



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JULIANDRA RODRIGUES ROSISCA

**MICROCLIMA E QUALIDADE DE CAFÉ EM SISTEMA
AGROFLORESTAL COM SERINGUEIRAS**

Londrina
2021

JULIANDRA RODRIGUES ROSISCA

**MICROCLIMA E QUALIDADE DE CAFÉ EM SISTEMA
AGROFLORESTAL COM SERINGUEIRAS**

Tese apresentada ao programa de Pós graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva

Co-orientador(a): Cíntia Sorane Good
Kitzberger

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A757 Rodrigues Rosisca, Juliandra.
Microclima e Qualidade de Café em Sistema Agroflorestal com Seringueiras / Juliandra Rodrigues Rosisca. - Londrina, 2021.
88 f. : il.

Orientador: Marcelo Augusto de Aguiar e Silva.
Coorientador: Cíntia Sorane Good Kitzberger.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Coffea arabica - Tese. 2. Sistemas agroflorestais - Tese. 3. Análise sensorial - Tese. 4. Qualidade - Tese. I. de Aguiar e Silva, Marcelo Augusto. II. Sorane Good Kitzberger, Cíntia. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

JULIANDRA RODRIGUES ROSISCA

**MICROCLIMA E QUALIDADE DE CAFÉ EM SISTEMA
AGROFLORESTAL COM SERINGUEIRAS**

Tese apresentada ao programa de Pós graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de
Aguiar e Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Paulo Henrique Caramori
Instituto de desenvolvimento rural do Paraná
IDR-EMATER

Profa. Dra. Heverly Morais
Instituto de desenvolvimento rural do Paraná
IDR-EMATER

Profa. Dra. Angela Beatriz F. da costa
Instituto de desenvolvimento rural do Paraná
IDR-EMATER

Prof. Dr. Thiago Ometto Zorzenoni
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 26 de fevereiro de 2021.

Á Deus, aos familiares e amigos pelo apoio,
amor e contribuição durante todos os
momentos dessa jornada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

“Agradecer é admitir que houve momentos em que se precisou de alguém, é reconhecer que o homem jamais poderá lograr para si o dom de ser auto suficiente. Ninguém cresce sozinho, sempre é preciso um olhar de apoio, uma palavra de incentivo, um gesto de compreensão, uma atitude e amor. A todos que compartilharam os meus sonhos, dedico essa vitória, com a mais profunda gratidão e respeito!” (A. desc.).

Oscar, pai você é a pessoa mais importante da minha vida. Obrigada por todo investimento que você fez na minha educação e por tudo o que você significa pra mim. Sou sua fã, você é meu maior exemplo, meu melhor amigo e apoiador. Participa ativamente da minha vida, me motiva diante dos obstáculos, me ajuda a levantar quando eu tropeço e sempre tem um conselho na ponta da língua para qualquer problema que eu ouse reclamar. Por isso pai, eu tenho a honra de dividir as minhas conquistas com você, com a humildade de aceitar que grande parte delas eu obtive, apoiada sob o ombro de gigantes, pessoas que eu sinto um imenso carinho e um profundo respeito!

Julia, mãe obrigada por ser essa mulher tão única, por me amar incondicionalmente e por cuidar da nossa família tão maravilhosamente bem. Todos os dias eu aprendo mais sobre mim, observando você. Eu não conseguiria expor em palavras o quanto sou grata por ser sua filha, apenas dizer que você e o pai são tudo pra mim. Amo vocês infinitamente!

Ao meu irmão Diego e cunhada Carla, por todos os momentos de carinho, amo vocês!

Marcos Aurélio, obrigada pelo permanente incentivo e preocupação com que sempre acompanhou este meu trabalho, toda paciência e todo estímulo sentido após cada conversa. Seu amor, carinho e dedicação são fundamentais na minha vida. Amo você!

À minha madrinha Valdina, por todo amor, todo carinho e por se fazer tão presente. Obrigada por se dedicar e se mostrar tão interessada na minha vida, adoro todas as nossas longuíssimas conversas de vídeo, que se iniciaram a muitos anos atrás devido a distância de nossas residências e que se tornaram mais frequentes devido a pandemia, mas que acalentam o meu coração e fazem diminuir a saudade sempre tão presente. Amo muito você!

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva, pela orientação, pela dedicação e incentivos constantes. Obrigada por todas as experiências acadêmicas maravilhosas, pela forma generosa com que sempre me incentivou e ajudou, mas acima de tudo, gratidão por não ter desistido de mim quando as coisas não corriam bem, quando me permiti ser tomada pelo total desalento, seu apoio, carinho e atenção nos momentos finais foram fundamentais.

Agradeço ao Dr. Paulo Henrique Caramori, gratidão por me acolher e pela honra de ser sua orientada. A sua orientação despertou em mim grande admiração e gosto pela ciência e pela pesquisa. Dr. Paulo, você é pra mim um exemplo de pessoa e de cientista, humano, atencioso e dedicado, assertivo nas palavras, sempre nos motivando. Muito obrigada por não me deixar desistir, por todo apoio e por se fazer tão presente.

À co-orientadora Dra. Cíntia Sorane Good Kitzberger, obrigada por sua amizade, por todas as palavras de carinho, pelas longas conversas em que você me fazia enxergar sempre por outro ângulo, por todos os conselhos, mas especialmente por sua orientação e por permitir que se iniciasse grandes oportunidades acadêmicas na minha vida.

À Dra. Heverly Moraes, por me permitir experienciar grandes oportunidades acadêmicas!

À Dra. Carolina Maria Gaspar de Oliveira, por todo incentivo ao longo da minha trajetória acadêmica, por sua orientação constante, mas principalmente por sua amizade, que é muito especial para mim.

À Ângela Beatriz, você é uma amiga muito especial na minha vida, a nossa amizade pode conter longas ou demoradas pausas, mas sempre continuaremos de onde paramos. Obrigada por todos os momentos compartilhados.

Ao George Yada, por toda ajuda e apoio, pelas horas dedicadas à estatística do meu trabalho, pelas boas conversas, mas principalmente por sua amizade.

Ao Dr. Pablo Nitsche por toda ajuda e pelas horas dedicadas a estatística do meu trabalho.

Ao Dr. Getúlio, aos trabalhos produzidos juntos, por todas as longas e produtivas conversas, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos amigos de laboratório, por toda parceria e amizade.

À Rossana Niero, aos longos anos de amizade, por todas as boas horas regadas a risadas e cafés da tarde, por toda cumplicidade, por todo carinho que recebo de ti, pelos momentos especiais já compartilhados e pelas oportunidades inesperadas que me permitiram evoluir um pouco mais. Amo muito você!

Às minhas amigas Anna, Mariana, Elaine e Jaqueline pela intensidade da nossa amizade, vocês são essenciais na minha vida!

Aos filhos peludos Capitu, Gandalf, Pérola, Charlotte Menina, Carinha, Astryd e Thor, por todo carinho sentido, vocês são minhas doses diárias de amor. E aos demais moradores não humanos, Rafa e Pedro (Papagaios) e Nagine (serpente), que fazem toda diferença na minha vida.

A Universidade Estadual de Londrina – UEL e ao programa de Pós-graduação do Centro de Ciências Agrárias pela possibilidade de realização deste trabalho.

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR pela disponibilização de todos os recursos físicos para realização deste trabalho.

E a todos que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a concretização deste sonho.

“Depois de escalar uma grande montanha se descobre que existem muitas outras montanhas para escalar”. (O longo caminho para a liberdade).

Nelson Mandela

..

ROSISCA, Juliandra Rodrigues. **Microclima e qualidade de café em sistema agroflorestal com seringueiras**. 2021. 88 f. Tese apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

As variáveis climáticas são determinantes na produção agrícola e -viabilizam o cultivo do café em grande parte do Brasil. O plantio de espécies arbóreas associadas aos cafeeiros é uma prática bastante promissora, pois as árvores exercem proteção sobre os cafeeiros, reduzindo a radiação solar por meio de suas copas e amenizando as condições térmicas extremas. O sistema arborizado de cafeeiros destaca-se como alternativa de combate ao aquecimento global, com potencial de viabilizar a cafeicultura nas mesmas zonas de cultivo tradicionais, dependendo da intensidade do aquecimento, sem a necessidade de reduzir a área cultivada, além de possibilitar expandir a cafeicultura para áreas marginais. A proteção térmica dos cafeeiros resultante da arborização contribui tanto para proteção contra geadas em regiões mais frias como para atenuar altas temperaturas, previstas em cenários futuros do IPCC. O presente estudo foi conduzido em uma área de cafeeiros em sistema agroflorestal (SAF) com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos e comparadas com cultivo a pleno sol, em Londrina, PR. Os objetivos foram: (1) caracterizar a interferência das seringueiras sobre o microclima por meio da análise da temperatura do ar, das folhas de cafeeiros e do solo e (2) determinar os efeitos das seringueiras sobre a bioquímica de diterpenos, açúcares totais e redutores, proteína, lipídeos totais, trigonelina, cafeína, ácidos clorogênicos e ácidos carboxílicos nos frutos de cafeeiros cultivados sob seringueiras, e descrever a bebida do café empregando análise sensorial de Perfil Livre. A análise do microclima mostrou que os SAFs alteram o microclima, condicionando ambiente mais ameno aos cafeeiros. A temperatura das folhas e do solo foram melhores indicativos das alterações de microclima em comparação com a temperatura do ar medida a 2 m de altura, devido ao tamanho limitado das parcelas. Verificou-se que os cafés sombreados apresentaram uma composição indicativa de grãos imaturos, mesmo mostrando maturação visual, evidenciando a necessidade de estabelecer um ponto ideal de colheita de acordo com o nível de sombreamento. Que as safras são influenciadas pelas condições macroclimáticas e, por sua vez, o uso dos SAFs interferem no microclima de cada safra. Efeitos dos SAFs sobre as características bioquímicas e a bebida do café, comparando-se pleno sol, sombreado e filas duplas de 16 m e 22 m. As condições climáticas afetaram o café e a qualidade da bebida, destacando-se o ano de 2016 e o espaçamento das filas duplas de 16 m como o mais adequado.

Palavras-chave: *coffea arabica*; análise sensorial; sistemas agroflorestais; qualidade.

ROSISCA, Juliandra Rodrigues. **Microclima e qualidade de café em sistema agroflorestal com seringueiras**. 2021. 88 p. Tese apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Climatic conditions are crucial for agricultural production and favor coffee cultivation in much of Brazil. The mitigation of microclimate conditions through the planting of tree species associated with coffee is a very promising practice, as trees exercise protection over coffee trees, mainly by reducing solar radiation through their canopy and mitigating extreme thermal conditions. The wooded system of coffee trees stands out as an alternative to fight global warming, with the potential to enable coffee growing in the same traditional growing areas depending on the intensity of the heating, without the need to reduce the cultivated area, in addition to making it possible to expand coffee growing to marginal areas. The thermal protection of coffee trees resulting from afforestation contributes both to protection against frost in colder regions and to attenuating high temperatures, foreseen in future scenarios of the IPCC. The present study was conducted in an area of coffee trees in an agroforestry system (SAF) with rubber trees planted in double rows with different spacing and compared with cultivation in full sun, in Londrina, PR, Brazil. The objectives were: (1) to characterize the microclimate by analyzing the temperature of the air, leaves and soil and (2) to analyze the biochemistry of diterpenes, total and reducing sugars, protein, total lipids, trigonelline, caffeine, chlorogenic acids and carboxylic acids in coffee fruits in different growing environments, and describe the coffee drink using Free Profile sensory analysis. The microclimate analysis showed that the SAFs altered the microclimate, conditioning a milder environment to coffee trees. The temperature of leaves and soil were better indicative of microclimate changes compared to the air temperature measured at 2 m in height, due to the limited size of the plots. Effects of the SAFs on the biochemical characteristics and the coffee drink were verified, comparing full sun, shade and double rows of 16 m and 22 m. Climatic conditions affected the coffee cycle and the quality of the drink, with the year 2016 standing out and the 16 m double row spacing being the most appropriate.

Key words: *coffea arabica*; sensorial analysis; shading; spacing; microclimatic conditions.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO A	35
Figure 1 – Esquema de campo do experimento. A. Filas duplas espaçadas de 13m, destacando as estações meteorológicas instaladas na distância média entre filas duplas e sob as copas das seringueiras (sombra). B. Filas duplas espaçadas de 16m. C. Filas dupla espaçadas de 22m. D. Pleno sol	40
Figure 2 – Radiação solar global diária (MJ m ⁻² dia ⁻¹) incidente sobre cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância	43
Figure 3 – Temperatura média diária do ar a 2 m de altura em cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância	45
Figure 4 – Temperatura média diária do ar das 9 às 17 horas a 2 m de altura em cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.....	46
Figure 5 – Temperatura média diária do ar das 22 às 6 horas a 2m de altura em cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.....	47
Figure 6 – Temperatura média diária das folhas, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t à 5% de significância.....	49

Figure 7 – Temperatura média das folhas das 9 às 17 horas, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t à 5% de significância.....	50
Figure 8 – Temperatura média das folhas das 22 às 6 h, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.....	51
Figure 9 – Temperatura do solo diária, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.....	52
Figure 10 – Temperatura do solo das 9 h às 17 h, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.....	53
Figure 11 – Temperatura do solo das 22 h às 6 h, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância	54
Figure 12 – Correlações entre temperatura do ar e da folha, temperatura do solo e do ar e temperatura do solo e da folha, considerando os dados de todos os tratamentos, pleno sol e sombreado nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018	55
Figure 13 – Correlações entre temperatura do ar e da folha, temperatura do solo e do ar e temperatura do solo e da folha, considerando os SAF de filas duplas de seringueiras espaçadas de 13, 16 e 22 m nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018	56

ARTIGO B	62
Figura 1 – Esquema de campo do experimento. A. Filas duplas espaçadas de 13m, destacando as estações meteorológicas instaladas na distância média entre filas duplas e sob as copas das seringueiras (sombra). B. Filas duplas espaçadas de 16m. C. Filas dupla espaçadas de 22m. D. Pleno sol	67
Figura 2 – Valores médios mensais de temperatura e totais de precipitação pluviométrica nos anos de 2015, 2016 e 2018 no local do experimento. Londrina, PR.....	72
Figura 3 – Biplot dos tratamentos de café, sombra, sol, 16 e 22 metros nos anos de 2015, 2016 e 2018 (<i>Coffea arabica</i> L.) formado pelos componentes F1(40,8%) e F2 (23,0%) da ACP. Londrina, Pr, 2015, 2016 e 2018	74
Figura 4 – Biplot dos tratamentos de café, sombra, sol, 16 e 22 metros nos anos de 2015, 2016 e 2018 (<i>Coffea arabica</i> L.) formado pelos componentes F1(40,8%) e F2 (23,0%) da ACP. Londrina, Pr, 2015, 2016 e 2018	76
Figura 5 – Configuração consenso dos tratamentos 16 metros, 22 metros, sombreado e pleno sol na safra de 2016	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação de Pearson para dados de composição físico-química dos principais compostos em cafés cultivados em SAFs e pleno sol.....	73
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UEL	Universidade Estadual de Londrina
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
PNUMA	Relatório do Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas
GEE	Gases de Efeito Estufa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	DESENVOLVIMENTO	16
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS ANTRÓPICAS GLOBAIS	16
2.1.1	Mudanças Climáticas Antrópicas No Brasil	17
2.2	A CULTURA DO CAFÉ	19
2.2.1	Origem.....	19
2.2.2	Ecofisiologia Em Cafeeiros Sombreados.....	21
2.3	A CULTURA DA SERINGUEIRA	22
2.4	SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	23
2.4.1	Sistema Agroflorestal De Cafeeiro.....	24
2.5	QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ E DA BEBIDA	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
3	ARTIGO A	35
	MICROCLIMA DE CAFEIROS EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM SERINGUEIRA	35
3.1	RESUMO.....	35
3.2	ABSTRACT	36
3.3	INTRODUÇÃO	37
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.4.1	Caracterização Da Área De Estudo.....	39
3.4.2	Medições Microclimáticas.....	39
3.5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	42
3.5.1	Radiação Solar Global.....	42
3.5.2	Temperatura Do Ar A 2 Metros De Altura.....	44
3.5.3	Temperatura Das Folhas	48
3.5.4	Temperatura Do Solo	52
3.6	CONCLUSÕES	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

4	ARTIGO B	62
	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE GRÃOS DE CAFÉ E	
	SENSORIAL DE BEBIDA EM CAFEIROS ARBORIZADOS COM	
	SERINGUEIRAS	62
4.1	RESUMO.....	62
4.2	ABSTRACT	63
4.3	INTRODUÇÃO	64
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	66
4.4.1	Caracterização Da Área Do Experimento.....	66
4.4.2	Preparo Das Amostras	67
4.4.3	Análises Físico-Químicas	68
4.4.4	Análise Sensorial	69
4.4.5	Torra Do Café.....	69
4.4.6	Preparo Das Bebidas.....	69
4.4.7	Seleção Dos Provadores	70
4.4.8	Análise Estatística	71
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.6	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	SUGESTÃO DE FUTUROS TRABALHOS	82
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café e o segundo maior consumidor do mundo, despontando como um dos maiores fornecedores mundiais de cafés, oferecendo variedade de cafés diferenciados por sua qualidade e formas de cultivo resultando em agregação de valores socioambientais. Originário das florestas da Etiópia, a adaptação da espécie *Coffea arabica* L. às condições de sombreamento favoreceram o cultivo em diferentes sistemas agroflorestais, prática esta, que é utilizada pela maioria dos países produtores. Esta técnica de produção tem sido interesse de recentes estudos devido suas inúmeras vantagens, entre elas a obtenção de bebida com melhor qualidade.

O sombreamento tem se mostrado benéfico, uma vez que o plantio de espécies arbóreas por meio de suas copas exerce proteção sobre os cafeeiros reduzindo a radiação solar e as temperaturas elevadas na lavoura. Entretanto, o sombreamento denso pode implicar em menor produção de café, mas a arborização em uma densidade menor de árvores é uma alternativa viável para o cafeeiro, pois fornece proteção térmica, redução da bienalidade, maior estabilidade da produção e retorno econômico ao produtor.

Estudos mostram que o sombreamento com diferentes espécies e espaçamentos adequados apresentam resultados satisfatórios quando comparados ao pleno sol. Em relação ao solo, a presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica em virtude da queda de folhas, conserva a umidade, reduz as perdas de nitrogênio (N), aumenta a capacidade de absorção e infiltração de água, reduz o risco de erosão e a incidência de plantas invasoras e estimula a atividade biológica.

O sistema agroflorestal destaca-se no Brasil como alternativa de combate ao aquecimento global, viabilizando a cafeicultura nas mesmas zonas de cultivo tradicionais, sem a necessidade de reduzir a área cultivada, além de expandir a cafeicultura para áreas marginais.

A proteção térmica dos cafeeiros resultante da arborização contribui tanto para atenuar altas temperaturas, quanto para proteção contra geadas em regiões mais frias, uma vez que o Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC) alerta para cenários futuros com intensificação de eventos extremos como: ondas de frio e calor, tornados, furações, secas prolongadas e chuvas intensas.

Outra grande vantagem atribuída aos sistemas agroflorestais de

cafeeiros é o incremento na qualidade da bebida. A diversidade entre a qualidade dos diferentes cafés está diretamente relacionada com a cultivar empregada, à forma de cultivo, aos processos de pós-colheita e de produção. Fatores como altitude, temperatura, demanda hídrica, tipos e níveis de adubação, maturação dos grãos, processos de torra, armazenamento e preparo de bebida influenciam diretamente a composição do café, definindo assim sua qualidade e aceitabilidade sensorial. Uma bebida de café considerada de qualidade está associada ao teor de proteínas, trigonelina, cafeína, melanoidinas, lipídeos, aminoácidos, carboidratos, ácidos carboxílicos e compostos fenólicos, esses compostos tem ainda papel importante nas propriedades funcionais da bebida.

Em condições climáticas com atenuação da radiação solar incidente sobre os cafeeiros, nenhum estudo de caracterização bioquímica de diterpenos foi realizado. Considerando que arborização do cafeeiro altera o microclima (temperatura, vento, disponibilidade hídrica), teor de matéria orgânica, maturação e tamanho dos frutos e qualidade da bebida, a identificação dos fatores relacionados à qualidade, se torna importante para caracterizar o desempenho atual e potencial de Sistemas Agroflorestais de cafeeiros.

A hipótese a ser testada neste trabalho é que existe efeito positivo de microclima sobre as características físico-químicas e sensoriais do café (*Coffea arabica* L.) em sistema arborizado. Assim, dependendo do aquecimento provocado pelas mudanças climáticas globais, o uso desta prática possibilitaria a produção café arábica nas áreas tradicionais de cultivo.

Para avaliar esta hipótese os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

Caracterizar a interferência das seringueiras sobre o microclima de cafeeiros.

Analisar os efeitos das seringueiras sobre o teor de compostos através de análises bioquímicas de diterpenos, açúcares totais e redutores, proteína, lipídeos totais, trigonelina, cafeína, ácidos clorogênicos e ácidos carboxílicos em frutos de cafeeiros.

Caracterizar a influência das seringueiras sobre a bebida do café empregando análise sensorial de Perfil Livre.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS ANTRÓPICAS GLOBAIS

Os desafios impostos pelas mudanças climáticas causam impactos em toda a sociedade num aspecto global e em todos os níveis de governo, constituindo-se na mais importante questão para almejar um ambiente saudável e protegido. A perspectiva de um futuro incerto traz um novo paradigma voltado à sustentabilidade ambiental, em que se possa contemplar não apenas o desenvolvimento econômico, mas também o desenvolvimento urbano sustentável em um nível seguro para a humanidade (CARVALHO et al., 2010).

Segundo dados do Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (PNUMA, 2020), haverá no planeta um aumento médio de temperatura entre 2,9°C a 3,4°C ainda neste século, mesmo se houver a implementação completa do Acordo de Paris. Em 2030, estima-se que as emissões deverão atingir 54 a 56 giga toneladas de dióxido de carbono, cerca de 12 a 14 giga toneladas acima dos níveis necessários para limitar o aquecimento global a 2°C em comparação com os níveis pré-industriais. O relatório recomenda então medidas adicionais, defendendo que os países ampliem em mais 25% as metas de redução de GEE, no esforço de conter a tendência crescente das emissões.

