



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**A TECNOLOGIA DE FILME DE PARTÍCULAS DE CÁLCIO
APLICADA AO CAFEIEIRO CONILON: ASPECTOS
FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

PAULO SILAS OLIVEIRA DA SILVA

2019



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

PAULO SILAS OLIVEIRA DA SILVA

**A TECNOLOGIA DE FILME DE PARTÍCULAS DE CÁLCIO APLICADA AO
CAFEIRO CONILON: ASPECTOS FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira
Junior

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S586t Silva, Paulo Silas Oliveira da
A tecnologia de filmes de partículas de cálcio aplicada ao cafeeiro conilon: aspectos fisiológicos e agronômicos / Paulo Silas Oliveira da Silva; orientador Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior. – São Cristóvão, SE, 2019.
62 f. : il.

Tese (doutorado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Café - Cultivo. 2. Ecofisiologia Vegetal. 3. Sombreamento. 4. Evapotranspiração. I. Oliveira Junior, Luiz Fernando Ganassali de, orient. II. Título.

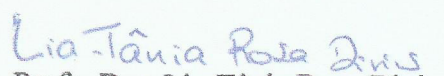
CDU: 633.73

PAULO SILAS OLIVEIRA DA SILVA

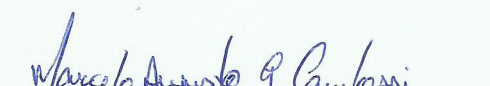
**A TECNOLOGIA DE FILME DE PARTÍCULAS DE CÁLCIO APLICADA AO
CAFEIRO CONILON: ASPECTOS FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de "Doutor em Ciências".

APROVADA em 05 de setembro de 2019.


Profa. Dra. Lia-Tânia Rosa Dinis
UTAD – Portugal


Prof. Dr. José Manuel Moutinho Pereira
UTAD – Portugal


Prof. Dr. Marcelo Augusto Gutierrez
Carnellosi
UFS – Brasil


Prof. Dr. Jaleson Lara Fagundes
UFS – Brasil


Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior
UFS – Brasil
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*Àquelas que com grandes custos recebem
fótons emitidos a milhões de quilômetros
daqui e os transformam em energia e vida para
os nossos corpos, às plantas*
Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Marileide Matos de Oliveira, pelo apoio, incentivo e encorajamento durante esta trajetória, pelos conselhos e pelo exemplo de quem não desiste. Por ser um porto seguro onde pude descansar.

Ao meu pai, José Salmo da Silva, pelo esforço pessoal para apoiar meus estudos e me encorajar nessa jornada.

Aos meus irmãos José Salmo da Silva Júnior e Isaac Oliveira da Silva pela presença e alegrias.

Aos meus tios Marta, Marcos, Celsa, por todo apoio e oportunidades que me deram para continuar estudando e sonhando com um futuro.

Às minhas tias Marlene e Simone, pelo afago na alma. Às minhas avós, Josefa Matos e Lindaura Souza, pela palavra certa e pelo silêncio que abraça. Aos meus avôs, Antônio Felício, pelo incentivo ao estudo, ensinamentos e me apresentar ao maravilhoso mundo das agrárias e das plantas. José Neto, pelo exemplo da força do sertanejo que não desiste.

Aos amigos: Bárbara, Kaliane, Juliana, Anderson, Janaina, Laila, Nadja, Eloy, Aline e tantos outros, por povoarem minha mente com alegrias, recordações e boas energias que trouxeram ânimo, quando o peso do cansaço se fez presente, pela parceria, pelos risos e momentos compartilhados.

A Edinaldo Sena, pelo despreendimento, pelo apoio e pelos bons sentimentos, pela parceria nesta jornada.

A Diogo e Sol, por fazerem parte desta trajetória, por todos os momentos compartilhados de lutas e alegrias.

Ao Prof. Luiz Fernando, pelos ensinamentos e por apoiar este trabalho.

À equipe do ECOPOC, pelo auxílio nesta pesquisa.

À equipe do Campus Rural e do DEA, pelo apoio nesta pesquisa.

Aos professores: Maria Isidória, Gláucia, Carlos Dias, Pedro, Airon, Cida, Sandro, Fátima, Robério, pelos ensinamentos e apoio nesta jornada.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e contribuições.

À CAPES (Processo Nº 1582388) e ao CNPQ (Porcesso Nº 140385/2019-3), pelo financiamento dos estudos e de parte desta pesquisa, tenho esperanças que voltaremos ao caminho certo!

À Universidade Federal de Sergipe, funcionários do Resun, Limpeza, Biblioteca e Segurança (Sr. Fernando), por serem presentes em nossas vidas acadêmicas, dando apoio e subsídio para o desenvolvimento de nossos projetos e pesquisas.

A Deus, por tornar todas as coisas possíveis.

BIOGRAFIA

Paulo Silas Oliveira da Silva, nasceu no município de Cícero Dantas, Sertão da Bahia, em abril de 1987, residiu na zona rural com seus familiares durante a infância. Iniciou seus estudos primários na escola municipal local, com auxílio da professora Ivonete, que foi sua alfabetizadora, trabalho este desempenhado de maneira exemplar. Aos 12 anos, foi estudar no Instituto Adventista de Ensino do Nordeste, onde residia com sua tia Marta, no município baiano de Cachoeira, era aluno bolsista. Na instituição cursou entre 6^a e 8^a séries do ensino básico e todo o ensino médio.

Em 2006, iniciou os estudos no curso da Engenharia Florestal na Universidade Federal da Bahia, ano em que a instituição expandiu e foi fundada à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. Tornou-se aluno do Programa de Educação Tutorial em Agronomia por três anos, nesta mesma instituição. Em 2010, fez uma pausa nos estudos em Eng. Florestal, período em que cursou bacharelado em Direito, percebendo tempos depois que sua vocação estava de fato nas ciências agrárias. Após isto, retornou ao curso de Engenharia Florestal em 2013, concluindo-o neste mesmo ano.

Em 2014, iniciou os estudos no mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, concluindo-o em 2016. A Prof.^a D.^a Laura Jane Gomes foi sua orientadora, trabalhando com estudos de sustentabilidade em áreas com cultivo de hortaliças em sistemas de agricultura irrigada, no Agreste de Sergipe.

Em 2016, iniciou o doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade da Universidade Federal de Sergipe até a presente data. O Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior é seu orientador, desenvolve estudos em ecofisiologia vegetal, fotossíntese, nutrição mineral de plantas e tecnologias para controle do estresse abiótico em plantas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
4. ARTIGO 1: EFEITOS DE FILMES DE PARTÍCULAS DE CÁLCIO E SOMBREAMENTO NATURAL SOBRE PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS DO CAFEEIRO CONILON	26
Resumo	26
Abstract.....	27
4.1. Introdução	27
4.2. Material e Métodos	28
4.3. Resultados	31
4.4. Discussão	34
4.5. Conclusões	36
4.6. Referências Bibliográficas	37
5. ARTIGO 2: O FILME DE PARTÍCULAS DE ÓXIDO DE CÁLCIO AUMENTA A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA ENQUANTO MELHORA A GRANAÇÃO DO CAFÉ CONILON	41
Resumo	41
Abstract.....	42
5.1. Introdução	42
5.2. Material e Métodos	43
5.3. Resultados e Discussão	47
5.4. Conclusões	55
5.5. Referências Bibliográficas	55
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Dados agrometeorológicos para o período experimental.	29
2	Dados de trocas gasosas e temperatura do cafeeiro conilon.	32
3	Luminosidade do filme (L^*).	34

ARTIGO 2

Figura		Página
1	Dados agrometeorológicos ao longo dos dias do ano (DDA) para precipitação, temperaturas do ar (máxima e mínima) e velocidade do vento (V_v) (A), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), evapotranspiração da cultura (ET_c), saldo de radiação solar (R_n) e coeficiente da cultura do cafeeiro conilon (K_c) durante as fases fenológicas de PIV (granação) e PV (maturação) (B) em 2019.	44
2	Valores de luminosidade (L^*) das folhas do cafeeiro conilon para diferentes regimes hídricos ($n=4$) e níveis de sombreamento da copa com filmes de partículas (FP) e a pleno sol (PS) ($n=12$).	47
3	Interação entre fatores para teor de prolina livre (A) ($n=3$) e fatores isolados para teor relativo de água (TRA%) (B) em folhas do cafeeiro conilon sob diferentes regimes hídricos ($n=8$) e níveis de sombreamento da copa com filmes de partículas (FP) e a pleno sol (PS) ($n=12$).	48
4	Efeitos de três regimes hídricos e dois níveis de sombreamento aplicados ao cafeeiro conilon sobre as trocas gasosas (A, B e C), eficiência instantânea (EUA) (D) e intrínseca ($EIUA$) (E) do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) (F).	51

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela		Página
1	Parâmetros de eficiência em trocas gasosas do cafeeiro conilon sob diferentes métodos de sombreamento, horários do dia e dias após aplicação dos tratamentos (DAA).	33
2	Média de todos os períodos de avaliação para parâmetros de fluorescência da clorofila a do cafeeiro conilon sob diferentes métodos de sombreamento.	34

ARTIGO 2

Tabela		Página
1	Índices de clorofila Falker e temperatura da copa de plantas de café conilon submetidas a diferentes regimes hídricos e níveis de sombreamento.	50
2	Parâmetros morfoagronômicos e cor de frutos cereja tipo chato de plantas de café conilon submetidas a diferentes regimes hídricos e níveis de sombreamento.	53
3	Classificação em peneiras (%) de grãos de café conilon cereja tipo chato em resposta a diferentes regimes hídricos e níveis de sombreamento empregados no estágio de granação.	54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

FP	Filmes de partículas
PS	Pleno Sol
DAA	Dias após a aplicação
DDA	Dia do ano
A	Taxa fotossintética
<i>gs</i>	Condutância estomática
<i>E</i>	Transpiração
<i>Ci</i>	Carbono intercelular
<i>Ci/Ca</i>	Relação carbono intercelular/ carbono do ambiente
<i>L*</i>	Luminosidade
<i>a*</i>	Variações de cor entre verde e vermelho
<i>b*</i>	Variações de cor entre amarelo e azul
TRA (%)	Teor relativo de água
<i>EUA</i> ou <i>A/E</i>	Eficiência instantânea do uso da água
<i>EIUA</i> ou <i>A/gs</i>	Eficiência intrínseca do uso da água
<i>EIC</i> ou <i>A/Ci</i>	Eficiência instantânea de carboxilação
Chl <i>a</i>	Clorofila <i>a</i>
Chl <i>b</i>	Clorofila <i>b</i>
Chl total	Clorofila total
Chl <i>a/b</i>	Razão clorofila <i>a/b</i>
PSII	Fotossistema II
PSI	Fotossistema I
<i>Fo</i>	Fluorescência inicial
<i>Fm</i>	Fluorescência máxima
<i>Fv</i>	Fluorescência variável
<i>Fo/Fm</i>	Dissipação não fotoquímica de energia
<i>Fv/Fm</i>	Eficiência quântica máxima do PSII
<i>Fv/Fo</i>	Eficiência máxima do processo fotoquímico do PSII
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração potencial
Kc	Coeficiente da cultura
UV	Radiação ultra-violeta
RUBisCO ou RUBP	Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase
ABA	Ácido Abscísico
DPV	Déficit e pressão de vapor
<i>DPV_{folha-ar}</i>	Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar
ψ	Potencial hídrico foliar
DNA	Deoxyribonucleic acid
ADP	Adenosina difosfato
NADP(H)	Fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina
ATP	Adenosina trifosfato
PAR	Photosynthetically active radiation
UR	Umidade relativa
Rn	Radiação solar
KPa	KiloPascal
m	Metro
s	Segundo
μ	Micro
min	Minuto

h	Hora
nm	Nanômetro
L	Litro
mm	Milímetro
<i>T_{folha}</i>	Temperatura da folha
<i>T_{ar}</i>	Temperatura do ar
°C	Graus Celsius
Vv	Velocidade do vento
IRGA	Infrared gas analyzer
GCG	Grão chato grosso
GCM	Grão chato médio
GCP	Grão chato pequeno
GF	Grãos de fundo
EROs	Espécies reativas de oxigênio
LCHII	Complexo coletor de luz do PSII

RESUMO

SILVA, Paulo Silas Oliveira da. **A tecnologia de filmes de partículas de cálcio aplicada ao cafeeiro conilon: aspectos fisiológicos e agrônômicos**. São Cristóvão: UFS, 2019. 61p. (Tese – Doutorado em Agricultura e Biodiversidade). *

Esta pesquisa foi realizada na região dos Tabuleiros Costeiros, em Sergipe – Brasil, com o objetivo geral de elaborar filmes de partículas de cálcio para o cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), avaliar seus efeitos comparados ao sombreamento natural na fase de estabelecimento da cultura e associando a diferentes regimes hídricos impostos às plantas na fase de granação. Para tanto, dois estudos foram realizados em diferentes anos, em 2017 e 2019, com o café conilon, variedade ‘Vitória Incaper 8142’. O primeiro foi realizado em campo, em blocos casualizados em esquema fatorial 8x3 (n=4). Buscou-se avaliar parâmetros ecofisiológicos em resposta aos efeitos de quatro métodos de sombreamento durante o estabelecimento do cafeeiro conilon: sombreamento natural por consórcio com bananeiras, sombreamentos artificiais com filmes de partículas (FP) de CaCO_3 (10% p/v) e de CaO (20% p/v) e plantas a pleno sol (PS) (controle), combinados a dois horários de avaliação (9:00h e 12:00h). O segundo fator foi composto por três intervalos de dias após aplicação (DAA) dos filmes (7DAA, 21DAA e 35DAA). O segundo estudo realizado em campo disposto em parcelas subdivididas (3x2) e distribuídos em blocos casualizados (n=4). Três regimes hídricos compuseram a parcela: 33%, 66% e 99% (controle) da evapotranspiração da cultura (ETc) e dois níveis de sombreamento artificial nas subparcelas: FP de CaO (20% p/v) e PS, aplicados durante o estágio fenológico de granação dos frutos. Em ambos os estudos, se verificou que o sombreamento natural e com FP aumentavam a taxa de fotossíntese líquida (A), enquanto regulavam o excesso de condutância estomática (g_s) e transpiração (E) pela redução da temperatura das folhas e da copa em comparação ao controle PS. Estes mecanismos favoreceram o aumento das eficiências instantânea (EUA) e intrínseca (EIUA) do uso da água, enquanto favoreciam também o armazenamento intercelular de CO_2 (Ci) e a eficiência de carboxilação (EIC). Plantas sombreadas apresentaram redução de processos fotoinibitórios expressos por menores valores de dissipação não fotoquímica de energia (Fo/Fm), enquanto aumentavam a eficiência fotoquímica máxima (Fv/Fm), necessitando de tempo (21DAA) para aclimação e melhores resultados. Evidenciou-se também reduções no teor do osmorregulador prolina e aumento no teor relativo de água ($\text{TRA}\%$) em plantas sob 33% da ETc tratadas com filmes de partículas, comparado ao PS. Durante o estabelecimento das plantas os filmes proporcionaram proteção e maior estabilidade às oscilações meteorológicas diurnas. Já durante o ciclo reprodutivo melhorou também o status hídrico e a granação do café, enquanto reduzia os efeitos do déficit hídrico no cafeeiro durante o verão nas condições do Nordeste do Brasil. Estes resultados verificados em diferentes anos e períodos evidenciaram que filmes de partículas de cálcio são ferramentas valiosas para proteção do cafeeiro e apresenta potencial inovador para diferentes sistemas de cultivo, 20% de CaO apresentou maior duração desses efeitos. Verificou-se também que plantas de ‘Vitória Incaper 8142’ poderiam suportar regimes de 66% da ETc , promovendo a economia de água, e quando associado a FP poderiam melhorar o desempenho das plantas e o tamanho dos grãos de café.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, ecofisiologia do cafeeiro, trocas gasosas, granação, sombreamento.

