOPY OF AN AGROFORESTRY SYSTEM ON THE MATURATION OF COFFEE FRUITS

Author: PAULO HENRIQUE MARQUEZINI LEITE

Adviser: PROFA. DRA. ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-advisers: PROFA. DRA. RENATA EVANGELISTA DE OLIVEIRA E DR. ADEMIR DURRER BIGATON

ABSTRACT

In Brazil, coffee trees have been included in agroforestry systems, mainly due to climatic emergencies and increased demand for specialty coffees. The shading levels inside a multi-layered agroforest depend on the design, management and, mainly, on the development time and evolution of the system. Understanding these variations over time, as well as the effects of temporary canopy on coffee production components, can contribute to the definition of more efficient agroforestry designs, especially in agroforestry systems (SAFs) in the establishment phase. In a four-year-old young agroforestry coffee plantation, in the process of stratification and establishment with a temporary canopy formed by *Ricinus communis* L., we aimed to evaluate the shading levels and its influence on the maturation of coffee (*Coffea arabica* L.) Bourbon amarelo. The shading was determined at four distances, at 1 m (D1), 4 m (D2), 7 m (D3) and 10 m (D4), from the sunniest edge (North face) to the interior of the SAF. We evaluated the shading levels, calculated by the difference of photosynthetically active radiation (PAR) in full sun and inside the SAF, quantifying the total volume of produced fruits, the percentage of dry fruits and the dry biomass of the coffee tree. As the distances from the edge to the interior of the SAF increased, the greater was the shading level. The evaluated coffee trees responded homogeneously within each distance, the more shaded ones produced a greater volume of fruits and a smaller percentage of them, dry.

Coffee dry biomass was higher at distance D4. This work contributes to the understanding of how environmental factors, design and management of agroforestry influence the maturation of coffee fruits, a crucial factor for ordering the harvest and production of better quality coffees.

Keywords: agroforestry management, biomass, multistratified agroforestry, photosynthetically active radiation.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de café no Brasil se desenvolveu extensivamente em ambientes a pleno sol, com cultivares selecionadas para alta produtividade em monocultivos e uso intensivo de insumos (VALENTINI et al., 2010). Porém, nas últimas décadas tem aumentado as áreas de lavouras cafeeiras sombreadas, que englobam desde sistemas mais simplificados, com uma ou poucas espécies sombreadoras, até sistemas agroflorestais (SAFs) multiestratificados (PERFECTO et al., 2005). A mudança nos sistemas produtivos foi impulsionada, em parte, pela necessidade de desenvolver modelos que se adequem às emergências climáticas, pois estima-se que haverá redução de aproximadamente 60% das áreas localizadas no Sudeste do país com temperatura (média de 23°C) e umidade adequadas (deficiência hídrica menor que 150 mm ano) para produção de café arábica (ASSAD et al., 2004; GOMES et al., 2020).

Segundo Jaramillo-Botero et al. (2006), o sombreamento de cafezais é uma técnica muito comum, e indispensável em alguns países do Norte da América Latina. Nestes países os sistemas produtivos são diversos, e de maneira geral podem ser classificados em dois tipos: os tradicionais (aqueles com pouco aporte de insumos externos e alto nível de sombreamento, formando por grande número de espécies arbóreas pouco manejadas) e os tecnificados (sistemas de alta produtividade e aporte de insumos externos, são consórcios de café com espécies arbóreas de interesse, seja para poda constante, visando o aumento da fertilidade do solo, ou frutíferas e árvores madeireiras para exploração econômica).

O sombreamento de cafezais, entre vários benefícios, pode otimizar a rentabilidade da atividade, por reduzir a necessidade de insumos (VALENCIA e MESTRE-MESTRE, 2004) e diminuir a bienalidade produtiva (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010). As adubações do cafeeiro são otimizadas, diminuindo as perdas de nutrientes (TULLY et al., 2012), possibilitando, assim, a melhoria da fertilidade do solo (CAMPANHA et al., 2007). Além disso, segundo Teixeira e Caixeta (2009), estes sistemas de produção, com menor impacto ambiental,

permitem explorar nichos de mercados mais rentáveis, já que, fornecem serviços ecossistêmicos, como os de regulação (fixação biológica de nitrogênio) e suporte (maior infiltração da água e acúmulo de serapilheira) (MEYLAN et al., 2017).

Com o desenho e manejo correto dos SAFs cafeeiros é possível melhorar as condições microclimáticas, por atenuar a velocidade do vento (PEZZOPANE et al., 2010), reduzir as temperaturas média do ar e solo (EHRENBERGEROVÁ et al., 2017), diminuir a amplitude térmica (PEZZOPANE, et al., 2011a) e aumentar a temperatura noturna (SILES et al., 2010). A redução da temperatura diurna diminui o déficit de saturação de vapor (PEZZOPANE, et al., 2011b) possibilitando a otimização da radiação solar (CHARBONNIER et al., 2017) e do uso da água (CANNAVO et al., 2011).

Especificamente sobre a maturação dos frutos dos cafeeiros, foco deste estudo, diversos autores relatam um atraso deste processo fisiológico com o aumento do sombreamento (RICCI et al., 2006; RICCI et al., 2010; VAAST et al., 2006). Um amadurecimento mais lento pode contribuir para melhorias na qualidade da bebida do café (BOTE e STRUIK, 2011). Além disso, é possível aumentar o tempo de colheita, favorecendo para que se obtenha mais frutos cerejas (maduros) e menos grãos secos, comumente os de pior qualidade (SILVA NETO et al., 2019).

Em sistemas agroflorestais multiestratificados (VIEIRA et al., 2007), parte-se do pressuposto de que a ocupação dos estratos por espécies com diferentes ciclos de vida, velocidade de crescimento e arquiteturas (parte aérea e radicular), com funções complementares dentro do sistema, pode otimizar o uso dos recursos naturais, como água, luz e nutrientes (DAVIS et al., 2019; OLIVEIRA e CARVALHAES, 2016).

Durante o estabelecimento e estratificação dos SAFs, os efeitos das espécies de estratos intermediários e temporários (espécies arbustivas de rápido crescimento e pouca longevidade) são importantes, visto que, nesse momento, ainda não se tem a contribuição efetiva das espécies arbóreas para o sombreamento do café. O sombreamento de cafezais nesse tipo de sistema carece de estudos, principalmente em relação à influência das espécies de

sombreamento e suas interações dentro do agroecossistema ao longo do tempo.

A quantificação da porcentagem de sombra em sistemas agroflorestais multiestratificados pode ser avaliada com diferentes ferramentas e metodologias, sendo elas, em sua maioria, baseadas na quantificação dos espaços vazios (*gap fraction*) do dossel, ou seja, espaços onde a luz solar irá passar sem ser absorvida (WELLES e COHEN, 1996)

Em cafezais sombreados os métodos comumente utilizados são o uso de: densiômetros (LÓPEZ-BRAVO et al., 2012), densitômetros (NESPER et al., 2019), fotografias hemisféricas (BOSELDMANN et al., 2009), quantificação do índice de área foliar (IAF) do dossel (TAUGOURDEAU et al., 2014) e a diferença da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) dentro e fora do talhão (ERNESTO MÉNDEZ et al., 2007). Neste estudo, optou-se por utilizar o último método citado, pois, além de, quantificar a quantidade de sombra proporcionada pelas árvores também, determinada a intensidade da radiação fotossinteticamente ativa disponível para o cafeeiro.

Objetivou-se avaliar os efeitos do sombreamento proporcionado pelo dossel temporário em uma agrofloresta sucessional multiestratificada, em processo de estabelecimento e estratificação, sobre a maturação dos frutos de um cafezal agroflorestal jovem (com quatro anos de idade). Parte-se do pressuposto de que os resultados obtidos se originam de um retrato pontual do sistema, baseado na quantificação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível na fase de amadurecimento dos frutos, em diferentes níveis de sombreamento no SAF. O trabalho propõe-se a discutir os resultados embasando-se no histórico, evolução e manejo do sistema estudado, e dialogar sobre os efeitos do sombreamento na maturação de frutos de café em sistemas agroflorestais multiestratificados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sombreamento de cafezais

O sombreamento de cafezais é uma tecnologia muito antiga, pois a espécie *Coffea arabica* L. é originária de sub-bosque de florestas caducifólias da Etiópica e Sudão, onde o seu cultivo, em sua maior parte, ainda é sombreado (BOTE e STRUIK, 2011). O sombreamento das lavouras cafeeiras é amplamente difundido e adotado em países da América Latina, como México (HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2009), El Salvador (ERNESTO MÉNDEZ et al., 2007), Nicarágua (BLANCO E CARRILLO, 2015), Costa Rica (MEYLAN et al., 2017), Colômbia (BOSELNANN et al., 2009) e Peru (JEZEER et al., 2018). Entretanto, a maior parte da produção mundial de café é realizada a pleno sol, sendo que o Brasil, maior produtor mundial de café tem grande influência nestes (Jaramillo-Botero et al., 2006).

A prática do sombreamento de cafezais no Brasil foi abandonada no início dos anos 50, em função do desenvolvimentos de cultivares e tecnologias que viabilizaram o cultivo a pleno sol (DA MATTA, 2004). Segundo Ricci et al. (2006), a principal razão dos cafeicultores brasileiros optarem pelo cultivo a pleno sol é por acreditarem que o cultivo sombreado demanda maior necessidade de força de trabalho e dificulta a mecanização das lavouras.

Entretanto, agricultura atual enfrenta grandes desafios para conciliar a produção de alimentos com a conservação ambiental. Exigências dos consumidores e eventos climáticos extremos evidenciam a necessidade da consolidação de técnicas produtivas menos agressivas ao meio ambiente, que otimizem o uso dos recursos naturais e atenuem os efeitos das mudanças climáticas. Com aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera, desde a década de 70, conseqüente elevação da temperatura global e aumento das anomalias na precipitação terrestre, a produção agrícola vem sendo afetada de diferentes formas em cada parte do mundo (ANWAR et al., 2013).