O comércio internacional exerce uma pressão especialmente nas áreas florestais, com aumento de incêndios florestais provocados por ações humanas em resposta à demanda global por alimento e energia (PNUMA, 2020).

O mais recente relatório do Painel Internacional sobre mudanças climáticas (IPCC), destaca que as emissões de gases de efeito estufa podem causar um aumento de temperatura superior a 1,5°C, mas que é possível limitar esse aquecimento mediante mudanças rápidas, de longo alcance e sem precedentes em todos os aspectos da sociedade, com vastos benefícios se comparados ao que pode vir a acontecer num cenário de aumento da temperatura igual ou superior a 2°C (IPCC, 2018).

A ciência atesta que os riscos futuros relacionados ao clima podem ser minimizados com a implementação dos projetos de mitigação e adaptação climática de longo alcance, aplicados de forma intersetorial. Se as ações antrópicas forem atenuadas e a elevação da temperatura se manter em 1,5°C, o aumento do

nível do mar ocorrerá de forma mais lenta e permitirá maiores oportunidades de adaptação dos ecossistemas. Por outro lado, se as emissões dos GEE forem mantidas elevadas, os impactos que ocorrerão serão irreversíveis e desastrosos, chegando a um limite onde a adaptação será impossível (IPCC, 2018).

É crescente o número de pesquisas que apontam necessidades de respostas ao enfrentamento das mudanças climáticas e que possam garantir resiliência nos sistemas ecológicos, entretanto, a maior incerteza sobre a projeção e alcance do aquecimento global reside no fato de que o uso dos modelos matemáticos e computacionais que projetam cenários e probabilidades com base em variáveis climáticas, não garantem precisão, uma vez que é impreciso as informações sobre a trajetória futura dos gases de efeito estufa ou como se darão as atividades vulcânicas ao longo do tempo, por exemplo (MÉLO, 2019).

2.1.1 Mudanças Climáticas Antrópicas no Brasil

As influências antrópicas sobre a natureza sempre provocaram danos ambientais, porém foi em meados do século XVIII, com a Revolução Industrial, que esses impactos sobre o meio ambiente atingiram uma escala global. As ações antrópicas resultam em impactos ambientais intensos (como o derretimento das geleiras e calotas polares), assim como em diversos processos biológicos, causam transformações tanto na superfície terrestre quanto na composição da atmosfera, contribuindo de forma significativa para os desequilíbrios ambientais e socioeconômicos (CARVALHO et al., 2010; HOUGHTON et al., 2001).

No caso do Brasil, 55% das emissões de GEE são derivadas das atividades de supressão e queima de vegetação de áreas florestadas e 25% de atividades agropecuárias, tendo as emissões originadas da queima de combustíveis fósseis e setor industrial. Quando os gases provenientes dos processos de desmatamento são considerados, o ranking do Brasil na classificação mundial dos maiores emissores de GEE passa da 17ª para a 5ª posição, o que se explica pela expansão da fronteira agrícola, que busca novas áreas de produção e exportação de soja. Entretanto, no que tange ao setor agropecuário, técnicas de produção mais conservacionistas, como o sistema de plantio direto por exemplo, podem estar contribuindo para mitigar os efeitos do aumento das emissões de GEE, por promoverem o sequestro de carbono no solo (IPCC, 2014; MATA et al., 2015).

Caso não se consiga reduzir ou pelo menos estabilizar as emissões antrópicas de GEE, a temperatura média do planeta continuará a aumentar, resultando em mudanças climáticas significativas para a manutenção da vida como a conhecemos. Os impactos do aquecimento global poderão ter amplos reflexos no meio ambiente. Além dos efeitos diretos da elevação da temperatura sobre os organismos, o aquecimento global poderá também afetar os padrões regionais de precipitação e de evapotranspiração, o que terá repercussão em todo regime hidrológico, biológico e agrícola, comprometendo o funcionamento dos ecossistemas e agroecossistemas pela alteração na oferta de serviços ambientais como disponibilidade de água, fertilidade e conservação do solo, biodiversidade, entre outros. Além disso, poderá ocorrer diminuição da produção de alimentos pela redução da produtividade das culturas, maior incidência de pragas e doenças e redução das áreas propícias para plantio (BAUMERT et al., 2005; HOSHINO et al., 2016; MOREIRA; GIOMETTI, 2008; REIS; SILVA, 2016).

O Brasil pode sofrer sérias mudanças climáticas nos próximos 50 anos, se não forem acionadas as medidas de monitoramento e preservação ambiental, bem como o estabelecimento de metas de redução de desmatamento e de liberação de gases causadores do efeito estufa. Os estudos realizados pelo INPE levaram em conta dois cenários: um pessimista e outro otimista. No primeiro, foi estimado que o desmatamento e a poluição se manterão na proporção em que ocorrem atualmente caso não sejam obedecidas as metas do Protocolo de Quioto. Nesse caso, nos próximos 50 anos, a temperatura na Amazônia poderia sofrer aquecimento entre 6 e 8 graus e redução da chuva em 20%. O cenário otimista considera uma sociedade ecologicamente correta, em que seria reduzidas a poluição e o desmatamento e seguido o Protocolo de Quioto. O aumento de temperatura na região amazônica não seria evitado, porém seria menor, entre 4 e 5 graus e a redução das chuvas ficaria entre 10% e 15% (IPCC, 2018).

2.2 A CULTURA DO CAFÉ

2.2.1 Origem

O café teve origem no continente africano, um arbusto perene que se desenvolveu em condições de sub-bosque nas florestas latifoliadas das regiões de Jimma e Kaffa, na Etiópia. Situadas na faixa equatorial, apresentam clima ameno em função da altitude (de 1600 a 2000 m). Com precipitações bem distribuídas, máximo 3 a 4 meses secos no inverno e um total anual que varia em torno de 1500 a 1800 mm (DAMATTA et al., 2007).

Pertencente ao grupo das fanerógamas, classe angiosperma, subclasse Eucotiledônea, ordem Rubiales, família das Rubiaceae, tribo *Coffeae*, Subtribo *Coffeinae* (GUERREIRO FILHO et al., 2008). De acordo com Bridson (1987) e Bridson (1984), o cafeeiro é classificado em dois gêneros: o *Coffea* L., composto pelos subgêneros *Coffea* e *Baracoffea*, e o *Psilanthus*, composto pelos subgêneros *Psilanthus* e *Alfrocoffea*.

Dentre as espécies presentes no subgênero *Coffea*, enquadram-se as mais importantes espécies de cafeeiros: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea liberica*, *Coffea dewevrei*, *Coffea klainii*, *Coffea congensis*, *Coffea racemosa*, *Coffea salvatrix*, *Coffea stenophylla*, *Coffea eugenoides*, *Coffea kapakata*, *Coffea humilis*, *Coffea sessiliflora*, *Coffea heterocalyx* e *Coffea anthonyi*, (CARVALHO, 2008). Dentre estas, somente *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex a. Froehner têm importância econômica, sendo que a primeira representa mais de 60% do café comercializado no mundo (CONAB, 2020).

Sabe-se que a bebida do café foi originalmente consumida com manteiga na Etiópia. No final do século XV, era consumido como bebida pelos países do Oriente Médio – Arábia Saudita e Iêmen. Na Europa do século XVII houve um aumento significativo do consumo e demanda de café. Formas alternativas de produção do grão de café foi uma atraente oportunidade de negócio, e a maior parte da produção vinha de colônias africanas que se tornaram produtoras de café. No final do século XVIII, 50% da produção mundial de café vinham de lugares fora do Oriente Médio e da África (LEMPS, 1998).

O hábito de beber café chegou no Brasil em 1720, com as

primeiras sementes e mudas no estado do Pará, onde o café começou a ser produzido na Amazônia para consumo local. O consumo interno aumentou progressivamente e por volta do ano de 1770, o café começou a ser produzido na região da cidade do Rio de Janeiro, que foi logo reconhecida como tendo condições adequadas para uma eficiente produção de café (BELTRÃO, 2018).

Cinquenta anos depois, o Brasil já era responsável por 20% das exportações de café do mundo (SIQUEIRA et al., 2006). Com o crescimento exponencial do consumo global e capacidade de produzir em grandes volumes, o Brasil tornou-se o maior exportador de grão de café, posição que mantém até hoje, uma vez que é responsável por cerca de 29% das exportações mundiais de café. Isso equivale a mais de 34 mil sacas, o que corresponde a US\$ 5,4 bilhões de receita (CECAFÉ, 2020).

Os Estados Unidos e a Alemanha são os principais importadores de grãos de café verde e processam para uso local ou exportam os produtos refinados com maior valor agregado. Esse método de posicionamento e cadeia de valor do café afeta a economia, a política e as organizações produtivas brasileiras. Uma vez que o grão do café dá origem à uma importante “commodity” agrícola, movimentando anualmente cerca de US\$ 90 bilhões, envolvendo 500 milhões de pessoas, e, somente no Brasil, sua cadeia produtiva ocupa mais de 20 milhões de pessoas nas atividades de cultivo, processamento pós-colheita, transporte e comercialização (AGRIANUAL, 2019).

No Brasil o cultivo majoritariamente está presente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás, que correspondem a cerca de 98,65% da produção nacional. Outros estados produzem 1,35% da safra: Acre, Ceará, Pernambuco, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal, Pará, Mato Grosso e Rio de Janeiro (CONAB, 2020).

Estes resultados devem-se principalmente ao aumento de 67,6 mil hectares da área em produção, à incorporação de áreas que se encontravam em formação e renovação e às condições climáticas mais favoráveis (CONAB, 2020). Em função dessa ocupação geográfica e da decorrente diversidade de climas e solos, o Brasil apresenta a vantajosa característica de produzir vários tipos de café, o que amplia sua capacidade de atender às mais diferentes exigências mundiais não só em quantidade, mas principalmente em qualidade, de modo a atender as peculiaridades do mercado consumidor global (EMBRAPA, 2004).

2.2.2 Ecofisiologia em Cafeeiros Sombreados

O sombreamento em cafeeiros pode causar alterações nas estruturas morfofisiológicas das plantas. Segundo Nascimento et al. (2006) o nível de radiação que chega às plantas pode afetar as características morfológicas e anatômicas das folhas, interferindo diretamente sobre o desenvolvimento, função e estrutura foliar. Neste mesmo estudo foram observadas significativas reduções na taxa fotossintética, na temperatura foliar, na condutância estomática e na relação entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (F_v/F_m) com aumento de sombreamento.

Conhecer os efeitos do sombreamento sobre a fisiologia de cafeeiros em sistemas sombreados é importante para se determinar os níveis ótimos de radiação e temperatura, visto que são nestes aspectos que residem às causas de diferentes atividades fotossintéticas da arborização sobre os processos fisiológicos, tanto no crescimento vegetativo, quanto no amadurecimento dos frutos (DAMATTA, 2004).

A exposição de plantas de café a altos níveis de radiação solar e com altas temperaturas, leva à redução da taxa fotossintética (MORAIS et al., 2003), além de causar dano fotoxidativo às folhas de café, que pode ser facilmente observado em cafés cultivados a pleno sol (DA MATTA, 2004).

Quando as plantas são expostas a um excesso de energia luminosa superior ao necessário para a fotossíntese, o resultado é um desequilíbrio energético que leva muitas vezes à fotoinibição, além de causar danos fotoxidativos as folhas de café, que podem ser comumente observados em cultivos a pleno sol (CHAVES et al., 2008).

O principal efeito do sombreamento sobre o microclima do cafeeiro é a atenuação da temperatura do ar em 2°C a 3°C (CAMARGO et al., 2008; PEZZOPANE et al., 2008). Coltri et al. (2012) encontraram menores temperaturas máximas em cafeeiros arborizados no Estado de São Paulo, inferindo que a arborização é capaz de atenuar a temperatura no microclima local, principalmente nos meses de seca (maio, junho, julho, agosto e setembro).

Valentini et al. (2010) avaliaram café arábica arborizado com seringueira em Mococa, São Paulo, e encontraram redução de até 3°C nos dias quentes, sem nebulosidade, nas estações da primavera e verão. Barradas e Fanjul (1986) avaliando café com Ingá (jinucuil) na região central de Vera Cruz, México,

encontraram temperatura máxima de 5,4°C, em média, menor durante o ano, no sistema arborizado quando comparado ao pleno sol.

Outros autores também observaram atenuação da temperatura nos sistemas sombreados na época seca, como Souza et al. (2012) em Minas Gerais, Pezzopanne et al. (2010) no Espírito Santo, Pezzopanne et al. (2007) em São Paulo e Lin (2007) no México. Morais et al., (2006), avaliando a temperatura do café sombreado com feijão-guandu (*Cajanus cajan*) no Paraná, encontraram redução de 4°C na temperatura do ar na época mais quente do ano.

Outra característica observada em cafeeiros sombreados quando comparados com cafeeiros a pleno sol é uma redução no número de ramos plagiotrópicos (MORAIS et al. 2003; KANTEN; VAAST, 2006). Este comportamento é confirmado por Larcher (2000), que reporta que as plantas que se desenvolvem sob alta radiação investem em crescimento de ramos. Baliza et al. (2012) também constataram um aumento na altura dos cafeeiros sombreados, mas com redução do diâmetro e número de ramos plagiotrópicos. Portanto, a síntese aumentada de fotoassimilados eleva o crescimento vegetativo (MELO et al., 2008).

A taxa de assimilação líquida de fotoassimilados em cafeeiros decresceu com a redução da disponibilidade de luz, conforme observado por Matos et al., (2008). Diferentes estudos fisiológicos e morfológicos em cafeeiros foram desenvolvidos em condições de atenuação da radiação solar em sistemas agroflorestais (MORAES et al., 2010; MARTINS et. al., 2013).

Assim, o uso de árvores pode ser uma boa opção para a redução das altas temperaturas e excesso de radiação, mas a interceptação da radiação pelas copas deve ser controlada, para que não haja sombra excessiva e reduções de produtividade (MOREIRA et al., 2018).

2.3 A CULTURA DA SERINGUEIRA

A seringueira pertence ao gênero *Hevea*, família *Euphorbiaceae* e compreende onze espécies, das quais a *Hevea brasiliensis* ((Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.) é a mais cultivada comercialmente e tem origem na região Amazônica brasileira (MORENO et al., 2003). São árvores de porte médio a grande, podendo atingir até 50 m de altura e 1 a 1,5 m de diâmetro (PIREZ et al., 2002). O principal produto extraído

da seringueira é o látex, que é utilizado para produção da borracha natural.

Devido ao interesse na borracha natural pelas indústrias automobilísticas, houve uma grande expansão da cultura para várias regiões do Brasil e América Central. Entretanto uma doença causada pelo fungo *Microcyclus ulei*, denominada de “mal-das-folhas”, tornou-se um grande problema, reduzindo a produção de látex e levando ao abandono de seringais (MATTOS et al., 2003). Assim, por falta de políticas adequadas, o Brasil se obrigou a importar aproximadamente dois terços das suas necessidades de látex de países do sudeste asiático, que respondem por 98% da produção mundial (MORCELI, 2004).

A seringueira possui madeira que também contribui para agregar valor de mercado, a qual depois do ciclo produtivo do látex, pode ser destinada para lenha, carvão e outros produtos como compensados, MDF, chapas de cimento-madeira e móveis. Recentemente pesquisas têm sido direcionadas para melhoramento de clones, visando a produção de látex e madeira (OKINO et al., 2004; MORAIS et al., 2014).

O Brasil possui tecnologia que viabiliza a exploração comercial das seringueiras, a área plantada é de aproximadamente 212 mil ha (IBGE, 2018), entretanto, existe a necessidade do plantio de seringais em áreas livres do ataque do fungo, que devem ser definidas por zoneamento de áreas climaticamente favoráveis (FURTADO et al., 2005).

2.4 SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Os sistemas agroflorestais (SAFs) podem ser definidos como sistemas de manejo sustentado da terra, por meio da combinação de espécies florestais com cultivos agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou consecutiva, utilizando a mesma área de terreno e práticas de manejo adotadas pela população local, visando benefícios ambientais e econômicos entre seus diferentes componentes (MEDRADO et al., 2000; KUMAR et al., 2011).

Os SAFs constituem um conjunto de procedimentos de uso e manejo dos recursos naturais, envolvendo as interações entre o clima, o solo, a vegetação e o homem (VALE et al., 2006). Comparado com o monocultivo, os SAFs se aproximam mais dos sistemas naturais, conferindo maior estabilidade da produção e

sustentabilidade ecológica (DANTAS, 1994). Pesquisas realizadas sobre as funções de produção e proteção ambiental dos SAFs subsidiaram as bases necessárias para eleger esses sistemas como formas sustentáveis de produção (NAIR et al., 2012).

As principais vantagens físicas e biológicas dos SAFs segundo Macedo (2000) são: redução dos riscos ao produtor pela heterogeneidade de seus componentes; exploração racional dos recursos naturais por meio da combinação de espécies com diferentes exigências hídricas, nutricionais e de luminosidade; maior controle da erosão; maior aproveitamento dos fertilizantes pela presença de sistemas radiculares que exploram várias camadas do solo; estímulo ao controle biológico de pragas e doenças; e fixação de carbono, contribuindo para mitigar o aquecimento global (OELBERMANN et al., 2004; TORRES et al. 2014).

O cultivo associado de árvores e arbustos com cultivos agrícolas e pastagens contribui para explorar o potencial de uso do solo, mantendo ou melhorando as propriedades físicas e químicas e recuperando o seu potencial produtivo. Além de aumentar a produção de alimentos, madeira, serviços ambientais, melhorar a qualidade de vida dos produtores e contribuir para adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas (RODRIGUES et al., 2007; MBOW et al., 2014).

Os bons resultados dos SAFs dependem de se estabelecer uma população ideal da espécie arbórea que permita a passagem da quantidade ideal de radiação solar para a cultura no estrato inferior, de forma a maximizar a produção econômica do sistema (MBOW et al., 2014).

2.4.1 Sistema Agroflorestal de Cafeeiro

Em um sistema agroflorestal as diferentes espécies de árvores são intencionalmente mantidas no sistema agrícola. “Sombreado” ou “arborizado” são termos utilizados para descrever sistemas de produção nos quais as árvores são mantidas ou plantadas no cafezal.

Diversos estudos conduzidos em sistemas de café sombreados ou arborizados tratam dos benefícios trazidos à cultura, como:

- Melhoria da qualidade do fruto e da bebida com a produção de

frutos maiores, de tamanhos uniformes e bebidas com melhor aroma e corpo;

- Aumento da eficiência do uso da água e do nitrogênio;
- Redução do índice de bienalidade ou seja, redução da variação de produtividade entre as safras sucessivas;
- Redução da infestação de plantas daninhas;
- Redução do ataque de bicho-mineiro;
- Redução da temperatura do solo e da velocidade de mineralização da matéria orgânica, permitindo seu acúmulo nas camadas mais superficiais;
- Nos casos de árvores leguminosas nodulíferas, a fixação de nitrogênio atmosférico e sua deposição no solo podem ser aproveitadas pelos cafeeiros;
- Redução dos extremos de temperatura no microclima do cafezal, que atenua ou mesmo elimina os danos causados por geadas ou por altas temperaturas como a escaldadura foliar;
- Manutenção da produtividade por planta, com sombreamento de até 30%, em comparação com o pleno sol.

Há uma tendência crescente em expandir o cultivo do café em terras marginais brasileiras, onde a escassez de água e temperaturas desfavoráveis pode restringir significativamente a produção agrícola. Assim, o uso de sombreamento é altamente aconselhável, pois permite rendimentos econômicos e torna o ambiente mais adequado para a cultura (DAMATTA et al., 2002).

Considerando um futuro com as condições extremas previstas nos cenários de mudanças climáticas brasileiras (PBMC, 2013), os sistemas agroflorestais de cafeeiros são técnicas de mitigação e adaptação. Lin, (2007) ressalta que em face do aumento da variabilidade climática descrita nos relatórios do IPCC (2007), a presença de árvores em cafezais gera benefícios ecológicos e uma estabilidade no microclima.

A associação entre um componente arbóreo e o cafeeiro resulta em uma série de benefícios para todo o sistema de produção como: maior vigor vegetativo e longevidade dos cafeeiros, redução das diferenças do ciclo bienal da produção, bebida de melhor qualidade (aroma e sabor), manutenção de um microclima adequado para o cultivo, redução da erosão e aumento da fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes e conteúdo da matéria orgânica do solo, redução da perda de água do

solo e plantas, redução da incidência de algumas doenças, pragas e ervas daninhas, recuperação de áreas degradadas, preservação do meio ambiente, elevação da receita líquida do sistema de produção por meio da diversificação da renda do agricultor (FERNANDES, 1986; VAAST et al., 2002).

Diferentes estudos apontam que, com a introdução de espécies de porte mais alto que o cafeeiro, ocorre atenuação das temperaturas mais elevadas durante o dia. A magnitude dessa atenuação depende da população das árvores associadas ao cafezal e da densidade das suas copas. A interceptação da radiação solar por árvores deve ser moderada, já que a sombra excessiva pode levar a reduções no rendimento da colheita (MOREIRA et al., 2018). Diversas espécies de hábitos de crescimento arbustivo e arbóreo, incluindo *Grevillea robusta* (grevílea), *Leucena leucocephala* (leucena), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Cajanus cajan* (gandu) têm sido estudadas (CARAMORI et al., 1999; MORAIS et al., 2006).

Moreira et al. (2018) mostraram que em sistema agroflorestal de café com macaúba houve aumento de produtividade quando comparados a sistemas a pleno sol, assim como aumento na atividade fotossintética em temperaturas máximas inferiores a 30°C. Os autores concluíram que este sistema de café com macaúba pode ser uma estratégia de adaptação a futuras variações climáticas e mudança relacionada a altas temperaturas e redução das chuvas.

Com o objetivo de minimizar elevadas temperaturas Hugo et al. (2004) desenvolveram a técnica do túnel de gandu para implantação da lavoura de café. Em estudos realizados no norte do Paraná, o gandu gigante foi semeado em outubro e em fevereiro fez-se o plantio das mudas de café sob o gandu. Nessa fase o ambiente sombreado, com redução de radiação solar incidente e com a demanda evaporativa baixa, viabilizou-se o sucesso germinativo total das mudas. No inverno seguinte o sistema ofereceu proteção contra geadas evitando perdas (MORAIS et al., 2006).

Os sistemas arborizados permitem outras vantagens como maior capacidade de fixação do carbono pelas árvores associadas ao café, pois o carbono fixado por espécies perenes permanece na biomassa por um maior período comparado com cultivos de ciclos anuais (HAGER, 2012).