* Comitê Orientador: Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior – UFS (Orientador).

ABSTRACT

SILVA, Paulo Silas Oliveira da. **The technnology of calcium particle films applied to conilon coffee plants: physiological and agronomic aspects.** São Cristóvão: UFS, 2019. 62p. (Thesis - Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity).*

This research was done in the coastal flatlands - region of Sergipe, Brazil with the general objective of elaborating calcium particle films for the conilon coffee plants (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), to evaluate its effects compared to natural shading in the crop establishment phase, and associated with different water regimes imposed on plants in the graining phase. For this purpose, two studies were done in different years, in 2017 and 2019 with the conilon coffee, variety "Vitória Incaper 8142". The first was done at the field in a randomized block design and factorial scheme 8x3 (n=4). The aim of this study was to evaluate ecophysiological parameters in response to the effects of four shading methods during conilon coffee establishment: natural shading by intercropping with banana trees, artificial shading with particle films (PF) of CaCO₃ (10% w/v), and CaO (20% w/v) and plants in full sun (FS) (control), combined at two evaluation daily times (9:00h and 12:00h). The second factor was composed of three intervals of days after application (DAA) of the films (7DAA, 21DAA, and 35DAA). The second field study was laid out in subdivided plots (3x2), distributed in randomized blocks (n=4). Three water regimes made up the plots: 33%, 66% and 99% (control) of crop evapotranspiration (ET_c); and two levels of artificial shading in the subplots: PF CaO (20% w/v) and FS, applied during the phenological stage of fruit graining. In both studies, it was found that natural shading and FP increased the net photosynthesis rate (*A*) while regulating excess stomatal conductance (*g_s*) and transpiration (*E*) by reducing leaf and canopy temperature compared to FS control. These mechanisms favored the increase of instantaneous (*WUE*) and intrinsic (*IWUE*) use of water, while also favoring intercellular CO₂ (*C_i*) and the carboxylation efficiency (*ICE*). Shaded plants showed reduced photoinhibitory processes expressed by lower non-photochemical energy dissipation values (*F_o/F_m*), while increasing the maximum photochemical efficiency (*F_v/F_m*), requiring time (21DAA) for acclimation and better results. It was also evidenced reductions in free proline osmoregulation and increase in relative water content (RWC%) in plants under 33% of ET_c treated with particle films, compared to FS. During the establishment of the plants, the films provided protection and greater stability to daytime weather fluctuations. Already during the reproductive cycle also improved the water status and coffee graining, while reducing the effects of water deficit in coffee during the summer in the conditions of northeastern Brazil. These results verified in different years and periods showed that calcium particle films are valuable tools for coffee protection and have an innovative potential for different crop systems, 20% of CaO presented longer duration of these effects. It was also found that 'Vitória Incaper 8142' plants could support 66% ET_c regimes, promoting water saving, and when associated with PF could improve plant performance and coffee grain size.

Key-words: *Coffea canephora*, ecophysiology of coffee plants, gas exchange, grain sieving, shading.

* Supervising Committee: Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior – UFS (Orientador).

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é uma das principais culturas produzidas no Brasil, cuja importância econômica e cultural se reflete historicamente em um dos ciclos socioeconômicos do país, iniciado por volta do século XVIII. A produção comercial esteve por muito tempo baseada no cultivo do café arábica (*Coffea arabica* L.), limitada às condições climáticas do Sudeste, Sul do Brasil e outros locais com clima de altitude.

Outra espécie, o café conilon ou robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) é menos exigente do ponto de vista edafoclimático, produz um café de menor qualidade, porém, pode ser misturado ao café arábica para adicionar características de interesse como corpo e maior teor de cafeína à bebida. Estima-se que cerca de um terço do café produzido no mundo seja de conilon. No Brasil, o cultivo desta espécie está presente desde o estado do Espírito Santo, maior produtor, a outros estados e regiões, como: Minas Gerais, Sul e Oeste da Bahia, e Rondônia, porém limitados a condições de maior pluviosidade, clima ameno e sob irrigação.

O panorama de mudanças climáticas prevê que a frequência de eventos extremos como altas temperaturas, excesso de radiação solar e índices UV, estiagens e secas se tornarão constantes e colocarão sob ameaça a agricultura em nível global. No Brasil, estima-se perda considerável de áreas potenciais para a agricultura, sobretudo de espécies mais sensíveis. Embora muitas plantas possuam mecanismos capazes de fornecer adaptação a essas condições climáticas, algumas espécies agrícolas são sensíveis o suficiente para terem sua produtividade ou sobrevivência afetadas severamente. O cafeeiro é uma destas espécies que pode ser significativamente sensível aos efeitos isolados ou acumulados destes fatores climáticos.

O cafeeiro é adaptado ao sombreamento, possui uma elevada plasticidade fenotípica e um longo ciclo reprodutivo, o que exige sua proteção. Pesquisas tem evidenciado o benefício do cultivo sombreado do cafeeiro associado a outras espécies por consórcio e sistemas agroflorestais. No entanto, sob déficit hídrico nestes sistemas as plantas podem apresentar competição por água e nutrientes do solo, sendo necessárias outras técnicas que possam fornecer proteção adicional ao cafeeiro quando necessário. Filmes de partículas estão entre as tecnologias para proteção de plantas aplicadas na agricultura, no entanto, a maioria dos estudos estão restritos ao uso de partículas de caulim, um mineral aluminossilicatado.

Pouco conhecimento existe sobre a utilização de filmes de partículas em planta de café, e a utilização de outros materiais como fonte, o que leva a questionar se outros filmes de partículas minerais como carbonato de cálcio e óxido de cálcio poderiam fornecer proteção aos cafeeiros e promover efeitos de sombreamento. Além disso, o conhecimento sobre os possíveis efeitos de proteção de filmes de partículas para plantas de café sobre restrição hídrica é desconhecido, e requer estudos que evidenciem seus efeitos sobre os cafeeiros, tendo em vista a possibilidade de promover melhoria ao desempenho das plantas, eficiência e economia no uso da água, recurso natural que tem se tornado o principal fator limitante à agricultura.

Estudos baseados em respostas fisiológicas e agronômicas em campo são essenciais para verificar o efeito e eficácia de tais produtos sob estas condições, e refletir técnicas que possam ser de fato aplicáveis por produtores. Ao considerar também a possibilidade de expansão das lavouras de café conilon para áreas do Nordeste do Brasil, estudos devem abranger períodos críticos e condições desfavoráveis que possam subsidiar informações suficientes para segurança no cultivo desta espécie. Fases críticas como o estabelecimento da cultura e a fase de granação de frutos e grãos durante o ciclo de produção são fundamentais para determinar a viabilidade de cultivo e a capacidade de proporcionar melhoria à qualidade dos grãos.

Neste sentido, o objetivo geral e específicos do trabalho foram elaborar filmes de partículas de cálcio para o cafeeiro conilon e avaliar seus efeitos comparados ao sombreamento natural durante o estabelecimento da cultura e associado a diferentes regimes hídricos na fase de granação, nas condições dos Tabuleiros Costeiros em Sergipe, Brasil. Para isto, este trabalho foi dividido em duas etapas que correspondem aos estudos aplicados em cada estágio de desenvolvimento do cafeeiro sob aspectos fisiológicos e agronômicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner)

Dentre as mais de 124 espécies do gênero *Coffea* (DAVIS et al., 2011), o cafeeiro conilon ou robusta é uma espécie de significativo valor econômico e adaptada a regiões de média e baixas altitudes, com precipitação anual acima de 1.200 mm e temperaturas entre 17°C e 33°C. Em regiões mais frias pode ter o desenvolvimento prejudicado (BARBOSA et al., 2014; DUBBERSTEIN et al., 2017; MARTINS et al., 2019; PARTELLI et al., 2013).

A produção desta espécie é normalmente anual, podendo ser bianual quando as plantas estão submetidas a condições de estresse severo ou com altas cargas de produção que reduzem a formação de gemas vegetativas, o crescimento das plantas e a acumulação de reservas metabólicas para o ciclo posterior (RODRIGUES et al., 2013). Apresenta ciclo reprodutivo em torno de 10 meses e as fases fenológicas principais são floração, frutificação, expansão, granação e maturação de frutos e grãos, ocorrendo entre os meses de setembro a junho nas condições tropicais do Brasil (CAMARGO; CAMARGO, 2001; RICCI; COCHETO JUNIOR; ALMEIDA, 2013). A planta possui a estrutura da copa dividida entre ramos ortotrópicos (verticais e vegetativos) e ramos plagiotrópicos (horizontais e reprodutivos ou vegetativos) (DAMATTA et al., 2016; FERRÃO et al., 2012). De *Coffea canephora* se produz uma bebida de menor acidez, maior teor de cafeína e composta por aromas fenólicos, sabor amargo com corpo e adstringência que normalmente é combinado com *Coffea arábica* L. para produção comercial de pós para bebidas (MORI et al., 2016).

Diferentes cultivares, variedades clonais e genótipos de *Coffea canephora* tem sido desenvolvidos, selecionados e estudados para obtenção/identificação de indivíduos com características agrônômicas de tolerância a condições climáticas adversas, como altas temperaturas, excesso de radiação solar e déficit hídrico (DAMATTA et al., 2003; FERRÃO et al., 2012; GUEDES et al., 2018; MARTINS et al., 2017). Estudos neste sentido são apoiados pelo panorama de mudanças climáticas, que prevê a perda considerável de áreas potenciais para o cultivo do cafeeiro no Brasil com o aumento da temperatura atmosférica e a incidência acentuada de eventos de seca (BUNN et al., 2015; MARTINS et al., 2019; VERBURG et al., 2019).

A variedade clonal ‘Vitória Incaper 8142’ desenvolvida inicialmente para o estado do Espírito Santo (FONSECA et al., 2004) é composta pela seleção de 13 clones de elite com alta heterogeneidade genética, porém compatíveis entre si (CONTARATO et al., 2014; FERRÃO et al., 2012; SILVA et al., 2017), a composição da variedade visava melhorar a rusticidade e a estabilidade da produção de *Coffea canephora* (FERRÃO et al., 2012), uma planta caracteristicamente alógama (DENOEUDE et al., 2014). Estudos com ‘Vitória Incaper 8142’ indicaram que a variedade apresenta amplo potencial de adaptação a diferentes condições climáticas e edáficas (SILVA et al., 2017), e é pouco influenciada pelo efeito de diferentes fontes de adubação nitrogenada para manutenção da atividade do aparato fotossintético (OLIOSI et al., 2017). No entanto, sob redução da disponibilidade hídrica em sistemas não irrigados pode apresentar redução da porcentagem de grãos retidos em peneira 13 ou maiores (DARDENGO et al., 2018).

O déficit hídrico é um dos principais fatores de estresse em plantas, que causa grande impacto sobre o desenvolvimento e a produção (ZARGAR et al., 2017). As respostas ao estresse hídrico dependem da espécie, genótipo, severidade, duração do evento e da memória de estresse que foram anteriormente impostas às plantas (FLETA-SORIANO; MUNNÉ-BOSCH, 2016; GUEDES et al., 2018). Estudos recentes sobre déficit hídrico de *C. canephora* demonstraram que mecanismos mais eficientes de tolerância ao estresse hídrico são ativados após múltiplos eventos de seca e envolvem respostas como: aumento na atividade antioxidante (MARTINS et al., 2016), melhoria da atividade carboxilase da enzima RuBisCO e da taxa fotossintética (A) (GUEDES et al., 2018), além da expressão/silenciamento de genes envolvidos com a produção de ácido abscísico (ABA) (MENEZES-SILVA et al., 2017).

Por exemplo, o uso de porta-enxertos de *C. canephora* tolerantes à seca evidenciou aumento expressivo de ABA no enxerto sensível, um mecanismo de resposta para aclimação que é evidenciado pelo atraso na desidratação e está relacionado ao controle da condutância estomática (g_s) e transpiração (E), e que não pôde ser explicado por diferenças em adaptações foliares ou na relação entre copa/raiz (SILVA et al., 2018). A variedade ‘Vitoria Incaper 8142’ tem sido indicada por possuir clones que apresentam tolerância ao déficit hídrico (FERRÃO et al., 2012). Outras respostas verificadas em *C. canephora* envolveram modulação da expansão foliar e do metabolismo fotossintético (ACHAR et al., 2015), e redução na densidade estomática pela inativação do gene *CcSDD1* que expressa proteínas para formação de células guarda (MARRACCINI et al., 2012).

A ativação de mecanismos fisiológicos de proteção, como a fotorrespiração e o fluxo cíclico de elétrons para compensar e dissipar excesso de e^- na cadeia transportadora de elétrons, também foram verificados para *C. canephora*, quando a condição de seca impôs a necessidade de fechamento estomático e a redução da atividade fotossintética (MENEZES-SILVA et al., 2017). Aumentos em A foram relacionados ao incremento na eficiência fotossintética quando plantas de *Coffea* spp. foram expostas a altas concentrações de CO_2 , mesmo sob condições de seca (MARTINS et al., 2016).

Estudos conduzidos por Damatta et al. (2003) verificaram respostas diferentes entre dois clones (46 e 120) de *C. canephora* sob estresse hídrico, o primeiro apresentou ajuste osmótico pelo aumento da concentração de solutos e redução da área foliar total; enquanto o segundo (120) aumentou a elasticidade tecidual garantindo a manutenção da pressão de turgor, maior área foliar total e mecanismos de sinalização via ABA para manutenção do status hídrico (SILVA et al., 2010, 2018). O clone 120 demonstrou possuir aparato fotossintético mais resistente ao estresse fotooxidativo e um sistema radicular mais profundo, mantendo maiores níveis de atividade fotossintética (MENEZES-SILVA et al., 2017; PINHEIRO et al., 2004).

O déficit hídrico foi reportado por aumentar a densidade da madeira, o que aparentemente está relacionado a mecanismos para aumentar a tensão no xilema e promover a elevação de água das raízes à copa (MENEZES-SILVA et al., 2015). Plantas de *C. canephora* sob déficit hídrico e altas irradiâncias apresentaram estratégias de modificações como dobramento do limbo e inclinações das folhas e folíolos que reduzem a superfície de exposição (MARRACCINI et al., 2012).

A exposição do cafeeiro a altas irradiâncias se mostrou prejudicial ao desempenho das plantas (SILVA et al., 2019a), o qual pôde ser melhorado pelo sombreamento natural em consórcio com gliricídia (RICCI; COCHETO JUNIOR; ALMEIDA, 2013), bananeiras (ARAÚJO et al., 2015; SILVA et al., 2019a), espécies arbóreas (SILVA NETO et al., 2018) ou em sistemas agroflorestais (NESPER et al., 2017). No entanto, o cultivo consorciado requer cuidados para manutenção adequada das condições de fertilidade e hídricas, evitando-se a competição entre plantas, o que poderia afetar significativamente a produção e qualidade do café (SILVA NETO et al., 2018).