Especificamente sobre o zoneamento agroclimático do café, Assad et al. (2004) simulando em acréscimo de 1% na temperatura média anual e um incremento em 15% na precipitação pluvial, prevê uma redução das áreas aptas para o cultivo em 19,2% para o estado de Minas Gerais e 17,6% para o estado de São Paulo, caso sejam mantidas as atuais características genéticas e necessidades fisiológicas das variedades de *Coffea arabica* L. plantadas na região. Entretanto, Da Matta (2004), considera o sombreamento de cafezais capaz de garantir a produção em áreas consideradas marginais para cultivo da espécie, caracterizadas por grande incidência solar e temperatura média altas, acima dos 23 °C, ou com risco de geadas

Neste cenário, o sombreamento dos cafezais vem ressurgindo como uma prática conservacionista capaz de viabilizar o cultivo desta *commoditie*, mesmo em sistemas intensivos, e produzir serviços ambientais (CERDA et al., 2017). Perfecto et al. (2005), ressalta que em resposta a conversão de lavouras sombreadas para pleno sol, na América Central, buscando maiores produtividades, houve a criação de mercados mais rentáveis, valorizando os cafés provenientes de sistemas de base ecológica. Demonstrando, assim, a demanda da sociedade por produtos de menor impacto ambiental.

Além disso, essa técnica pode gerar diferentes benefícios como: melhorias da qualidade do solo (CAMPANHA et al., 2007), proteção a geadas (BAGGIO et al., 1997; CARAMORI et al., 1996), reduzir a densidade e aumentar a diversidade de plantas espontâneas (SILVA et al., 2006), aumentar a retenção de água no solo (CAMPANHA et al. 2007), reduzir incidências de pragas como o bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) (RIGHI et al., 2013) e doenças como as causadoras da “seca do ponteiro” (DA MATTA, 2004), favorecer a diversidade de macrofauna edáfica (RIVERA e ARMBRECHT, 2005), contribuir para nutrição do cafeeiro (OLIVEIRA et al., 2015), manter a produtividade (PINTO NETO et al. 2014; OLIOSI et al., 2015) e melhorar a qualidade da bebida (BOTE e JAN, 2017; SOUZA et al., 2013; VAAST et al., 2006)

Entretanto, outras pesquisas demonstram situações inversas, menores produtividade de café em agroecossistema sombreado (JARAMILLO-BOTERO

et al., 2010; MIRANDA et al., 1993) aumento de doenças, principalmente da ferrugem do cafeeiro (*Hemilea vastatrix*) (AVELINO et al., 2006; SANTOS et al., 2007), baixa contribuição para fertilidade química do solo (SALGADO et al., 2006; SOUZA et al., 2012) e menor eficiência no uso da água (RIGHI et al., 2009). A divergência entre os resultados, podem ser atribuídas por diferentes interpretações e metodologias, entretanto, principalmente, pelas particularidades de cada agroecossistema estudado (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006).

Os efeitos da intensidade e manejo do sombreamento de cafezais influencia diversos fatores produtivos como: matéria orgânica e fauna do solo, fixação biológica de nitrogênio, ciclagem de nutrientes, erosão do solos, produção de gases do efeito estufa, contaminação ambiental, disponibilidade de radiação solar, temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, produtividade e fenologia do café, plantas espontâneas, conservação da biodiversidade e incidência de pragas e doenças (BEER et al., 1998).

Segundo Staver et al. (2001), as condições ambientais, principalmente altitude, fertilidade de solo e regime hídrico irão determinar a quantidade ideal de sombra e o tipo de arranjo necessário para garantir a produção e controlar pragas e doenças. Sugere-se que para agroecossistemas de baixa elevação (entre 600 e 900 metros de altitude), com estação seca de mais de três meses e pluviosidade anual entre 1200 a 2000 mm, a sombra seja composta por ao menos duas espécies (preferencialmente uma perenifólia), sendo máxima no início da estação seca (60%) e mínima no auge da estação chuvosa (35%). Define-se a sombra como a redução da radiação fotossinteticamente ativa disponível ao cafeeiro.

A intensidade e manejo de sombra sugerida por Staver et al. (2001) visa reduzir a temperatura média e aumentar a umidade do ar na estação seca, evitando a proliferação do bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*), garantir níveis medianos de sombra entre a estação seca e chuvosa, visando a redução da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) e diminuir a porcentagem de sombra no auge do verão, a fim de, reduzir a proliferação de doenças fúngicas

como a ferrugem (*Hemilea vastatrix*), a *Phoma spp.* e do besouro da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*).

O sombreamento de cafezais é tecnologia eficaz para evitar os danos de geadas, pois as árvores barram os ventos frios noturnos e mantêm a temperatura média noturna mais alta (BAGGIO et al., 1997). Caramori et al. (1996), observou que as temperaturas mínimas das folhas de cafeeiros sombreados por *Mimosa scabrella*, em diferentes densidades, foram de 2 a 4^o C maiores que à pleno sol. Em geada severa no experimento (localizado em Londrina, Paraná) observou-se que com 250 árvores por hectare a proporção de folhas queimadas do cafeeiro foi de 2%, com 50 árvores por hectare foi de 20%, já sem sombreamento foi de 82%.

Após compilar as principais informações quantitativas sobre sistemas agroflorestais que visam a produção de café, van Oijen et al. (2010), propuseram um modelo para análise das influências do sombreamento com seis espécies de árvores, as mais utilizadas na Costa Rica, *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana*, *Eucalyptus deglupta*, *Gliricidia sepium*, *Inga desnsiflora* e *Terminalia ivorensis*. Segundo os autores, de maneira geral, as árvores irão contribuir para maior drenagem da água, diminuição na temperatura relativa do ar, aumento na evapotranspiração, ciclagem de nutrientes e acúmulo de carbono. Especialmente para as espécies leguminosas (Fabaceae), na densidade de 250 árvores por hectare, espera-se maior incorporação e ciclagem de nitrogênio (cerca de 50 kg de N² fixado por ano e 100 kg depositado na serrapilheira com a perda das folhas).

A escolha das espécies arbóreas a serem utilizadas para o sombreamento de cafezais geralmente é baseada em dois fatores, um relacionado com a fenologia e estrutura da árvore (diretamente relacionado com a influência no microclima do agroecossistema) e outro com os benefícios econômicos e ecológicos que elas podem trazer (SOTO-PINTO et al., 2007).

Os principais atributos a serem avaliados nas escolhas das árvores são, resumidamente: uso (frutífero, madeireiro, lenha e serviço), característica ecológicas (altura, tamanho, formato e tipo de copa, profundidade das raízes) facilidade de poda e vigor de rebrota e taxa de decomposição da serrapilheira

(SMITH DUMONT et al., 2019). As árvores de serviço são aquelas utilizadas para poda anual, afim de aumentar a fertilidade do agroecossistema (SCHNABEL et al., 2018). Outros autores ainda destacam a importância de considerar a deciduidade das espécies e suas interações com pragas e doenças (SOTO-PINTO et al., 2007).

Mais além, para estudo de longo prazo da influência das árvores em cafezais na Nicarágua e Costa Rica, Hagggar et al. (2001), classificaram as árvores pelo seu uso (madeireiro e serviço), capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, forma do dossel (alto estreito, alto aberto, baixo aberto, alto compacto e baixo compacto) e fenologia (caducifolia ou perenifolia). Neste experimento as principais espécies utilizadas foram: *Simarouba glauca*, *Tabebuia rósea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Inga sp.*, *Terminalia amazonia*, *Abarema idiopoda*, *Erythrina poeppigiana*.

2.2 Quantificação dos índices de sombreamento em cafezais sombreados

Na literatura, por vezes, encontram-se resultados divergentes quanto aos efeitos do sombreamento em cafezais. De fato, como ressaltado por Jaramillo-Botero et al. (2006), deve-se ter cuidado ao comparar estudos sobre o tema, pois, as realidades produtivas são diversas e os trabalhos, carecem da descrição detalhada da área e do sistema analisado. Sendo que, as características ambientais dos agroecossistemas aliadas ao seu design e manejo irão determinar a resposta do cafeeiro ao sombreamento.

Outro fator de extrema importância é a metodologia utilizada para quantificação dos índices de sombreamento, quando se compara taxas de sombra deve-se ter o cuidado de comparar os estudos que utilizem a mesma metodologia. Poucos autores utilizam mais de uma ferramenta e ou métodos para determinar a taxa de sombra. Siles et al. (2010) estudando cafeeiros sombreados por *Inga densiflora*, no vale central da Costa Rica, identificou, na estação seca de 2004, cerca de 67 % de sombra pelo método de fotografia

hemisférica e 57% pela diferença de radiação transmitida fora e dentro do agroecossistema, método que será citado como “diferença de radiação”.

Os principais métodos de determinação dos índices de sombreamento são fundamentados na quantificação visual dos espaços vazios (*gap fraction*) do dossel, ou seja, espaços onde a luz solar não será refletida ou absorvida (WELLES e COHEN, 1996). As principais ferramentas para calcular os espaços vazios são os: densiômetros (espelhos reticulados, côncavos ou convexos), densitômetros (ferramenta que individualiza um único ponto de observação, indicando céu aberto ou com vegetação) e fotografias hemisféricas (fotos com lentes de abrangência de 180° que após o processamento das imagens indicam os espaços vazios (FIALA et al., 2006; WELLES e COHEN, 1996).

O método de diferença de radiação, quantifica o índice de sombreamento e fornece a quantidade de radiação disponível, seja radiação global ou fotossinteticamente ativa, além disso, possibilita uma mensuração mais completa, pois quantifica a radiação direta (os espaços vazios) e indireta (aquela refletida nas folhas) (ERNESTO MÉNDEZ et al., 2007).