Árvores de seringueira provocam alterações no microclima do cafeeiro, com reflexos na fisiologia e morfologia das plantas proporcionais ao nível de competição. Oliveira et al. (2004, 2006) mediram características anatômicas e trocas gasosas em plantio de café com seringueira, com o intuito de verificar alterações

fisiológicas nas plantas em consórcio. Concluíram que houve redução na radiação solar e nas temperaturas, diminuindo assim a demanda evaporativa e favorecendo o processo fotossintético do cafeeiro. Esse sistema de cultivo não alterou a anatomia foliar dos cafeeiros na fase inicial de implantação, indicando baixa competição por luz.

O sistema de plantio de café com seringueira reduz a amplitude térmica durante todo o ano, com aumento nas temperaturas mínimas durante o inverno de até 2 °C, e redução das temperaturas máximas no verão de até 3 °C nos dias mais quentes. Essas reduções foram registradas durante a primavera e verão, quando ocorrem a floração e frutificação, estágios fenológicos críticos para o cafeeiro (VALENTINI et al., 2010).

2.5 QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ E DA BEBIDA

Muitos são os estudos que avaliam os efeitos do sombreamento sobre as características físico-químicas e sensoriais de qualidade da bebida do café. Scholz et al. (2013) estudaram os efeitos ambientais sobre cultivares de cafés desenvolvidas pelo IDR-Paraná em condições de cultivo em dois ambientes, sombreado e a pleno sol, observaram diferenças nas características sensoriais relacionados com aroma, sabor, textura e aparência e que permitiram diferenciar cafés de duas localidades.

É crescente o interesse da comunidade científica em relacionar os diferentes tipos de café com sua composição química, pois a qualidade do café está diretamente relacionada com suas características de sabor e aroma (DART; NURSTEN, 1985; CARVALHO et al., 1994).

A qualidade do café relaciona-se diretamente aos vários componentes físicos e químicos que são responsáveis pelo aspecto do grão torrado, sabor e aroma de bebidas. Entre estes compostos destacam-se os constituintes voláteis, compostos fenólicos (ácidos clorogênicos) (PEREIRA et al., 2010).

Estudos demonstram relação entre alguns componentes químicos do grão beneficiado e a qualidade do café. Por meio da composição química elementar de grãos de café, Tagliaferro (2003) distinguiu cafés cultivados sob diferentes sistemas de produção (orgânico e convencional), enquanto Moreira (2004) diferenciou cafés orgânicos sombreados dos cafés orgânicos a pleno sol.

Ainda há muito que compreender sobre os efeitos da arborização

sobre bebida e a planta do cafeeiro, principalmente em relação às espécies de árvores, manejos e densidades de sombreamento.

O microclima dos sistemas de cultivo influencia a formação dos compostos físico-químicos dos grãos do cafeeiro, com impacto direto na qualidade da bebida do café. Altas temperaturas são prejudiciais para o cafeeiro e o uso da arborização promove melhoria no microclima (temperatura, vento, disponibilidade hídrica), níveis e tipo de adubação, maturação e tamanho dos frutos, que por sua vez melhora a qualidade da bebida (LUNZ et al., 2005; VAAST et al., 2006).

Dentre os compostos químicos do café que mais influenciam na qualidade da bebida, destacam-se os lipídios e os ácidos clorogênicos. Cerca de dez a vinte por cento da fração lipídica do café corresponde a diterpenos, e os frutos de cafeeiros são os únicos capazes de sintetizar os diterpenos cafestol, caveol e seus compostos derivados (CAMPOS 2010).

Os ácidos clorogênicos correspondem a cerca de cinco a dez por cento dos compostos não-voláteis (JOËT et al., 2010). Tanto os diterpenos como os ácidos clorogênicos são conhecidos por suas propriedades antioxidantes (LEE; JEONG, 2007).

O ambiente de cultivo também pode ter efeito na síntese de ácidos clorogênicos (JOËT et al., 2009), porém não existe estudos da influência dos sistemas agroflorestais na síntese de diterpenos, açúcares e ácidos clorogênicos do café, bem como na expressão gênica de genes-chave relacionados a síntese desses compostos.

Os diterpenos e os ácidos clorogênicos são compostos secundários derivados dos isoprenóides e fenilpropanóides, respectivamente. Entre as famílias gênicas mais importantes envolvidas na síntese destes compostos estão as citocromo P450, conforme revisado por Pinot et al. (2010) e Mizutani et al. (2011).

Dentre os compostos fenólicos do café, os ácidos clorogênicos são um conjunto de cinco grupos principais de compostos fenólicos e seus isômeros formados, principalmente, pela esterificação do ácido quínico com um dos seguintes ácidos derivados do ácido cinâmico: o ácido cafeico, o ferúlico, ou o p-cumárico (MONTEIRO; TRUGO, 2005).

Segundo Moreira et al. (2005) os ácidos clorogênicos sofrem intensa degradação térmica durante o processamento do grão, gerando uma série de compostos voláteis, importantes para o flavor da bebida, como os derivados de piridina e do pirrol, oriundos da trigonelina e compostos fenólicos oriundos dos clorogênicos.

Pesquisas demonstram uma relação direta entre a qualidade sensorial do café e os níveis de ácidos clorogênicos, no intuito de reduzir a subjetividade nos processos de classificação da bebida do café. Dentre os trabalhos realizados, Angnoletti et al. (2015) verificaram uma maior acidez em amostras de café do tipo bebida mole de qualidade superior e menor acidez na amostra rio zona de baixa qualidade, sugerindo que dentro das classificações de café arábica, maior acidez foi encontrada em um café de melhor qualidade.

Os polissacarídeos, lipídios e proteínas são os principais constituintes do café verde, e os componentes como, cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, açúcares livres (principalmente sacarose), aminoácidos livres, são uma importante fonte de aroma de café (PREDY, 2015).

O teor de cafeína de grãos de café verde varia de acordo com a espécie. O café robusta contém cerca de 2,2-2,8% de cafeína, e o café arábica cerca de 0,6-1,2% (PREDY et al., 2015; ESQUIVEL et al., 2012). Entre os diversos compostos a sacarose, cafeína e trigonelina são geneticamente controladas (SCHOLZ et al., 2013).

Com relação ao aspecto sensorial, a cafeína é um dos principais responsáveis pelo sabor amargo no café, também associado à presença de trigonelina e compostos fenólicos (SCHOLZ, 2008).

Os frutos são classificados de acordo suas características físicas, como uniformidade, forma, tamanho e cor (JUNIOR & CORRÊA, 2003), sendo estas características importantes para agregação de valor ao produto. Contudo, períodos prolongados de estiagem ou veranicos em período de chuva afetam inteiramente os aspectos físicos dos frutos durante sua fase de granação (janeiro-fevereiro) contribuindo para uma má formação, maturação forçada e maior susceptibilidade a ataque de pragas e doenças (MATIELLO, 2014).

Além da disponibilidade hídrica, o sombreamento também afeta a qualidade do café. A redução de radiação solar sob estas plantas amenizam os efeitos de estresses da exposição ao sol e contribuem na melhoria dos aspectos físicos e químicos dos grãos (SOUZA, 2010; SILES et al. 2010). Deste modo, influenciam no valor do produto no mercado, agregando maior lucro ao produtor.

A qualidade da bebida do cafeeiro depende principalmente das operações anteriores ao beneficiamento, tais como tipo de colheita, estágio de maturação dos grãos e preparo e secagem do café (CLIFFORD, 1985). Além disso,

condições de altas temperaturas, seguidas de períodos de estiagem prolongada na fase final do enchimento dos grãos, poderão ocorrer maturação precoce dos mesmos. A precocidade na maturação é um dos fatores responsáveis pela perda da qualidade do café devido ao seu efeito no metabolismo do ácido clorogênico e do triptofano (CORTEZ, 2001).

Estudos desenvolvidos na Costa Rica em dois regimes de produção de café arábica indicaram redução na produção de café em cerca de 18% em sistema sombreado. Todavia, o sombreamento afetou positivamente a redução da alternância de produção, o tamanho e composição dos grãos, bem como a qualidade da bebida.

O cultivo a pleno sol condicionou maior amargor e adstringência da bebida de café (VAAST et al., 2006). Outras características sensoriais como fragrância, aroma e acidez foram beneficiadas pelo sombreamento (BOSELNANN et al. 2009).

A qualidade da bebida em trabalhos realizados na Tailândia com café arábica, apontaram os efeitos do sombreamento sobre a qualidade física, conteúdo de açúcares, compostos fenólicos e também na atividade de antioxidantes dos grãos de café e os principais benefícios do sombreamento foram: maior peso dos grãos, maior tamanho dos grãos, alta atividade, antioxidantes e conteúdo de compostos fenólicos totais e maior conteúdo de ácidos clorogênicos (SOMPORN et al., 2012).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, G. A.; RICCE, W. S.; CARAMORI, P.H.; ZARO, G. C.; MEDINA C. C. Zoneamento agroclimático de café robusta no Estado do Paraná e impactos das mudanças climáticas. *Semina: Ciências Agrárias*. Londrina, v. 33, n. 4, p. 1381-1390, jul./ago. 2012
- BALIZA, D.P.; CUNHA, R.L.; GUIMARÃES, R.J.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; ÁVILA F. W. PASSOS, A. M. A. Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.1, p.37-43, mar. 2012.
- BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de Carbono. Centro Científico Conhecer, Goiânia, Enciclopédia Biosfera. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009/sequestro.pdf>, N.07, 2009, ISSN 1809-058351>. Acessado em: 18 set. 2018.
- BELTRÃO, A. F. História completa café no Brasil. *Revista Cafeicultura*, 2018. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/?mat=66568>. Acessado em 10 dez. 2020.
- BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. (Eds.). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2. CARAMORI, P H; HUGO, R. G. Efeito de guandu no microclima em cafeeiro em formação sob condições de alta temperatura e deficiência hídrica. **Agroecologia Hoje**. Botucatu SP, v. 1, n.23, p. 14-16, 2004.
- CARAMORI, P. H.; KATHOUNIAN, C. A.; MORAIS. H.; LEAL, A. C.; HUGO, R. G.; FILHO, A. A. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. **Arborização de Cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista - Bahia: Uesb, 2004. p. 21-41.
- DA MATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Amsterdam, Holanda, vol.18, n.1, p. 55-81, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- DA MATTA. F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research**, Amsterdam, Holanda, v. 86, n. 2, p. 99 – 114, 2004.
- DANTAS, M. Aspectos ambientais dos sistemas agroflorestais. In: **CONGRESSO BRASILEITOS DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS**, 1, 1994, Porto velho. Anais...

Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v.2, p. 443-453.

FAO (2018) Climate-smart agriculture sourcebook. **Food and Agriculture Organization**, Rome, 570 p.

FERNANDES, T. J. G.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea sp.*, aos 12 anos de idade, na Zona da Mata mineira. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 657-665, 2007.

FURTADO, E. L.; TRINDADE, D. R. Doenças da seringueira. In: AMORIM, L.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V.D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V. C.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**. v. 45, p. 274–283. 2010.

GATTO, A.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E.M. de A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:735-740, 2009.

KANTEN, R.V.; VAAST, P. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.67, n.2, p.187-202, 2006.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, jan. 1980.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. **São Carlos**: Rima, 2000. 531 p.

LARCHER, W. **Ecologia Vegetal**. Tradução: Carlos H. B. A. Prado. São Paulo: RiMa, 2000.

LOPES, P. R.; LOPES, K. C. S. A.; KAGEYAMA, P. Y. Reconstruindo paisagens com sistemas agroflorestais abordagens conceituais e experiências de produção sustentável com café ecológico, Ciência e Tecnologia (OLAM), **UNESP**, Rio Claro, 2015.

MACEDO, R.L.G.; OLIVEIRA, T.K.; VENTURIN, N.; GOMES, J.E. Introdução de clones de seringueira no Nordeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, v.8, n.1, p.124-133, 2002.

MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA, D.; MARUR, C. J.; STIVARI, S. M. S.; LECLERC, M.; WAGNER-RIDDLE, C. Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the northwestern region of the Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringa-PR, v. 36, n. 2, p. 239 – 245, jun. 2014.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1997.

MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A. E.; ALMEIDA, S. R.; CAMARGO, A. P.; GUIMARÃES, E. S. Arborização com grevilea, em variados espaçamentos, no controle às geadas, em cafezais. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 20, 1994, Guarapari, ES. **Trabalhos apresentados...** MARA/Procafé, Guarapari, 1994, p.4-5.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Podas. In: Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: **MAPA/PROCAFÉ**, 2002. p. 256-274.

MATSUMOTO, S. N. (Org.). Arborização de Cafezais no Brasil. **UESB**. Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. 212 p. 2004.

MATSUMOTO, S. N.; FARIA, G. O.; VIANA, A. E. S.; PINTO, P. R. S. Efeitos do sombreamento de grevileas em cafezais no sudoeste da Bahia, Brasil. In. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., v.2, 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** EMBRAPA/Café, Poços de Caldas, 2000, p. 1010-1014.

MATTOS, C. R. R.; GARCIA, D.; PINARD, F.; LE GUEN, V. Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília – DF, v. 28, n 5, p. 502-507, out. 2003.

MEYLAN, L.; GARY, C.; ALLINNE, C.; ORTIZ, J.; JACKSON, L.; RAPIDEL, B. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 245, p. 32–42, 2017.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUSHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.41, n. 5, p.763 – 770, maio 2006.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.

Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, out. 2003.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Chapa Aglomerada de Cimento-madeira de Hevea brasiliensis Müll. **Arg. Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 451-457, 2004.

ORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. v.1, 3ª ed. Nova Odessa. **Editora Plantarum**, 352p, 2000.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v.25, n. 1, p. 13-17, 2003.

TEIXEIRA, D. E.; ALVES, M. V. S.; COSTAS, A. F.; SOUSA, N. G. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de Seringueira (Hevea brasiliensis Müell. Arg.) tratadas com CCA. **Floresta e ambiente**, v.8, n.1, p.18 - 26, jan./dez. 2001.

3 ARTIGO A

MICROCLIMA DE CAFEEIROS EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM SERINGUEIRA

3.1 RESUMO

A espécie *Coffea arabica* apresenta baixa tolerância a temperaturas extremas, por ter se originado de ambiente de sub-bosques. Excessos de temperatura podem causar reduções de produtividade e diminuir a qualidade dos grãos e da bebida. Com as mudanças climáticas, poderá haver aumentos de temperatura que inviabilizem o cultivo em áreas tradicionais. Os sistemas agroflorestais são uma alternativa para contribuir para a adaptação do café arábica e continuar produzindo nas regiões atualmente indicadas. Assim, neste estudo foram avaliados sistemas agroflorestais (SAFs) de seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos e café, em Londrina PR. No período de 2015 a 2018 foram realizadas medições contínuas de radiação solar global, temperatura do ar e temperatura do solo no experimento. Os resultados mostraram que a presença das seringueiras afetou o microclima, reduzindo as temperaturas extremas e diminuindo as temperaturas médias do ar, das folhas e do solo. As temperaturas das folhas e do solo mostraram efeito mais evidente das alterações do microclima do que a temperatura do ar a 2 m, devido ao tamanho limitado das parcelas experimentais. Conclui-se que este sistema pode contribuir para a adaptação dos cafezais a um ambiente de temperaturas mais elevadas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Temperatura. Arborização.

3.2 ABSTRACT

The species *Coffea arabica* has a low tolerance to extreme temperatures, as it originated from an understory environment. With climate change, there may be increases in temperature that make cultivation in traditional areas unfeasible. Agroforestry systems are an alternative to contribute to the adaptation of Arabica coffee and to continue producing in the regions currently indicated. Thus, in this study agroforestry systems (SAF) of rubber trees planted in double rows with different spacing and coffee were evaluated in Londrina, PR, Brazil. From 2015 to 2018, continuous measurements of global solar radiation, air temperature and soil temperature were performed in the experiment. The results showed that the presence of rubber trees affected the microclimate, reducing extreme temperatures and decreasing the average temperatures of air, leaves and soil. It is concluded that this system can contribute to the adaptation of coffee plantations to a higher temperature environment, in order to continue producing in traditional regions.

Key words: *Coffea arabica*. Rubber tree. Spacing. Microclimate.

3.3 INTRODUÇÃO

No Brasil, a variabilidade climática é apontada como a principal responsável por oscilações e frustrações de safra do café (Camargo et al, 2010). Diante do cenário esperado de mudanças climáticas globais com possíveis impactos sobre a produtividade em grandes áreas, tornaram-se relevantes os estudos que apontam alternativas viáveis para a expansão e manutenção da cultura do café.

As variáveis climáticas que mais comprometem o crescimento e a produção de *Coffea arabica* são as oscilações da temperatura média anual, a disponibilidade de luz e hídrica (CARMARGO et al., 2010). De acordo com o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), são precisamente essas as variáveis mais propensas a serem alteradas no futuro, o que constitui um risco para a cafeicultura brasileira.

As propostas de mitigação para as possíveis consequências das mudanças climáticas têm sido associadas a intervenções no microclima. Dentre as alternativas, a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) vem ganhando destaque como uma estratégia para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre culturas agrícolas, entre elas, o cafeeiro (Venturin et al., 2013), por meio da atenuação da radiação solar (PEZOOANE et al., 2010) e temperatura do ar (PEZZOPANE et al., 2010; VALENTINI et al., 2010), contribuindo assim também para a melhor eficiência de utilização da água no sistema. Os sistemas agroflorestais podem, ainda, melhorar a qualidade física do solo (Aguiar et al., 2008) e proporcionar uma renda mais estável ao agricultor, gerada pelos produtos das espécies arbóreas no sistema.

Até a década de 1960 o cultivo de cafezais em sistema de agrofloresta era comum nas regiões norte e nordeste do Brasil (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006). Entretanto, eram sistemas com alta densidade de espécies arbóreas e associados frequentemente à baixa produtividade do cafeeiro, o que levou ao declínio da prática.

Porém, na década de 1970 houve uma ascensão da técnica, com a introdução do termo arborização, relacionado ao sombreamento moderado e com expectativas de trazer benefícios para o cafeeiro (CARAMORI et al., 2004). Assim, surgiu a necessidade de estudos envolvendo diferentes espécies arbóreas e variados espaçamentos, a fim de se buscar potencializar os benefícios dos sistemas agroflorestais aos cafeeiros e sua adequação às peculiaridades regionais, sem que

houvesse a redução da produtividade da cultura.

A associação entre um componente arbóreo e o cafeeiro resulta em uma série de benefícios para todo o sistema de produção como: maior vigor vegetativo e longevidade dos cafeeiros, redução das diferenças do ciclo bienal da produção, bebida de melhor qualidade (aroma e sabor), manutenção de um microclima adequado para o cultivo do café, redução da erosão do solo, aumento da fertilidade, ciclagem de nutrientes e conteúdo da matéria orgânica do solo, redução da perda de água do solo e plantas, redução da incidência de algumas doenças, pragas e ervas daninhas, recuperação de áreas degradadas, preservação do meio ambiente e elevação da receita líquida do sistema de produção por meio da diversificação da renda do agricultor (VAAST et al., 2002).

Dentre as diversas espécies vegetais com potencial de compor um sistema agroflorestal, destaca-se a seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell), em especial pelo seu sistema radicular bastante desenvolvido tanto lateral como verticalmente, bem como se favorecer dos fertilizantes não aproveitados pelo cafeeiro e reciclá-los anualmente por seu caráter caducifólio, beneficiando ao cafeeiro e ao sistema como um todo. Também, através de suas copas altas e sombras, as seringueiras servem de proteção ao cafeeiro contra ventos frios, geadas e altas temperaturas (MATIELLO et al., 1985). O sistema agroflorestal de cafeeiro com seringueira é utilizado com vantagens para ambas as culturas, especialmente em regiões produtoras de borracha e café (PEREIRA et al., 1994).

Portanto, o conhecimento das amplitudes das modificações microclimáticas nos sistemas arborizados em cafeeiros é importante para se ter evidências de seus efeitos sobre a produção e a qualidade do café. Isso auxilia no correto manejo da técnica, de forma que haja consonância e potencialização dos fatores climáticos e produtivos. Assim, o presente trabalho objetivou caracterizar a interferência da seringueira no microclima de cafeeiros comparados com cafeeiros cultivados a pleno sol.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da área de estudo

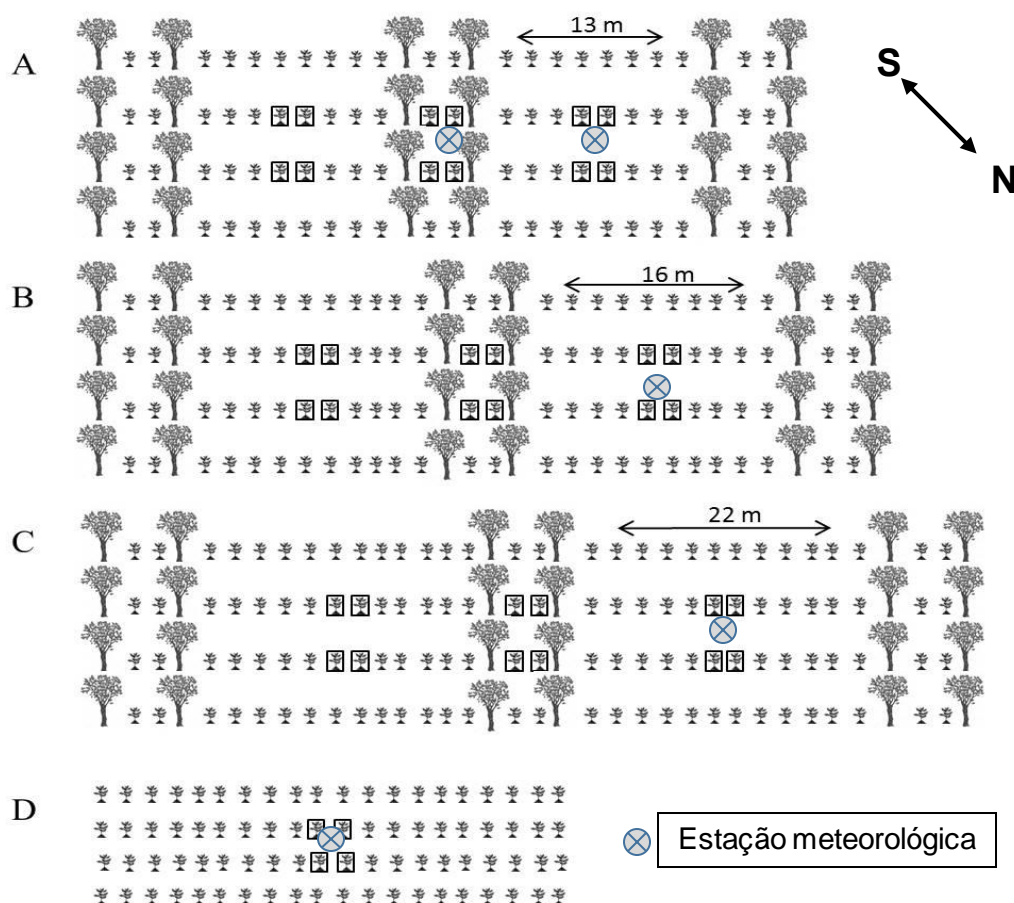
O trabalho foi conduzido em uma área de sistema agroflorestal (SAF) de café com seringueira plantada em filas duplas, em diferentes espaçamentos, na fazenda experimental do IDR-Paraná em Londrina, PR (altitude 585 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W). De acordo com Embrapa (2013), o solo local é um Latossolo Vermelho Distroférico. O clima é classificado como CFa - subtropical úmido com verões quentes, de acordo com a classificação de Koppen. Registros locais apresentam temperatura média anual de 21,1°C, média do mês mais quente de 23,9°C em janeiro e média do mês mais frio de 16,9°C em julho. A precipitação média anual é 1.641mm, com concentração dos meses mais chuvosos em dezembro, janeiro e fevereiro, e meses mais secos em junho, julho e agosto (IAPAR, 2020).