Estudos com *C. canephora* demonstraram que plantas de sombra apresentaram aumento do limbo foliar (ARAÚJO et al., 2016) e alocação de carboidratos estruturais para a demanda de suporte foliar (CAVATTE et al., 2012), enquanto reduziam a atividade de enzimas do complexo antioxidativo e aumentavam os teores de clorofilas e carotenoides (RODRÍGUEZ-LÓPEZ et al., 2013). Folhas de sol apresentaram maior espessura, maior rigidez dos tecidos, maior serosidade, maior ajustamento osmótico com produção do osmorregulador prolina, especialmente aquelas submetidas à restrição hídrica (CAVATTE et al., 2012; TESFAYE et al., 2014). No entanto, em estudo conduzido por Cavatte et al. (2012) o fator água e luz foram independentes, o que poderia sugerir que o sombreamento do cafeeiro não suprimiria efeitos das condições de estresse dada pela restrição hídrica. O que certamente é uma etapa a ser vencida para a expansão da lavoura cafeeira em regiões que oferecem algum grau de risco por déficit hídrico.

A expansão de áreas com *Coffea* spp. para o Nordeste do Brasil é uma realidade que vem ocorrendo com o cultivo de *Coffea arabica* em regiões de altitude como na região da Chapada Diamantina na Bahia (COSTA; BESSA, 2014). E com o cultivo de *Coffea canephora* em regiões litorâneas (SILVA et al., 2019a) e no meio oeste (SOUZA et al., 2013). As condições climáticas com altos níveis de radiação e temperatura como as encontradas no Nordeste podem se tornar significativamente severas ao desenvolvimento do cafeeiro em determinadas épocas do ano. Além disso, sob condições de déficit hídrico no solo o uso de sombreamento do cafeeiro por consórcio pode favorecer a competição por água e nutrientes entre as culturas (DARDENGO et al., 2018; VICENTE et al., 2015). Outras tecnologias para promover proteção ao cafeeiro são necessárias e estudos recentes indicam que a tecnologia de filmes de partículas poderia ser promissora (SILVA et al., 2019a; STEIMAN et al., 2011; STEIMAN; BITTENBENDER; IDOL, 2007).

2.2 A tecnologia de filmes de partículas em plantas

Filmes de partículas (FP) são suspensões aquosas, geralmente de partículas minerais, que após aspersão sobre plantas e evaporação da água formam uma cobertura capaz de fornecer proteção ao excesso de radiação solar e temperatura (BOARI et al., 2016; BRITO et al., 2019a, 2019b; DINIS et al., 2016a; SILVA et al., 2019a).

Diferentes materiais poderiam ser utilizados no desenvolvimento de filmes de partículas, é interessante que tais formulações apresentem baixo custo, perfil de segurança, baixa abrasão, pequeno tamanho da partícula ($\cong 2\mu\text{m}$), capacidade de dispersão em água, e disponibilidade comercial para utilização agrícola (GLENN et al., 2003; SHARMA; VIJAY RAKESH REDDY; DATTA, 2015). No mercado internacional existem dois produtos principais: filmes a base de caulim (Surround®WP Engelhard, Iselin, NJ, USA) e de carbonato de cálcio (Purshade®, Nova Source, Arizona, USA).

Diferentes mecanismos têm sido atribuídos a ação dos filmes sobre as plantas e envolvem principalmente: reflexão parcial da radiação fotossintética ativa, ultravioleta e infravermelha com redução da temperatura e exposição foliar (BRITO et al., 2019a; DINIS et al., 2018a), espalhamento da luz para outros pontos da copa, por exemplo, para folhas autossombreadas (CANTORE; PACE; ALBRIZIO, 2009; MAKUS, 2005), alterações na quantidade e qualidade da luz que alcançam os cloroplastos e outras estruturas do vegetal (BRITO et al., 2019a), e obstrução parcial dos estômatos conferindo propriedades antitranspirantes (BOARI et al., 2015, 2016; CANTORE; PACE; ALBRIZIO, 2009). O que poderiam caracterizar os FPs como uma tecnologia de sombreamento artificial (BRITO et al., 2019b; SILVA et al., 2019a, 2019b, 2019c).

Em folhas hipoestomáticas, como as da maioria das plantas arbóreas, filmes de partículas aplicados sob a face adaxial não causariam obstrução direta dos estômatos, assim, a redução/aumento da transpiração (E) é impulsionada pela redução térmica na folha e pelo déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) que provoca a redução da camada limítrofe. Enquanto para folhas anfiestomáticas efeitos térmicos e de obstrução dos estômatos podem ser acumulados (BOARI et al., 2014; ĆOSIĆ et al., 2018; SILVA et al., 2019b).

O uso de caulim em oliveiras, por exemplo, demonstrou que o filme foi capaz de proporcionar a formação de um microclima em torno da folha, controlando a condutância estomática (g_s) e E , além de aumentar A . Filmes de caulim foram capazes também de reduzir a necessidade de investimento em defesas antioxidantes sob condições de restrição hídrica e altas temperaturas (BRITO et al., 2018a), modulou modificações estruturais nas folhas, no metabolismo secundário e na sinalização hormonal para reduzir ABA (BRITO et al., 2019a). Melhorou também as propriedades antioxidantes dos frutos e azeite (BRITO et al., 2018b; KHALEGHI et al., 2015) e foi caracterizado como uma ferramenta para aliviar os efeitos de estresse abiótico sobre a cultura (BRITO et al., 2019b).

Em *Vitis vinífera* L., filmes de caulim promoveram o desempenho fisiológico das plantas com aumentos significativos de A e do potencial hídrico foliar (ψ), enquanto melhorava

a qualidade dos frutos e reduzia danos oxidativos (DINIS et al., 2018a, 2016b), além de reduzir metilações/desmetilações no DNA das videiras (BERNARDO et al., 2017). Melhorias na qualidade das bagas pelo aumento de polifenóis, antocianinas e açúcares também foram reportados pelo uso de FP (KOK; BAL, 2018).

Outros efeitos do uso caulim foram verificados por reduzir ABA e aumentar g_s e a eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA$) (DINIS et al., 2018b), além de promover a síntese e o transporte apoplástico de sacarose das células do mesófilo para o floema, a produção de açúcares, polióis, ácidos orgânicos e aminoácidos capazes de mitigar efeitos do estresse por déficit hídricos e radiação solar excessiva em *V. vinífera* (CONDE et al., 2018).

Os efeitos benéficos pelo uso de filmes de partículas de caulim também foram reportados por promover o status hídrico foliar e a economia de água em culturas hortícolas (BOARI et al., 2015); promover a proteção de nozeiras e a melhoria da qualidade de nozes persas (GHARAGHANI; MOHAMMADI; VAHDATI, 2018). Melhorou a proteção do tomateiro (BOARI et al., 2014; ĆOSIĆ et al., 2018), a produtividade e qualidade de tomates (BOARI et al., 2016; NEVENKA et al., 2016). Efeitos benéficos dos filmes de caulim para proteção de macieiras e redução de danos solares em maçãs também foram amplamente divulgados (GLENN, 2016; GLENN et al., 2002, 2003). Em plantas de café promoveram significativo sombreamento e melhorias no desempenho fisiológico das plantas (STEIMAN et al., 2011; STEIMAN; BITTENBENDER; IDOL, 2007).

Embora estudos com filmes a base de outros materiais sejam escassos, estudos com filmes a base de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) em macieiras indicaram seu potencial para redução das radiações fotossintética ativa (PAR) e ultravioleta (UV) incidentes (GLENN et al., 2003); utilizado também como filme de partículas em tangerineiras “muroctt” reduziu a temperatura das plantas e danos solares nos frutos (TSAI; LEE; CHANG, 2013).

Estudo mais recentes indicaram o potencial promissor do uso de filmes de cálcio ($CaCO_3$ e CaO) para sombreamento artificial, fotoproteção e melhoraria da eficiência do metabolismo energético nos fotossistemas e cadeia transportadora de elétrons em *Vitis labrusca* L. sob condições de alta irradiância (SILVA et al., 2019c). Resultados promissores também foram verificados em *Coffea canephora*, onde se verificou aumentos significativos de A , e das eficiências intrínseca ($EIUA$) e instantânea (EUA) do uso da água e de carboxilação (EIC), com destaque para o uso de óxido de cálcio (CaO) como alternativa potencial para uso como filme de partículas (SILVA et al., 2019a). Estudos realizados nas condições do Nordeste do Brasil indicam que filmes de partículas de cálcio podem ser promissores para a proteção de outras diferentes culturas e requerem investigações adicionais acerca dos processos fisiológicos e adequação da tecnologia para estas condições agrometeorológicas (SILVA et al., 2019a, 2019b, 2019c).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHAR, D.; AWATI, M.G.; UDAYAKUMAR, M.; PRASAD, T.G. Identification of Putative Molecular Markers Associated with Root Traits in *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Molecular biology international**, v. 2015, p. 532386, 2015.

ARAÚJO, A.V.; PARTELLI, F.L.; OLIOSI, G.; PEZZOPANE, J.R.M. Microclimatic and vegetative growth in coffee and banana intercrop. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 214–222, 2015.

ARAÚJO, A.V.; PARTELLI, F.L.; OLIVEIRA, M.G.; PEZZOPANE, J.R.M.; FALQUETO, A.R.; CAVATTE, P.C. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 47, n. 4, p. 700–709, 2016.

BARBOSA, D.H.G.S.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; PARTELLI, F.L.; VIANA, A.P.

Adaptability and stability of conilon coffee in areas of high altitude. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 7879–7888, 2014.

BERNARDO, S.; DINIS, L.-T.; LUZIO, A.; PINTO, G.; MEIJÓN, M.; VALLEDOR, L.; CONDE, A.; GERÓS, H.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 39–47, 2017.

BOARI, F.; CUCCI, G.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M.I.; CANTORE, V. Kaolin influences tomato response to salinity: physiological aspects. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 64, n. 7, p. 559–571, 2014.

BOARI, F.; DONADIO, A.; PACE, B.; SCHIATTONE, M.I.; CANTORE, V. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 154–162, 2015.

BOARI, F.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M.I.; CANTORE, V. Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. **Agricultural Water Management**, v. 167, p. 29–37, 2016.

BRITO, C.; DINIS, L.-T.; LUZIO, A.; SILVA, E.; GONÇALVES, A.; MEIJÓN, M.; ESCANDÓN, M.; ARROBAS, M.; RODRIGUES, M.Â.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.M. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 133, p. 29–39, 2018a.

BRITO, C.; DINIS, L.-T.; FERREIRA, H.; ROCHA, L.; PAVIA, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.M. Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees. **Scientia Horticulturae**, v. 237, p. 176–183, 2018b.

BRITO, C.; DINIS, L.-T.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.M. Kaolin and salicylic acid alleviate summer stress in rainfed olive orchards by modulation of distinct physiological and biochemical responses. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 201–211, 2019a.

BRITO, C.; DINIS, L.-T.; SILVA, E.; GONÇALVES, A.; MATOS, C.; RODRIGUES, M.A.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; BARROS, A.; CORREIA, C. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 310–316, 2019b.

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

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definition and outline for the phenological phases of arabic coffee under brazilian tropical conditions. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65–68, 2001.

CANTORE, V.; PACE, B.; ALBRIZIO, R. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 279–288, 2009.

CAVATTE, P.C.; OLIVEIRA, Á.A.G.; MORAIS, L.E.; MARTINS, S.C.V.; SANGLARD, L.M.V.P.; DAMATTA, F.M. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, v. 144, p. 111–122, 2012.

CONDE, A.; NEVES, A.; BREIA, R.; PIMENTEL, D.; DINIS, L.-T.; BERNARDO, S.; CORREIA, C.M.; CUNHA, A.; GERÓS, H.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of

grape leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 223, p. 47–56, 2018.

CONTARATO, C.C.; TOMAZ, M.A.; ALVES, F.R.; SOBREIRA, F.M.; JESUS JUNIOR, W.C.; RABELLO, L.K.; FERRÃO, M.A.; FERRÃO, R.G. Reaction of Cultivar Coffee “Vitória INCAPER 8142” of Cornillon to Parasitism of *Meloidogyne exigua*. **Idesia**, v. 32, n. 1, p. 93–97, 2014.

ĆOSIĆ, M.; STRIČEVIĆ, R.; DJUROVIĆ, N.; LIPOVAC, A.; BOGDAN, I.; PAVLOVIĆ, M. Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 23–31, 2018.

COSTA, C.; BESSA, F. **Inovação é marca da cafeicultura no Estado da Bahia. Embrapa Café**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1889762/inovacao-e-marca-da-cafeicultura-no-estado-da-bahia>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; PINHEIRO, H.A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, v. 164, n. 1, p. 111–117, 2003.

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

DARDENGO, M.C.J.D.; PEREIRA, L.R.; SOUSA, E.F.; REIS, E.F. Yield, quality and water consumption of conilon coffee under irrigated and dryland managements. **Coffee Science**, v. 13, n. 3, p. 272–282, 2018.

DAVIS, A.P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of plastid and nuclear DNA sequences; implication for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of Linnean society**, v. 167, p. 357–377, 2011.

DENOEUDE, F.; CARRETERO-PAULET, L.; DEREEPER, A.; DROC, G.; GUYOT, R.; PIETRELLA, M.; ZHENG, C.; ALBERTI, A.; ANTHONY, F.; APREA, G.; AURY, J.-M.; BENTO, P.; BERNARD, M.; BOCS, S.; CAMPA, C.; CENCI, A.; COMBES, M.-C.; CROUZILLAT, D.; SILVA, C.; DADDIEGO, L.; BELLIS, F.; DUSSERT, S.; GARSMEUR, O.; GAYRAUD, T.; GUIGNON, V.; JAHN, K.; JAMILLOUX, V.; JOËT, T.; LABADIE, K.; LAN, T.; LECLERCQ, J.; LEPELLEY, M.; LEROY, T.; LI, L.-T.; LIBRADO, P.; LOPEZ, L.; MUÑOZ, A.; NOEL, B.; PALLAVICINI, A.; PERROTTA, G.; PONCET, V.; PRIYONO; POT, D.; RIGOREAU, M.; ROUARD, M.; ROZAS, J.; TRANCHANT-DUBREUIL, C.; VANBUREN, R.; ZHANG, Q.; ANDRADE, A.C.; ARGOUT, X.; BERTRAND, B.; KOCHKO, A.; GRAZIOSI, G.; HENRY, R.J.; JAYARAMA; MING, R.; NAGAI, C.; ROUNSLEY, S.; SANKOFF, D.; GIULIANO, G.; ALBERT, V.A.; WINCKER, P.; LASHERMES, P. The coffee genome provides insight into the convergen evolution of caffeine biosynthesis. **Science**, v. 345, n. 6201, p. 1181–1184, 2014.

DINIS, L.-T.; MALHEIRO, A.C.; LUZIO, A.; FRAGA, H.; FERREIRA, H.; GONÇALVES, I.; PINTO, G.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 641–651, 2018a.

DINIS, L.-T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GERÓS, H.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin exogenous application

boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 191, p. 45–53, 2016a.

DINIS, L.-T.; FERREIRA, H.; PINTO, G.; BERNARDO, S.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. **Photosynthetica**, v. 54, n. 1, p. 47–55, 2016b.