Bellow e Nair (2003), assumindo que o método de diferença de radiação é o que melhor representa o índice de sombreamento, realizaram regressões lineares comparativas com outros métodos, entre eles, fotografias hemisféricas e densiômetros. A fim de, averiguar os métodos mais precisos em prever o índice de sombreamento, para diferentes arquiteturas de árvores, e as potencialidade de cada um. De maneira geral, os métodos que incluem os usos de densiômetros foram os mais precisos e recomendados, pela facilidade de uso e acessibilidade de obtenção. As fotografias hemisféricas são indicadas (maior acurácia) para áreas com baixa densidade de árvores (<500 árvores por hectare) e em árvores com copas muito abertas.

Fiala et al. (2006) comparando cinco métodos para determinação da cobertura de dossel (consequentemente o índice de sombra), identificaram que uso de densiômetros e fotografias hemisféricas são os métodos que possuem valores mais semelhantes. Os mesmos autores destacaram que entre pontos negativos dos dois métodos, o uso de densiômetros apresenta dificuldade operacional de posicionar a ferramenta paralela à superfície do solo,

entretanto, as fotografias hemisféricas demandam maior esforço e tempo, pois, requerem o processamento das imagens.

2.3 Maturação dos frutos de café

O cafeeiro necessita de dois anos fenológicos para completar seu ciclo reprodutivo, o primeiro é somente vegetativo, quando serão produzidos os ramos produtivos e as gemas florais. Após o amadurecimento das gemas, e abertura das flores, inicia-se o segundo ciclo fenológico. A duração destes processos fisiológicos podem variar de acordo com a informação genética da cultivar, entretanto, são influenciados pelas características ambientais do agroecossistemas como temperatura e disponibilidade hídrica (PEZZOPANE et al., 2008).

A temperatura do ar é considerado o fator mais importante para a maturação dos frutos de café (PEZZOPANE et al., 2003). Entretanto, segundo Petek et al.(2009), a disponibilidade hídrica também tem grande influência no amadurecimento dos frutos, sendo que, a menor disponibilidade hídrica é capaz de acelerar o processo de maturação.

Um dos conceitos utilizados para determinar a duração de cada fase fenológica é o cálculo da quantidade total de calor armazenada necessária para completar a fase, chamado “graus-dias” (PEZZOPANE et al., 2008). Petek et al. (2009), avaliando 16 cultivares do banco de germoplasma do Instituto Agrônômico do Paraná, determinou que o número de dias e a soma térmica em graus-dias do florescimento ao estágio de maturação completa (cereja) foram, respectivamente, de $226,2 \pm 15,3$ dias e $2.781 \pm 143,5$ graus-dia.

O cálculo dos graus-dias pode ser corrigido pelo fator hídrico, como destacado por (PEZZOPANE et al., 2008). Petek et al. (2009), identificou que a redução de 100 mm na precipitação anual acumulada pode resultar em uma necessidade entre 70 a 140 graus-dias menor para completar o processo de amadurecimento dos frutos de café.

O maior tempo de amadurecimento dos frutos de café em sistemas sombreados é atribuído por Muschler (2001), à redução da temperatura média

diária. É consenso científico que as árvores proporcionam redução da temperatura diurna e aumento da temperatura noturna (EHRENBERGEROVÁ et al., 2017; PEZZOPANE et al., 2011a; RICCI et al., 2013; SILES et al., 2010).

Durante a estação seca é possível que a evapotranspiração das árvores diminua a disponibilidade da água, acelerando o processo de amadurecimento. Silva Neto et al. (2018), analisando a taxa de amadurecimento dos frutos de café em sistema agroflorestal em função das distâncias das árvores, encontram maior porcentagem de frutos secos próximos às árvores, mesmo com a maior taxa de sombreamento, sendo que, uma das hipóteses foi que a competição por água próximo às árvores tenha acelerado o processo de maturação.

Entretanto, para algumas espécies de árvores pode ser que haja uma complementaridade no uso da água. Cannavo et al. (2011), estudando cafezais sombreados por *Inga densiflora* e a pleno sol, no Instituto de café da Costa Rica (Icafé), observaram que os cafezais sombreados apresentaram maior transpiração total, sendo as árvores responsáveis por até 60% da demanda hídrica. Porém, a quantidade de água na camada superficial do solo (0-30cm), onde se concentram a maior parte das raízes do cafeeiro, foi maior nos sistemas agroflorestais, devido a menor densidade do solo e maior capacidade de armazenamento de água. Somente a 150 cm de profundidade de solo houve redução da quantidade de água disponível ao cafeeiro, área de maior concentração das raízes dos indivíduos arbóreos.

Outro fator a ser considerado é a redução da temperatura máxima diurna, a qual na superfície das folhas do cafeeiro, pode ser de até 5° C menor (RICCI et al., 2013; SILES et al., 2010) otimizando o uso da água pela cultura. Segundo Pezzopane et al. (2011b), 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, assim, otimizar sua eficiência de uso da água.

Por fim, 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 e STRUIK, 2011; VAAST et al., 2006). Estudando a influência do sombreamento e desbaste de frutos em cafeeiros, no vale central da Costa Rica, Vaast et al. (2006), observou que os cafeeiros cultivados a pleno sol

produziram bebida mais amarga e adstringente, provavelmente pela maior concentração de ácido clorogênico e trigonelina nos grãos, indicando uma maturação incompleta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Agroecossistema estudado

O experimento foi conduzido entre os dias 10 de abril a 15 de maio de 2020, no Sítio Providência, localizado no município de Poços de Caldas, Sul de Minas Gerais, Brasil, latitude 21°46' 19" Sul, longitude 46°27'09" Oeste, a 1000 metros de altitude. O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwb), de acordo com Köppen (1948).

A área escolhida foi um talhão conduzido sob manejo orgânico desde 2016, com área de 1050 m² (15 m x 70 m), e 300 plantas de cafeeiro arábica var. Bourbon amarelo, em espaçamento de 2,6 x 1,3 metros, em 30 linhas de plantio orientadas no sentido Norte-Sul. A face Norte é margeada por uma estrada, sem quebra-vento e com alta incidência solar. Já a face Sul possui um renque duplo de bananeiras (*Musa paradisiaca* L. var. "Prata"). (Figura 1)



Figura 1: Renque de bananeiras, face sul do Sistema Agroflorestal, obtida em abril de 2019.

A área pertence aos planaltos médio, onde predominam Cambissolos regolíticos, com textura argilosa (Moraes e Jiménez-rueda, 2008). A análise das características químicas do solo no ano do experimento foram: Matéria orgânica = $0,65 \text{ dag kg}^{-1}$, $K = 75 \text{ mg dm}^{-3}$, $P = 12,97 \text{ mg dm}^{-3}$, $S = 7,4 \text{ mg dm}^{-3}$, $Ca = 3,01 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, $Mg = 0,83 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, $\text{pH em CaCl}_2 = 5,2$ e $\text{CTC a pH } 7,0 = 7,08$.

O balanço hídrico, durante a época de avaliação da região, determinado para um solo argiloso ($\text{CAD} = 100$) pode ser observado na Figura 2.

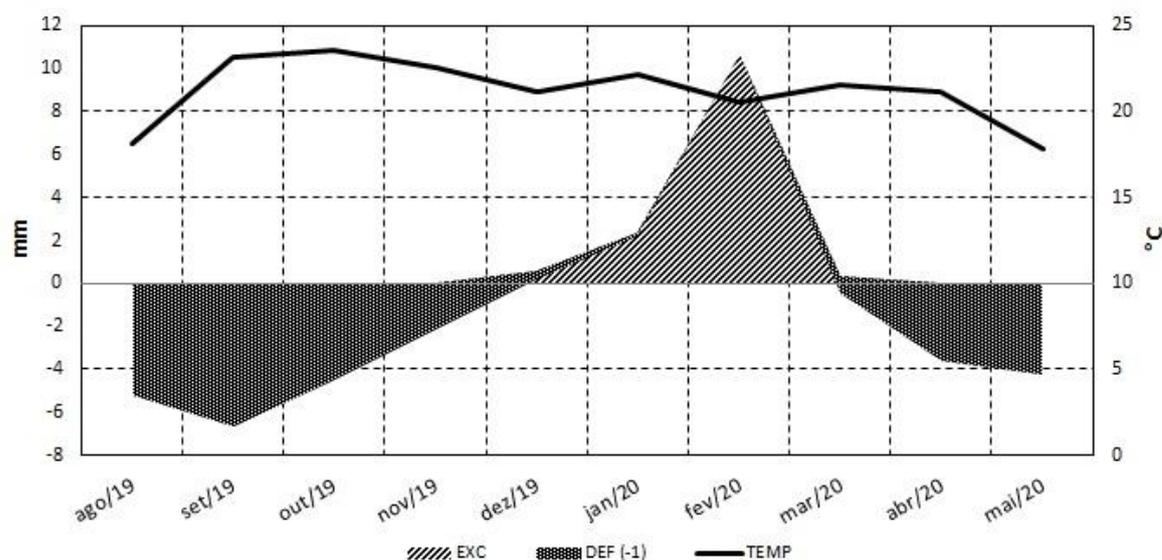


Figura 2: Balanço hídrico e temperatura média durante a época de estudo, valores obtidos de estação meteorológica localizadas a 25 km do experimento. Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.2 Desenho e histórico do SAF

Os cafeeiros foram plantados em dezembro de 2015, posteriormente foi semeado, nas entrelinhas, a cada 0,5 metros, 1 metro distante das mudas de cafeeiro plantas de Guandu (*Cajanus cajan* L.), mantendo-se, após desbastes, uma planta a cada metro, nos dois lados de cada cafeeiro, formando um túnel, cujos objetivos principais foram proporcionar microclima adequado para o desenvolvimento das plantas e contribuir na ciclagem de nutrientes e incremento da fertilidade do solo (Figura 3).



Figura 3: Túnel de guandu estabelecido, após desbaste, em dezembro de 2016

No agroecossistema alvo da presente pesquisa almeja-se a formação de um sistema agroflorestal (agrofloresta) multiestratificado, com quatro estratos estabelecidos além do cafeeiro: um emergente formado por leguminosas (Fabaceae) de grande porte com copa ampla e de folhas pequenas, um estrato alto perenifólio formado por árvores de interesse madeireiro, um médio composto pelas leguminosas decíduas e um estrato baixo compostos por árvores de serviço.