A Figura 1 ilustra a área experimental, mostrando as filas de seringueira e as estações meteorológicas instaladas no interior da área consorciada. Os cafeeiros eram da cultivar IAPAR 59, plantados no espaçamento de 2,5 m por 0,80 m, com uma planta por cova. As seringueiras do clone PB 235 foram plantadas em filas duplas perpendiculares às linhas de café, espaçadas de 4,0 m por 2,5 m, com espaçamento de 13, 16 e 22 m entre as filas duplas. Em área contígua implantou-se simultaneamente uma parcela de cafeeiros expostos a pleno sol para comparação. Durante o período avaliado os cafeeiros tinham em torno de 1,5 a 2,0 m de altura e as seringueiras 18 a 20 m de altura.

3.4.2 Medições microclimáticas

Foram instaladas cinco estações meteorológicas automáticas, sendo uma entre as linhas das filas duplas de seringueira (sombreado), outra na entrelinha dos cafeeiros a pleno sol e as outras entre as filas duplas espaçadas em cada um dos espaçamentos de 13 m, 16 m e 22 m (Figura 1).

Figure 1. Esquema de campo do experimento. A. Filas duplas espaçadas de 13m, destacando as estações meteorológicas instaladas na distância média entre filas duplas e sob as copas das seringueiras (sombra). B. Filas duplas espaçadas de 16m. C. Filas dupla espaçadas de 22m. D. Pleno sol.



Fonte: O próprio autor

Foram avaliadas as variáveis radiação solar global, temperatura do ar, temperatura da folha e temperatura do solo, em cafeeiros cultivados em SAF com seringueira e a pleno sol no período de 2015 a 2018. A seguir são descritas as condições em que foram realizadas as medições.

Radiação solar Global - Os sensores utilizados para medir radiação global foram piranômetros, que são fotodiodos compostos por células de silício, produzidos pela LI-COR (Modelo LI200X), com um espectro sensível de 0,2 kW.m⁻² mV⁻¹. Antes da instalação dos sensores, procedeu-se a sua calibração, colocando-os lado a lado e ajustando-os com medições de um radiômetro Keep-Zonen modelo CMP 6. Os sensores foram posicionados na linha dos cafeeiros, entre plantas, acima das copas

dos cafeeiros.

Temperatura do ar - Foram realizadas medições contínuas de temperatura do ar a 2 m de altura, com termopares de cobre-constantan, no interior de abrigo de pratos sobrepostos.

Temperatura da folha - Sensores termopares de cobre-constantan foram fixados com um prendedor na página inferior de folhas orientadas para o sentido norte e situadas no terço superior das plantas de cafeeiros, correspondendo ao segundo par de folhas completamente desenvolvidas de um ramo plagiotrópico a partir da extremidade.

Temperatura do solo - A temperatura do solo foi medida por meio de sensores do tipo termistor posicionados no solo a 10 cm de profundidade, na projeção da copa e na face norte das plantas de cafeeiros.

O período de coleta de dados foi de janeiro de 2015 a dezembro de 2018. As leituras foram realizadas a cada 10 segundos, obtendo-se médias a cada 15 minutos, as quais foram armazenadas em um datalogger (ref. com. Campbell Sci. Datalogger 21X).

Foi realizada uma consistência rigorosa dos dados, eliminando dados duvidosos (extremos positivos ou negativos, mau contato de sensores). No caso de mau funcionamento de um dos sensores por um período, todos os tratamentos foram desconsiderados, de maneira que somente foram mantidos os dias em que todos os tratamentos tinham dados completos e consistidos.

A seguir os dados foram processados para se obter as temperaturas médias em 24 horas, no período diurno entre 10 e 16 horas e no período noturno entre 22 e 6 horas.

Realizou-se a análise estatística para comparar os resultados e verificar se houve significância estatística, utilizando o software Statistica versão 12. Os tratamentos foram comparados 2 a 2 por meio do Teste de Correlação Linear “r” de Karl Pearson e Teste “t” de Student a 5% de significância.

3.5 RESULTADO E DISCUSSÃO

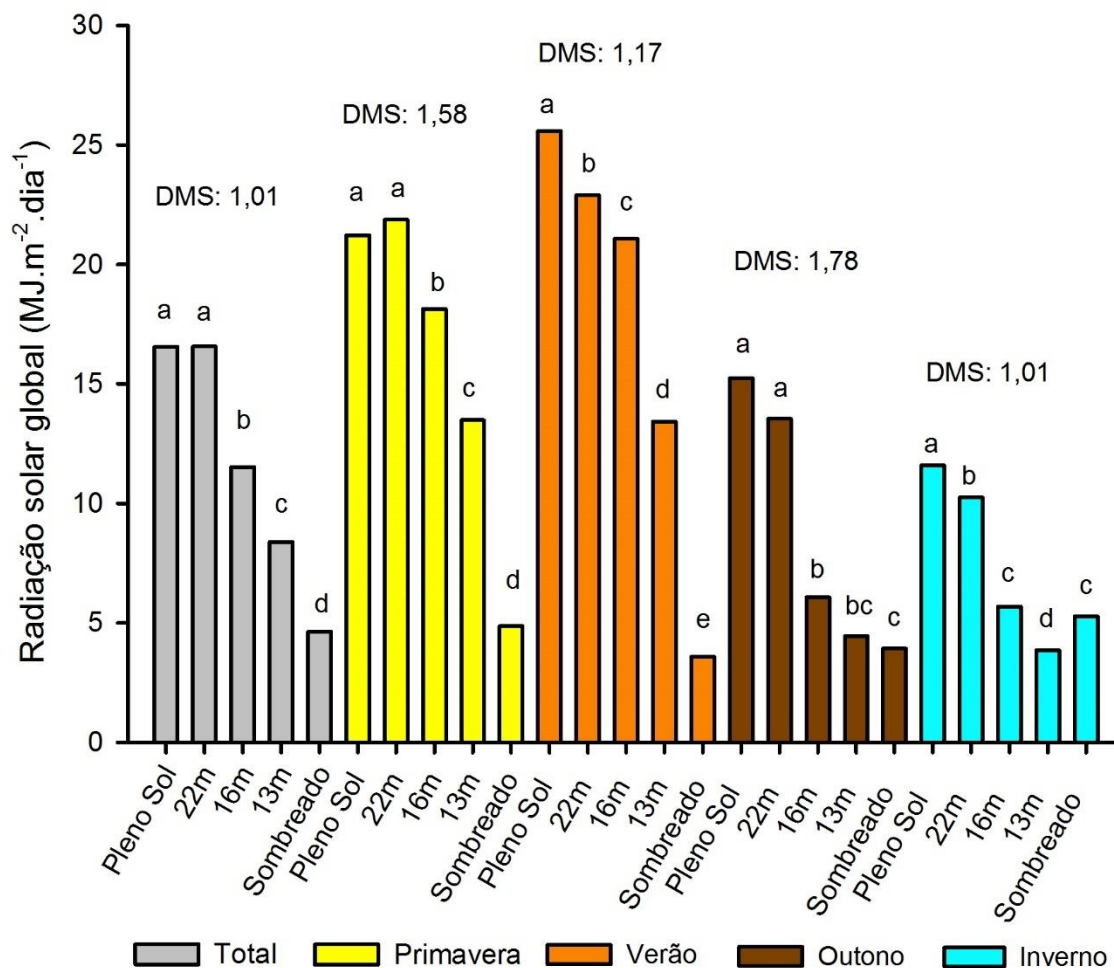
3.5.1 Radiação solar global

A Figura 2 mostra os dados médios de radiação solar global (MJ m^{-2} dia $^{-1}$) incidente nas áreas de cafeeiros a pleno sol, dentro das filas duplas (sombreado) e entre filas duplas espaçadas de 13 m, 16 m e 22 m, avaliadas durante todo o ano (total) e nas quatro estações do ano.

Com exceção das estações de verão e inverno, não houve diferenças na radiação incidente entre o pleno sol e 22 m. Para os demais, em geral se observa uma redução gradual da radiação incidente, mostrando o efeito de sombreamento progressivo das filas duplas de seringueira.

Segundo Hardy et al. (2004), o ângulo de incidência da radiação solar varia de acordo com a sazonalidade. Assim, a descontinuidade de cobertura vegetal nos sistemas arborizados e o movimento da terra em relação ao sol causaram variação da radiação solar que atingiu os cafeeiros arborizados (Figura 2).

Figure 2. Radiação solar global diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) incidente sobre cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.



Fonte: O próprio autor

Farfan-Valencia et al. (2003) relatam que em cultivos arborizados de café, a transmissividade da radiação solar está relacionada com a época do ano, arquitetura da planta sombreadora e o arranjo espacial utilizado, confirmando os resultados obtidos na Figura 2, que mostraram diferenças dentro do sistema consorciado, em que houve variações na interceptação durante o ano, devido à variação na declinação solar e projeção de sombra nos tratamentos e da desfolha das seringueiras, ocorrido a partir do final do outono até o início da primavera. Em média, os percentuais de interceptação foram: sombra - 72,0%; 13m - 49,3%; 16m - 30,3%; 22m - 0%. Normalmente se recomenda uma interceptação máxima da radiação incidente entre 30 a 50%, pois além desse limite os estudos mostraram prejuízos na

produção de café (MORAIS et al., 2006). Portanto, o tratamento sombreado não seria viável à produção de café, corroborando com os primeiros estudos de café sombreado no Brasil, em que se concluiu que o excesso de sombra era prejudicial (CARAMORI et al., 1996).

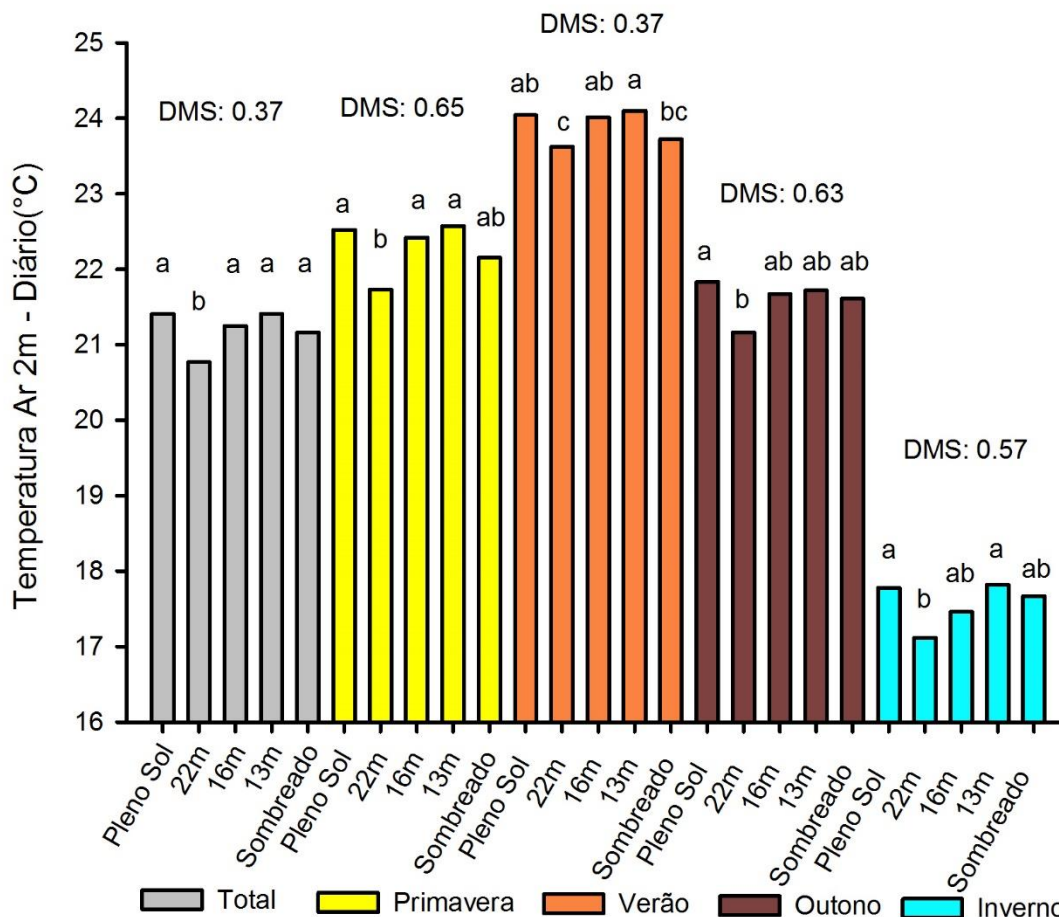
3.5.2 Temperatura do ar a 2 metros de altura

Os dados microclimáticos de temperatura do ar no período de 2015 a 2018, apresentados na Figura 3, mostraram que na análise comparativa de diferença das médias foi possível observar maiores temperaturas do ar durante a estação do verão e menores temperaturas no inverno. Além disso, com exceção do tratamento de 22 m, não foi possível observar diferença estatística entre os demais tratamentos nos períodos avaliados. O tratamento consorciado de 22 metros, apresentou menor temperatura do ar média, seguido do sombreado.

Alguns aspectos devem ser ressaltados com relação à temperatura do ar nesse ambiente. Primeiramente, o tamanho limitado das parcelas pode ter diluído o efeito do sombreamento parcial das seringueiras sobre a temperatura, com a penetração de ar externo sobre as parcelas avaliadas. Além disso, a altura de medição de 2 m pode ter sido muito elevada para avaliar o ambiente no interior da plantação, sendo mais sujeito a contaminação do ar externo.

Nesse sentido a temperatura das folhas deve representar melhor o aquecimento e resfriamento que ocorre no interior do dossel. Finalmente, quando se considera a temperatura média diária, calculada com base nas 24 h, são considerados dados dos períodos diurno e noturno. Em ambiente de SAF, durante o dia normalmente as temperaturas são mais amenas, enquanto a pleno sol, as temperaturas atingem valores mais elevados devido a exposição direta. Durante a noite, as árvores funcionam como um anteparo que bloqueia parcialmente a radiação de ondas longas emitidas pela superfície, mantendo o ambiente mais aquecido (MORAIS et al., 2006). Por outro lado, as plantas expostas perdem calor intensamente e se resfriam mais intensamente. Assim, quando se considera a média de 24 h pode haver atenuação nos valores médios.

Figure 3. Temperatura média diária do ar a 2 m de altura em cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.



Fonte: O próprio autor.

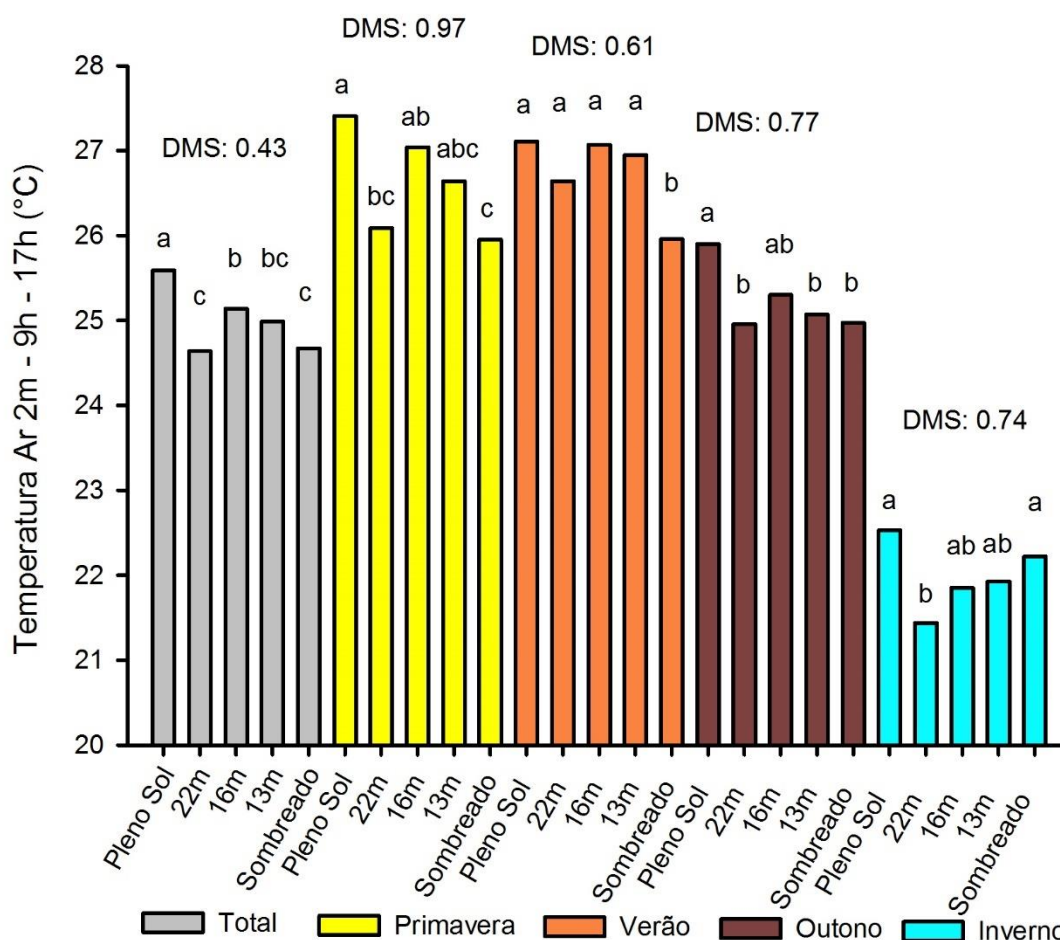
A previsão de aquecimento global emitida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2017) tem causado grande preocupação para o agronegócio do café. O uso da arborização seria uma das técnicas de mitigação para o possível cenário de aquecimento global. Caramori et al. (1996) demonstraram que sistemas arborizados podem promover proteção aos cafeeiros e manter a produtividade elevada.

Parte da possível influência do componente arbóreo em um sistema agroflorestal deve-se ao sombreamento que ele proporciona, e isto é dependente da distância da cultura principal das árvores.

Na Figura 4 foi avaliada a temperatura média do ar das 9 às 17 h a 2

m de altura, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal. Foi possível observar que a temperatura do ar foi maior no tratamento a pleno sol para todas as estações do ano com exceção do verão.

Figure 4. Temperatura média diária do ar das 9 às 17 horas a 2 m de altura em cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.

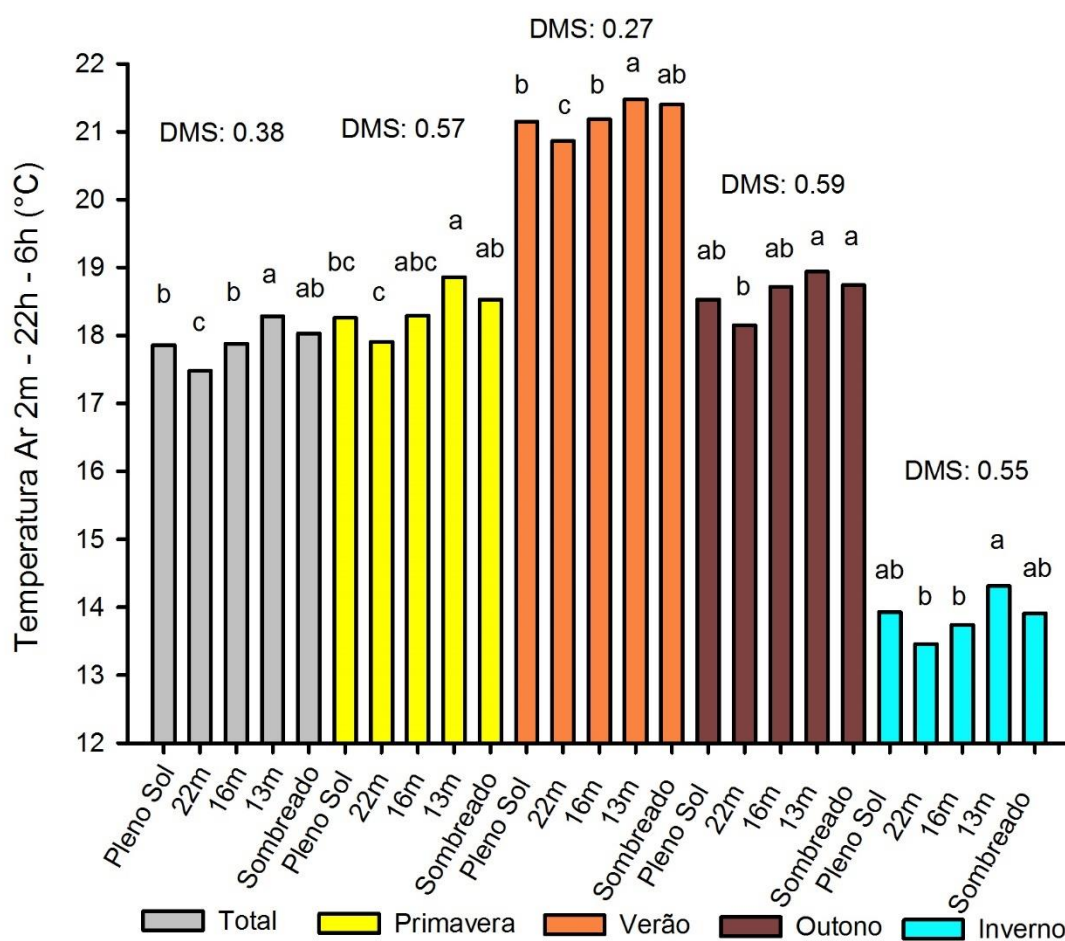


Fonte: O próprio autor.