DINIS, L.-T.; BERNARDO, S.; LUZIO, A.; PINTO, G.; MEIJÓN, M.; PINTÓ-MARIJUAN, M.; COTADO, A.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 220, p. 181–192, 2018b.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F.L.; DIAS, J.R.M., ESPINDULA, M.C. Influence of fertilization on coffee trees vegetative growth in west south Amazon. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 197–206, 2017.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.; FERRÃO, M.A.G.; FILHO, A.C.V.; VOLPI, P.S.; MUNER, L.H.; LANI, J.A.; PREZOTTI, L.C.; VENTURA, J.A.; MARTINS, D.S.; MAURI, A.L.; MARQUES, E.M.G.F.Z. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. 4. ed. revisada e ampliada. Vitória, ES: Incaper, 2012. (Incaper: Circular Técnica, 03-I), 74 p.

FLETA-SORIANO, E.; MUNNÉ-BOSCH, S. Stress Memory and the Inevitable Effects of Drought: A Physiological Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 143, p. 1–6, 2016.

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; ZUCATELI, F. “Conilon Vitória - Incaper 8142”: improved *Coffea canephora* var. kouillou clone cultivar for the state of Espírito Santo. **Cropps Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 503–505, 2004.

GHARAGHANI, A.; MOHAMMADI, A.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 35–40, 2018.

GLENN, D.M.; PRADO, E.; EREZ, A.; MCFERSON, J.; PUTERKA, G.J. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 2, p. 188–193, 2002.

GLENN, D.M.; EREZ, A.; PUTERKA, G.J.; GUNDRUM, P. Particle films affect carbon assimilation and yield in “Empire” apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 3, p. 356–362, 2003.

GLENN, D.M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. **Scientia Horticulturae**, v. 205, p. 127–132, 2016.

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

KHALEGHI, E.; ARZANI, K.; MOALLEMI, N.; BARZEGAR, M. The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv “Zard” grown under warm and semi-arid region of Iran. **Food Chemistry**, v. 166, p. 35–41, 2015.

KOK, D.; BAL, E. Leaf Removal Treatments Combined with Kaolin Particle Film Technique from Different Directions of Grapevine’s Canopy Affect the Composition of Phytochemicals

of cv. Muscat Hamburg (*V. Vinifera* L.). **Erwerbs-Obstbau**, v. 69, p. 39–45, 2018.

MAKUS, D.J. Effect of Kaolin (SurroundTM) on Pepper Fruit and Seed Mineral Nutrients 1. **Subtropical Plant Science**, v. 57, p. 5–9, 2005.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G.S.C.; RAMOS, H.J.O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N.G.; CARNEIRO, F.A.; SUJII, P.S.; ALEKCEVETCH, J.C.; SILVA, V.A.; DAMATTA, F.M.; FERRÃO, M.A.G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L.G.E.; SILVA, F.R.; ANDRADE, A.C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 11, p. 4191–4212, 2012.

MARTINS, M.Q.; RODRIGUES, W.P.; FORTUNATO, A.S.; LEITÃO, A.E.; RODRIGUES, A.P.; PAIS, I.P.; MARTINS, L.D.; SILVA, M.J.; REBOREDO, F.H.; PARTELLI, F.L.; CAMPOSTRINI, E.; TOMAZ, M.A.; SCOTTI-CAMPOS, P.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; LIDON, F.J.C.; DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.C. Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO₂] Conditions in *Coffea* spp. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

MARTINS, M.Q.; FORTUNATO, A.S.; RODRIGUES, W.P.; PARTELLI, F.L.; CAMPOSTRINI, E.; LIDON, F.C.; DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.C.; RIBEIRO-BARROS, A.I. Selection and Validation of Reference Genes for Accurate RT-qPCR Data Normalization in *Coffea* spp. under a Climate Changes Context of Interacting Elevated [CO₂] and Temperature. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 307, p. 1–11, 2017.

MARTINS, M.Q.; PARTELLI, F.L.; GOLYNSKI, A.; PIMENTEL, N.S.; FERREIRA, A.; BERNARDES, C.O.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; RAMALHO, J.C. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 238–242, 2019.

MENEZES-SILVA, P.E.; CAVATTE, P.C.; MARTINS, S.C.V.; REIS, J.V.; PEREIRA, L.F.; ÁVILA, R.T.; ALMEIDA, A.L.; VENTRELLA, M.C.; DAMATTA, F.M. Wood density, but not leaf hydraulic architecture, is associated with drought tolerance in clones of *Coffea canephora*. **Trees**, v. 29, n. 6, p. 1687–1697, 2015.

MENEZES-SILVA, P.E.; SANGIARD, L.M.V.P.; ÁVILA, R.T.; MORAIS, L.E.; MARTINS, S.C.V.; NOBRES, P.; PATREZE, C.M.; FERREIRA, M.A.; ARAÚJO, W.L.; FERNIE, A.R.; DAMATTA, F.M. Photosynthetic and metabolic acclimation to repeated drought events play key roles in drought tolerance in coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 15, p. 4309–4322, 2017.

MORI, A.L.B.; KALSCHNE, D.L.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; BENASSI, M.T. Diterpenes in *Coffea canephora*. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 52, p. 52–57, 2016.

NESPER, M.; KUEFFER, C.; KRISHNAN, S.; KUSHALAPPA, C.G.; GHAZOUL, J. Shade tree diversity enhances coffee production and quality in agroforestry systems in the Western Ghats. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 247, n. May, p. 172–181, 2017.

NEVENKA, D.; ČOSIĆ, M.; STRIČEVIĆ, R.; SAVIĆ, S.; DOMAZET, M. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 271–278, 2016.

OLIOSI, G.; OLIVEIRA, J.R.; FALQUETO, A.R.; PIRES, F.R.; MONTE, J.A.; PARTELLI, F.L. Fluorescência transiente da clorofila a e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 248–259, 2017.

- PARTELLI, F.L.; MARRÉ, W.B.; FALQUETO, A.R.; VIEIRA, H.D.; CAVATTI, P.C. Seasonal Vegetative Growth in Genotypes of *Coffea canephora*, as Related to Climatic Factors. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 8, p. 108–116, 2013.
- PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; FONTES, E.P.B.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, v. 167, n. 6, p. 1307–1314, 2004.
- RICCI, M.S.F.; COCHETO JUNIOR, D.G.C.; ALMEIDA, F.F.D. Microweather conditions, phenology and external morphology of coffee trees in shaded and full sun systems. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 379–388, 2013.
- RODRIGUES, W.N.; TOMAZ, M.A.; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A.; MARTINS, L.D. Crop yield bienniality in groups of genotypes of conilon coffee. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 34, p. 4422–4426, 2013.
- RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N.F.; CAVATTE, P.C.; SILVA, P.E.M.; MARTINS, S.C.V.; MORAIS, L.E.; MEDINA, E.F.; DAMATTA, F.M. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. **Physiologia Plantarum**, v. 149, n. 1, p. 45–55, 2013.
- SHARMA, R.R.; VIJAY RAKESH REDDY, S.; DATTA, S.C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116–117, p. 54–68, 2015.
- SILVA, P.S.O.; OLIVEIRA JUNIOR, L.F.G.; GONZAGA, M.I.S.; SENA, E.O.A.; MACIEL, L.B.S.; FIAES, M.P.; MATTOS, E.C.; CARNELOSSI, M.A.G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 171–177, 2019a.
- SILVA, P.S.O.; SENA, E.O.A.; GONZAGA, M.I.S.; OLIVEIRA JUNIOR, L.F.G.; MACIEL, L.B.S.; SANTOS, M.P.F.; MATTOS, E.C.; DIAS, K.L.L.; BOTELHO, R.C.; CARNELOSSI, M.A.G. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. **Environmental and Experimental Botany**, v. 165, p. 19–29, 2019b.
- SILVA, P.S.O.; OLIVEIRA JUNIOR, L.F.G.; MATTOS, E.C.; MACIEL, L.B.; SANTOS, M.P.F.; SENA, E.O.A.; BARBOSA, N.T.B.; CARNELOSSI, M.A.G.; FAGUNDES, J.L. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 77–84, 2019c.
- SILVA, V.A.; ANTUNES, W.C.; GUIMARÃES, B.L.S.; PAIVA, R.M.C.; SILVA, V.D.F.; FERRÃO, M.A.G.; DAMATTA, F.M.; LOUREIRO, M.E. Physiological response of Conilon coffee clone sensitive to drought grafted onto tolerant rootstock. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 457–464, 2010.
- SILVA, V.A.; MACHADO, J.L.; REZENDE, J.C.; OLIVEIRA, A.L.; FIGUEIREDO, U.J.; CARVALHO, G.R.; FERRÃO, M.A.G.; GUIMARÃES, R.J. Adaptability, stability, and genetic divergence of conilon coffee in Alto Suaçuí, Minas Gerais, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 25–31, 2017.
- SILVA, V.A.; PRADO, F.M.; ANTUNES, W.C.; PAIVA, R.M.C.; FERRÃO, M.A.G.; ANDRADE, A.C.; MASCIO, P.D.; LOUREIRO, M.E.; DAMATTA, F.M.; ALMEIDA, A.M. Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 85, n. 2, p. 221–229, 2018.
- SILVA NETO, F.J.; MORINIGO, K.P.G.; GUIMARÃES, N.F.; GALLO, A.S.; SOUZA,

M.D.B.; STOLF, R.; FONTANETTI, A. Shade trees spatial distribution and its effect on grains and beverage quality of shaded coffee trees. **Journal of Food Quality**, v. 2018, n. 7909467, 2018.

SOUZA, A.J.D.J.; MATSUMOTO, S.N.; MALTA, M.R.; GUIMARÃES, R.J. Quality of shaded and unshaded coffee, in post-harvest management in southwestern bahia. **Coffee Science**, v. 8, n. 2, p. 109–120, 2013.

STEIMAN, S.; IDOL, T.; BITTENBENDER, H.C.; GAUTZ, L. Shade coffee in Hawai'i - Exploring some aspects of quality, growth, yield, and nutrition. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 2, p. 152–158, 2011.

STEIMAN, S.R.; BITTENBENDER, H.C.; IDOL, T.W. Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. **HortScience**, v. 42, n. 7, p. 1605–1608, 2007.

TESFAYE, S.G.; ISMAIL, M.R.; RAMLAN, M.F.; MARZIAH, M.; KAUSAR, H. Effect of Soil Drying on Rate of Stress Development, Leaf Gas Exchange and Proline Accumulation in Robusta Coffee (*Coffea Canephora* Pierre Ex Froehner) Clones. **Experimental Agriculture**, v. 50, n. 3, p. 458–479, 2014.

TSAI, M.S.; LEE, T.C.; CHANG, P.T. Comparison of paper bags, calcium carbonate, and shade nets for sunscald protection in “Murcott” tangor fruit. **HortTechnology**, v. 23, n. 5, p. 659–667, 2013.

VERBURG, R.; RAHN, E.; VERWEIJ, P.; VAN KUIJK, M.; GHAZOUL, J. An innovation perspective to climate change adaptation in coffee systems. **Environmental Science and Policy**, v. 97, p. 16–24, 2019.

VICENTE, M.R.; MANTOVANI, E.C.; FERNANDES, A.L.T.; DELAZARI, F.T.; FIGUEREDO, E.M. Effects of different levels of irrigation depths on growth and production variables of coffee under center pivot irrigation. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 528–543, 2015.

ZARGAR, S.M.; GUPTA, N.; NAZIR, M.; MAHAJAN, R.; MALIK, F.A.; SOFI, N.R.; SHIKARI, A.B.; SALGOTRA, R.K. Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. **Plant Gene**, v. 11, n. April, p. 154–159, 2017.

4. ARTIGO 1

EFEITOS DE FILMES DE PARTÍCULAS DE CÁLCIO E SOMBREAMENTO NATURAL SOBRE PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS DO CAFEEIRO CONILON

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. O. A.; MACIEL, L. B. S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C.; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 171–177, 2019.

RESUMO

O cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) é uma cultura agrícola importante no Brasil devido seu alto valor econômico. Esta espécie de planta é sensível aos efeitos de altos níveis de radiação solar e temperatura, o que poderia limitar seu amplo cultivo na região Nordeste do Brasil. Entretanto, práticas de manejo como o sombreamento poderia aumentar a viabilidade de seu cultivo. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes métodos de sombreamento e o uso de filmes de partículas de cálcio nos parâmetros ecofisiológicos do cafeeiro conilon no tabuleiro costeiro do estado de Sergipe, Brasil. O experimento de campo foi realizado com delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos: i) Sombreamento natural (cafeeiros intercalados de bananeiras), ii) Sombreamento artificial com 10% p/v de filmes de partículas de CaCO_3 , iii) Sombreamento artificial com 20% p/v de filmes de partículas de CaO , iv) Controle (sem sombreamento) combinados a dois horários 9:00h e 12:00h e quatro repetições. As medições foram realizadas aos 7, 21 e 35 dias após a aplicação dos filmes. Parâmetros individuais e eficiências de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e manutenção da cobertura de filmes sobre as folhas foram avaliados. O sombreamento artificial com filmes de partículas promoveu maior estabilidade fisiológica das plantas de café durante as oscilações meteorológicas diurnas comparado ao controle, resultando em maiores taxas de fotossíntese líquida (*A*), melhor controle da condutância estomática (*gs*) e transpiração (*E*). Melhorias também foram verificadas nas eficiências do uso da água (*EUA* e *EIUA*) e na redução da temperatura das folhas. Filmes de partículas de cálcio foram mais eficientes em proporcionar proteção para os fotossistemas e melhoria a eficiência fotoquímica e a conversão de energia para fotofosforilação que o sombreamento natural. No entanto, os resultados foram mais pronunciados aos 21 dias após a aplicação dos filmes e mais persistente para o tratamento com filme de 20% de CaO . Portanto, filmes de partículas de cálcio são ferramentas úteis para aliviar o estresse de cafeeiros sob condições climáticas adversas.

Palavras-chave: Carbonato de cálcio; Óxido de cálcio; Estresse do cafeeiro; Brasil; Fluorescência da clorofila; Trocas gasosas.

ABSTRACT

Título: Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee

Conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) is an important agricultural crop in Brazil due to its high economic value. This plant species is sensitive to the effects of high levels of solar radiation and temperature, which could limit its wide cultivation in the Brazilian Northeast region. However, management practices such as shading could increase the feasibility of its cultivation. This study aimed to evaluate the effects of different shading methods and the use of calcium particle films on the conilon coffee ecophysiological parameters in the coastal flatland the State of Sergipe, Brazil. The field experiment was carried out as randomized block design with four treatments: i) Natural shading (intercropping coffee and banana plants), ii) Artificial shading with 10% w/v CaCO_3 particle films; iii) Artificial shading with 20% w/v CaO particle films; and iv) control (without shading), combined with two daily times 9:00h and 12:00h, and four replicates. Measurements were performed 7, 21 and 35 days after film application. Individual parameters, gas exchange efficiency, chlorophyll a fluorescence and maintenance of film coverage on leaves were evaluated. Artificial shading with particle films promoted greater physiological stability of the coffee plants during diurnal meteorological oscillations as compared to the control, resulting in higher rates of liquid photosynthesis (A), better control on stomatal conductance (g_s) and transpiration (E). Improvement was also observed in the plant water use efficiency (WUE and $IWUE$) and in the reduction of leaf temperature. Calcium particle films were more efficient in providing protection to the photosystems and improving photochemical efficiency and energy conversion for photophosphorylation than natural shading. However, the results were more pronounced at 21 days after film application and more persistent for treatment with 20% CaO film. Therefore, calcium particle films are useful tools to alleviate coffee plants stress under adverse climate conditions.