As espécies arbóreas foram plantadas nas entrelinhas do cafeeiro em dezembro de 2016, após o corte do túnel de guandu. Todos os indivíduos foram plantados no mesmo período e conduzidos para compor uma agrofloresta multiestratificada, conforme a Figura 4.

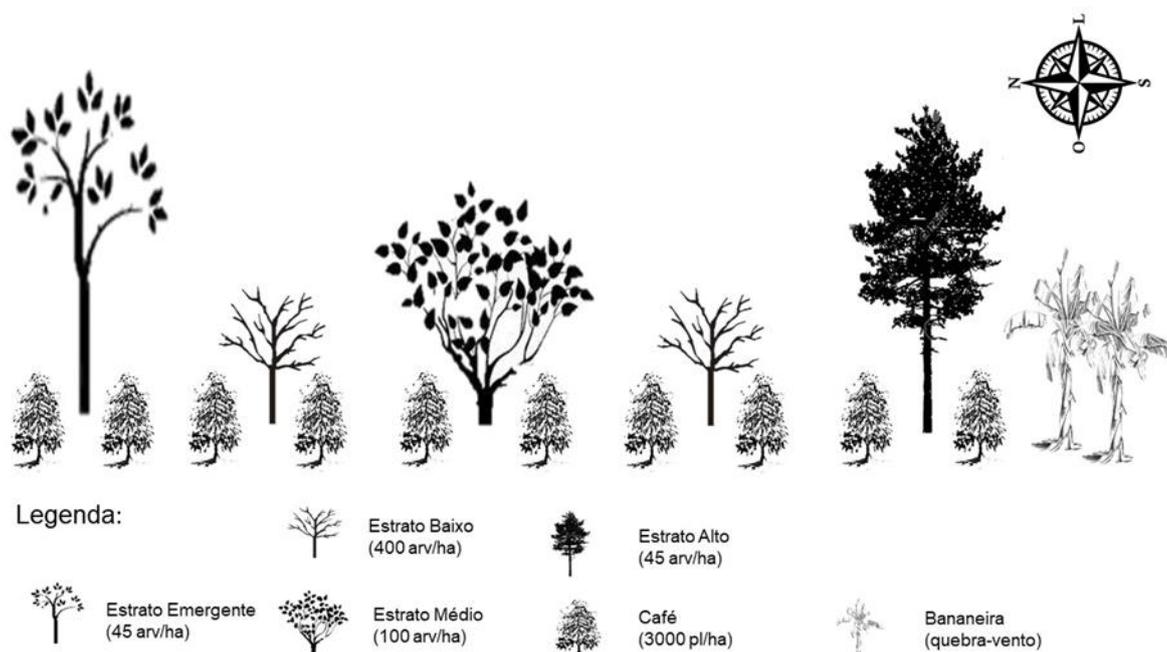


Figura 4: Perfil transversal do SAF a ser formado quando maduro. Espécies do estrato emergente: *Anadenathera colubrina* (Vell.) Brenan (Angico-vermelho) e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Timboril); espécies do estrato alto *Aspidosperma cylindrocarpon* Muell. Arg (Peroba-poca) e *Grevilea robusta* A. Cunn. L (Grevílea); espécies do estrato médio *Platycuamus regnellii* Benth (Pau Pereira), *Myrcarpus frondosus* Allemão (Óleo Pardo) e *Centrolobium tomentosum* Guillemin ex Benth (Araribá-rosa); espécies do estrato baixo *Lonchocarpus guillemineanus* (Tull.) Malme (Embira-de-sapo), *Citharexylum myrianthum* Cham (Pau viola), *Inga vera* Willd (Ingá-do-brejo).

Os cafeeiros foram recepados (poda a 0,30 m do solo) em outubro de 2018, a fim de conduzir de três a cinco hastes por planta, almejando trabalhar com a poda programada de ciclo (Filho et al., 2016).

Para a condução das árvores e sombreamento temporário do cafeeiro, foram plantadas, junto às linhas de árvores, na entrelinha do cafeeiro, em dezembro de 2018, a cada quatro metros, uma planta de *Ricinus communis* L (Mamoneira), totalizando 960 plantas por hectare. A mamoneira é uma espécie de rápido crescimento, e no momento das avaliações apresentava cerca de três metros de altura, fechando o dossel do agroecossistema, portanto, neste momento de avaliação, anterior ao estabelecimento das copas das árvores,

formava o dossel temporário da agrofloresta. O uso da mamoneira nos estágios iniciais da lavoura de café também é citada por Schnabel et al., 2018, em Turrialba, Costa Rica, com o intuito de favorecer o crescimento dos cafeeiros e reduzir a densidade de plantas espontâneas.

As plantas de mamoneira foram podadas pela primeira vez em outubro de 2019, quando estavam com cerca de 1,3 m de altura (mesma altura dos cafeeiros), eliminando os ramos laterais, permanecendo somente a parte área acima do cafeeiro. Em março de 2020, anterior às avaliações, as mamoneiras já haviam ultrapassado cerca de 1,5 metros da copa do cafeeiro, fechando o dossel, neste momento foi realizada uma poda de abertura de copa, deixando apenas quatro ramificações principais.

As principais etapas da implantação e manejo do SAF multiestratificado, incluindo os momentos de avaliação estão sumarizados na figura 5.

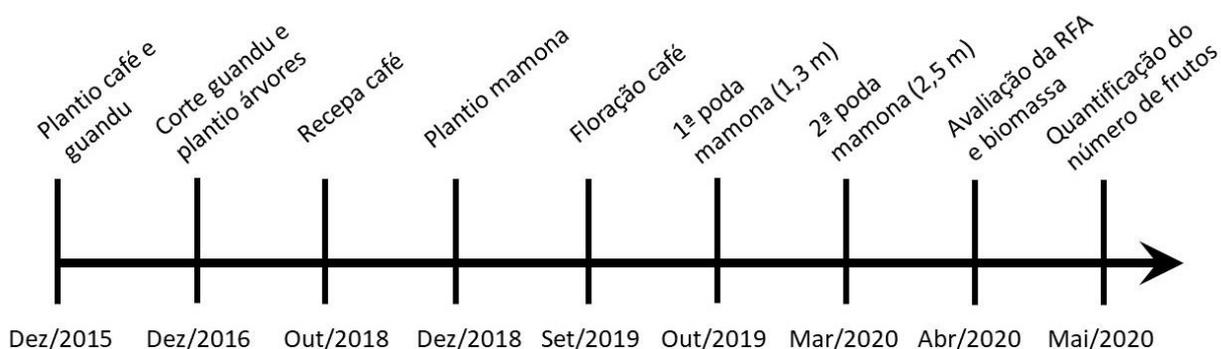


Figura 5: Ordenamento cronológico das principais etapas de implantação, manejo e avaliação do SAF multiestratificado

3.3 Práticas culturais

No ano agrícola de 2019-2020 foram realizadas nos meses de agosto e setembro, respectivamente, a calagem (350 g de calcário por planta) e aplicação de 10 g de Ulexita (10% de Boro) por cafeeiro. As adubações orgânicas foram realizadas em novembro de 2019, aplicando 200 g de farinha

de carne e osso e em dezembro de 2020 aplicando 200 g de torta de mamona. Nos meses de dezembro de 2019 e fevereiro de 2020 foram realizadas pulverizações com calda bordalesa. As plantas espontâneas foram manejadas, mensalmente, com roçadeira costal.

3.4 Delineamento experimental

Foram selecionados, por meio de caminhamento transversal dentro do SAF, cafeeiros localizados em quatro distâncias: 1 m (D1), 4 m (D2), 7 m (D3) e 10 m (D4) da borda mais ensolarada (face norte) para o interior do SAF. Foram realizadas 10 repetições, sendo amostrado um cafeeiro por distância (10 linhas de plantios com 4 cafeeiros cada, um por distância) (Figura 6). As parcelas foram localizadas nas 20 linhas centrais do talhão, e os cafeeiros foram avaliados em linhas alternadas. Portanto, ao todo foram quantificados 40 cafeeiros, em 8 linhas. A amostragem, per fez cerca de 33 % das linhas de plantio do SAF e 13 % das plantas de café.



Figura 6: Ilustração das distâncias avaliadas, da face norte para o interior do sistema agroflorestal.

3.5 Avaliações

3.5.1 Nível de sombreamento

O sombreamento foi quantificado com base na radiação fotossinteticamente ativa (PAR), o espectro da radiação solar com comprimento de onda entre 400 a 700 nanômetros (nm). Adaptando a metodologia de

Ernesto Méndez et al. (2007), as medições foram realizadas, das 12h às 13h, horários de maior incidência de radiação solar, sem presença de nuvens, no dia 10 de abril de 2020 com o uso de um ceptômetro AccuPAR® 8.0 (Decagon, Inc.). Os dados foram coletados a cima da copa do cafeeiro, nos quatro pontos cardeais, totalizando quatro medições por ponto. Durante todo período foi coletada a PAR na bordadura (carreador) da face norte do talhão, um sensor externo Licor®, previamente calibrado com o ceptômetro e acoplado a um Hobo Station (*Onset Compute Corporation*, Bourne, MA, USA). Assim pode-se obter a PAR externa no exato momento coletado a PAR interna. Para calcular a porcentagem de sombra foi utilizada a equação:

$$(\%Shade) = \frac{(PAR\ externa - PAR\ interna) \times 100}{PAR\ externa}$$

3.5.2 Biomassa seca do cafeeiro

A biomassa seca (AGB) de cada cafeeiro foi calculada pela somatória da biomassa seca de seus ramos ortotrópicos. Utilizou-se a equação volumétrica desenvolvida por Andrade et al. (2018), para cafeeiros sombreados e a pleno sol. Esta equação é baseada no diâmetro do tronco a 0,15 m acima do solo (D_{15}), obtido em metros. A equação foi elaborada para obter a biomassa seca do cafeeiro em quilos (kg), com a formula:

$$AGB\ (kg) = 0.36 - 0.18 * D_{15} + 0,08 D_{15}^2$$

3.5.3 Volume de frutos total

A colheita dos cafeeiros foi realizada na segunda quinzena do mês de maio. Foram coletados todos os frutos (verdes, cerejas e secos) dos mesmos indivíduos amostrados para determinação da PAR. A produção de frutos (Total) foi calculado em unidade de volume e os dados apresentados em L planta⁻¹.