A Figura 5 apresenta a temperatura média do ar das 22 às 6 horas a 2 m de altura, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal. Observa-se que no SAF espaçado de 13 m a temperatura do ar foi superior, sem diferir estatisticamente do sombreado. Nesse caso ficou evidente o efeito de proteção noturna das árvores sobre as plantas de cafeeiros, mantendo as temperaturas noturnas mais elevadas. Esse efeito é bem conhecido e foi amplamente estudados

como medida de proteção contra geadas nos cafezais (CARAMORI et al.,1996; MORAIS et al., 2004).

Figure 5. Temperatura média diária do ar das 22 às 6 horas a 2m de altura em cafeeiros cultivados a pleno sol e sob arborização nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.

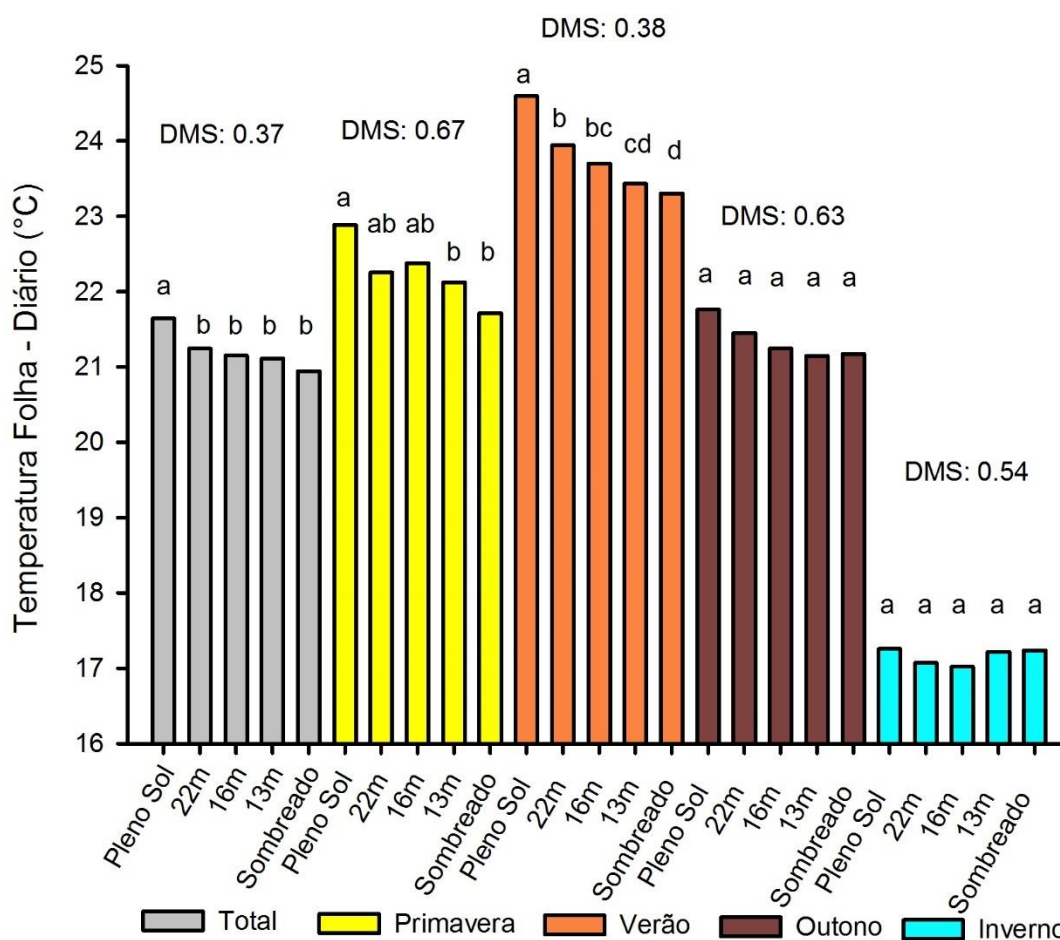


Fonte: O próprio autor.

3.5.3 Temperatura das folhas

Na Figura 6 foram avaliados a temperatura média diária das folhas, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Observa-se que o efeito do maior aquecimento nas plantas expostas ocorre nas estações de primavera e verão, quando as temperaturas são mais elevadas. Como se observou na temperatura do ar, neste caso também ocorre um efeito diferenciado entre o período diurno e noturno. As plantas expostas se aquecem mais durante o dia, mas se resfriam mais intensamente durante a noite, reduzindo as diferenças. Nota-se que o efeito da arborização sobre as temperaturas das folhas é muito mais evidente do que a temperatura do ar. Como as superfícies expostas são aquecidas diretamente durante o dia, elas se aquecem para depois transferir esse calor para o ar adjacente por processos de difusão e convecção.

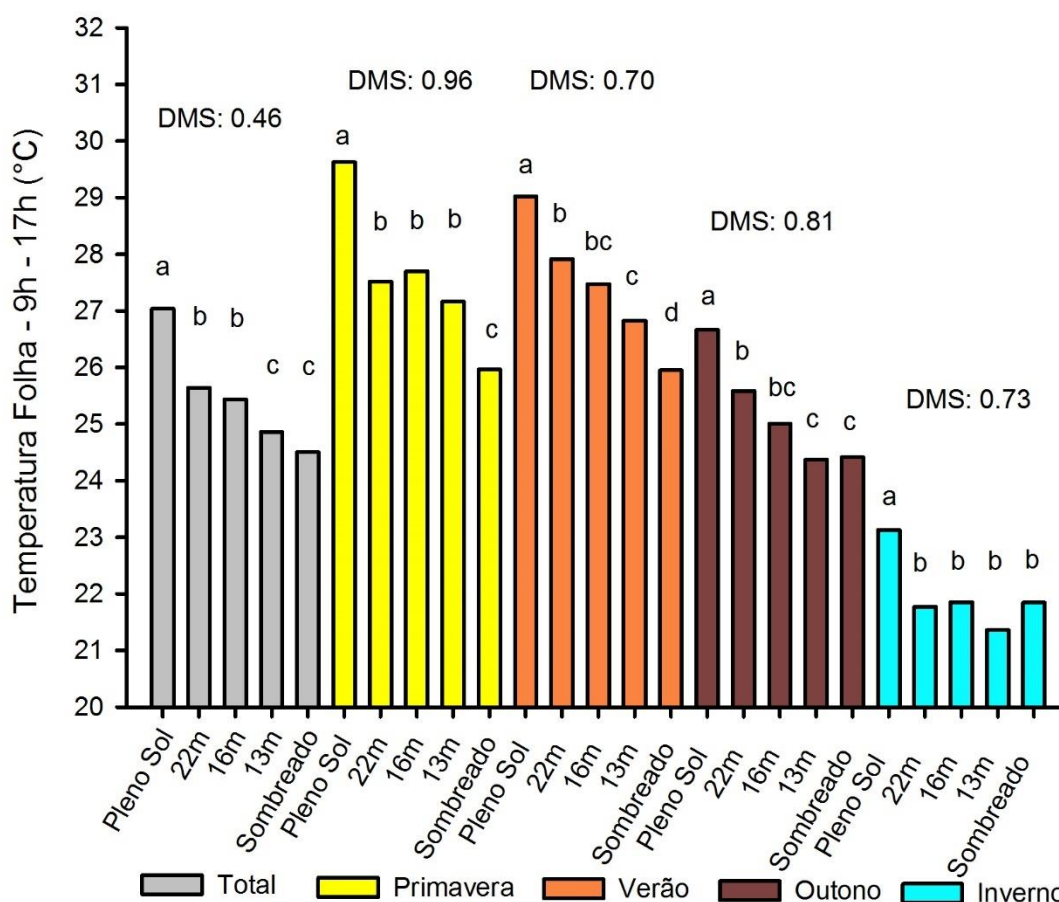
Figure 6. Temperatura média diária das folhas, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t à 5% de significância.



Fonte: O próprio autor.

Na Figura 7 são apresentados os valores médios da temperatura das folhas durante o dia, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Nesse caso se observa maior diferenciação entre os tratamentos, refletindo de forma mais evidente as diferenças de exposição à radiação solar incidente sobre o dossel.

Figure 7. Temperatura média das folhas das 9 às 17 horas, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t à 5% de significância.



Fonte: O próprio autor.

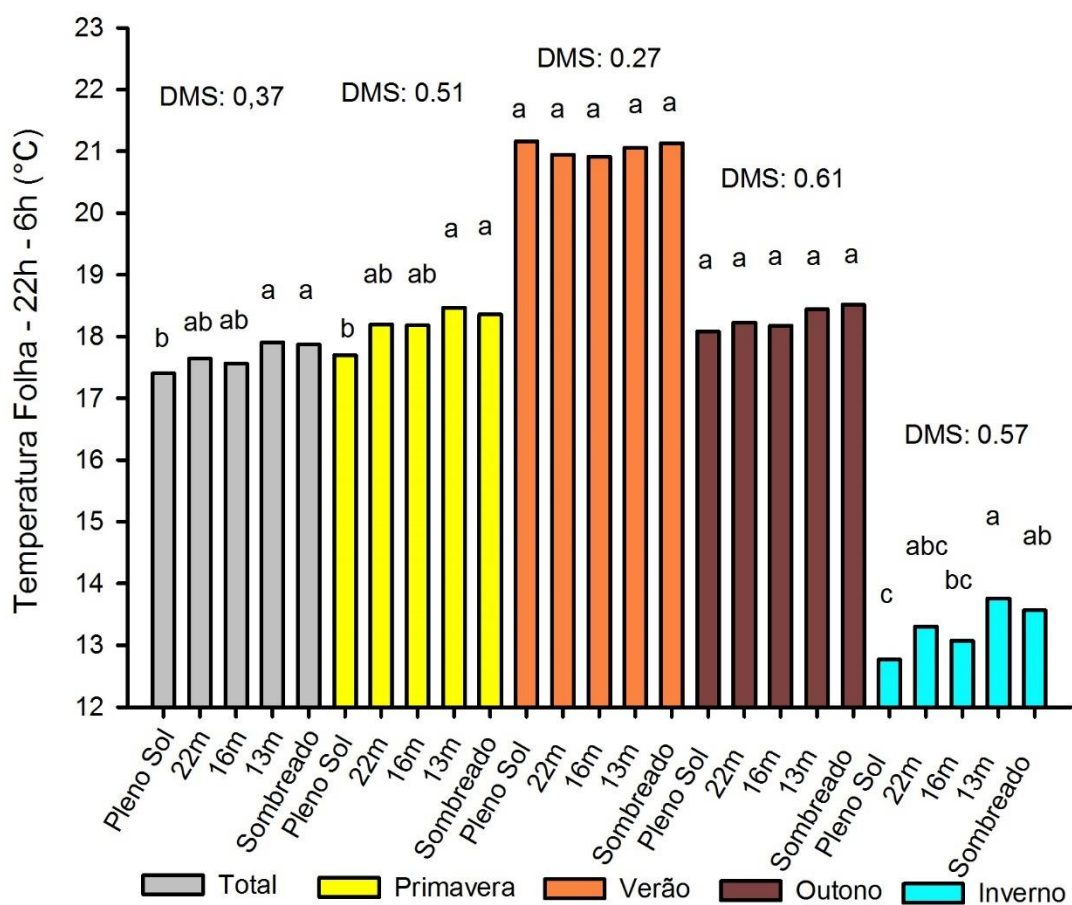
A espécie *Coffea arabica* apresenta baixa saturação luminosa, em torno de 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (KUMAR; TIESZEN, 1980; FAHL et al., 1994; DA MATA, 2004). As folhas mais expostas à radiação incidente, após atingir a saturação tendem a fechar os estômatos, afetando o processo de transpiração e consequentemente provocando o aumento da temperatura das folhas. Além disso, em condições de sequeiro e demanda evaporativa elevada, o excesso de radiação provoca demanda evaporativa excessiva, que também leva ao fechamento dos estômatos e aumento da temperatura foliar. Este fenômeno é atenuado devido ao auto sombreamento dos cafeeiros, o que faz com que lavouras de sequeiro bem enfolhadas e com nutrição adequadas, em regiões com balanço hídrico adequado sejam produtivas em cultivos

a pleno sol.

Considerando que as mudanças climáticas globais vão acentuar o aumento de temperaturas nas horas mais quentes do dia, a análise das temperaturas no período diurno contribui para verificar se ocorre atenuação suficiente para auxiliar na adaptação da cultura do café arábica em SAF.

As temperaturas médias das folhas de 22 às 6 horas apresentadas na Figura 8 mostram novamente o efeito protetor das parcelas com SAF comparadas ao pleno sol. Na média anual, primavera e inverno os tratamentos 13 m e sombra se destacaram do pleno sol, que apresentou menores temperaturas.

Figure 8. Temperatura média das folhas das 22 às 6 h, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.

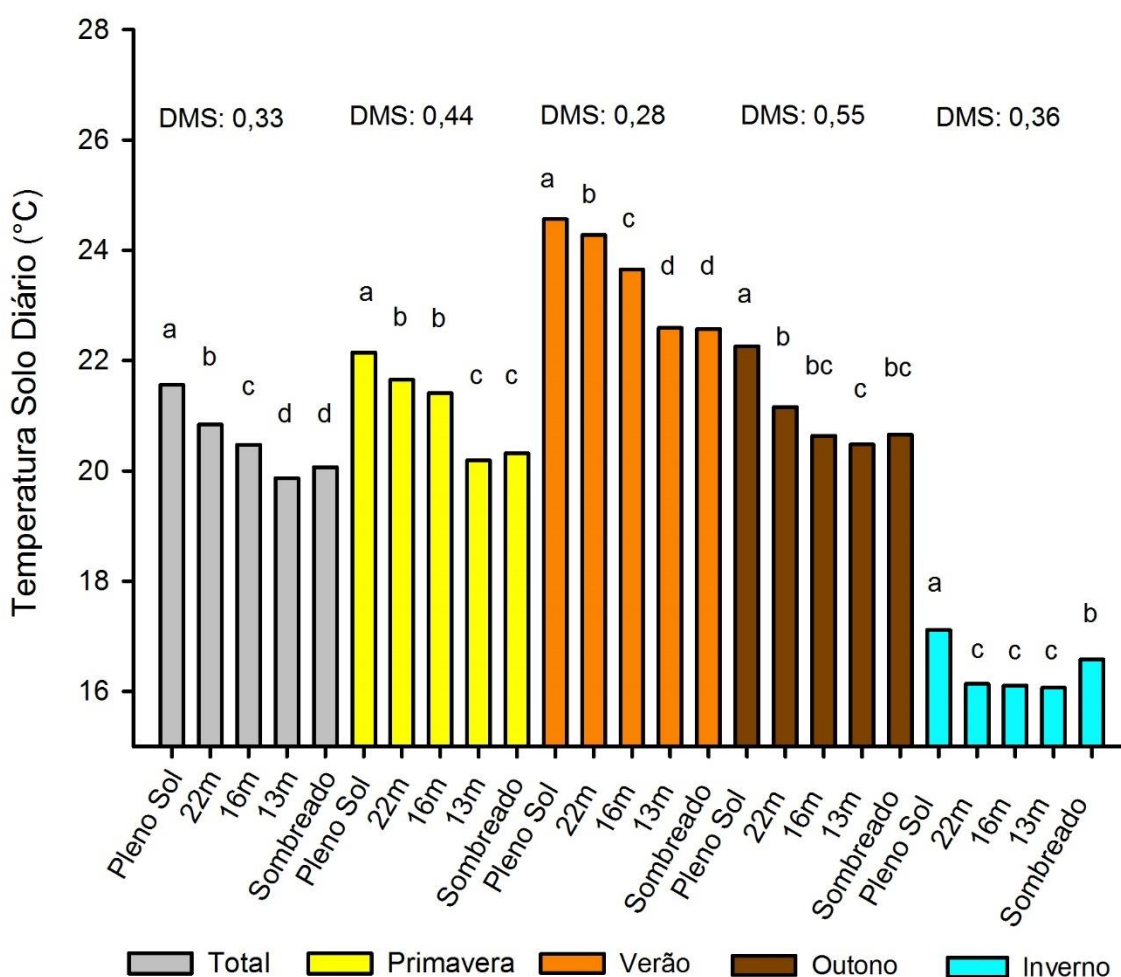


Fonte: O próprio autor.

3.5.4 Temperatura do solo

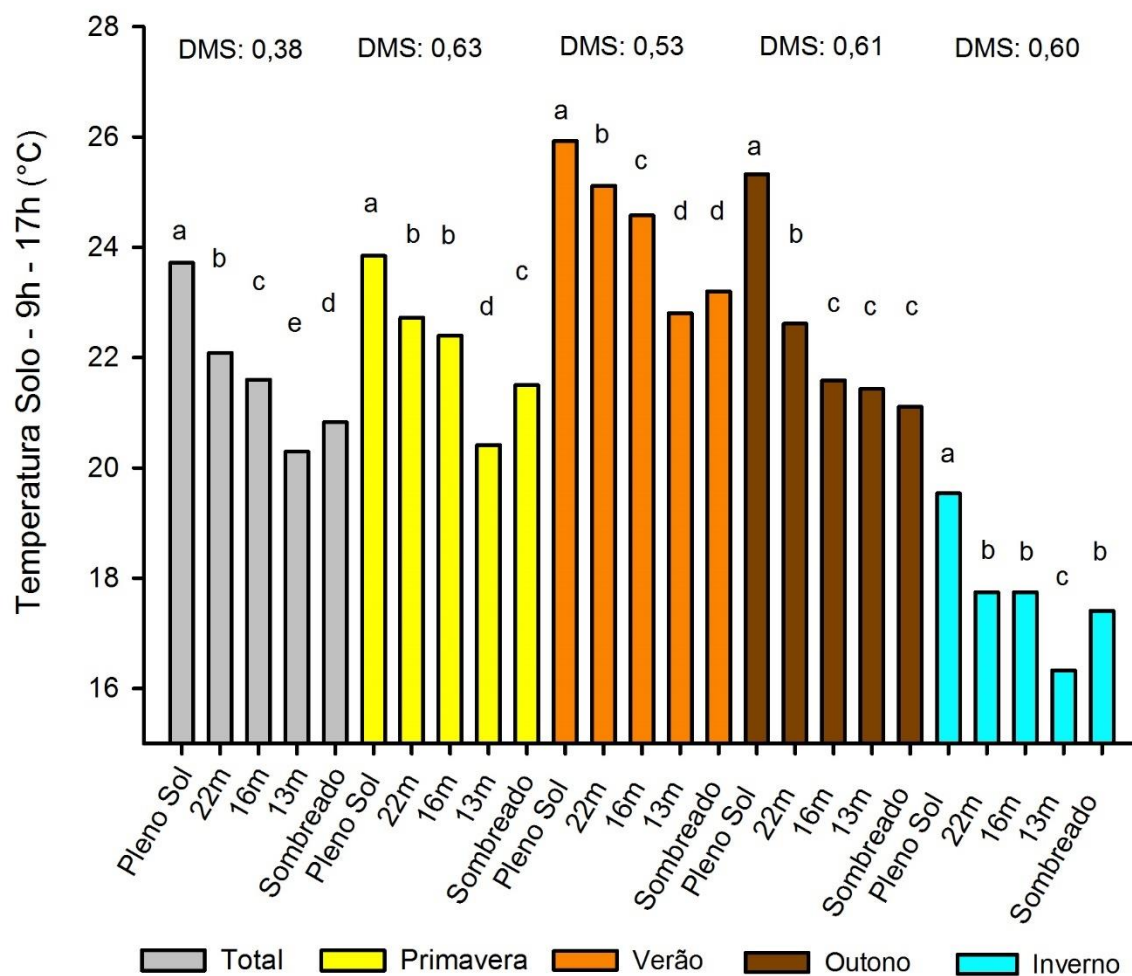
As temperaturas do solo a 0,10 m de profundidade, medidas continuamente e separadas em médias de 24 h, diurna e noturna (Figuras 9, 10 e 11) apresentaram um comportamento semelhante à temperatura das folhas, porém com uma redução gradativa proporcional ao nível de sombreamento bem mais evidente. Estes resultados espelham a quantidade de radiação solar incidente na superfície do solo dos diferentes tratamentos e sua difusão para dentro do perfil.

Figure 9. Temperatura do solo diária, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.