Key-words: Calcium carbonate; Calcium oxide; Coffee stress; Brazil; Chlorophyll fluorescence; Gas exchange.

4.1. Introdução

O café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) é um dos produtos agrícolas de maior importância econômica no Brasil. O País é o maior mundial produtor de café com exportações que atingiram cerca 3,3 milhões de toneladas em 2016 (International Coffee Organization, 2017).

O cafeeiro é uma planta tropical perene que exige características climáticas específicas para crescer e se desenvolver. Condições ambientais severas geralmente levam a um crescimento lento e afetam o desempenho fisiológico das plantas, como a diminuição da assimilação de CO_2 na concentração atmosférica atual e a taxa de fotossíntese líquida (A), que pode cair abaixo de $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Damatta et al., 2016). Sob alta radiação solar e temperatura, também podem ocorrer fotoinibição e fotorrespiração (Martins et al., 2014), as quais limitam os processos fotossintéticos e reduzem a produção das plantas (Oliosi et al., 2017). No entanto, as plantas de café podem se adaptar a diferentes condições ambientais quando algumas práticas de manejo, como sombreamento e densificação, além do fornecimento de nutrientes e água adequados, são aplicadas (Pereira et al., 2016).

Entre as espécies comerciais de café, o conilon é o mais rústico e de fácil adaptação em regiões de clima quente, motivo pelo qual a cultura está sendo considerada uma commodity alternativa para a região Nordeste do Brasil. As limitações atuais podem ser superadas pela adoção de novas tecnologias para proteger as plantas de altos níveis de radiação solar e temperatura. O sombreamento dos cafeeiros por bananeiras tem sido citado por sua capacidade

de reduzir a exposição a riscos climáticos, aumentar a biodiversidade no sistema e promover o aumento da produtividade do café (Araújo et al., 2015; Matos et al., 2009; Pezzopane et al., 2007).

Filmes de partículas com caulim têm sido relatados como uma tecnologia eficiente para aumentar a adaptação de plantas a climas adversos, uma vez que comprovadamente controlam o estresse fotooxidativo e mantêm compostos antioxidantes e a proteção do fotossistema II (PSII) em uvas (Bernardo et al., 2017; Conde et al., 2016; Dinis et al., 2016b,a), melhoram as propriedades do azeite de oliveiras (Khaleghi et al., 2015), aumentam a tolerância à salinidade em plantas de tomate (Boari et al., 2016, 2014), melhoram a eficiência do uso água e reduzem danos causados pelo sol em maçãs (Glenn, 2016; Glenn e Yuri, 2013), melhoram as características físicas dos grãos de café e aumentam a produtividade das plantas (Steiman et al., 2011).

Além disso, o efeito de filmes de caulim em diferentes variáveis ecofisiológicas correlatas revelou seus mecanismos fisiológicos de ação. Estes filmes reduziram a taxa de assimilação de CO_2 (A) como consequência da redução da condutância estomática (g_s) e transpiração (E), mas não afetaram significativamente a temperatura das plantas, o que sugere mecanismos de fechamento estomática por bloqueio físico a dependente de luz em tangerinas (Boari et al., 2015). Resultados similares foram observados nas videiras sob o efeito da restrição hídrica, que proporcionou maior eficiência intrínseca no uso da água ($EIUA$) (Brillante et al., 2016) e em tomates sob estresse salino (Boari et al., 2014). Cantore et al. (2009) também relataram redução da concentração interna de CO_2 (C_i) e aumento do déficit de pressão de vapor de água entre folha e ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) quando aplicaram filmes de caulim em plantas de tomate.

Resultados divergentes também foram relatados após a aplicação de filmes de caulim em plantas. Por exemplo, Chamchaiyaporn et al. (2013) observaram um aumento significativo em A , g_s , E e C_i em mangueiras tratadas com caulim em condições de dia ensolarado, apresentando valores médios de radiação fotossintética ativa de $1.400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, UR de 44,02% e temperatura média do ar de 38,09 °C. Em oliveiras tratadas com filmes de caulim, sob restrição hídrica, apenas A foi favorecida em relação ao controle (Denaxa et al., 2012). Em café arábica, a aplicação de caulim resultou em valores mais elevados de A (Steiman et al., 2007) e redução da temperatura da folha (Steiman et al., 2011, 2007). A emissão de fluorescência da clorofila a indicou que o filme de partículas de caulim favoreceu a máxima produtividade quântica do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m) e reduziu a produção quântica basal de processos não fotoquímicos (F_o/F_m) na videira (Dinis et al., 2016b), indicando seu potencial para proteção aos fotossistemas.

Como alternativa ao caulim, o carbonato de cálcio (CaCO_3) foi usado como filme de partículas em tangerineiras "murcott", reduzindo a temperatura da planta e danos causados pelo sol em frutos (Tsai et al., 2013). Glenn et al. (2003) também aplicaram filmes de partículas de cálcio em macieiras e observaram redução da radiação fotossinteticamente ativa e da radiação ultravioleta (UV). No entanto, o uso de materiais de cálcio em filmes de partículas ainda está em sua infância e precisa de mais investigações. De fato, não há informações sobre o uso de filmes de partículas de cálcio em cafeeiros. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos de diferentes métodos de sombreamento e o uso de filmes de partículas de cálcio nos parâmetros ecofisiológicos de cafeeiros conilon no tabuleiro costeiro do estado de Sergipe, Brasil.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Características da área experimental

O estudo foi realizado na estação experimental de campo da Universidade Federal de Sergipe - UFS, localizada na coordenada (10° 55' 25,1" S; 37° 12' 1,8" O, alt. 46 m). Segundo Köppen, o clima é do tipo As , tropical chuvoso, com temperaturas médias anuais em torno de

25,2 °C, verão seco e precipitação média anual de 1.300 mm, com chuvas concentradas entre os meses de abril a setembro (Santos et al., 2009). Os parâmetros meteorológicos durante o período de avaliação são apresentados na Fig. 1.

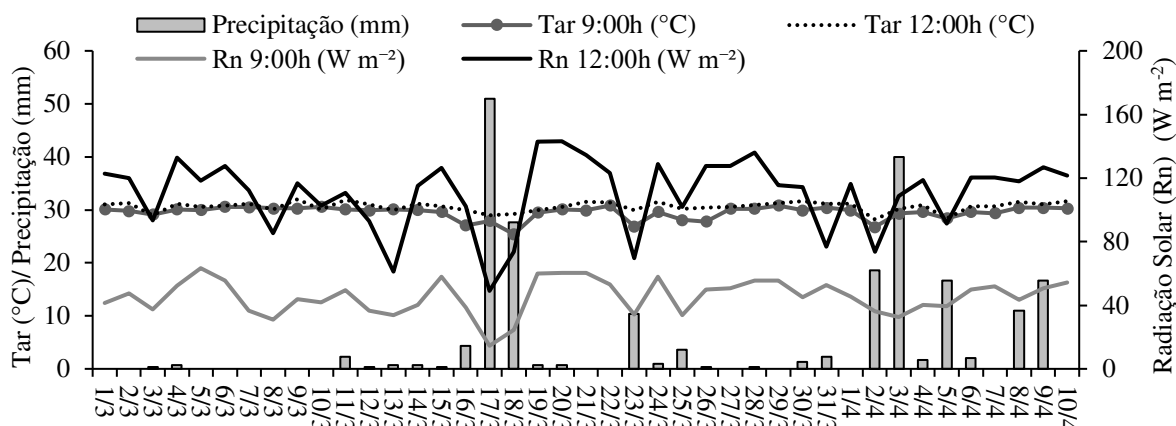


Fig. 1. Dados agrometeorológicos para o período experimental. Temperatura média do ar às 9:00h e 12:00h (Tar) (°C), radiação solar acumulada às 9:00h e 12:00h (Rn) (W m^{-2}), e precipitação diária acumulada (mm), durante o período de avaliação experimental (dia/mês) em 2017, aos 13/03/2017 (7DAA), 27/03/2017 (21 DAA) e 10/04/2017 (35 DAA).

O solo é classificado como Argissolo vermelho-amarelo (Santos et al., 2014), típico dos tabuleiros costeiros brasileiros. Após análise química do solo em amostras coletadas na camada de 0-20 cm, a calagem e adubação foram realizadas segundo Ferrão et al. (2009). Mudas de café conilon, variedade “Vitoria Incaper 8142”, foram plantadas em espaçamento de 1m×1,5m, sem sombreamento natural. Em área adjacente, foram plantadas mudas de café da mesma variedade e idade (11 meses), sob sombreamento natural de bananeiras de dois anos de idade, variedade “pacovã”, com 3,5 m de altura em espaçamento de 1,5m×3m. Mudas de café foram plantadas a uma distância de 1,5m das bananeiras. A irrigação foi aplicada por meio de um sistema de microaspersão, de acordo com a evapotranspiração e as exigências diárias da cultura (Allen et al., 1998), adotando o sistema de turno de rega.

A porcentagem de bloqueio luminoso por sombreamento natural com bananeiras foi estimada em 68%. Dois luxímetros digitais modelo LD-400 (Instrutherm, Brasil) foram posicionados acima do dossel das bananeiras e imediatamente acima do ápice dos cafeeiros, e 30 medidas foram obtidas ao mesmo tempo, cada uma com intervalos de 20s, em diferentes posições.

4.2.2. Delineamento e tratamentos experimentais

O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 8×3, com quatro repetições. O primeiro fator foi a combinação de quatro tipos de sombreamento e dois intervalos diários de tempo de avaliação: sem filme em pleno sol (PS), controle, entre 9:00-10:00h (PS 9h), PS entre 12:00– 13:00h (PS 12h), sombreamento artificial por filme partículas com solução 10% p/v de CaCO_3 entre 9:00-10:00h (CaCO_3 9h) e entre 12:00-13:00h (CaCO_3 12h), sombreamento artificial por filme particulado com solução 20% p/v de CaO entre 9:00-10:00h (CaO 9h) e entre 12:00-13:00h (CaO 12h), sombreamento por consórcio com bananeiras entre 9:00-10:00h (Banana 9h) e entre 12:00-13:00h (Banana 12h). O segundo fator foi composto por três (3) períodos de avaliação: 7 dias após a aplicação do filme (7DAA) (13/03/2017), 21 DAA (27/03/2017) e 35 DAA (10/04/2017).

4.2.3. Aplicação dos filmes de partículas

As amostras de carbonato de cálcio (CaCO_3) foram pesadas em uma balança semi-analítica, diluídas em água para concentração de solução de 10% p/v. O tratamento com óxido de cálcio (CaO) foi ajustado em concentrações mais altas (20% p/v) do que o CaCO_3 após testes

que encontraram uma melhor distribuição de cobertura nesta concentração. Os filmes foram aplicados utilizando um pulverizador manual de alta pressão modelo PAP-5 (Guarany, Brasil), com vazão de $1,2 \text{ L min}^{-1}$ e pressão de trabalho de 690 kPa.

4.2.4. Trocas gasosas

As variáveis de trocas gasosas analisadas foram: assimilação de CO_2 ou taxa fotossintética (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), déficit de pressão de vapor de água entre folha e ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) (kPa), relação entre carbono intercelular e concentrações de carbono no ambiente (C_i/C_a), temperatura foliar (T_{folha}) ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ar (T_{ar}) ($^{\circ}\text{C}$). As medidas foram realizadas em um medidor de trocas gasosas infravermelho e analisador portátil de fluorescência (IRGA), modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, EUA), utilizando como concentração de CO_2 $400 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar e fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) variando de 1.500 a $2.100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, entre 9:00-10:00h e 12:00-13:00h, respectivamente, de acordo com as condições locais. As medidas foram realizadas em folhas totalmente expandidas, entre o terceiro e o quarto par de folíolos, em ramos plagiotrópicos no terço superior do dossel da planta (Damatta et al., 2016). Os parâmetros de eficiência instantânea do uso da água (EUA) ($A E^{-1}$), eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA$) ($A g_s^{-1}$) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) ($A C_i^{-1}$) também foram calculados.

4.2.5. Medição da capacidade refletiva dos filmes

A capacidade refletiva dos filmes de partículas (Glenn et al., 2003) em relação à permanência dos teores residuais nas plantas foi estimada pela luminosidade (L^*), medida em cinco folhas na copa de cada planta, utilizando um colorímetro modelo CR400 (Konica Minolta, Japão). Os valores de luminosidade variaram de 0 a 100, do preto (total absorção de luz) ao branco absoluto (total reflexão de luz), respectivamente.

Os valores obtidos de L^* para as plantas com filmes de partículas foram comparados com o das plantas sem filme (L^* média do controle = 40) em cada período de avaliação (DAA), e apresentados como uma porcentagem estimada de L^* , que está relacionada à persistência ou remoção dos resíduos por agentes meteorológicos, como chuva e vento.

4.2.6. Medição de fluorescência da clorofila a

A análise de fluorescência da clorofila foi realizada às 9:00h, abaixo do pico de radiação de luz diária (Tsuboi e Wada, 2011), usando um fluorímetro não-modulado modelo OS-30P (ADC BioScientific Ltd., UK). Os seguintes parâmetros foram obtidos: fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), e calculadas a eficiência quântica máxima de PSII, F_v/F_m ($(F_m - F_o)/F_m$), eficiência máxima do processo fotoquímico de PSII (F_v/F_o), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos de PSII (F_o/F_m) de plantas adaptadas ao escuro por 30 min (Athar et al., 2015; Mohammed et al., 2015; Reis et al., 2008; Silva et al., 2015; Suassuna et al., 2011). As medições foram realizadas nas mesmas folhas para trocas gasosas em dias sem precipitação (Rodríguez-López et al., 2013).

4.2.7. Análises estatísticas

Os dados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias dos tratamentos foram comparadas pelos testes de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para as variáveis de trocas de gasosas e eficiências, e pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para as variáveis de fluorescência e luminosidade do filme. As análises estatísticas foram realizadas no software R pelo pacote estatístico "ExpDes.pt" (Ferreira et al., 2013).

4.3. Resultados

Interação significativa ($p \leq 0,05$) foi verificada para os parâmetros ecofisiológicos das plantas e para luminosidade (L^*).

4.3.1. Trocas gasosas

Com base na média dos três períodos de avaliação, houve um aumento de 208%, 111% e 98% na taxa fotossintética medida às 9:00h no sombreamento natural, com filme de CaCO_3 e com filme CaO , respectivamente, em comparação ao controle (Fig. 2a). A mesma tendência foi observada quando a medição foi realizada às 12:00h, com aumentos de 113%, 47% e 35%, exceto pela redução no tratamento com CaCO_3 aos 35 DAA. Houve redução de 22%, em média, no valor A das 9:00h às 12:00h. Além disso, o consórcio com bananeiras resultou em valores de A de 31% e 36% superiores aos dos tratamentos CaCO_3 e CaO , respectivamente, em ambos os intervalos de tempo.