3.5.4 Porcentagem de frutos secos

Após, a determinação do volume de frutos realizou-se a separação, por densidade, dos frutos secos, verdes e cerejas. Para cada cafeeiro foi determinado, o volume de frutos secos (D) e calculado a porcentagem de frutos secos, usando a equação:

$$\%Dried = \frac{(D) \times 100}{Total}$$

3.6 Análises estatísticas

Os valores médios das variáveis biomassa seca do cafeeiro (AGB), volume de frutos (Total), porcentagem de frutos secos (%Dried), radiação fotossinteticamente ativa incidente (%PAR) e porcentagem de sombra (%Shade) em função das distâncias da borda norte do talhão de café foram submetidos ao teste Mann-Whitney. A influência das variáveis “Distance”, “%Shade”, “Total” e “AGB” na porcentagem de frutos secos, conseqüentemente, na velocidade de maturação dos frutos, foi determinada por meio de regressões lineares, obtendo os níveis de significância (p) e coeficiente de determinação (R²). Por fim, as variáveis foram submetidas a análise multivariada de componentes principais (ACP), afim de verificar suas correlações e o comportamento de cada cafeeiro analisado. Todas as análises foram realizadas no software PAST, de acordo com a metodologia de Hamer et al. (2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o balanço hídrico (figura 2), o período estudado (agosto de 2019 a junho de 2020) pode ser caracterizado de reduzida disponibilidade hídrica. Pois, o déficit hídrico do ano agrícola de 2018 só foi suprido em meados de dezembro de 2019, três meses após o início de estação chuvosa e a quantidade de água armazenada no solo entrou em déficit em meados de

abril, um mês antes da média histórica da região. O aumento das distâncias da borda mais ensolarada (face norte) para o interior do SAF proporcionou maiores índices de sombreamento, os cafeeiros localizados em D1(1m da borda mais ensolarada, face norte, para o interior do SAF) possuíam, em média, 5 % de sombra, e em D4 (4m da borda mais ensolarada, face norte, para o interior do SAF) aproximadamente 80%. Entretanto, os valores da porcentagem de sombra dos cafeeiros em D2 (7 m da borda mais ensolarada, face norte, para o interior do SAF) e D3 (10 m da borda mais ensolarada, face norte, para o interior do SAF) não diferiram entre si, apresentando 70 % de sombra (Figura 7 a).

Os cafeeiros na distância D1 apresentaram, no momento da colheita, 90% dos frutos secos e os localizados na distância D4, somente 25% (Figura 7 b).

A radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR) nos cafeeiros em D1 foi de $1915 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, próxima da radiação a pleno sol, $2050 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Em D2 e D3 os valores foram semelhantes, cerca de $550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, diferindo de D4, a distância mais sombreada, com $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 7 c).

Os volumes médios de frutos dos cafeeiros localizados em D1 e D2 foram semelhantes, aproximadamente 1,8 L por planta, e inferiores aos dos localizados em D3 e D4, os quais não diferiram entre si, 4 L por planta (Figura 7 d).

A biomassa seca dos cafeeiros em D4, $330 \text{ g planta}^{-1}$, foi superior aos cafeeiros localizados nas demais distâncias, os quais não diferiram entre si, $300 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 7 e).

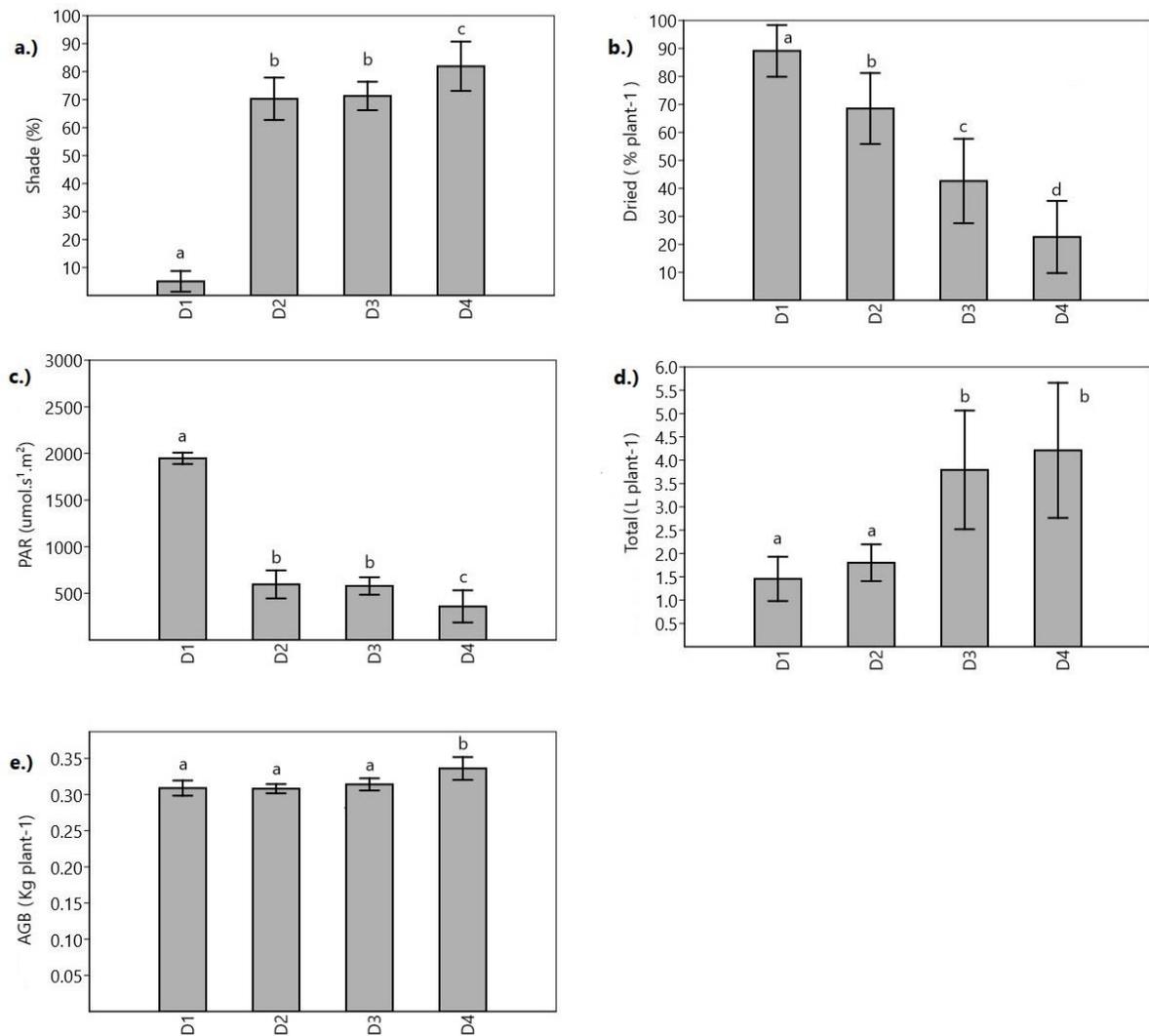


Figura 7: Média do valores (barras) e desvio padrão (linhas) e suas significâncias pelo teste de Mann-Whitney (letras) para cada distância da bordadura norte (D1= 1m, D2= 4m, D3= 7m, D4=10m) das seguintes variáveis: a.)= nível de sombreamento, b.)= porcentagem de frutos colhidos no estágio seco, c.)= incidência de PAR no interior do agroecossistema, d.)= volume de frutos colhidos em todos os estádios de maturação fisiológica, e.)= biomassa seca do cafeeiro

As regressões lineares entre a porcentagem de frutos secos (Dried %) e as demais variáveis (Distance), (Total), (Shade %) e (AGB) foram significativas ($p < 0,005$) (Figura 8). A variável que melhor explicou a variação da porcentagem de frutos secos foi a distância, com coeficiente de determinação de 0,81 (Figura 8 a), seguida do volume total de frutos, com $R^2 = 0,60$ (Figura 8

b) e a porcentagem de sombra, com $R^2 = 0,50$ (Figura 8 c). A biomassa seca dos cafeeiros, apesar de significativa, apresentou baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,30$) (Figura 8 d).