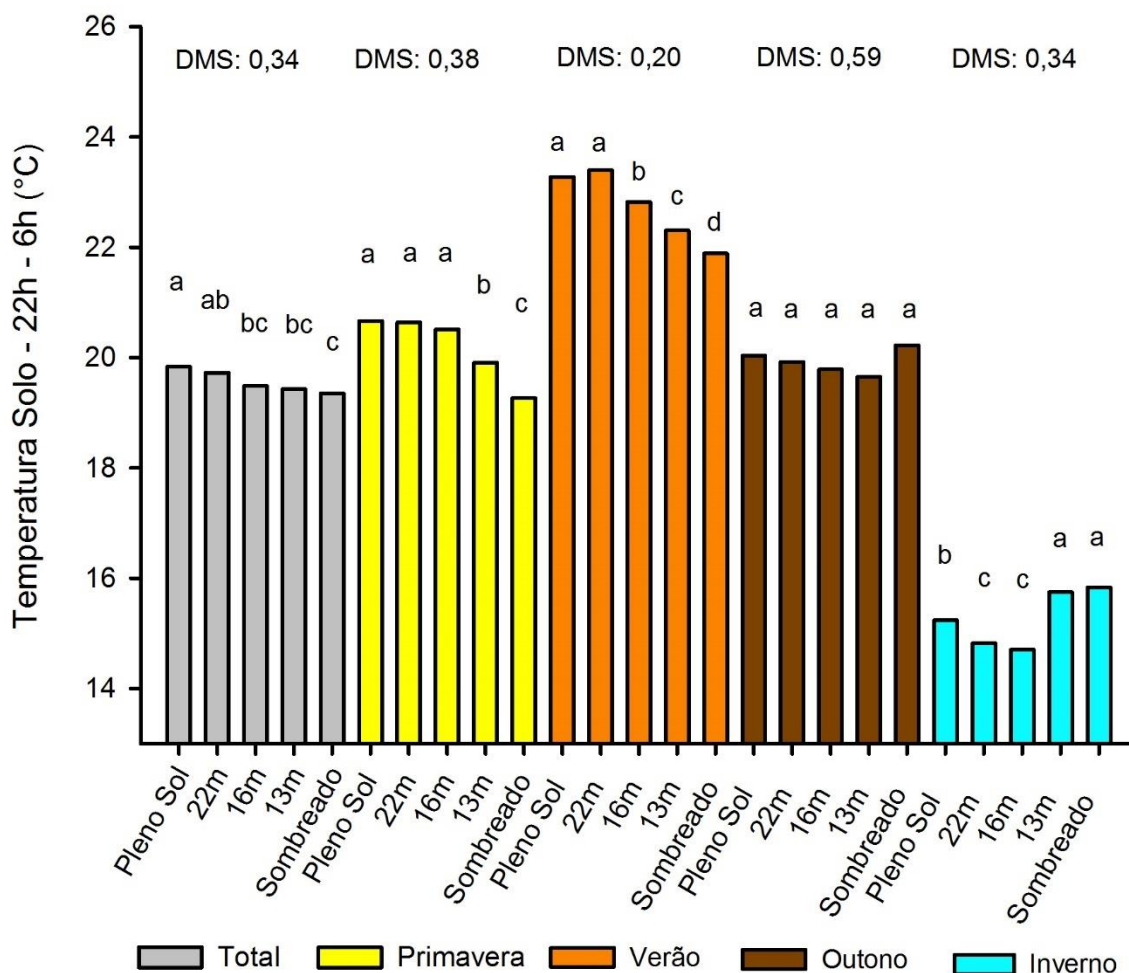
Fonte: O próprio autor.

Figure 10. Temperatura do solo das 9 h às 17 h, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância



Fonte: O próprio autor.

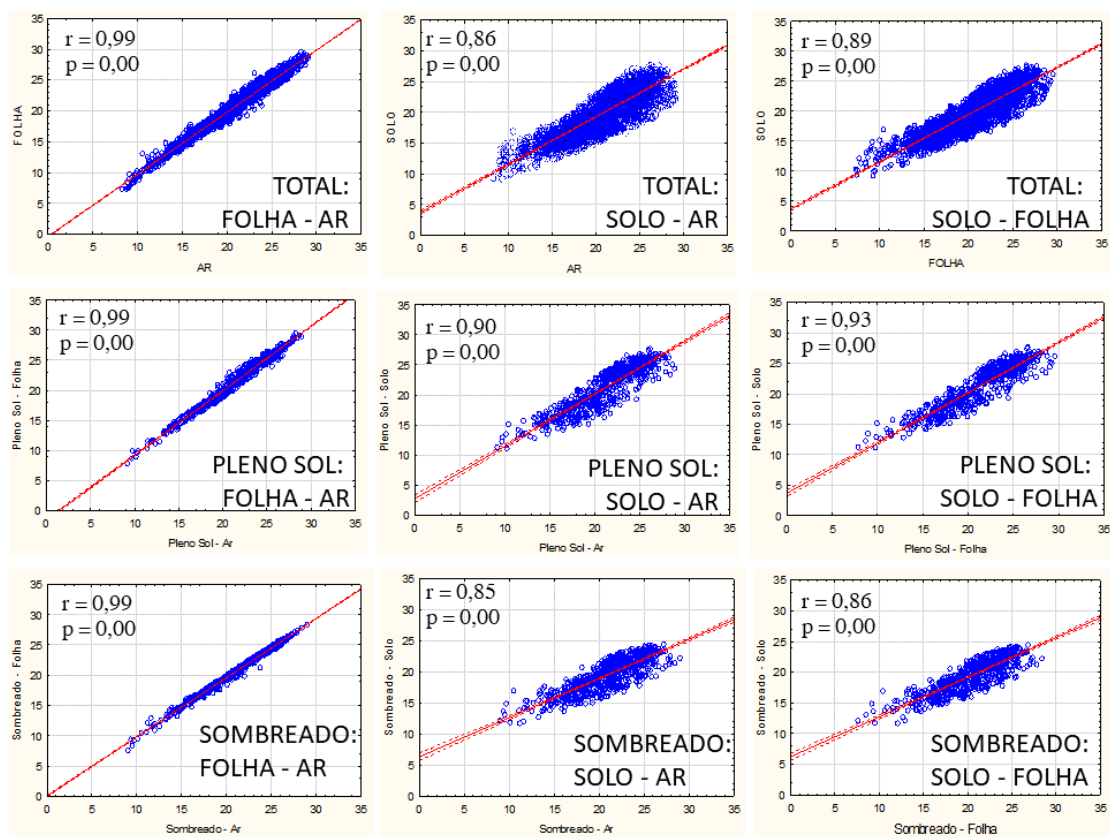
Figure 11. Temperatura do solo das 22 h às 6 h, em cafeeiros a pleno sol e em sistema agroflorestal com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, para o ano todo (total) e estações do ano. *Mesma cor e mesma letra não diferem entre si pelo test t a 5% de significância.



Fonte: O próprio autor.

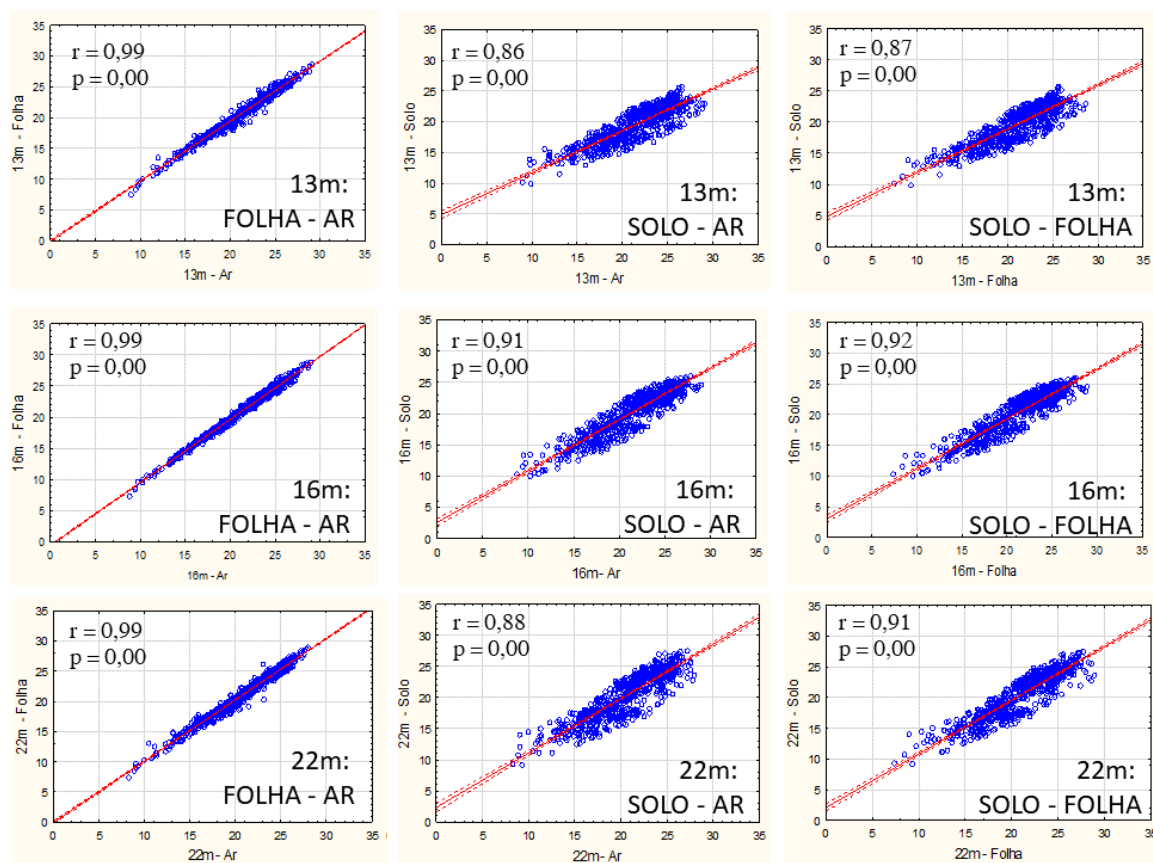
As Figuras 12 e 13 mostram as correlações entre temperatura do ar, temperatura das folhas e temperatura do solo, para todos os tratamentos analisados. Em todos os casos o coeficiente de correlação r foi significativo e os valores foram elevados. Isso indica a boa consistência dos dados, uma vez que a fonte primária de calor é comum a todos os tratamentos, ou seja, a radiação solar incidente. Discrepâncias injustificadas seriam indicativas de problemas na qualidade dos dados. Existe uma maior correlação entre temperatura do ar e temperatura das folhas, explicável pelo fato de que o ar se aquece ou se resfria a partir das superfícies expostas.

Figure 12. Correlações entre temperatura do ar e da folha, temperatura do solo e do ar e temperatura do solo e da folha, considerando os dados de todos os tratamentos, pleno sol e sombreado nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018.



Fonte: O próprio autor.

Figure 13. Correlações entre temperatura do ar e da folha, temperatura do solo e do ar e temperatura do solo e da folha, considerando os SAF de filas duplas de seringueiras espaçadas de 13, 16 e 22 m nas estações do ano. Londrina, PR, 2015 a 2018.



Fonte: O próprio autor.

Lin (2007) observou que a densidade de cobertura das árvores teve uma relação direta com a temperatura do ar dentro do dossel e a umidade do solo, em um estudo realizado em diferentes exposições e densidades de copas no México. As diferenças de temperaturas elevadas entre pleno sol e SAF se acentuaram em condições de restrições hídricas. Nesses estudos, a área de bordadura circundando os pontos de medição de temperatura do ar e as alturas das medições, além da face de exposição e orientação dos renques das árvores são fatores que explicam a variação dos resultados em condições de campo. A medição da temperatura foliar e do solo oferecem condições mais representativas do microclima em condições de bordadura muito limitada. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram outros trabalhos que mostram a capacidade dos SAFs para contribuir para a adaptação de espécies sensíveis a aumentos de temperatura, como o caso de *C. arabica*.

3.6 CONCLUSÕES

A presença das seringueiras no SAF com café provocou mudanças no microclima no interior do cafezal.

As plantas expostas plenamente ao sol tiveram maiores temperaturas diurnas e menores temperaturas noturnas.

As temperaturas das folhas apresentaram efeitos mais evidentes comparadas à temperatura do ar a 2 m de altura, devido ao tamanho limitado das parcelas. As diferenças observadas são importantes para contribuir com a adaptação dos cafezais em ambientes de mudanças climáticas.

A atenuação das temperaturas também pode contribuir para manter o ciclo normal das plantas e a qualidade dos grãos e da bebida em ambientes mais aquecidos.

Em condições de área com bordadura limitada, as temperaturas das folhas e do solo são melhores indicadores de alterações no microclima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G. A.; RICCE, W. S.; CARAMORI, P.H.; ZARO, G. C.; MEDINA C. C. Zoneamento agroclimático de café robusta no Estado do Paraná e impactos das mudanças climáticas. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 33, n. 4, p. 1381-1390, jul./ago. 2012

BALIZA, D.P.; CUNHA, R.L.; GUIMARÃES, R.J.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; ÁVILA F. W. PASSOS, A. M. A. Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.37-43, mar. 2012.

BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. **Sequestro de Carbono. Centro Científico Conhecer, Goiânia, Enciclopédia Biosfera**. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009/sequestro.pdf>, N.07, 2009, ISSN 1809-058351>. Acessado em: 18 set. 2018.

CARAMORI, P. H.; KATHOUNIAN, C. A.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; HUGO, R. G.; FILHO, A. A. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. **Arborização de Cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista - Bahia: Uesb, 2004. p. 21-41.

CARAMORI, P H; HUGO, R. G. Efeito de guandu no microclima em cafeeiro em formação sob condições de alta temperatura e deficiência hídrica. **Agroecologia Hoje**. Botucatu SP, v. 1, n.23, p. 14-16, 2004.

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

DA MATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Amsterdam, Holanda, vol.18, n.1, p. 55-81, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

DANTAS, M. Aspectos ambientais dos sistemas agrofloretais. In: **CONGRESSO BRASILEITOS DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS**, 1, 1994, Porto velho. Anais... Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v.2, p. 443-453.

FAHL, J.I., CARELLI, M.L.C., VEGA, J., MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v. 69, p. 161–169, 1994.

FAO (2013) Climate-smart agriculture sourcebook. **Food and Agriculture Organization**, Rome, 570 p.

FERNANDES, T. J. G.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata mineira. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 657-665, 2007.

FURTADO, E. L.; TRINDADE, D. R. Doenças da seringueira. In: AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. (Eds.). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2.

GATTO, A.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E.M. de A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:735-740, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V.D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V. C.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, v. 45, p. 274–283. 2010.

KUMAR, D., TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, v. 16, p. 13–19, 1980.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. **São Carlos**: Rima, 2000. 531 p.

Lin, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, 144: 85-94, 2007.

MATSUMOTO, S. N. (Org.). 2004. Arborização de Cafezais no Brasil. **UESB**. Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. 212 p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Podas. In: Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: **MAPA/PROCAFÉ**, 2002. p. 256-274.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MATTOS, C.R.R.; GARCIA, D.; PINARD, F; LE GUEN, V. Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília – DF, v. 28, n. 5, p. 502-507, 2003.

MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA, D.; MARUR, C. J.; STIVARI, S. M. S.; LECLERC, M.; WAGNER-RIDDLE, C. Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the northwestern region of the Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá-PR, v. 36, n. 2, p. 239 – 245, jun. 2014.

MEYLAN, L.; GARY, C.; ALLINNE, C.; ORTIZ, J.; JACKSON, L.; RAPIDEL, B. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 245, p. 32–42, 2017.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, out. 2003.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUISHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.41, n. 5, p.763 – 770, maio 2006.

KANTEN, R. V.; VAAST, P. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.67, n.2, p.187-202, 2006.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, jan. 1980.

LARCHER, W. **Ecologia Vegetal**. Tradução: Carlos H. B. A. Prado. São Paulo: RiMa, 2000.

MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A. E.; ALMEIDA, S. R.; CAMARGO, A. P.; GUIMARÃES, E. S. Arborização com grevilea, em variados espaçamentos, no controle às geadas, em cafezais. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 20. 1994, Guarapari, ES. **Trabalhos apresentados**. Procafé, Guarapari, 1994, p.4-5.

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1997.

MATSUMOTO, S. N.; FARIA, G. O.; VIANA, A. E. S.; PINTO, P. R. S. Efeitos do sombreamento de grevileas em cafezais no sudoeste da Bahia, Brasil. In. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., v.2, 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos**. EMBRAPA/Café, Poços de Caldas, 2000, p. 1010-1014.

MACEDO, R. L. G.; OLIVEIRA, T. K.; VENTURIN, N.; GOMES, J. E. Introdução de clones de seringueira no Nordeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, v.8, n.1, p.124-133, 2002.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D.E. Chapa Aglomerada de Cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. **Arg. Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 451-457, 2004.

ORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. v.1, 3ª ed. Nova Odessa. **Editora Plantarum**, 352p, 2000.

PAULA, N. F.; BORGES, E. E. L.; BORGES, R. C. G.; PAULA, R. C. Alterações fisiológicas em sementes de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.) durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.19, n.2, p.327-334, 1997.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v.25, n. 1, p. 13-17, 2003.

SILES, P.; HARMAN, 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**, v. 78, p. 269-186, 2010.

TEIXEIRA, D. E.; ALVES, M. V. S.; COSTAS, A. F.; SOUSA, N. G. Características de chpas de cimento-madeira com partículas de Seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. *Floresta e ambiente*, v.8, n.1, p.18 - 26, jan./dez. 2001.

4 ARTIGO B

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE GRÃOS DE CAFÉ E SENSORIAL DE BEBIDA EM CAFEEIROS ARBORIZADOS COM SERINGUEIRAS

4.1 RESUMO

O plantio de espécies arbóreas juntamente com o café (SAF) é uma prática bastante promissora, pois as árvores exercem proteção sobre os cafeeiros, reduzindo o excesso de radiação solar e temperatura por meio de suas copas. Considerando que as condições ambientais e de cultivo exercem e/ou determinam a composição e estrutura dos grãos de café, objetivou-se com este trabalho avaliar a interferência de seringueiras plantadas em diferentes espaçamentos na composição físico-química dos grãos e sensorial de bebida de café (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal. A caracterização das propriedades físico-químicas do café beneficiado constituiu-se por avaliação de grãos crus moídos em nitrogênio líquido quanto aos teores de açúcares redutores e sacarose, lipídios, proteínas, cafeína, cafestol e caveol, ácidos clorogênicos totais determinados por NIRs (espectrofotometria por infravermelho), e isômeros dos ácidos clorogênicos por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Houve diferença estatística significativa entre os tratamentos analisados para os parâmetros. Os SAFs afetam a composição química e a qualidade do café, destacando-se o ano de 2016 pelos cafés com melhor descrição sensorial, mais especificamente o tratamento de filas duplas espaçadas de 16 m.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. ACP. Sombreamento. Bioquímica.

4.2 ABSTRACT

The mitigation of the microclimate through the planting of tree species associated with coffee (SAF) is a very promising practice, as trees exercise protection over coffee plants, reducing the excess of solar radiation and temperature through their crowns. Considering that the environmental and cultivation conditions exert and / or determine the composition and structure of coffee beans, this study aimed to evaluate the interference of the cultivation environment in the physical-chemical composition of coffee beans (*Coffea arabica* L.) cultivar IAPAR 59, produced in SAF with rubber trees planted in double rows with different spacing, in Londrina, PR, Brazil. The characterization of the physical-chemical properties of the processed coffee consisted of evaluation of raw beans by determining the water content, classification of sieves, reducing and total sugars, organic acids, titratable acidity and pH. There was a statistically significant difference between the treatments analyzed for the parameters. SAFs affected the chemical composition and quality of coffee, with the year 2016 standing out for coffees with better sensory description, more specifically the treatment of double rows spaced 16 m apart.

Key words: *Coffea arabica*. ACP. Shading. Biochemistry.

4.3 INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L.) é um dos mais importantes produtos agrícolas do Brasil, com relevância no cenário econômico internacional por meio da exportação a diversos mercados consumidores. Entre as diversas espécies, na produção brasileira destaca-se a *Coffea arabica* L., principalmente porque suas características conferem melhor qualidade de bebida (SCHOLZ et al., 2011).

Por ser um dos produtos mais consumidos no mundo, com sabor e aroma característicos, seu valor baseia-se em parâmetros qualitativos e varia significativamente em função da qualidade. Para isso, os tratamentos culturais e técnicas adequadas de colheita e pós-colheita são fundamentais para a obtenção de uma bebida de qualidade e com maior rentabilidade (ALVARENGA et al., 2017).

A qualidade do café é definida como o conjunto de características que induzem a aceitação do produto pelo consumidor. Assim, muitos estudos têm relacionado as diferenças de composição físico-químicas e qualidade do café com ambiente de produção, fatores agrônômicos e edafoclimáticos (altitude, temperatura, disponibilidade hídrica e níveis de adubação) (GEROMEL et al., 2008), maturação dos grãos e processamento (pós-colheita, torra e armazenamento) (RODARTE et al., 2009).

Os componentes do café verde, como carboidratos, ácidos carboxílicos, lipídios, compostos fenólicos e nitrogenados (proteínas, cafeína, trigonelina), varia em função parâmetros como fatores edafoclimáticos, tratamentos culturais, maturidade e sanidade dos grãos e processamento pós-colheita (KITZBERGER et al., 2013). Outro fator que pode influenciar e contribuir na composição química do café são os fatores genéticos. Dentro do gênero *Coffea*, a espécie *Coffea arabica* apresenta teores distintos de cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos e sacarose. Portanto, há distintos teores de compostos químicos entre as espécies, dentro da própria espécie e, neste sentido, os estudos de melhoramento genético têm contribuído expressivamente com ganhos de qualidade da bebida (MARTINEZ et al., 2014).

Neste contexto, o Brasil apresenta grande potencial para produção de cafés de boa qualidade. O cultivo em sistemas agroflorestais (SAF) tem mostrado bons resultados, pois combinam alta produtividade, com melhor qualidade físico-química dos grãos por meio de mudanças no microclima, com redução da temperatura

mediante o sombreamento. Além disso, contribui para promover a manutenção de sistemas equilibrados, com preservação da biodiversidade, solo, qualidade de recursos hídricos e sequestro de carbono e amenizar adversidades climáticas como geadas, secas e altas temperaturas (QUEIROGA et al, 2021).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a interferência do ambiente de cultivo na composição físico-química dos grãos e sensorial e bebida de café (*Coffea arabica* L.) cultivar IAPAR 59, produzido em SAF com seringueiras plantadas em filas duplas com diferentes espaçamentos, em Londrina, PR.