Os tratamentos artificiais e natural de sombreamento também aumentaram a condutância estomática para vapor de água (g_s) e transpiração (E) (Fig. 2b e 2c), com os maiores valores observados no sistema de sombreamento natural. Dentre os tratamentos com sombreamento, o filme de CaCO_3 apresentou redução linear de g_s e E às 9:00h e aumento às 12:00h até 35DAA; o filme de CaO não apresentou diferenças estatísticas entre os intervalos de tempo e os períodos avaliados. A mesma tendência foi verificada para o tratamento com PS. Com base nos valores das variáveis g_s , semelhante a A , houve um aumento na condutância estomática de 406%, 35% e 27% às 9:00h e de 266%, 167% e 143% às 12:00h com sombreamento natural, CaCO_3 e CaO , respectivamente, comparados ao controle. Para a variável E , a média dos períodos indicou aumento de 97% às 12:00h nos tratamentos CaCO_3 e CaO em relação ao controle.

A variável $DPV_{\text{folha-ar}}$ (Fig. 2d) esteve fortemente relacionada com as variáveis E , T_{folha} e Tar (Fig. 2c e 2f). Os tratamentos com sombreamento por filmes apresentaram menores valores de DPV e T_{folha} em relação ao PS, exceto no tratamento com CaCO_3 às 9:00h e 7DAA.

O sombreamento com bananeira proporcionou valores de $DPV_{\text{folha-ar}}$ que oscilaram direta e proporcionalmente com a temperatura do ar e das folhas nesse sistema (Fig. 2f). Dentre os métodos de sombreamento, os filmes forneceram valores mais baixos de $DPV_{\text{folha-ar}}$ e T_{folha} às 12:00h, horário de pico para radiação solar e temperatura, com exceção do tratamento com banana aos 35DAA. Às 9:00h, apenas aos 21DAA, foram observados valores menores dessas variáveis para os filmes, comparados aos tratamentos com bananeira e PS. Para as variáveis T_{folha} e Tar , entre 7 e 21DAA, o sistema de sombreamento das bananeiras favoreceu valores estatisticamente iguais ou superiores ao controle.

A análise da variável Ci/Ca (Fig. 2e) evidenciou que os níveis intercelulares de carbono às 12:00h foram significativamente reduzidos para plantas sob o tratamento PS em comparação aos demais e relacionados ao fechamento estomático com base nos dados de g_s , exceto para aqueles verificados aos 7DAA. Às 9:00h, entre 21 e 35DAA, o tratamento com sombreamento de bananeira apresentou valores significativamente superiores aos demais para essa variável. Entre os tratamentos com filme, apenas o filme CaO às 12:00h, no 7DAA, aumentou significativamente os valores Ci/Ca .

Os tratamentos também influenciaram a eficiência instantânea do uso da água (EUA) das plantas de café (Tabela 1), entretanto, os efeitos foram dependentes do tempo de avaliação. No 7DAA, as plantas que foram tratadas com filme de CaO apresentaram maior EUA , para as medições realizadas às 9:00h. No 21DAA, no mesmo horário, ambos os filmes CaCO_3 e CaO apresentaram valores maiores no EUA que os demais tratamentos. Aos 35DAA, todos os tratamentos influenciaram a EUA na mesma extensão, exceto pelo tratamento com sombreamento natural, o que causou redução nessa variável. Vale ressaltar que independentemente do período de avaliação, a ausência de sombreamento, seja natural ou artificial, causou redução considerável nos valores de E , mantendo valores reduzidos de A quando as medições foram realizadas às 12:00h.

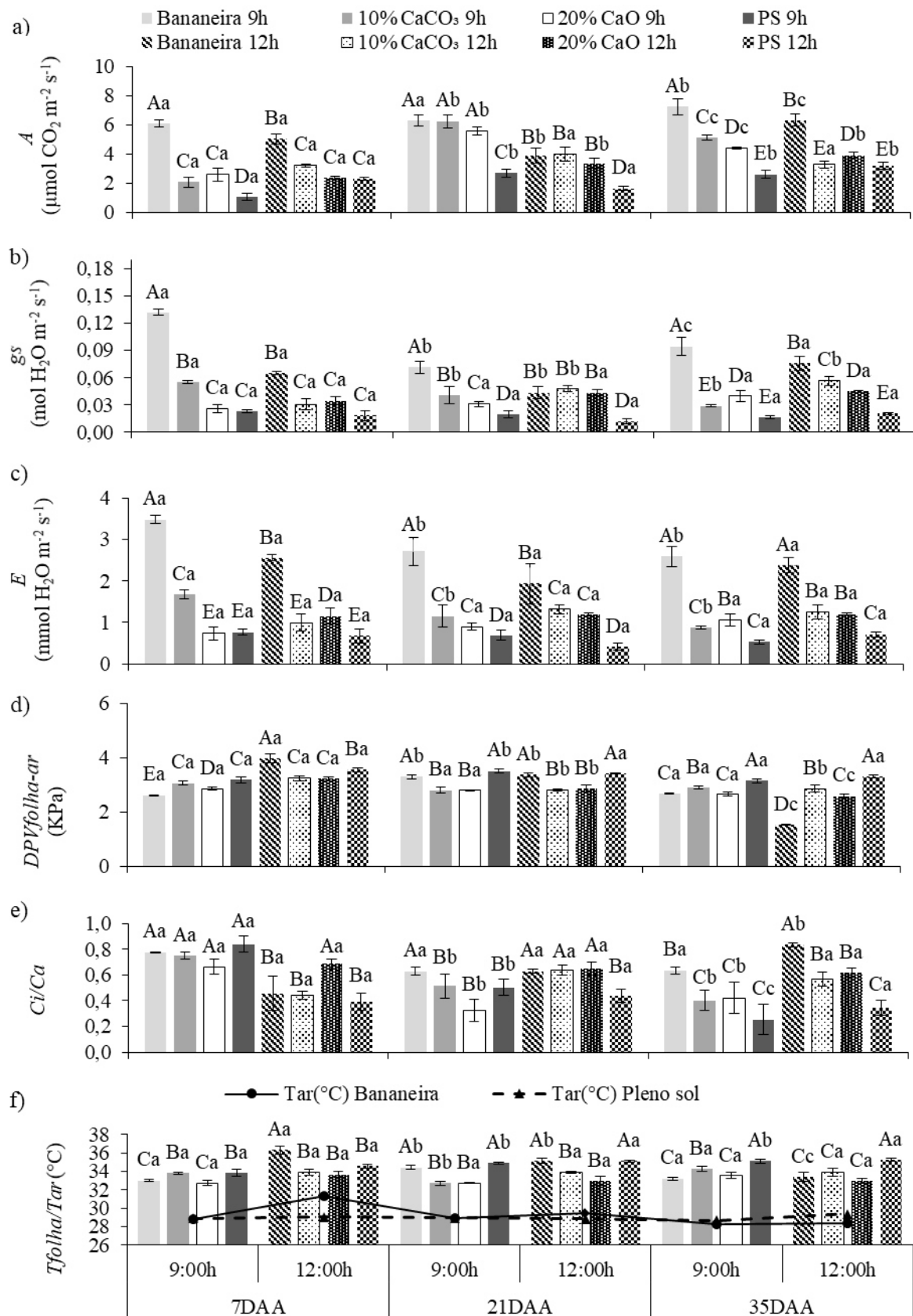


Fig. 2. Dados de trocas gasosas e temperatura do cafeeiro conilon. Taxa de assimilação de CO₂ (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (a), condutância estômática para vapor de água (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (b), taxa de transpiração para vapor de água (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (c), déficit de pressão de pressão entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) (kPa) (d), razão entre carbono (CO₂) intercelular/carbono no ambiente (C_i/C_a) (e), temperatura da folha e do ar (T_{folha} ou T_{ar}) ($^{\circ}\text{C}$) (f). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para diferentes tratamentos no mesmo DAA e minúsculas para o mesmo tratamento em diferentes DAA não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) ($n=4$). Os intervalos sobre as barras correspondem ao erro padrão da média.

Valores maiores e significativos de *EUA* foram observados entre os tratamentos, no entanto, semelhantes ao efeito do tratamento com CaCO_3 aos 7DAA. Em geral, os valores de *EUA* aumentaram para todos os tratamentos durante os períodos avaliados, com exceção dos tratamentos CaO 9h e CaCO_3 12h.

A eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*) (Tabela 1), semelhante à variável *EUA*, foi favorecida pela manutenção reduzida da condutância estomática (*gs*) em relação aos maiores valores de *A* para os tratamentos com filmes às 9:00h. A partir do 21DAA apenas o tratamento com bananeira apresentou valores de *EIUA* significativamente menores às 9:00h. Às 12:00h, apenas o tratamento sob PS, devido à redução significativa em *gs*, apresentou valores significativamente maiores de *EIUA*.

Para medições realizadas às 9:00h, aos 7DAA, o tratamento natural de sombreamento resultou na maior eficiência instantânea de carboxilação (*EIC*) (Tabela 1). Nenhuma diferença significativa foi verificada às 12:00h neste mesmo período entre os tratamentos, com exceção do filme CaO , que reduziu os valores de *EIC*. Aos 21DAA, às 9:00h, observou-se aumento significativo da *EIC* para os tratamentos com filmes, porém o tratamento com CaO foi superior; às 12:00h, não houve diferença entre os tratamentos neste período. No 35DAA, não houve diferença estatística entre os tratamentos em horários isoladamente, no entanto, verificou-se ao comparar a *EIC* entre 9:00h e 12:00h.

Tabela 1. Parâmetros de eficiência em trocas gasosas do cafeeiro conilon sob diferentes métodos de sombreamento, horários do dia e dias após aplicação dos tratamentos (DAA).

Variáveis	Tratamentos								
	DAA	9:00h				12:00h			
	Bananeira	10% CaCO ₃	20% CaO	PS	Bananeira	10% CaCO ₃	20% CaO	PS	
EUA	7	1,8 Ba	1,3 Ba	4,4 Aa	1,6 Ba	2,0 Ba	3,6 Aa	2,2 Ba	3,5 Aa
	21	2,4 Ca	6,7 Ab	6,3 Ab	4,1 Bb	2,2 Ca	3,0 Ca	2,8 Ca	4,4 Ba
	35	2,9 Ba	5,9 Ab	4,3 Aa	5,1 Ab	2,8 Ba	2,8 Ba	3,3 Ba	4,6 Aa
EIUA	7	46,4 Ba	38,2 Ba	120,2 Aa	52,3 Ba	77,5 Ba	117 Aa	71,1 Ba	131,5 Aa
	21	89,3 Bb	192,8 Ab	182,8 Ab	149 Ab	91,1 Ba	84,6 Ba	79,7 Ba	156,6 Aa
	35	82,2 Bb	179,4 Ab	122,3 Aa	168 Ab	86,2 Ba	59,4 Ba	87,6 Ba	158,3 Aa
EIC	7	0,019 Aa	0,007 Ba	0,010 Ba	0,003 Ba	0,020 Aa	0,018 Aa	0,008 Ba	0,013 Aa
	21	0,025 Ba	0,036 Bb	0,054 Ab	0,015 Cb	0,016 Ca	0,016 Ca	0,014 Ca	0,010 Ca
	35	0,029 Aa	0,036 Ab	0,034 Ac	0,046 Ac	0,019 Ba	0,015 Ba	0,016 Ba	0,024 Bb

Eficiência instantânea do uso da água (*EUA*) $[(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$, eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*) $[(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$, eficiência instantânea de carboxilação (*EIC*) $[(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1})^{-1}]$. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) ($n=4$).

4.3.2. Capacidade refletiva dos filmes

Os valores de L^* (Fig. 3) diminuíram à medida que o filme foi naturalmente removido da superfície das folhas pelo vento e precipitação. Para os tratamentos com 10% CaCO_3 e 20% CaO , os valores L^* foram (46%, 41% e 15%) e (74%, 67% e 57%) maiores que o L^* de folhas controle (PS) em 7DAA, 21DAA e 35DAA, respectivamente. A precipitação acumulada em cada intervalo de medição foi de 3,3 mm até 7DDA, 100,6 mm entre 7DAA e 21DAA e 110,6 mm entre 21DAA e 35 DAA.

Entre os tratamentos com filme, comparado ao controle (PS), 10% CaCO_3 apresentou a maior redução de L^* (31%) durante todo o período experimental, o que sugere uma maior remoção dos resíduos pelos fatores meteorológicos, principalmente após intensificação das chuvas, o tratamento com 20% de CaO apresentou maior persistência dos resíduos nas folhas, verificado por menor decréscimo em L^* (17%).

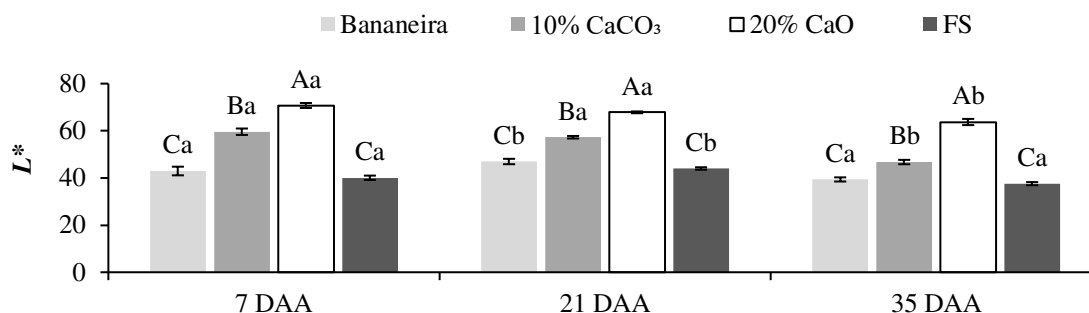


Fig. 3. Luminosidade do filme (L^*). As médias seguidas de mesma letra maiúscula para diferentes tratamentos no mesmo DAA e minúscula para o mesmo tratamento em diferentes DAA não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) ($n=4$). Os intervalos sobre as barras correspondem ao erro padrão da média.

4.3.3. Fluorescência da clorofila *a*

A eficiência quântica máxima de PSII (F_v/F_m), a eficiência máxima do processo fotoquímico de PSII (F_v/F_o) e a produção quântica basal de PSII (F_o/F_m) para processos não fotoquímicos (Tabela 2) não apresentaram diferença estatística para interação, apenas para o fator de sombreamento individualmente. Verificou-se que, em média, o PS forneceu valores significativamente menores que F_v/F_m (0,72 elétrons quantum⁻¹), F_v/F_o (2,63 elétrons quantum⁻¹) e maiores F_o/F_m (0,28 elétrons quantum⁻¹) em relação aos demais tratamentos. Entre os métodos de sombreamento, o tratamento com bananeira proporcionou maiores valores de F_v/F_m e F_v/F_o e menor de F_o/F_m em comparação ao tratamento com 10% de CaCO₃, mas não diferiu estatisticamente do tratamento com 20% de CaO. Entre os filmes, não houve diferença estatística para F_v/F_m , F_v/F_o e F_o/F_m .

Tabela 2. Média de todos os períodos de avaliação para parâmetros de fluorescência da clorofila *a* do cafeeiro conilon sob diferentes métodos de sombreamento.

Variáveis	Tratamentos			
	Bananeira	10% CaCO ₃	20% CaO	PS
F_v/F_m	0,78 A	0,75 B	0,77 AB	0,72 C
F_v/F_o	3,56 A	3,04 B	3,35 AB	2,63 C
F_o/F_m	0,22 A	0,25 B	0,23 AB	0,28 C

Eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m), eficiência máxima do PSII para processos fotoquímicos (F_v/F_o), Produção quântica basal do PSII para processos não fotoquímicos (F_o/F_m) às 9:00h. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) ($n=4$).