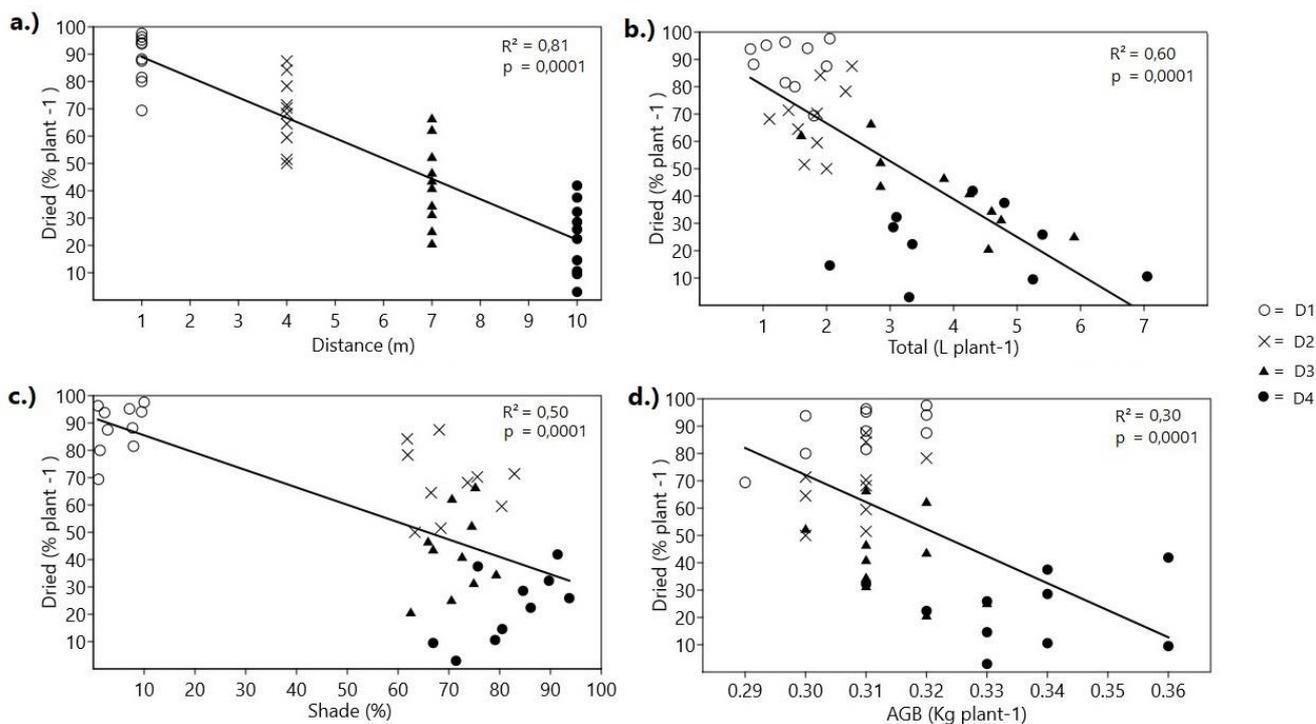


Figura 8: Representação gráfica das regressões lineares entre as variáveis, seus níveis de significância estatística (valor p) e coeficiente de determinação (R^2): a.) porcentagem de frutos secos (Dried %) e distância da borda do SAF (Distance), b.) porcentagem de frutos secos (Dried %) e volume total de frutos (Total), c.) porcentagem de frutos secos (Dried %) e nível de sombra (Shade%), d) porcentagem de frutos secos (Dried %) e biomassa seca do cafeeiro (AGB).

Analisando a ACP (Figura 9) é possível observar que a resposta dos cafeeiros em cada distância formou nítidos agrupamentos, principalmente para os indivíduos localizados em D1 e D2. A maior porcentagem de resposta foi encontrada no eixo x, do componente 1, com 74%, evidenciando que as variáveis volume total de frutos (Total), nível de sombreamento (%Shade) e distancia da borda do SAF (Distance) se correlacionaram positivamente entre elas e negativamente com a variável porcentagem de frutos secos (%Dried). A

alta correlação negativa entre (Dried) e (Distance) é representado pelo ângulo de aproximadamente 180° entre as setas. Para a biomassa seca do cafeeiro (AGB) é observado baixa correlação com as outras variáveis, pois suas setas formam ângulos próximos a 90° , além disso, sua maior variação está no eixo y, do componente 2, o qual, explica 14% dos resultados, indicando baixa variação entre os indivíduos analisados.

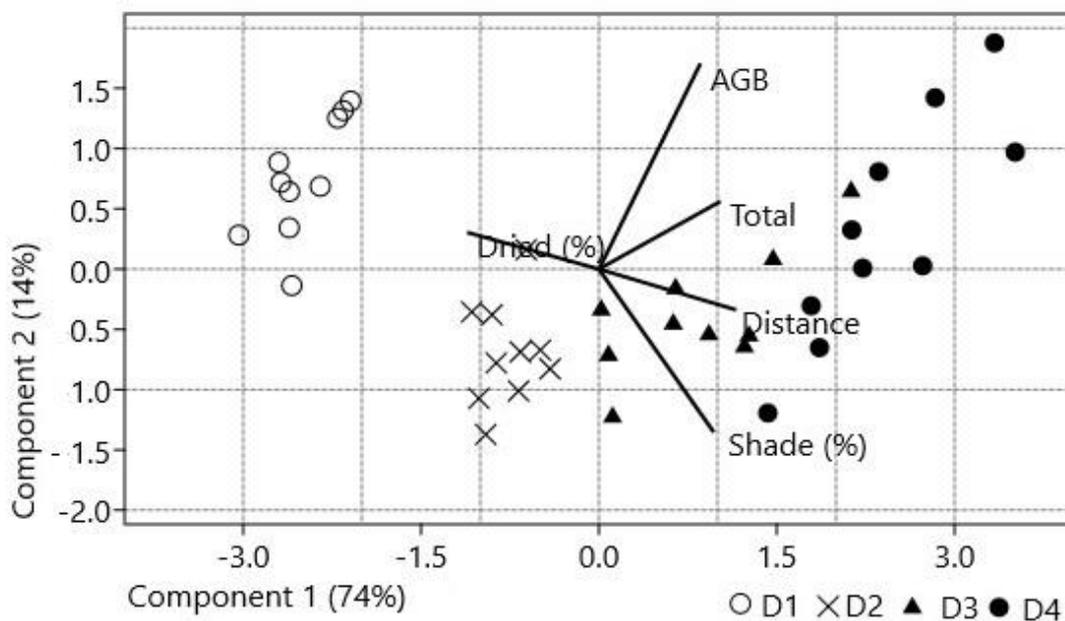


Figura 9: Análise multivariada de componentes principais. Plota os 40 pontos amostrados, em função da distância da bordadura da face norte D1=1 m, D2=4m, D3=7 m, D4= 10 m, em quatro quadrantes onde são indicadas a relação de grandeza das variáveis quantificadas, Distance= Distância da borda do SAF, Dried (%)= Porcentagem de frutos colhidos no estágio seco, Total = Volume de frutos colhidos em todos os estágios de maturação fisiológica, Shade (%)= Nível de sombreamento, AGB= Biomassa seca do cafeeiro).

Portanto, os indivíduos localizados em D1, seguidos dos em D2, tiveram os menores índices de sombreamento, apresentado maior porcentagem de frutos secos e menor volume total de frutos. Por outro lado, aqueles em D3 e D4, os com maiores índices de sombra, obtiveram volumes maiores de frutos e com menor porcentagem destes, secos.

As avaliações de PAR foram realizadas na transição das estações outono/inverno, e nessa época, no hemisfério Sul, o sol possui suas menores inclinações com horizonte, aproximando-se da orientação cardeal norte. Para a latitude estudada, no solstício de inverno o sol está aproximadamente 50° mais próximo do horizonte que no solstício de verão, portanto, neste período, obtém-se as maiores taxas de sombreamento, principalmente na face Sul (BEDAQUE e BRETONES, 2016). Portanto, o maior sombreamento nas distâncias localizadas no interior do talhão pode ser explicado pelo caminhar do sol, pela face do talhão (sul) e sentido de plantio dos cafeeiros e mamoneiras (norte-sul).

A baixa inclinação do sol, voltada para face norte, além de contribuir para o aumento da sombra, colaborou para que houvesse a somatória das sombras dos componentes do dossel ao passo que caminhamos ao sul, ou seja, os cafeeiros em D4, os mais ao sul, são sombreados pelos cafeeiros e mamoneiras localizados em D3, D2 e D1. Outro efeito que pode ter contribuído para o maior índice de sombra em D4 é o efeito de proximidade com o renque de bananeira, entretanto, este foi minimizado pois o renque se encontrava mais ao sul que os cafeeiros em D4 (Figura 6).

Os cafeeiros localizados em D1, a bordadura do SAF, foram pouco influenciados pelo sombreamento do dossel das mamoneiras, afinal, estas estão localizados ao sul, portanto obtiveram as maiores taxas de incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), próximas o valor quantificado à pleno sol. Os outros cafeeiros obtiveram altas taxas de sombreamento, cerca de 70 % para os cafeeiros em D2 e D3 e 80% de sombra para aqueles em D4.

Quantificando a radiação fotossinteticamente ativa incidente na agrofloresta é possível analisar, além da intensidade luminosa, a qualidade de radiação incidente. A PAR a pleno sol é de aproximadamente $2.000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (TAIZ et al., 2017) e a saturação luminosa das folhas do cafeeiro ocorre entre o limite inferior de $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e superior de $700 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (DA MATTA, 2004). Portanto, mesmo com os altos níveis de sombreamento encontrados nesse trabalho, a incidência de radiação fotossinteticamente ativa, no momento

avaliado, nos cafeeiros, permaneceu dentro do limite em D2 e D3 (aproximadamente $550 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e, em D4 ($400 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Para analisar o volume total de frutos cabe destacar que no momento da floração (agosto de 2019) o dossel de mamoneiras ainda não havia se estabelecido totalmente, reduzindo sua importância nos fatores envolvidos no florescimento do cafeeiro e, além disso, todos os ramos plagiotrópicos e gemas florais responsáveis por essa produção haviam se desenvolvido no verão de 2018-2019, a pleno sol em todas as distâncias. Outro fator é que por ser o primeiro ano de produção após a recepa do cafeeiro, é esperado que as plantas tenham o máximo de resposta produtiva. Além disso, as podas realizadas para condução (outubro de 2019) e abertura de luz (março de 2020) do dossel temporário de mamoneiras, podem ter permitido entrada suficiente de radiação fotossintética ativa na fase de enchimento dos frutos.

De fato, a variável sombra (Shade%) apresentou reduzida correlação com o volume de frutos produzidos (R^2 de 0,30), portanto, com baixa explicação para a variação do volume de frutos produzidos.

A maturação da variedade Bourbon amarelo é registrada e classificada, pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), como precoce (FAZOULI et al., 2005). Em nosso ensaio, durante a fase de amadurecimento dos frutos (abril a maio ano) o dossel de mamoneiras já estava bem estabelecido, portanto, influenciando a velocidade de maturação dos frutos. Foi evidente que quanto maior o sombreamento mais lento foi a maturação. Este comportamento do cafeeiro também foi observado por outros autores, Vaast et al. (2006) observaram redução de um mês no início do amadurecimento dos frutos em cafeeiros sombreado (45% de sombra, gerada artificialmente) em comparação à pleno sol em mesma unidade produtiva. Ricci et al. (2010), estudando cafeeiros a pleno sol e sombreados por consórcios de *Musa sp.* e *Erythrina verna* Vell. identificou, no início da colheita, 72% mais grãos secos nos cafeeiros a pleno sol.