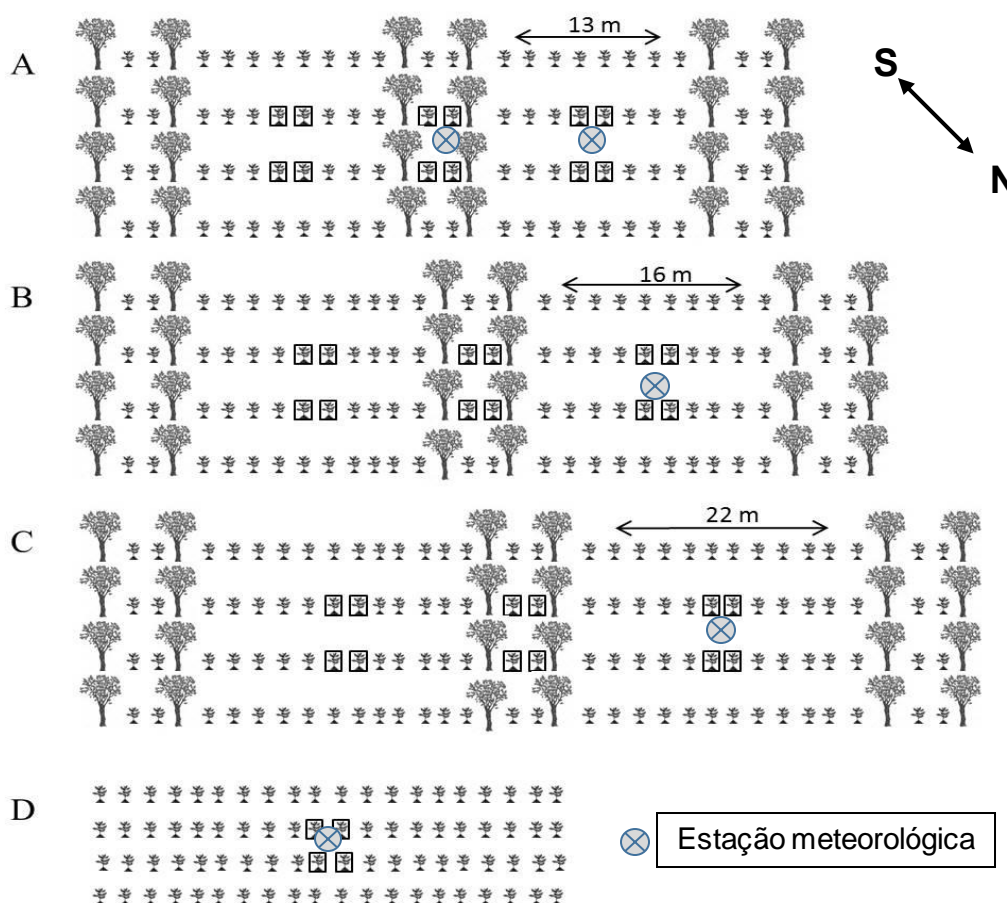
4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Caracterização Da Área do Experimento

O estudo foi realizado em uma área de café consorciado com seringueira com 16 anos de idade, na fazenda experimental do IDR-Paraná em Londrina, PR (altitude 585 m, latitude 23°23' S e longitude 50°11' W). O clima da região é do tipo CFa, descrito como clima subtropical úmido, com verão quente, segundo a classificação de Koppen. A temperatura média anual é 21,1°C, a média do mês mais quente é de 23,9°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 16,9°C (julho). A precipitação média anual é 1.641 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os meses mais secos (NITSCHKE et al., 2019).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013). A Figura 1 ilustra a área experimental, mostrando as filas de seringueira e as estações meteorológicas instaladas no interior da área consorciada. Os cafeeiros eram da cultivar IAPAR 59, plantados no espaçamento de 2,5 por 0,80 m, com uma planta por cova. As seringueiras do clone PB 235 foram plantadas em filas duplas perpendiculares às linhas de café, espaçadas de 4,0 por 2,5 m, com espaçamento de 16 e 22 m entre as filas duplas. Em área contígua implantou-se simultaneamente uma parcela de cafeeiros expostos a pleno sol e pleno sombra para comparação. Durante o período avaliado os cafeeiros tinham em torno de 1,5 a 2,0 m de altura e as seringueiras 18 a 20 m de altura.

Figura 1. Esquema de campo do experimento. A. Filas duplas espaçadas de 13m, destacando as estações meteorológicas instaladas na distância média entre filas duplas e sob as copas das seringueiras (sombra). B. Filas duplas espaçadas de 16m. C. Filas dupla espaçadas de 22m. D. Pleno sol.



Fonte: O próprio autor

4.4.2 Preparo das Amostras

Nas safras de 2015, 2016 e 2018, foram colhidos cerca de 5 kg de café cereja de cada tratamento. Os cafés foram colhidos sob o critério de maturação visual, ou seja, quando o café apresentou mais de 80% de grãos cereja com coloração vermelha, ocorrendo, portanto, a colheita em dias diferentes para cada tratamento avaliado. O processo de secagem dos grãos foi naturalmente ao sol (coco) em peneiras. Após esta etapa, as amostras foram beneficiadas e padronizadas, retirando-se os defeitos e imperfeições.

Para as análises, os grãos de café foram congelados com nitrogênio

líquido (-196°C), para prevenir a oxidação dos compostos, moídos em moinho de disco PERTEN 3600, passados em peneiras com malha 0,5 mm, acondicionados em frascos plásticos com tampa rosqueável e mantidos em freezer a -18°C até o momento da análise.

4.4.3 Análises Físico-Químicas

Nos grãos verdes (não torrados) foram quantificados os compostos lipídios, proteínas, cafeína, sacarose (diferença entre açúcares totais e redutores), açúcares redutores (AR) e ácidos clorogênicos totais (ACGT), cafestol e caveol, empregando a espectroscopia de infravermelho próximo (NIRs) com modelos de predição preparados em experimentos anteriores (SCHOLZ et al., 2014).

Os espectros dos grãos moídos foram coletados em espectrofotômetro NIRSYSTEM 6500, Foss-Perstorp empregando o software ISScan. Os espectros foram coletados entre 1100 e 2498 nm em intervalos de 2 nm usando uma cuveta retangular em cerca de 10 g de grão de café verde moído, e foram coletados randomicamente e analisados pelo software WinISI II (Infrasoft Int.).

Os isômeros dos ácidos clorogênicos (3-ACQ, 5-ACQ 4-ACQ 5-AFQ 3,4diACQ, 3,5 diACQ e 4,5-diACQ) foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (SCHOLZ et al., 2018). Cerca de 1 g de café verde, adicionada de 80 mL de metanol 70% e 0,5 mL de ácido acético glacial foi agitada durante 16h ao abrigo da luz, e após completar o volume para 100mL, filtrou-se em membrana hidrofílica (0,45 µm, Millex HN, São Paulo).

Posteriormente se injetou em HPLC 25µL desse extrato sob vazão de 1,0 mL/minuto de metanol 70% (p/p) e ácido ortofosfórico, 4 mM em gradiente de proporção dos solventes. A separação dos isômeros foi realizada em coluna de fase reversa coluna ACE 5 C18 (250 x 4,6mm, 5µm) (Advanced Chromatography Technologies, Aberdeen, Escócia), com temperatura de 30 °C.

A quantificação do ácido 5-ACQ foi feita através da comparação da área do pico da solução padrão, preparada com padrão de isômeros do ácido clorogênico dissolvido em metanol 70%. Os demais isômeros foram calculados pela comparação da sua área com a área do 5-ACQ. O cromatógrafo a líquido empregado foi o Surveyor Plus, com amostrador automático Peltier, com controle de temperatura

e forno integrado, bomba quaternária e detector de arranjo de diodos, acoplado à interface SS420, e sistema de aquisição de dados ChromQuest 5.0 (Thermo Scientific, San Jose, CA, EUA). Todos os resultados foram obtidos em duplicata e expressos em base seca.

4.4.4 Análise Sensorial

Na safra de 2016, foram colhidos cerca de 5 kg de café cereja. As amostras foram secas em peneiras diretamente ao sol e foram beneficiadas para realização das análises sensoriais. Após a secagem, as amostras foram beneficiadas, padronizadas e conduzidas ao laboratório para torra e moagem.

4.4.5 Torra do Café

O café beneficiado foi padronizado e retirados os defeitos existentes (grãos verdes, pretos, brocados, ardidos). Cerca de 100 g de café verde com tamanho padronizado foram torrados em torrador para pequenas amostras (Rod bel, São Paulo). A temperatura de torra foi mantida entre 200-240°C, durante o tempo de 8 a 10 min, dependendo da umidade inicial de cada amostra, atingindo um grau de torra clara-média (SCHOLZ, 2008). O ponto final de torra foi determinado pelo controle da perda de peso dos grãos verdes e pela coloração formada durante a torra (FRANCA et al., 2009). Os parâmetros de cor apresentaram valores de luminosidade (L^*) de $28,7 \pm 1,8$ e tonalidade cromática (H^*) de $54,4 \pm 2,7$. Após torra, os cafés foram moídos na regulagem média, resultando em partículas com tamanho superior a 0,6 mm.

4.4.6 Preparo das Bebidas

As bebidas foram preparadas adicionando-se 1000 mL de água fervente (96 a 98°C) a 42 g de café torrado e moído e, após 5 min de extração, filtradas em papel de filtro (ANJOS et al., 2001). Os testes foram realizados em cabines individuais sob luz branca. O café foi servido à temperatura entre 60 e 65 °C, sem a adição de açúcar, em copos descartáveis (50 mL) codificados com três dígitos. Os

provadores foram orientados a tomar água entre as provas.

4.4.7 Seleção dos Provadores

A equipe de provadores foi composta por nove participantes devidamente caracterizados pela faixa etária, sexo, escolaridade e hábitos de consumo. Os provadores foram informados sobre o produto e procedimentos dos testes, apresentando-se os objetivos da análise e a técnica de Perfil Livre.

Como a equipe não tinha experiência com análise sensorial e considerando-se a complexidade do produto realizou-se um treinamento para familiarizar os provadores com a técnica de levantamento de atributos pelo Método de Rede. Em duas sessões preliminares foi solicitado aos provadores que descrevessem a aparência, aroma, sabor e textura de outras matrizes alimentares (sucos comerciais de laranja e chocolate em barra), para entenderem o procedimento de levantamento e definição de descritores, conforme descrito por Kitzberger et al., (2010).

Realizou-se então o levantamento dos atributos com as amostras do estudo, empregando para isso duas sessões apresentando-se um par de amostras (duas amostras de bebida de café do experimento e duas bebidas de cafés comerciais) para que os provadores citassem as similaridades e diferenças. Após o levantamento, cada provador foi orientado para que fizesse a definição de cada atributo e então foi montada em separado para cada provador a ficha e o glossário dos atributos definidos.

Foram realizadas oito sessões para a prova das bebidas do presente estudo e de forma aleatorizada apresentou-se quatro bebidas em cada sessão. Para a avaliação da repetibilidade da equipe a bebida aqui codificada como 596 foi provada três vezes em sessões diferentes. Cada provador recebeu sua ficha de avaliação e o seu glossário. A ficha de avaliação empregou uma escala híbrida de 10 cm ancorada nos extremos com expressões de intensidade para o atributo (RUA, 2003).

4.4.8 Análise estatística

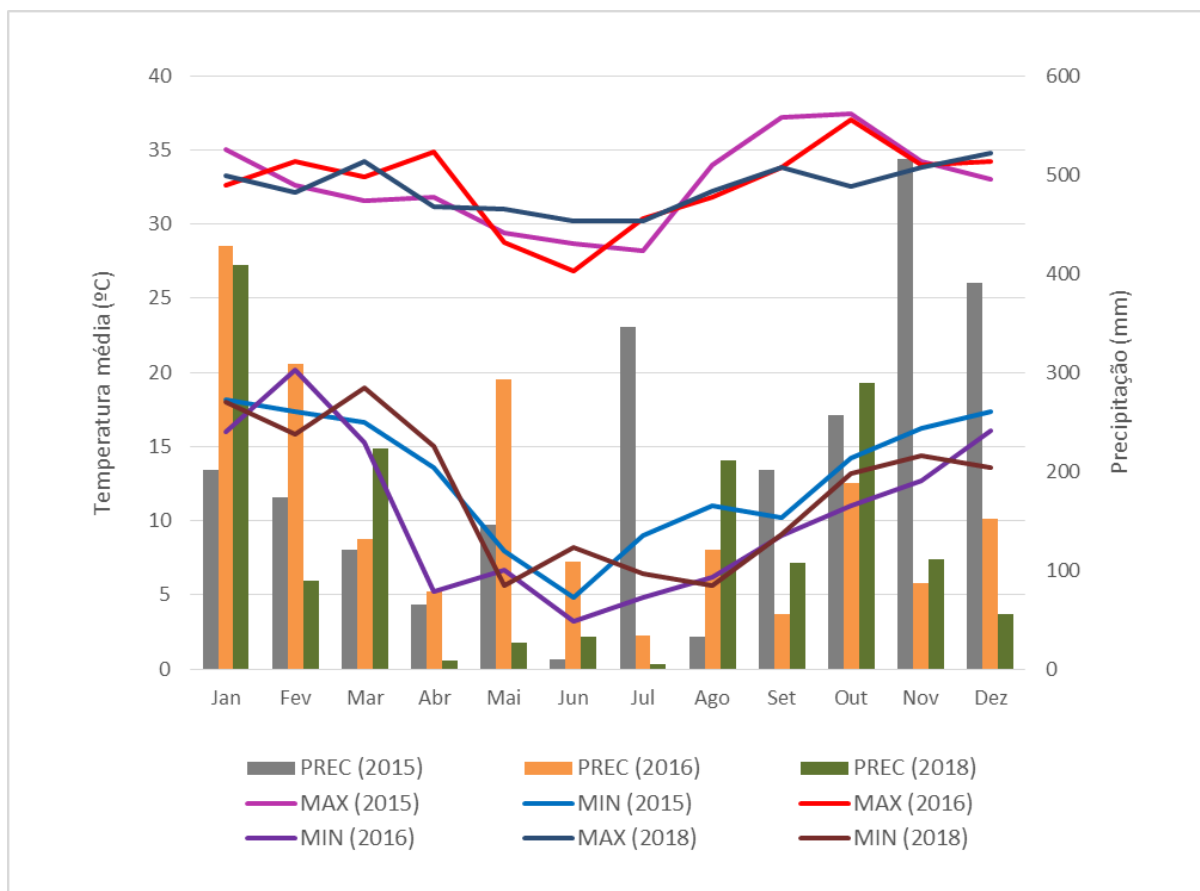
Os dados físico-químicos foram submetidos a correlação de Pearson e empregou-se Análise de Componentes Principais (ACP), para os dados da análise sensorial por Perfil Livre, foi empregada análise de Procrustes Generalizada, no qual as colunas corresponderam ao número de amostras de café e o número de linhas variando de variou de 10 a 21 de acordo com o número de atributos de cada provador o software empregado foi XLStat (Addinsoft, 2010).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos em que foram realizadas as análises, os cafeeiros se encontravam em diferentes fases de bienalidade, a saber: 2015 bienalidade negativa; 2016 bienalidade positiva e 2018 bienalidade negativa. O ciclo bienal é ocasionado pelo esgotamento da planta em anos de alta produção, seguido da recuperação vegetativa no ano seguinte. No entanto o melhor manejo e tecnologias utilizadas pelos produtores, tem levado ao longo dos anos, a uma diminuição da diferença entre as produtividades de ciclo positivo e negativo. A arborização tem a característica de auxiliar na redução da bienalidade da produção, através da menor produção individual e mais estável ao longo dos anos.

As colheitas dos grãos cerejas ocorreram em períodos diferentes nas safras avaliadas: 2015 em junho, 2016 em maio e junho e 2018 em abril.

Figura 2. Valores médios mensais de temperatura e totais de precipitação pluviométrica nos anos de 2015, 2016 e 2018 no local do experimento. Londrina, PR.



Fonte: O próprio autor.

Nos anos-safra (2015, 2016 e 2018), ocorreram condições adequadas de precipitação pluviométrica e da temperatura nos meses de janeiro a abril dos anos estudados, período de maturação dos grãos, considerando a cultivar IAPAR 59 medianamente precoce, as condições neste período foram favoráveis à formação completa dos frutos (Figura 1 e 2). Embora tenham sido observados diferentes níveis de precipitação ao longo do ciclo fenológico de cada ano, a menor precipitação ocorreu quando os frutos já estavam na fase final e estavam secos e maduros, prontos para a colheita.

O ambiente exerce grande efeito na composição química do café, sobretudo as condições microclimáticas do local de cultivo como o nível de sombreamento. A Tabela 1 apresenta a correlação de Pearson para dados de composição físico-química dos principais compostos responsáveis pelo sabor e aroma dos cafés e que também são indicativos de maturação dos grãos.

Tabela 1. Correlação de Pearson para dados de composição físico-química dos principais compostos em cafés cultivados em SAFs e pleno sol.

Variáveis	Proteínas	Lipídeos	Sacarose	AR	Cafeína	ACG	Cafestol	Caveol
Proteínas	1							
Lipídeos	-0,496	1						
Sacarose	-0,004	-0,452	1					
AR	0,060	-0,404	0,111	1				
Cafeína	0,827	-0,404	-0,341	-0,065	1			
ACG	0,599	-0,482	-0,175	0,551	0,455	1		
Cafestol	-0,414	0,134	0,138	0,069	-0,478	-0,399	1	
Caveol	-0,218	0,058	0,092	-0,008	-0,299	-0,248	0,944	1

Os valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância alfa=0,05

Fonte: O próprio autor.

A origem genética e as condições ambientais pelas quais a planta é submetida, como altitude, precipitação pluviométrica e luminosidade, são fatores determinantes na formação da composição química do café (SCHOLZ et al., 2011; AGRESTI et al., 2008). Verificou que os principais compostos associados à qualidade da bebida do café são carboidratos, proteínas, lipídios, ácidos clorogênicos, taninos hidrossolúveis, cafeína e trigonelina.

Na tabela 1, observou-se maiores teores de proteína e cafeína em cafés sombreados. O teor de ácidos clorogênicos também aumentou com o incremento de sombra, o que pode ser explicado pelo processo mais lento de maturação que conduz a um melhor preenchimento de grão e completa síntese de lipídios (VAAST et al., 2006).

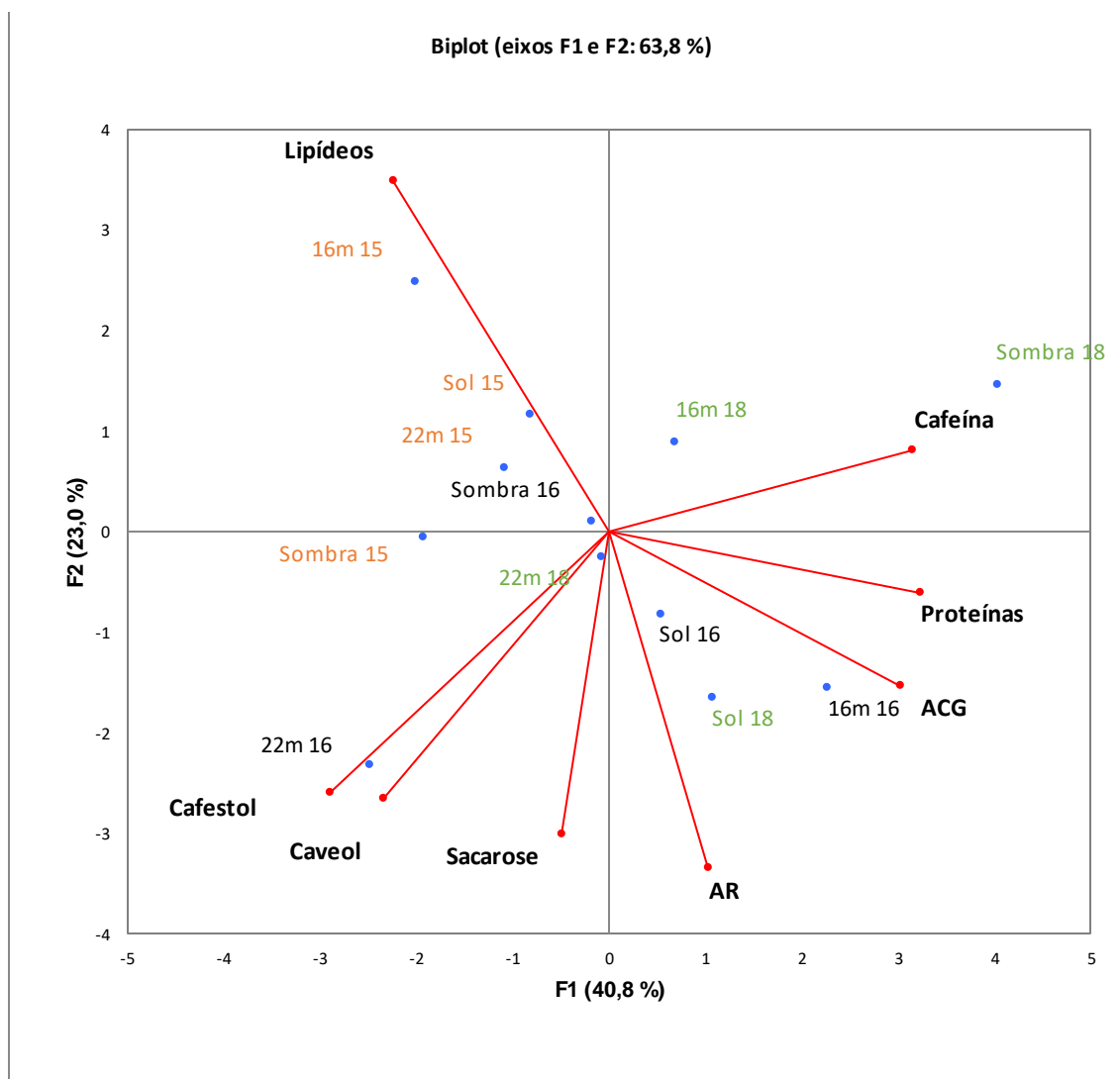
O teor de lipídios e proteínas associa-se diretamente na formação de sabores e aromas da bebida do café. Theodoro et al. (2002) afirmam que a qualidade do café como bebida e seu sabor dependem muito da presença de compostos fenólicos e alguns destes são originados dos ácidos clorogênicos.

A análise de componentes principais (ACP) na Figura 3 apresentou separação entre os tratamentos em função da composição química dos grãos. Esta técnica é aplicada para analisar a influência simultânea dos compostos na discriminação dos tratamentos, e verificar quais componentes ou conjuntos de componentes foram determinantes para a separação dos tratamentos.

Os dois primeiros componentes, F1 e F2, explicaram 63,8% da variância total dos tratamentos. A componente F1 (40,8%) foi formada pelas variáveis: 0,83 proteínas + 0,81 cafeína - 0,74 cafestol - 0,60 caveol + 0,77 ACG (Equação 1).

F2 (23%) foi formada por: 0,67 lipídeos – 0,58 sacarose – 0,65 AR (Equação 2).

Figura 3. Biplot dos tratamentos de café, sombra, sol, 16 e 22 metros nos anos de 2015, 2016 e 2018 (*Coffea arabica* L.) formado pelos componentes F1(40,8%) e F2 (23,0%) da ACP. Londrina, Pr, 2015, 2016 e 2018.



Fonte: O próprio autor.