4.4. Discussão

Com base em nossos resultados, observou-se que tanto os filmes de CaCO₃ quanto de CaO podem ser eficientes para promover o sombreamento artificial e a melhoria das características fisiológicas das plantas de café conilon. Filmes de partículas foram capazes de promover reduções de g_s e E em relação ao sombreamento com bananeiras, mantendo valores de A maiores que PS (controle) aos 21DAA. Os valores de A estavam abaixo de 10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, como apontado por Damatta et al. (2016). Resultados semelhantes associados aos efeitos antitranspirantes e protetores do filme de caulim (WP Surround) foram obtidos pela redução de g_s e E em macieiras (Gindaba e Wand, 2007). Filmes protetores também promoveram aumentos significativos em A em plantas de feijão e tangerina, bem como em tomates cultivados sob condições de estresse salino (Boari et al., 2015).

Para plantas tratadas com filmes de proteção, as maiores eficiências instantâneas (EUA) e intrínsecas ($EIUA$) do uso da água, às 9:00h, foram esperadas devido à maior abertura estomática, e valores de g_s e E naquele momento, o que confirma que os filmes tiveram ação

regulatória na perda de água através da transpiração em cafeeiros, mantendo um sistema mais balanceado, especialmente para o tratamento com 20% de CaO. Evidências semelhantes da ação da regulação hídrica foram observadas com o uso de filmes de partículas em plantas de tomate (Boari et al., 2016, 2015), tangerinas e feijão (Boari et al., 2015), oliveiras (Denaxa et al., 2012) e o uso de CaCO_3 em macieiras (Glenn et al., 2003). No entanto, a ação do filme nessas variáveis pode flutuar de acordo com a hora do dia, estação do ano e devido a mudanças nas variáveis meteorológicas (Boari et al., 2014), como verificado às 12:00h deste estudo.

A consistência de nosso trabalho também é confirmada pela redução observada na variável *DPVfolha-ar* para os tratamentos de filmes, indicando que a manutenção de uma camada protetora nas folhas favoreceu os valores *E* e *gs* adequados e efetivos para os cafeeiros nas condições específicas deste estudo. Em contraste, aumentos no *DPVfolha-ar* foram observados em tomates tratados com caulim (5% p/v) em comparação ao controle (Cantore et al., 2009), o que indica que variações neste sentido podem estar relacionadas às características fisiológicas da cultura, bem como às condições climáticas específicas (Chamchaiyaporn et al., 2013; Denaxa et al., 2012).

A aplicação de filmes particulados de 6% p/v (WP Surround) em cafeeiro arábica evidenciou que o filme reduziu a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e radiação ultravioleta (UV) incidente nas folhas, promoveu o aumento de *A* e redução da temperatura foliar, especialmente às 12:00h (Steiman et al., 2007). Esses resultados são similares aos obtidos neste estudo, entretanto, como as concentrações aqui aplicadas foram consideravelmente maiores, verificou-se que, até 7DAA, os valores de *A* para os tratamentos com filme foram reduzidos em relação aos 21 e 35 DAA.

Inicialmente, essa resposta pode ter ocorrido devido à ação refletiva dos filmes, o que reduziu a quantidade da PAR que atingiam os centros de reação nos cloroplastos ou impedimentos às trocas gasosas (Boari et al., 2015; Cantore et al., 2009; Shellie e King, 2013), que nas concentrações aplicadas, comparadas ao controle (PS), apresentaram redução da refletividade entre 7DAA e 21 DAA, com base nos valores de L^* (Fig. 3). Mecanismos para adaptação de plantas aos produtos e níveis de sombreamento fornecidos pelos filmes também podem ter ocorrido após 7DAA (Bernardo et al., 2017; Dinis et al., 2018), favorecendo um melhor desempenho fisiológico aos 21DAA e requer investigações adicionais.

Às 12:00h, entre 7 e 21 DAA, os valores médios de *Tfolha* de 35 °C para plantas sob sombreamento de bananeira e PS foram verificados, valores que estão de acordo com os valores de medição em cafeeiros com 1,75 m de distância de bananeira (Araújo et al., 2015). No entanto, nestes horários e períodos, a temperatura do ar (*Tar*) no sistema de consórcio foi superior ao pleno sol, possivelmente devido à maior umidade no sistema e à redução da incidência direta e fluxo de ventos causados pela presença de bananeiras que atuam como barreiras.

Aos 21DAA houve um aumento significativo para as variáveis *A* e *EIC* nas plantas tratadas com filmes, principalmente para 20% de CaO, nos dois horários avaliados. A mesma tendência foi observada para a variável *Ci/Ca*, às 12:00h, mas sem reduções significativas nos valores de L^* , indicando que essas plantas foram submetidas à aclimatização, especialmente para o tratamento com CaCO_3 . Resultados semelhantes foram observados na manutenção da temperatura foliar com o uso de CaCO_3 em tangerineiras durante seis semanas de avaliação (Tsai et al., 2013) após aclimatização, e em *A* e *EIC* em oliveiras irrigadas tratadas com caulim (Denaxa et al., 2012).

Esses resultados evidenciaram a capacidade dos filmes em fornecer manutenção ao equilíbrio bioquímico pela disponibilidade de substratos e condições necessárias ao processo fotossintético. Aumentos em *A*, *EIC*, *Fv/Fm* e redução nos valores de *Fo/Fm* em plantas com filmes, comparados ao PS, podem ser indicadores de reposição nos pools de ADP e NAD(P)H^+ para vazão de e^- a partir da cadeia de transporte de elétrons, proporcionado pelo consumo no ciclo de Calvin-Benson-Bassham para a assimilação de CO_2 (Fleta-soriano e Munné-bosch, 2016; Fleta-soriano e Munné-Bosch, 2017) e uso eficiente de luz, evitando a dissipação não fotoquímica (Ksas et al., 2015).

O suprimento de CO₂ pela abertura estomática foi verificado pelos maiores valores de g_s , E e C_i/C_a às 12:00h em plantas com filmes, comparado ao PS (Dinis et al., 2018; Glenn et al., 2010; Song et al., 2012) e a manutenção de condições favoráveis (temperatura, H₂O e luz), verificadas pelos valores de T_{folha} , EUA e L^* , que podem ter favorecido a atividade enzimática de RuBisCO em cafeeiros e reduzido os mecanismos foto-inibitórios e fotorrespiratórios (Damatta et al., 2016; Rodrigues et al., 2016; Silva et al., 2015).

A eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m) e a eficiência máxima do processo fotoquímico do PSII (F_v/F_o) podem ser utilizados em conjunto como indicadores das condições de conservação do aparelho fotossintético e da conversão de energia para fotofosforilação, apresentando valores adequados entre 0,75 a 0,85 elétrons quantum⁻¹ e entre 4-6 elétrons quantum⁻¹, respectivamente (Reis et al., 2008, 2011; Silva et al., 2015; Suassuna et al., 2011, 2010). Diferentes autores indicam que valores apropriados para a produção quântica basal adequada de PSII para processos não fotoquímicos (F_o/F_m) estão entre 0,14 e 0,20 elétrons quantum⁻¹, valores acima indicam a condição de estresse pela emissão de radiação infravermelha (Athar et al., 2015; Mohammed et al., 2015; Roháček, 2002; Zanandrea et al., 2006).

Os resultados evidenciaram que os métodos de sombreamento do filme foram igualmente eficientes em promover valores adequados de F_v/F_m , com ênfase em 20% de CaO que não apresentou diferenças estatísticas para o tratamento com sombreamento por bananeira. Efeitos semelhantes foram observados em videiras tratadas com caulim a 5% (p/v), relacionadas à capacidade refletora do filme, capazes de conferir proteção aos fotossistemas (Dinis et al., 2016b). No entanto, os valores reduzidos de F_v/F_o e elevados de F_o/F_m (Tabela 2) indicam que as plantas sob todos os tratamentos estão em condição de limiar de estresse e as plantas sem método de proteção (PS) foram mais afetadas.

Os altos valores de F_o/F_m estão relacionados às variáveis T_{folha} e Tar . Verificou-se que para todos os tratamentos, as temperaturas foliares foram significativamente superiores à temperatura do ar, resultando em efeitos negativos aos fotossistemas, como redução da eficiência fotoquímica e conversão da energia para dissipação térmica, fenômenos associados à sensibilidade das plantas de café aos processos fotooxidativos e fotorrespiratórios, o que confirma a necessidade de adoção de métodos de proteção para a cultura (Damatta et al., 2016; Martins et al., 2014; Oliosi et al., 2017; Rodrigues et al., 2016).

4.5. Conclusões

Os filmes de partículas de cálcio, nas concentrações e condições aplicadas, foram alternativas eficazes para promover o sombreamento artificial e aliviar o estresse luminoso e térmico no cafeeiro. Estes filmes resultaram em melhoria na taxa de assimilação de CO₂, manutenção da transpiração de resfriamento, eficiência de uso de água e conservação do aparato fotoquímico em plantas de café conilon em níveis semelhantes ou mesmo superiores ao sombreamento natural com bananeiras. No entanto, a eficácia dos filmes foi dependente do tempo após a aplicação, mostrando que as plantas precisam se aclimatar e os filmes precisam permanecer na superfície das folhas. O melhor tratamento do filme de partículas foi 20% (p/v) de CaO para prolongar os efeitos benéficos até 35 DAA. Também se esperava que os cafeeiros apresentassem comportamentos diferentes nas horas diárias iniciais e médias, e verificou-se que o uso dos filmes de partículas promoveu maior estabilidade fisiológica dos cafeeiros às oscilações ambientais diurnas. Portanto, identificou-se que o uso de filmes de cálcio é uma ferramenta valiosa para aliviar o estresse das plantas de café conilon em condições agroclimáticas que limitam seu cultivo, como as encontradas no Nordeste do Brasil.

4.6. Referências Bibliográficas

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., Ab, W., 1998. Allen_FAO1998, Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>.
- Araújo, A.V., Partelli, F.L., Oliveira, M.G., Pezzopane, J.R.M., Falqueto, A.R., Cavatte, P.C., 2015. Microclimatic and vegetative growth in coffee and banana intercrop. *Coffee Sci. Lavras* 10, 214–222.
- Athar, H.U.R., Zafar, Z.U., Ashraf, M., 2015. Glycinebetaine improved photosynthesis in canola under salt stress: evaluation of chlorophyll fluorescence parameters as potential indicators. *J. Agron. Crop Sci.* 201, 428–442. <https://doi.org/10.1111/jac.12120>.
- Bernardo, S., Dinis, L.-T., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., Valledor, L., Conde, A., Gerós, H., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2017. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Environ. Exp. Bot.* 139, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.002>.
- Boari, F., Cucci, G., Donadio, A., Schiattone, M.I., Cantore, V., 2014. Kaolin influences tomato response to salinity: physiological aspects. *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 64, 559–571. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.930509>.
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M.I., Cantore, V., 2015. Particle film technology: a supplemental tool to save water. *Agric. Water Manag.* 147, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.014>.
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M.I., Cantore, V., 2016. Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agric. Water Manag.* 167, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.021>.
- Brillante, L., Belfiore, N., Gaiotti, F., Lovat, L., Sansone, L., Poni, S., Tomasi, D., 2016. Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. *PLoS One* 11, e0156631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631>.
- Cantore, V., Pace, B., Albrizio, R., 2009. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. *Environ. Exp. Bot.* 66, 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.008>.
- Chamchaiyaporn, T., Jutamane, K., Kasemsap, P., Vaithanomsat, P., Henpitak, C., 2013. Effects of kaolin clay coating on mango leaf gas exchange, fruit yield and quality. *Kasetsart J. - Nat. Sci.* 47, 479–491.
- Conde, A., Pimentel, D., Neves, A., Dinis, L.-T., Bernardo, S., Correia, C.M., Gerós, H., Moutinho-Pereira, J., 2016. Kaolin foliar application has a stimulatory effect on phenylpropanoid and flavonoid pathways in grape berries. *Front. Plant Sci.* 7, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01150>.
- Damatta, F.M., Godoy, A.G., Menezes-Silva, P.E., Martins, S.C.V., Sanglard, L.M.V.P., Morais, L.E., Torre-Neto, A., Ghini, R., 2016. Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. *J. Exp. Bot.* 67, 341–352. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv463>.
- Denaxa, N.K., Roussos, P.A., Damvakaris, T., Stournaras, V., 2012. Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. *Sci. Hortic.* 137, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.012>.
- Dinis, L.T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., Gerós, H., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2016a. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *J. Plant Physiol.* 191, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>.
- Dinis, L.T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2016b. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in

- grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica* 54, 47–55. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.
- Dinis, L.T., Bernardo, S., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., Pintó-Marijuan, M., Cotado, A., Correia, C., Moutinho-Pereira, J., 2018. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. *J. Plant Physiol.* 220, 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.007>.
- Ferrão, M.A.G., Fonseca, A.F.A. da, Ferrão, R.G., Barbosa, W.M., Souza, E.M.R., 2009. Genetic divergence in Conilon coffee revealed by RAPD markers. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 9, 67–74. <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v09n01a10>.
- Ferreira, E.B., Cavalcanti, P.P., Nogueira, D.A., 2013. ExpDes.Pt: Experimental Desings Package (Portuguese). R Package Version 1.1.2.
- Fleta-soriano, E., Munné-bosch, S., 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. *Front. Plant Sci.* 7, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00143>.
- Fleta-soriano, E., Munné-Bosch, S., 2017. Enhanced plastochromanol-8 accumulation during reiterated drought in maize (*Zea mays* L.). *Plant Physiol. Biochem.* 112, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.016>.
- Gindaba, J., Wand, S.J.E., 2007. Do fruit sunburn control measures affect leaf photosynthetic rate and stomatal conductance in “Royal gala” apple? *Environ. Exp. Bot.* 59, 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.11.001>.
- Glenn, D.M., 2016. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. *Sci. Hortic.* 205, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.022>.
- Glenn, D.M., Yuri, J.A., 2013. Photosynthetically active radiation (PAR) × ultraviolet radiation (UV) interact to initiate solar injury in apple. *Sci. Hortic.* 162, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.037>.
- Glenn, D.M., Erez, A., Puterka, G.J., Gundrum, P., 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in “Empire” apple. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128, 356–362. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.737>.
- Glenn, M.D., Cooley, N., Walker, R., Clingeleffer, P., Shellie, K., 2010. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. *HortScience* 45, 1178–1187.
- International Coffee Organization, 2017. Historical Data [WWW Document]. <http://www.ico.org/historical/1990onwards/PDF/1a-total-production.pdf> URL (Accessed 9.28.17).
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzegar, M., 2015. The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) Cv. “Zard” grown under warm and semi arid region of Iran. *Food Chem.* 166, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.006>.
- Ksas, B., Becuwe, N., Chevalier, A., Havaux, M., 2015. Plant tolerance to excess light energy and photooxidative damage relies on plastoquinone biosynthesis. *Nat. Publ. Gr.* 1–16. <https://doi.org/10.1038/srep10919>.
- Martins, S.C.V., Araújo, W.L., Tohge, T., Fernie, A.R., DaMatta, F.M., 2014. In high-light acclimated coffee plants the metabolic machinery is adjusted to avoid oxidative stress rather than to benefit from extra light enhancement in photosynthetic yield. *PLoS One* 9, 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094862>.
- Matos, F.S., Wolfgramm, R., Gonçalves, F.V., Cavatte, P.C., Ventrella, M.C., DaMatta, F.M., 2009. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. *Environ. Exp. Bot.* 67, 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.018>.
- Mohammed, A.R., Cothren, J.T., Chen, M.H., Tarpley, L., 2015. 1-methylcyclopropene (1-MCP)-induced alteration in leaf photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence, respiration and membrane damage in rice (*Oryza sativa* L.) under high night temperature. *J. Agron. Crop Sci.* 201, 105–116. <https://doi.org/10.1111/jac.12096>.