Segundo Pezzopane et al. (2003), a temperatura do ar é considerada a variável climática mais relevante para o amadurecimento dos frutos do cafeeiro, entretanto, como verificado por Petek et al. (2009), a redução de 100 mm na

precipitação anual acumulada pode resultar em uma necessidade entre 70 a 140 graus-dias menor para completar o processo de amadurecimento dos frutos de café. Portanto, o processo fisiológico de amadurecimento do café é influenciado, principalmente, pela temperatura do ar e disponibilidade hídrica (PETEK et al., 2009)

Como observado no balanço hídrico, no período do experimento (Figura 2), os cafeeiros estavam em estresse hídrico durante o momento de floração e amadurecimento dos grãos. A redução da precipitação e o início de déficit hídrico em meados de março de 2020, somado as temperaturas médias altas, acima dos 20°C, até meados de abril, contribuíram para acelerar o processo de maturação dos frutos.

O maior tempo de amadurecimento dos frutos de café em sistemas sombreados é atribuído por Muschler (2001), à redução da temperatura média diária. De fato, em nosso estudo, apesar de não quantificado, provavelmente as distâncias mais próximas à borda ensolarada do SAF, menos sombreadas, obtiveram maiores valores de temperatura do ar. Por outro lado, nas distâncias mais sombreadas, D3 e D4, a competição por água entre os cafeeiros e as mamoneiras poderiam ter sido maiores, acelerando a maturação dos frutos, porém, este fato não ocorreu.

As mamoneiras são tidas como culturas de baixa exigência hídrica. A fase de maior necessidade hídrica das mamoneiras é durante o desenvolvimento reprodutivo, na fase de desenvolvimento do segundo cacho e amadurecimento do primeiro (DIAS et al., 2015). Portanto, infere-se que não houve competição hídrica entre os cafeeiros e o dossel temporário, tanto pelas características fisiológicas da mamoneira como pelo manejo de podas realizados.

O design e manejo do sombreamento nas agroflorestas multiestratificadas, que visam produção de café, tem diferentes intuitos, principalmente o fornecimento de níveis adequados de radiação solar e aumento da fertilidade natural (SCHNABEL et al., 2018). Entretanto, o desenho da estratificação também pode ser planejado para o controle de pragas e doenças como citado por (STAVER et al., 2001). A escolhas da espécies

arbóreas corretas e as aberturas de luz, através das podas, são indicadas como o a razão de sucesso do manejo orgânico de cafezais arborizados em comparação a cafés convencionais (SCHNABEL et al., 2018).

As distâncias da borda ensolarada do SAF foi a variável que melhor explicou as respostas das demais variáveis, afinal, diferentes fatores ambientais podem estar atrelados a ela, como uma possível variação na fertilidade e umidade do solo em função da distância do carreador. Suspeitamos de dois fatores principais, a maior insolação e temperaturas da borda do SAF devido à proximidade com a bordadura (área aberta de 4m de largura) e a maior de umidade e fertilidade no interior do SAF, próximo ao renque de bananeira. A bananeira é usualmente utilizada em sistemas agroflorestais cafeeiros, a fim de melhorar o condicionamento microclimático e aumentar a fertilidade do solo (RICCI et al., 2010). Caso haja um aumento da fertilidade próximo ao renque de bananeiras, este pode também ter contribuído para a maior biomassa seca dos cafeeiros localizados em D4.

Por outro lado, o sombreamento das mamoneiras, principalmente durante o último ano agrícola, pode ter contribuído para o aumento da biomassa seca dos cafeeiros. Coltri et al., 2015, elaborando equações para prever o índice de área foliar (IAF) e biomassa seca de cafeeiros sombreados e a pleno sol, no sul de Minas Gerais, identificou que os cafeeiros sombreados tendem a ter maior biomassa seca. Os mesmos autores relataram que a maior parte do carbono é estocado no tronco e ramos, e a maior altura dos cafeeiros sombreados confere maior acúmulo de biomassa, mesmo com menores quantidades de carbono nas folhas. Em nosso experimento, a equação volumétrica foi baseada no diâmetro do tronco a 15 cm do solo, considerada por Coltri et al.(2015) e por Andrade et al. (2018) como a mais determinante, sendo que, as distâncias mais sombreadas foram as que apresentaram maior diâmetro, conseqüentemente maior biomassa seca.

Compreender a dinâmica do amadurecimento dos frutos de café faz-se necessário para um melhor planejamento da colheita. Pode-se, a partir daí, construir arranjos para sistemas agroflorestais, aliando-se o uso de cultivares de café com diferentes tempos de maturação ao manejo da intensidade

luminosa (relacionado ao manejo da sucessão em sistemas agroflorestais), visando um ordenamento da colheita e priorizando a maior quantidade de frutos no estágio cereja.

5 CONCLUSÕES

Os cafeeiros localizados a 1, 4, 7 e 10 metros da bordadura norte da agrofloresta receberam diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa. Ao passo que as distâncias aumentaram no sentido sul, maior foi o sombreamento. A porcentagem de sombra correlacionou-se negativamente com a quantidade de frutos secos. Entretanto, outros fatores explicam esse fenômeno, sendo que, a somatória destes são representados pela variável distância. Apesar dos altos níveis de sombra, a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa foi satisfatória, sendo que, os cafeeiros mais sombreados foram os que produziram o maior volume de frutos. Concluímos que o design e manejo da agrofloresta multiestratificada contribuiu para estes resultados, principalmente para os cafeeiros em D4, pois, mesmo sendo os mais sombreados, apresentaram o maior volume de frutos e a menor porcentagem destes, secos.

6 CONSIDERAÇÃO FINAIS

Outros fatores poderiam ter sido considerados para explorar o tema em questão, como: a fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, temperatura e umidade do ar em cada ponto do agroecossistema. Além disso, mais perguntas poderiam ter sido feitas, a fim de, compreender a influência do sombreamento em outros aspectos fisiológicos (índice de área foliar, taxa de fotossíntese, evapotranspiração, números de gemas florais e qualidade da bebida) dos cafeeiros avaliados.

O intuito de fundamentar a pesquisa na taxa de sombra é devido a possibilidade de fazer uma análise mais ampla dos fatores. A final, a sombra quando feita de maneira natural, pela presença de outro indivíduo vegetal, é

capaz de modificar todos os fatores responsáveis pelo amadurecimento dos frutos do café. Além disso, almeja-se contribuir para a pesquisa e evidência das potencialidades do sombreamento de cafezais, principalmente, em sistemas agroflorestais multiestratificados.

Diante o cenário estudado e as limitações metodológicas da pesquisa, acredita-se que foi feita uma boa fundamentação teórica, uma análise abrangente e interligada entre as variáveis analisadas, um grande desafio, tendo em vista, à complexidade das interações ecológicas em um sistema agroflorestal. Basear-se no histórico de manejo e utilizar-se de uma perspectiva temporal para compreender os fenômenos possibilitou uma discussão mais ampla e possibilita relacionar os resultados desta pesquisa com outras realidades.

Como indicações para futuras pesquisas deste abrangente tema, além de explorar os outros possíveis fatores já citados, seria interessante compreender como diferentes espécies arbóreas e o manejo do agroecossistema podem influenciar no desenvolvimento dos cafeeiros. Diversos fatores podem ser estudados como a influência em: aspectos fitossanitários, na resposta produtiva e viabilidade econômica, na nutrição do cafeeiro, nos componentes ecofisiológicos e biogeoquímicos do agroecossistema. O desafio é compreender as relações ecológicas e as suas interações com o meio abiótico, a fim de potencializar os serviços ecossistêmicos que favoreçam a cultura principal, construindo e manejando um agroecossistema equilibrado, fértil, saudável e em sincronia com as demandas fisiológicas do cafeeiro.

Esta pesquisa ressalta a complexidade da dinâmica da radiação fotossinteticamente ativa dentro de um agroecossistema e como seu manejo pode afetar diretamente na maturação de frutos de café. Apesar dos resultados obtidos serem um retrato pontual de um agroecossistema específico é possível ter indícios de um design e manejo ideal.

Suscintamente, nesta realidade, o autor (agricultor responsável pela implantação e manejo do agroecossistema) acredita que o manejo ideal desta agrofloresta multiestratificada será a poda drástica das árvores localizadas na bordadura norte, diminuindo sua altura e aumentando o IAF, protegendo os

cafeeiros ao sul da alta exposição solar. Um desbaste das bananeiras da bordadura sul para evitar o excessos de sombra, principalmente no verão. O manejo de poda anual, deve ser feito em dois períodos (agosto e dezembro), a fim, de aumentar a entrada de luz no auge do verão e um proporcionar um período de enfolhamento no outono, para haver cobertura do dossel suficiente para diminuir a temperatura diurna e proteger de geadas e ventos frios no inverno. O uso de espécies arbóreas perenifólias é essencial para garantir temperaturas mais amenas no outono e inverno, diminuindo o estresse do cafeeiro. É importante que as espécies tenham baixa demanda hídrica, pois irão manter seu vigor na época seca e reduzir a competição por água com a cultura principal.

A inteligência humana e a capacidade de compreender os fenômenos da natureza nos permite criar e manejar sistemas produtivos fundamentados em bases ecológicas, possibilitando cultivar plantas saudáveis e resilientes, capazes de fornecer uma produção rentável e de boa qualidade.

7 LITERATURA CITADA

- ANDRADE, H. J. C. et. al. Above-ground biomass models for coffee bushes (*Coffea arabica* L.) in Líbano, Tolima, Colombia. **Agroforestry Systems**, 92(3), 775–784. 2018.
- ANWAR, M. R et al. Adapting agriculture to climate change: A review. **Theoretical and Applied Climatology**, 113(1–2), 225–245. 2013
- ASSAD, E. D. et al. Climatic changes impact in agroclimatic zoning of coffee in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39(11), 1057–1064. 2004.
- AVELINO, J. et al.. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. **Ecological Modelling**, 197(3–4), 431–447. 2006.
- BAGGIO, A. J. et al., Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, 37(2), 111–120. 1997
- BEDAQUE, P.; BRETONES, P. S. Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 38(3). 2016.