Verifica-se que a ACP diferenciou em um primeiro momento as safras de cultivo (Figura 3). Analisando a componente principal F1+, constata-se que os tratamentos sombra 2018, 16 m 2018, sol 2018 e sol 2016 destacam-se pelo maior teor de cafeína, proteína e ACG. Porém, analisando o quadrante inferior direito (F2-) os tratamentos em sol 2016 e 2018 e 16 m 2016 foram marcados por apresentarem também maior teor de sacarose de açúcares redutores.

O teor de lipídios também aumentou com o incremento de sombra, o que pode ser explicado pelo processo mais lento de maturação que conduz a um

melhor preenchimento de grão e completa síntese de lipídios (VAAST et al., 2006).

Quanto aos teores de sacarose e açúcares redutores, alguns trabalhos relatam sobre a sua importância na qualidade sensorial. Cafés cultivados com sombreamento de 60% apresentaram maiores teores de sacarose (SOMPORN et al., 2012; BALIZA et al., 2014). Em contrapartida Vaast et al. (2006) observaram valores menores teores de sacarose em cafeeiros sob sistemas agroflorestais com 45% de sombra a, quando comparados aos expostos a pleno sol.

Geromel (2006) constatou que conforme avança a maturação ocorre o decréscimo de açúcares redutores tanto em cafeeiros sob sombreamento como a pleno sol, portanto, esses teores são indicativos de maturação. Porém, em virtude das modificações de perfil dos açúcares durante o processo de maturação, os teores de sacaroses devem ser melhor estudados, preferencialmente dentro de uma curva de maturação, possibilitando indicar o ponto de maturação completa.

Segundo Vaast et al. (2006) altas concentrações de ácidos clorogênicos, juntamente com a sacarose, indicam também estágio de maturação incompleto, e podem indicar a necessidade de colheita mais tardia. No presente estudo os tratamentos a pleno sol 2016 e 2018 e 16 m 2016 apresentaram um perfil de compostos ligados a uma maturação incompleta.

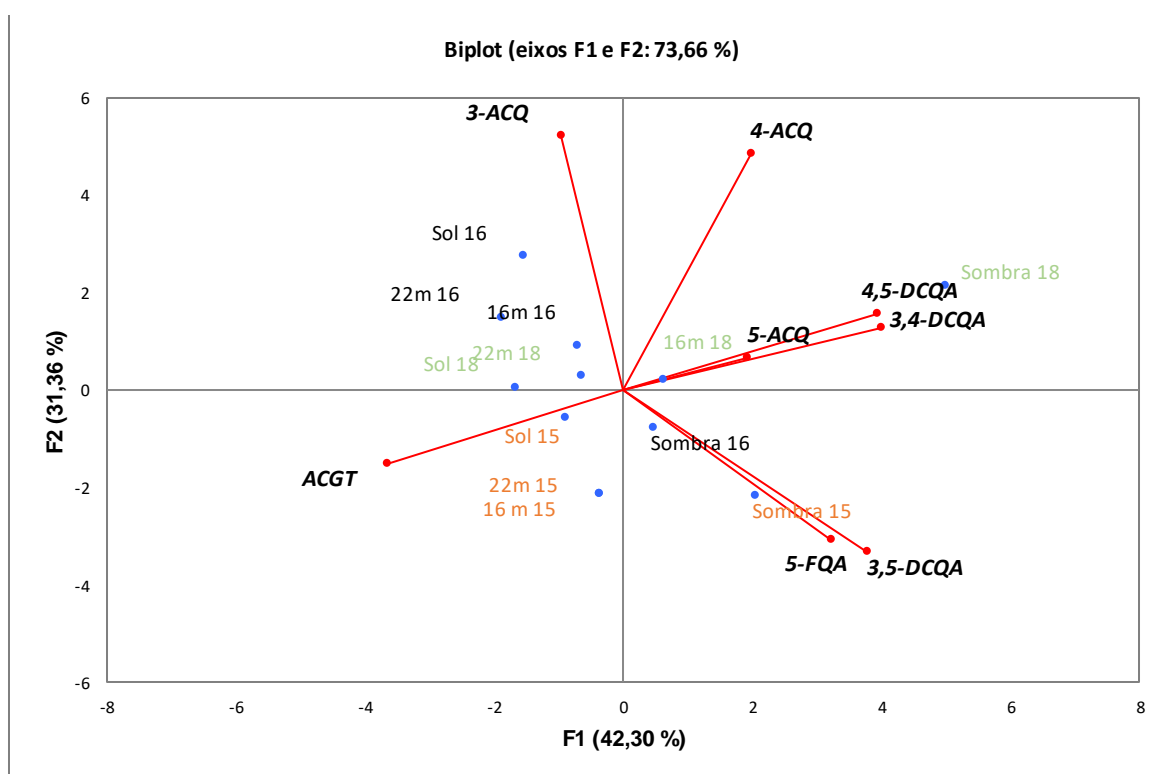
Com relação aos tratamentos da safra sombra para o ano de 2015 nos tratamentos de 22 metros e 16 metros alocados à esquerda do biplot, maiores teores dos diterpenos cafestol e caveol foram observados, e para os tratamentos 2015 verificou-se maiores teores de lipídios (F2+). Estudos conduzidos pelo IDR-Paraná em três safras demonstraram que cafestol, proteínas e o teor de lipídios apresentaram oscilações em cultivares de diferentes cruzamentos genéticos cultivados a pleno sol durante três anos e que o teor de caveol permaneceu estável neste período e está mais associado à origem genética do que às condições ambientais (KITZBERGER et al., 2016).

Os ácidos clorogênicos (ACG) tiveram maior destaque nos cafés a pleno sol 2016 e 2018, podendo, juntamente com o conteúdo de açúcares, ser associados a um perfil de composição de cafés ainda imaturos, o que reflete em qualidade de bebida prejudicada. Porém, o teor de alguns isômeros dos ACG podem indicar qualidade de bebida superior.

Para melhor compreensão da ação dos isômeros dos ACG, análises cromatográficas destes compostos foram submetidas à ACP apresentada na Figura

4. Os dois primeiros componentes explicaram 73,7% da variância total encontrada nos tratamentos. A componente F1 (42,3%) foi formada pelas variáveis: $F1 = 0,40 \text{ 5ACQ} + 0,67 \text{ 5-FQA} + 0,83 \text{ 3,4-DCQA} + 0,78 \text{ 3,5-DCQA} + 0,82 \text{ 4,5-DCQA} - 0,76 \text{ ACGT}$. F2 (31,4%) foi formada por: $0,93 \text{ 3-ACQ} + 0,87 \text{ 4-ACQ}$.

Figura 4. Biplot dos tratamentos de café, sombra, sol, 16 e 22 metros nos anos de 2015, 2016 e 2018 (*Coffea arabica* L.) formado pelos componentes F1(40,8%) e F2 (23,0%) da ACP. Londrina, Pr, 2015, 2016 e 2018.



Fonte: O próprio autor.

A separação horizontal em F1+ dos tratamentos Sombra 2015, 2016 e 2018 nos tratamentos 16m 18m, foi marcada pelos maiores teores de 5-ACQ, 5-FQA, 3,4-DCQA, 3,5-DCQA e 4,5-DCQA. Para F1- o maior teor de ACGT totais foram maiores para os demais tratamentos. Em estudos com cafés sombreados os isômeros 5-CQA, 5-FQA, 3,5 diCQA foram observados em maiores teores nos grãos imaturos e foram associados com bebidas de baixa qualidade (FARAH, et al., 2006).

Em níveis maiores de sombreamento o processo de maturação ocorre mais lentamente e, portanto, as colheitas ocorrem mais tardiamente que nos tratamentos menos sombreados (GOMES-SANTIS, et al., 2018).

Os tratamentos 2016 e 2018, exceto sombra 2016, apresentaram

maiores valores dos ácidos 3-cafeoilquínico (3-ACQ) e 4-cafeoilquínico (4-ACQ) e menores valores de 5-FQA e 3,5 diCQA, o que podem indicar melhor qualidade sensorial.

Com relação a F2- (separação vertical), os tratamentos sombra 2015 e sombra 2016 apresentaram os menores teores de 3-ACQ e 4-ACQ em relação aos demais tratamentos e menores valores de sacarose, AR e maiores valores de lipídeos (Figura 1 e Figura 2). Isto pode indicar uma qualidade sensorial inferior, corroborando com os dados obtidos por Schols et al., (2013), ao avaliar a formação de isômeros de ACG em grãos originados nos diferentes estratos de perfil vertical de plantas da cultivar IAPAR 59.

Os isômeros 3-CQA e 4-CQA observados em alta concentração indicam maturação completa. O alto teor de 3,4-diCQA é correlacionado a bebidas de melhor qualidade e também indicativo de maturação, corroborado também pelo menor teor de açúcares (SOMPORN et al., 2012).

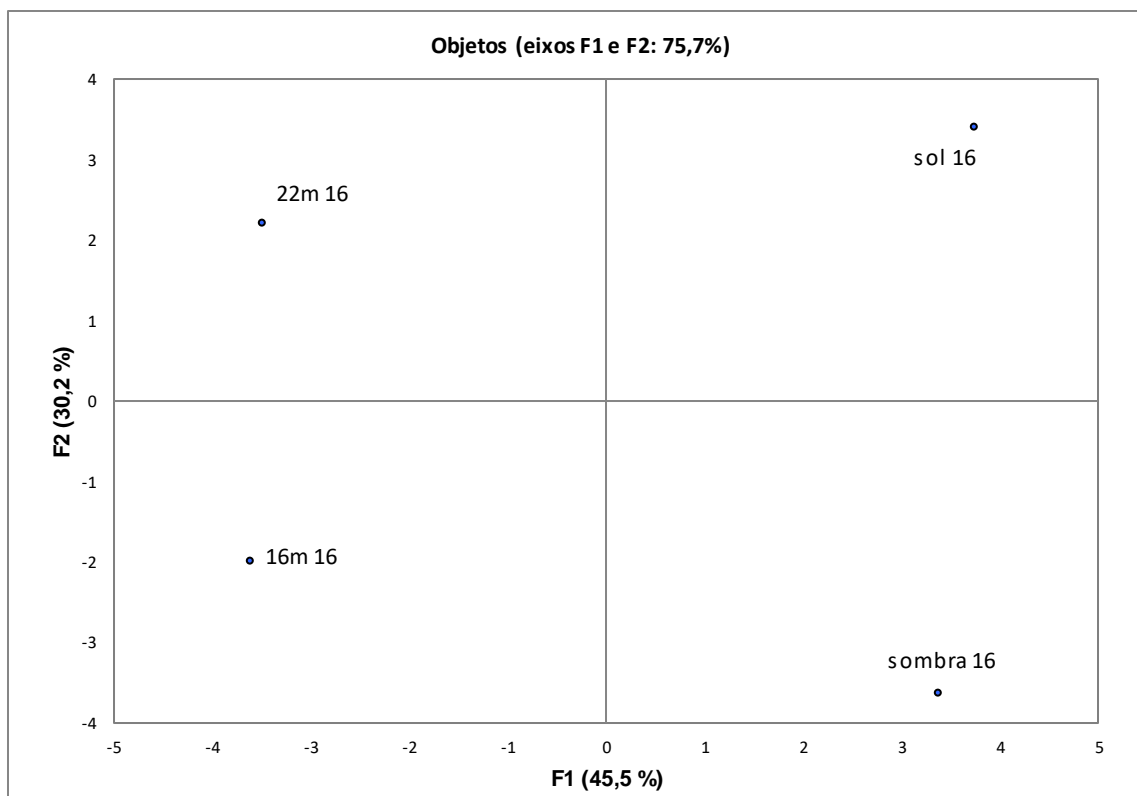
Com relação a F1- verifica-se que o teor total de ácidos clorogênicos ACGT, que é a somatória de todos os isômeros identificados e quantificados, foi destacado para tratamentos de recebimento de incidência solar, e que se empregado apenas como único discriminador de qualidade e maturação pode não esclarecer as diferenças que ocorrem em sistemas sombreados. Uma visão mais específica sobre a composição de isômeros de ácidos clorogênicos revela melhor as respostas do SAF quanto a formação de qualidade e definição de ponto de maturação.

A formação dos compostos e os processos de maturação que contribuem para a qualidade de bebida de forma direta são de extrema importância para a definição do ponto de colheita nos cafés sombreados, para que o processo de maturação seja completo, atingindo assim uma qualidade superior no SAFs. Verifica-se, portanto, com as informações da composição química dos grãos juntamente com a composição específica de isômeros dos ácidos clorogênicos, que o ano de 2016 foi o que proporcionou uma composição que sugeriu cafés de melhor qualidade de bebida.

Em virtude disto uma análise sensorial descritiva foi aplicada a estes cafés, a fim de se conhecer os atributos que podem destacar as bebidas nos diferentes tratamentos. A análise por Perfil Livre é uma descrição sensorial de categorias como aparência, aroma, sabor e textura, em que os provadores têm liberdade de escolher atributos que melhor descrevem as percepções sensoriais que identificam e

quantificam, em uma escala de 0 para fraco até 10 com forte. Por haver esta liberdade cada provador tem uma ficha exclusiva e neste caso apenas a análise estatística de Procrustes Generalizada pode avaliar matrizes de tamanhos diferentes, em que colunas representam os cafés e linhas os atributos de cada provador.

Figura 5. Configuração consenso dos tratamentos 16 metros, 22 metros, sombreado e pleno sol na safra de 2016.



Fonte: O próprio autor.

Verifica-se que os tratamentos foram separados pelos atributos que apresentaram alta citação e alta correlação (acima de $|0,25|$) para cada provador. Cada nível de sombreamento ficou alocado em um quadrante.

O tratamento a pleno sol foi descrito pelos atributos significativos obtidos das dimensões F1+ e F2+ e foram: aparência transparência, cor do café mais intensa, aroma verde, aroma de café, aroma ácido, aroma de velho e chocolate, sabor ácido, adstringente, amargo, sabor de verde/imaturo e textura pouco encorpado.

Para o café a pleno sombra (F1+ e F2-) os atributos de aparência cor do café, brilho, turbidez, aroma de café, verde, ácido, doce, fumaça, sabor ácido, amargo, queimado, doce, caramelo, adstringente e textura encorpada.

O tratamento a 16m (F1- e F2-) foi descrito como a cor do café,

aparência turbidez, brilho, aroma café, chocolate, doce, fumaça, sabor doce, ácido, amargo, caramelo, verde, queimado e textura encorpada.

O tratamento a 22 m (F1- e F2+) foi citado como aparência transparência, cor do café, aroma café, doce, ácido, velho, queimado, verde, chocolate, sabor doce, ácido, amargo, caramelo, verde e textura encorpada.

Os atributos de aparência, cor de café, sabor ácido e sabor amargo foram correlacionados com todas as dimensões, indicando sua importância para a caracterização das bebidas desta cultivar nos SAFs e podem ser independentes destes tratamentos.

Os cafés cultivados em sistema de sombreamento (sombra e 16 m) apresentaram atributos particulares positivos, tais como aparência turbidez, brilho, aroma de chocolate, doce, sabor doce e caramelo e bebida encorpada, enquanto que os cafés cultivados em sombreamento de 22m e pleno sol apresentaram menor número destes atributos positivos e presença de maior número de atributos com conotação negativa como bebida mais transparente, aroma de ácido, verde, velho, sabor adstringente, verde e pouco corpo.

4.6 CONCLUSÕES

Os cafés sombreados apresentam uma composição indicativa de grãos imaturos, mesmo mostrando maturação visual, evidenciando a necessidade de estabelecer um ponto ideal de colheita de acordo com o nível de sombreamento. As safras são influenciadas pelas condições macroclimáticas e, por sua vez, o uso dos SAFs interferem no microclima de cada safra.

A análise de composição química básica pode não indicar se o sombreamento favoreceu compostos formadores de sabores e aromas. Porém ao se analisar a composição específica em termos dos isômeros de ácidos clorogênicos é possível, através da diferença de perfil destes isômeros, verificar que o sombreamento influenciou a quantidade destes compostos e que alguns deles estão associados a melhor qualidade sensorial, como ocorreu na safra 2016 pelos cafés com melhor descrição sensorial, mais especificamente o tratamento a 16 m.

Com o sombreamento de 16 metros, a interceptação da radiação foi de 30%, refletindo na temperatura das folhas, tendo um melhor microclima para a

maturação dos frutos, propiciando um café de melhor qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, V. D. A. Contribution to the study of Brazilian coffees - physical characteristics. *In: colloquium international sur la chimie du cafe, 19.* Trieste. *Proceedings.* Paris: ASIC, 2001.

FARAH, A.; PAULIS, T.; MOREIRA, D.P.; TRUGO, L.C., MARTIN, P.R. Chlorogenic acids and lactones in regular and water-decaffeinated arabica coffees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, n. 2, p.374-381, 2006.

GEROMEL, C.; FERREIRA, L. P.; DAVRIEUX, F.; GUYOT, B.; RIBEYRE, F.; SHOLZ, M. B. DOS S.; PEREIRA, L. F. P.; VAAST, P.; POT, D.; LEROY, T.; FILHO, A. A.; VIEIRA, L. G. E.; MAZZAFERA, P.; MARRACCINI, P. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.569-579, 2008.

JÖET, T.; SALMONA, J.; LAFFARGUE, A.; DESCROIX, F.; DUSSERT, S. Use of the growing environment as a source of variation to identify the quantitative trait transcripts and modules of co-expressed genes that determine chlorogenic acid accumulation. *Plant, Cell and Environment*, v.33, n. 7, p. 1220-1233, 2010.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. S.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E.; SERA, T.; SILVA, J. B. G. D.; BENASSI, M. T. Diterpenes in green and roasted coffee of *Coffea arabica* cultivars growing in the same edapho-climatic conditions. **Journal of food composition and analysis**, San Diego, v. 30, n. 1, p. 52-57, 2013.

KOSHIRO, Y.; JACKSON, M.C.; KATAHIRA, R.; WANG, M.L.; NAGAI, C.; ASHIHARA, H. Biosynthesis of chlorogenic acids in growing and ripening fruits of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* plants. *Zeitschrift Fur Naturforschung Section C. A. Journal of Biosciences*, v.62, n. 9-10, p.731-742, 2007.

MALTA, M.R.; CHAGAS, S.J.R. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

MOREIRA, R.F.; TRUGO, L.C.; DE MARIA, C.A; MATOS, A.G.; SANTOS, S. M.; LEITE J. M. Discrimination of Brazilian arabica green coffee samples by chlorogenic acid composition. *Archives of Latinoamerican Nutrition*, v. 51. n. 1, p.95-99, 2001.

RAKOCEVIC, M.; ANDROCIOLI-FILHO, A. Morphophysiological characteristics of *Coffea arabica* L. in different arrangements: lessons from a 3d virtual plant approach. *Coffee Science*, v. 5, n. 2, p. 147-166, 2010.

SAATH, R. **Qualidade do café natural e despulpado em diferentes condições de secagem e tempos de armazenamento**. 2010. 299 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2010.

SCHOLZ, M. B. S.; FIGUEIREDO, V. R. G.; SILVA, J. V. N.; KITZBERGER, C. S. G. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do lapar. *Coffee Science*, v. 6, n. 3, p. 245 – 255, 2011.

SOMPORN, C.; KAMTUO, A.; THEERAKULPISUTB, P.; SIRIAMORNPUK, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of coffee beans (*Coffea Arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. *Journal Science Food Agriculture*, v. n.1, p. 2-8, 2012.

THEODORO, V. C. de A.; GUIMARÃES, R. J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; CHAGAS, S. J. de R. Alterações da qualidade de grãos de cafés (*C. arabica* L.) colhidos no pano e no chão, provenientes de sistemas de manejo orgânico, em conversão e convencional. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, n. 4, p. 38-44, 2002. Especial Café.

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, p.197-204, 2006.

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

SUGESTÃO DE FUTUROS TRABALHOS

A análise da qualidade no sombreamento deve levar em consideração o macro e o microclima de cada tratamento ano, a composição básica e se possível aumentar o número de análises de compostos específicos tais como aminoácidos, ácidos graxos, dissacarídeos, ácidos orgânicos, bem como os isômeros dos ácidos clorogênicos. Todas estas avaliações podem ainda ser associadas a uma análise sensorial descritiva como o Perfil Livre.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil se destaca como o maior produtor e exportador de café. Os novos mercados exigem a produção de cafés de qualidade, com manejo sustentável visando preservar o meio ambiente, a biodiversidade e promover justiça social.

O meio científico mundial tem o consenso de que as mudanças climáticas e o aquecimento global estão em curso e dificilmente serão evitadas em curto prazo, devido aos conflitos entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental por meio de práticas adequadas e mudança da matriz energética.

Em um cenário muito provável de aquecimento global, os sistemas agroflorestais assumem um papel fundamental, tanto para propiciar a continuidade do cultivo do café arábica em áreas tradicionais, como também manter os padrões de qualidade dos grãos e da bebida exigidos pelos mercados consumidores.

A escolha das espécies arbóreas nos SAFs de cafeeiros deve contemplar combinações que propiciem a redução das temperaturas, favoreçam o manejo sustentável e a biodiversidade e acrescentem renda ao produtor. Assim, a continuidade de estudos com espécies como a seringueira se reveste de grande importância para a cafeicultura paranaense e brasileira.

Novos estudos sobre o microclima devem ser realizados em condições de áreas de bordadura mais extensas para melhor caracterizar os efeitos do SAF, principalmente em relação à temperatura do ar. Sugere-se também a instalação de perfis de temperatura desde próximo da superfície até a altura das copas dos cafeeiros.

Pesquisas com SAFs são de difícil execução devido à necessidade de se conduzir experimentos em grandes áreas, além da necessidade de equipamentos de precisão de custo elevado, tornando em muitos casos inviáveis. Uma estratégia que deve ser contemplada em situações de baixa disponibilidade de recursos é o aproveitamento de áreas de SAFs já implantadas, onde se pode monitorar as condições por períodos curtos e obter resultados importantes.

Um aspecto ainda pouco elucidado é o auto sombreamento dos cafeeiros, que reduz em grande parte os efeitos danosos do excesso de radiação e temperatura dentro do dossel, principalmente em lavouras bem enfolhadas, vigorosas e bem nutridas. Estudos específicos relacionando a face de exposição, posição dos

frutos na planta e no ramo com a radiação incidente e a temperatura podem contribuir para explicar por que o café a pleno sol bem manejado apresenta altas produtividades.