- BEER, J. et al. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems** 139–164. 1998
- BELLOW, J. G.; NAIR, P. K. R. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, 114(3–4), 197–211. 2003
- BOSELNANN, A. S. et al. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 129(1–3), 253–260. 2009
- BOTE, A. D.; JAN, V. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, 83, 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** 3(11), 336–341. 2011
- CAMPANHA, M. M. et al. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, 31(5), 805–812. 2007.
- CAMPANHA, M. M., et al. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, 31(5), 805–812. 2007
- CANNAVO, P. et al. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 140(1–2), 1–13. 2011.
- CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI Filho, A., LEAL, A. C. Coffee shade with *Mimosa scabrella* benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, 33(3), 205–214. 1996
- CERDA, R., et al.. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, 82, 308–319. 2017.
- CHARBONNIER, F. et al. Increased light-use efficiency sustains net primary

- productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. **Plant Cell and Environment**, 40(8), 2017.
- COLTRI, P. P. et al. Empirical models to predict LAI and aboveground biomass of *Coffea arabica* under full sun and shaded plantation: a case study of South of Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, 89(4), 621–636. 2015.
- DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research**, 86, (2–3, 99–114). 2004.
- DAVIS, H. et al. The economic potential of fruit trees as shade in blue mountain coffee agroecosystems of the Yallahs River watershed, Jamaica W.I. **Agroforestry Systems**, 93(2), 581–589. 2019.
- DIAS, J. M., et al. Consumo Hídrico E Coeficiente De Cultivo Da Mamoneira, Cultivar Brs Energia. **Irriga**, 20(3), 429–444. 2015.
- EHRENBERGEROVÁ, L. et al. Impact of tree shading on the microclimate of a coffee plantation: A case study from the Peruvian Amazon. **Bois et Forêts Des Tropiques**, 4(334), 13–22. 2017.
- ERNESTO MÉNDEZ, V.; GLIESSMAN, S. R.; GILBERT, G. S. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 119(1–2), 145–159. 2007.
- VALENCIA, F. F. F.; MESTRE-MESTRE, A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. **Cenicafe**, 55(2), 161–174. 2004.
- FAZOULI, L. C., et al. Evaluation of the cultivars Mundo Novo, Bourbon Amarelo and Bourbon Vermelho of *Coffea arabica* L., in Campinas, State of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, 64(4), 533–546. 2005
- FIALA, A. C. S.; GARMAN, S. L.; GRAY, A. N. Comparison of five canopy cover estimation techniques in the western Oregon Cascades. **Forest Ecology and Management**, 232(1–3), 188–197. 2006
- GOMES, L. C. ET AL. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 294(January), 2020.

- HAGGAR, J.; STAVAR, C.; VIRGINIO FILHO, E. de M. Sostenibilidad y sinergismo en café agroforestal: Un estudio de interacciones entre las plagas, la fertilidad del suelo y el estrato árbol. **Agroforesteria En Las Américas**, 8(29), 49–5.2001
- HAMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, 4(10), 9. 2001.
- HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, G.; MANSON, R. H.; HERNÁNDEZ, A. C. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 134(1–2), 89–98. 2009
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da américa latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, 1(2), 94–102. 2006.
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Produção e crescimento vegetativo de cafeeiros sob fertilização e sombreamento. **Scientia Agricola**, 67(6), 639–645.2010
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* . I. Effects of Light and Temperature. **Experimental Agriculture**, 16(1), 13–19. 1980.
- López-Bravo, D. F. et al.. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. **Crop Protection**, 38, 21–29. 2012
- MEYLAN, L. et al. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 245(March), 32–42. 2017.
- MIRANDA, E. M. D. E. et al., Comportamento de seis linhagens de café (*coffea arabica* l .) em condições de sombreamento e a pleno sol no estado do Acre. **Ciênc. e Agrotec.**, 62–69. 1993
- MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, 38(1), 196–208. 2008.
- MUSCHLER R.G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone

- of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, 85, 131–139. 2001.
- Nesper, M. et al. Simplification of shade tree diversity reduces nutrient cycling resilience in coffee agroforestry. **Journal of Applied Ecology**, 56(1), 119–131. 2019
- Oliosi, G. et al. Microclima e produtividade do cafeeiro conilon em sistema agroflorestal com cedro australiano. **IX Simpósio de Pesquisa Dos Cafés Do Brasi**, 3–8. 2015
- OLIVEIRA, H. M. T. de et al. Potential of substitution of fertilizers by arboreal legume phytomassa in coffee tree crop. *Coffee Science*, 10(3), 383–391. 2015
- OLIVEIRA, R. E de; CARVALHAES, M. A. Agroforestry as a tool for restoration in atlantic forest: Can we find multi-purpose species? **Oecologia Australis**, 20(4), 425–435. 2016
- PERFECTO, I. et al. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. **Ecological Economics**, 54(4), 435–446. 2005.
- PETEK, M. R., SERA, T.; FONSECA, I. C. DE B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, 68(1), 169–181. 2009.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta Scientiarum - Agronomy**, 33(2), 201–206. 2011a.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiros arábica. **Bragantia**, 62(3), 499–505. 2003.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro-anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, 42(4), 865–871. 2011b.
- PEZZOPANE, J. R. M. ET AL. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadamia. **Ciencia Rural**, 40(6), 1257–1263. 2010.
- Pezzopane, J. R. M. et al. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, 32(6), 1781–1786. 2008

- Pinto Neto, J. N. et al. Efeito das variáveis ambientais na produção de café em um sistema agroflorestal. **Coffee Science**, 9(2), 187–195.2014
- RICCI, M. DOS S. F.; COSTA, J. R.; DE OLIVEIRA, N. G. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, 6(1), 44–54. 2010.
- RICCI, M. S. F.; COCHETO JUNIOR, D. G. C.; ALMEIDA, F. F. D. Microweather conditions, phenology and external morphology of coffee trees in shaded and full sun systems. **Coffee Science**, 8(3), 379–388.2013
- RIGHI, C. A. et al. Influence of rubber trees on leaf-miner damage to coffee plants in an agroforestry system. **Agroforestry Systems**, 87(6), 1351–1362. 2013
- RIGHI, C. A. Coffee water use in agroforestry system with rubber trees. **Revista Árvore**, 32(5), 781–792.2009
- RIVERA, L.; Armbrrecht, I. (2005). Diversity of three ant guilds in shade and sun coffee plantations and forests of Risaralda. **Revista Colombiana de Entomologia**, 31(1), 89–96.
- SALGADO, B. G.; LUIZ, R.; MACEDO, G. avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em lavras-mg. **Revista Árvore**, 30, n.3, 343–349. 2006
- SANTOS, C. M. A. et al. Incidência de cercosporiose e ferrugem em seis cultivares de café arábica em sistemas arborizado e pleno sol sob manejo orgânico. **Rev. Brasileira de Agroecologia**, 2(2), 917–920. 2007
- SCHNABEL, F. et. al. Shade trees: a determinant to the relative success of organic versus conventional coffee production. **Agroforestry Systems**, 92(6). 2018.
- SILES, P.; HARMAND, J. M.; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, 78(3), 269–286.2010
- Silva, S.O. et al. Diversidade e frequência de plantas daninhas em associações entre cafeeiros e grevileas. **Coffee Science**, 1(2), 126–134.2006
- SILVA NETO, F. J. da. Effects of shade trees spatial distribution and species on

- photosynthetic rate of coffee trees. **Coffee Science**, 14(3), 326–337. 2019
- SILVA NETO, F. J. da et al. Shade Trees Spatial Distribution and Its Effect on Grains and Beverage Quality of Shaded Coffee Trees. **Journal of Food Quality**, 2018.
- SMITH DUMONT, E. et al. The utility of farmer ranking of tree attributes for selecting companion trees in coffee production systems. **Agroforestry Systems**, 93(4), 1469–1483. 2019
- SOTO-PINTO, L. et al. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. **Biodiversity and Conservation**, 16(2), 419–436. 2007
- SOUZA, A. J. de J et al. Quality of forested and full sun coffee, in post-harvest management. **Coffee Science**, 8(2), 99–109. 2013
- Souza, H. N. de et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 146(1), 179–196. 2012
- STAVER, C. et al.. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: Shade-grown coffee in central america. **Agroforestry Systems**, 53(2), 151–170. 2001
- TAIZ, L. et. al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, Rio grande do Sul: Artmed (6) .2017. 855p.
- TAUGOURDEAU, S., et al. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 192, 19–37. 2014
- TEIXEIRA, S. M.; CAIXETA, G. Z. T. Economicidade e certificação da cafeicultura familiar na Zona Da Mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 39(4), 317–329. 2009
- TULLY, K. L.; LAWRENCE, D.; SCANLON, T. M. More trees less loss: Nitrogen leaching losses decrease with increasing biomass in coffee agroforests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 161, 137–144. 2012
- VAAST, P. et al. 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**, 86(2), 197–204. 2006.

- VALENTINI, L. S. de P. et al. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em momonocultivo e arborizados com seringueira coqueiro-anão na região de mococa, Sp. **Bragantia**, 69(4), 1005–1010. 2010.
- OIJEN, M. van et al. Coffee agroforestry systems in Central America: II. Development of a simple process-based model and preliminary results. **Agroforestry Systems**, 80(3), 361–378. 2010
- VERDIN FILHO, A. C. et al. Nova tecnologia de poda para o café arábica: Poda programada de ciclo para o café arabica. **Coffee Science**, 11(4), 475–483. 2016.
- VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, 37(4), 549–557. 2007.
- WELLES, J. M.; COHEN, S. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. **Journal of Experimental Botany**, 47(302), 1335–1342. 1996