- Oliosi, G., Oliveira, Rodrigues, de, J., Falqueto, A.R., Pires, F.R., Monte, J.A., Partelli, F.L., 2017. Fluorescência transiente da clorofila a e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. *Coffee Sci.* 12, 248–259.
- Pereira, A.A., Moraes, A.R., de, Scalco, M.S., Tales, J.F., 2016. Modelagem do diâmetro de copa do cafeeiro podado cultivado em diferentes densidades e regimes hídricos. *Coffee Sci.* 11, 495–501.
- Pezzopane, J.R.M., Pedro Jr, M.J., Gallo, P.B., 2007. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. *R. Bras. Eng. Agríc Ambient.* 11, 256–264.
- Reis, F.D.O., Campostrini, E., 2011. Microaspersão de água sobre a Copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. *R. Bras. Agrociência* 17, 284–295.
- Reis, F.O., Campostrini, E., 2008. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo “formosa” cultivado em condição de campo. *Bragantia* 67, 815–822. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400002>.
- Rodrigues, W.P., Machado Filho, J.A., da Silva, J.R., de Assis Figueiredo, F.A.M.M., Ferraz, T.M., Ferreira, L.S., da Silva Bezerra, L.B., de Abreu, D.P., de Paula Bernado, W., Cespom Passos, L., de Sousa, E.F., Glenn, D.M., Ramalho, J.C., Campostrini, E., 2016. Whole-canopy gas exchanges in *Coffea* sp. is affected by supra-optimal temperature and light distribution within the canopy: the insights from an improved multi-chamber system. *Sci. Hortic.* 211, 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.022>.
- Rodríguez-López, N.F., Cavatte, P.C., Silva, P.E.M., Martins, S.C.V., Moraes, L.E., Medina, E.F., Damatta, F.M., 2013. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. *Physiol. Plant.* 149, 45–55. <https://doi.org/10.1111/ppl.12010>.
- Roháček, K., 2002. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. *Photosynthetica* 40, 13–29. <https://doi.org/10.1023/A:1020125719386>.
- Santos, V.P.Dos, Fernandes, P.D., Melo, A.S.De, Sobral, L.F., Brito, M.E.B., Dantas, J.D.D.M., Bonfim, L.V., 2009. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. *Rev. Bras. Frutic.* 31, 567–573. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200035>.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.Cdos, Oliveira, V.Á., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Cunha, T.J.F., Oliveira, J.B., 2014. Sistema brasileiro de classificação de Solos. doi: ISBN 978-85-7035-198-2.
- Shellie, K.C., King, B.A., 2013. Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence malbec leaf and Berry temperature, pigments, and photosynthesis. *Am. J. Enol. Vitic.* 64, 224–230. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12115>.
- Silva, F.G., da, Dutra, W.F., Dutra, A.F., de Oliveira, I.M., Filgueiras, L.M.B., de Melo, A.S., 2015. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of eggplant grown under different irrigation depths. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 19, 946–952. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>.
- Song, J., Shellie, K.C., Wang, H., Qian, M.C., 2012. Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in merlot grape (*Vitis vinifera* L.). *Food Chem.* 134, 841–850. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>.
- Steiman, S.R., Bittenbender, H.C., Idol, T.W., 2007. Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. *HortScience* 42, 1605–1608.
- Steiman, S., Idol, T., Bittenbender, H.C., Gautz, L., 2011. Shade coffee in Hawai’i – exploring some aspects of quality, growth, yield, and nutrition. *Sci. Hortic.* 128, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.011>.
- Suassuna, J.F., de Melo, A.S., da, Silva, Sousa, M.S., da Silva Costa, F., Fernandes, P.D., Pereira, V.M., Brito, M.E.B., 2010. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sob lâminas de água. *Biosci. J.* 26, 566–571.

- Suassuna, J.F., De Melo, A.S., Costa, F.S., Fernandes, P.D., Ferreira, R.S., Da Silva Sousa, M.S., 2011. Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação. *Semin. Agrar.* 32, 1251–1262. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1251>.
- Tsai, M.S., Lee, T.C., Chang, P.T., 2013. Comparison of paper bags, calcium carbonate, and shade nets for sunscald protection in “Murcott” tangor fruit. *Horttechnology* 23, 659–667.
- Tsuboi, H., Wada, M., 2011. Chloroplasts can move in any direction to avoid strong light. *J. Plant Res.* 124, 201–210. <https://doi.org/10.1007/s10265-010-0364-z>.
- Zanandrea, I., Nassi, F., de, L., Turchetto, A.C., Braga, E.J.B., Antonio, J.P., Bacarin, M.A., 2006. Effect of salinity under fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris*. *R. Bras. Agrociência* 12, 157–161.

5. ARTIGO 2

O FILME DE PARTÍCULAS DE ÓXIDO DE CÁLCIO AUMENTA A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA ENQUANTO MELHORA A GRANAÇÃO DO CAFÉ CONILON.

Periódico a ser submetido: Agricultural Water Management

RESUMO

O cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) é a segunda principal espécie de café produzida no Brasil. Durante o verão no Nordeste do Brasil ocorre o estágio fenológico de granação do cafeeiro, período em que os níveis de radiação solar, temperaturas e o déficit hídrico se tornam elevados e podem afetar diretamente a qualidade dos grãos produzidos. Filmes de partículas (FP) estão entre as tecnologias que demonstraram capacidade de mitigar efeitos do estresse abiótico em plantas, e poderia constituir uma alternativa para o cafeeiro que apresenta boa resposta ao sombreamento. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar efeitos de três regimes hídricos: 33%, 66% e 99% da evapotranspiração da cultura (ET_c) e níveis de sombreamento artificial: com ou sem filmes de partículas (FP) com 20% p/v de óxido de cálcio (CaO) sobre parâmetros fisiológicos de folhas e morfoagronômicos de frutos e grãos do cafeeiro conilon 'Vitória Incaper 8142'. Os resultados são contundentes em mostrar que o FP de CaO foi capaz de fornecer sombreamento artificial, reduzir a temperatura da copa, aumentar a atividade fotossintética (*A*) e o controle estomático (*g_s*), otimizar a transpiração (*E*), promover economia e eficiência no uso da água (*EUA* e *EIUA*) enquanto aumentava as dimensões e massa dos frutos e grãos de café. O FP demonstrou ser uma alternativa eficiente para proporcionar sombreamento artificial, controlar os efeitos do estresse abiótico e associado ao regime hídrico de 66% da ET_c promoveu economia no uso da água e melhorou o desempenho do cafeeiro conilon nas condições do Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, déficit hídrico, sombreamento artificial, trocas gasosas, ecofisiologia do cafeeiro.

ABSTRACT

Título: Calcium oxide particle film boosts the water use efficiency and improves the conilon coffee bean size

Conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) is the second main coffee species produced in Brazil. During the summer in the Northeast Brazil occurs the phenological stage of coffee graining, period when solar radiation, temperature and water deficit become high and can directly affect the quality of the produced grains. Recent studies agree that the particle film (PF) technology demonstrated capacity to mitigate the effects of abiotic stress on plants being an alternative for coffee with good shading response. For that reason, the main goal of this study is to evaluate the effects of three water regimes: 33%, 66% and 99% of crop evapotranspiration (ETc) with or without particle films calcium oxide, (CaO 20% w/v) on leaf physiological parameters and morphoagronomy of fruits and grains of 'Vitória Incaper 8142' conilon coffee. The results are decisive in showing that CaO PF was able to provide artificial shading leading to a decrease of leaf temperature, increase of photosynthetic activity (A) and stomatal conductance (g_s), optimize transpiration (E), promote water-use efficiency (WUE and $IWUE$) while increasing the size and mass of fruits and coffee beans. The PF proved to be an efficient alternative to provide artificial shading, controlling the effects of abiotic stress and associated with the 66% water regime of ETc promoted economy in water use and improved the performance of conilon coffee under the conditions of northeastern Brazil.

Key-words: *Coffea canephora*, water deficit, artificial shading, gas exchange, ecophysiology of coffee plants.

5.1. Introdução

O café é um dos produtos agrícolas utilizados na alimentação humana em torno do qual foram criados diferentes hábitos e preferências de consumo (Achar et al., 2015), o que levou a criação de padrões de qualidade determinados pelos métodos de cultivo, tipos de grãos, processamento e preparo (Scholz et al., 2013; Silva Neto et al., 2018). A cultura do café é uma das principais para o Brasil, em 2017 a produção foi cerca de 2,6 milhões de toneladas de grãos crus, o que corresponde a aproximadamente 29% de todo café produzido no mundo (FAO, 2017). O café conilon ou robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), uma espécie de café que corresponde a cerca de 35% do café produzido, apresenta maior rusticidade, características específicas de qualidade e tem ganhado espaço em áreas de menor altitude no Nordeste do Brasil (Silva et al., 2019a; Souza et al., 2013).

A exploração de novas áreas (Souza et al., 2013), ou mesmo o panorama de mudanças climáticas (Ramalho et al., 2013) tem exigido o desenvolvimento de tecnologias para a proteção do cafeeiro. Considerada uma cultura exigente às condições climáticas de cultivo (Araújo et al., 2015), apresenta um longo ciclo reprodutivo de aproximadamente 10 meses, entre setembro-junho em regiões tropicais (Camargo and Camargo, 2001; Ferrão et al., 2012; Ricci et al., 2013), o que expõe a produção a variações ambientais prejudiciais. Diferentes fatores acumulados limitam sua ampla produção nas condições do Nordeste do Brasil, onde os períodos de estiagem ou seca são anualmente demarcados e é necessário o manejo de irrigação para a cultura (Dardengo et al., 2018; Vicente et al., 2015). Sob alta irradiância e temperatura as plantas podem apresentar reduzido desempenho fotossintético (Martins et al., 2014; Silva et al., 2019a), que quando acumuladas ao déficit hídrico em fases fenológicas cruciais como a granação, pode resultar em baixa qualidade dos grãos (Achar et al., 2015; DaMatta, 2004; Marraccini et al., 2011). Por exemplo, a granação determinada por numerações de crivos de peneiras com base na largura dos grãos é um dos atributos comerciais de qualidade de elevada importância que pode ser afetado (Custódio et al., 2007; Dardengo et al., 2018; Souza et al., 2013).

Plantas de café possuem elevada plasticidade fenotípica para produzir respostas morfoanatômicas, bioquímicas e fisiológicas de controle do estresse abiótico moderado (Matos et al., 2009; Ricci et al., 2013; Silva et al., 2018). Diferentes respostas são empregadas por cafeeiros para manutenção do ajuste hídrico, como o incremento na produção de osmorreguladores para aumentar o teor de água nos tecidos sob déficit hídrico (Silva et al., 2010; Tesfaye et al., 2014). Além disso, plantas de café apresentam boa adaptação ao sombreamento (Dardengo et al., 2018; Silva et al., 2019a), o qual é relatado também por proporcionar aumento no tamanho dos grãos (Silva Neto et al., 2018), atrasar e padronizar o amadurecimento dos frutos, permitindo o escalonamento da produção (Araújo et al., 2015). Diferentes estudos demonstraram os benefícios do sombreamento natural (Araújo et al., 2015; Pezzopane et al., 2007; Silva Neto et al., 2018), artificial com telas (Cavatte et al., 2012; César et al., 2013), e a tecnologia de filmes de partículas (FP) de caulim (Steiman et al., 2011, 2007), e de materiais a base de cálcio (Silva et al., 2019a) em plantas de café. O sombreamento artificial com FP demonstrou capacidade de estimular alterações nos padrões de clorofila evidenciando redução dos efeitos prejudiciais de alta luminosidade e temperatura em diferentes espécies de plantas (Gharaghani et al., 2018; Silva et al., 2019b, 2019c).

O uso de FP também proporcionou aumentos na taxa fotossintética (A) em plantas com folhas hipoestomáticas (Brito et al., 2019; Silva et al., 2019a; Steiman et al., 2007), controle da condutância estomática (g_s) e transpiração (E) ao promover efeitos antitranspirantes e de resfriamento da copa, além de incrementos na eficiência do uso da água e de carboxilação (Brito et al., 2019, 2018; Gharaghani et al., 2018; Silva et al., 2019a). Para o cafeeiro especificamente, determinadas condições ambientais como baixas concentrações de CO_2 , altas temperaturas e o déficit hídrico produzem limitações à atividade da RuBisCO (Damatta et al., 2016; Martins et al., 2016), que pareceu melhorar com uso de FP a base cálcio (Silva et al., 2019a).

Estudos que envolvam efeitos do sombreamento e déficit hídrico em cafeeiros são escassos (Cavatte et al., 2012), o que leva a questionar se sob restrição hídrica os filmes de partículas poderiam oferecer sombreamento capaz de mitigar efeitos prejudiciais sobre plantas de café. Com isto, objetivou-se avaliar efeitos de níveis de sombreamento e regimes hídricos aplicados no estágio de granação do cafeeiro conilon sobre parâmetros fisiológicos da cultura e morfoagronômicos de frutos e grãos nas condições dos tabuleiros costeiros em Sergipe, Brasil.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Características da área experimental e manejo da cultura

A pesquisa foi realizada em uma área experimental da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Brasil, localizada na coordenada ($10^{\circ} 55' 25,1''S$, $37^{\circ} 12' 1,8''W$, altitude 46m) entre janeiro-maio de 2019. O clima é classificado segundo Köppen como As, tropical chuvoso, com temperaturas médias anuais em torno de $25,2^{\circ}C$, verão seco e pluviometria média anual de 1.300 mm, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro (Santos et al., 2009). Diferentes parâmetros agrometeorológicos de importância para o período de estudo são apresentados na Fig. 1, obtidos da estação meteorológica automática Aracaju-A409 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O solo do local é classificado como Argissolo vermelho-amarelo característico dos tabuleiros costeiros (Santos et al., 2014). Realizou-se a fertilização de cobertura com macronutrientes (uréia, cloreto de potássio e superfosfato simples) e fertilização foliar para micronutriente, conforme recomendação para o cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), variedade Vitoria Incaper 8142, com idade entre 2-3 anos (primeiro ciclo reprodutivo) (Ferrão et al., 2012). Os cafeeiros iniciaram o estágio de florescimento (PI) entre setembro-outubro de 2018, ocasião em que foram eliminadas as brotações vegetativas basais para evitar concorrência com os órgãos reprodutivos e aplicada a fertilização foliar. Os estágios de formação inicial dos frutos tipo chumbinho (PII) e a expansão de frutos (PIII) ocorreram

entre outubro-dezembro de 2018. Os estádios de granação (PIV) e maturação de frutos (PV) ocorreram entre janeiro-março (1-90 DDA) e de abril-junho de 2019 (91-180 DDA), respectivamente (Camargo and Camargo, 2001) (Fig. 1B).

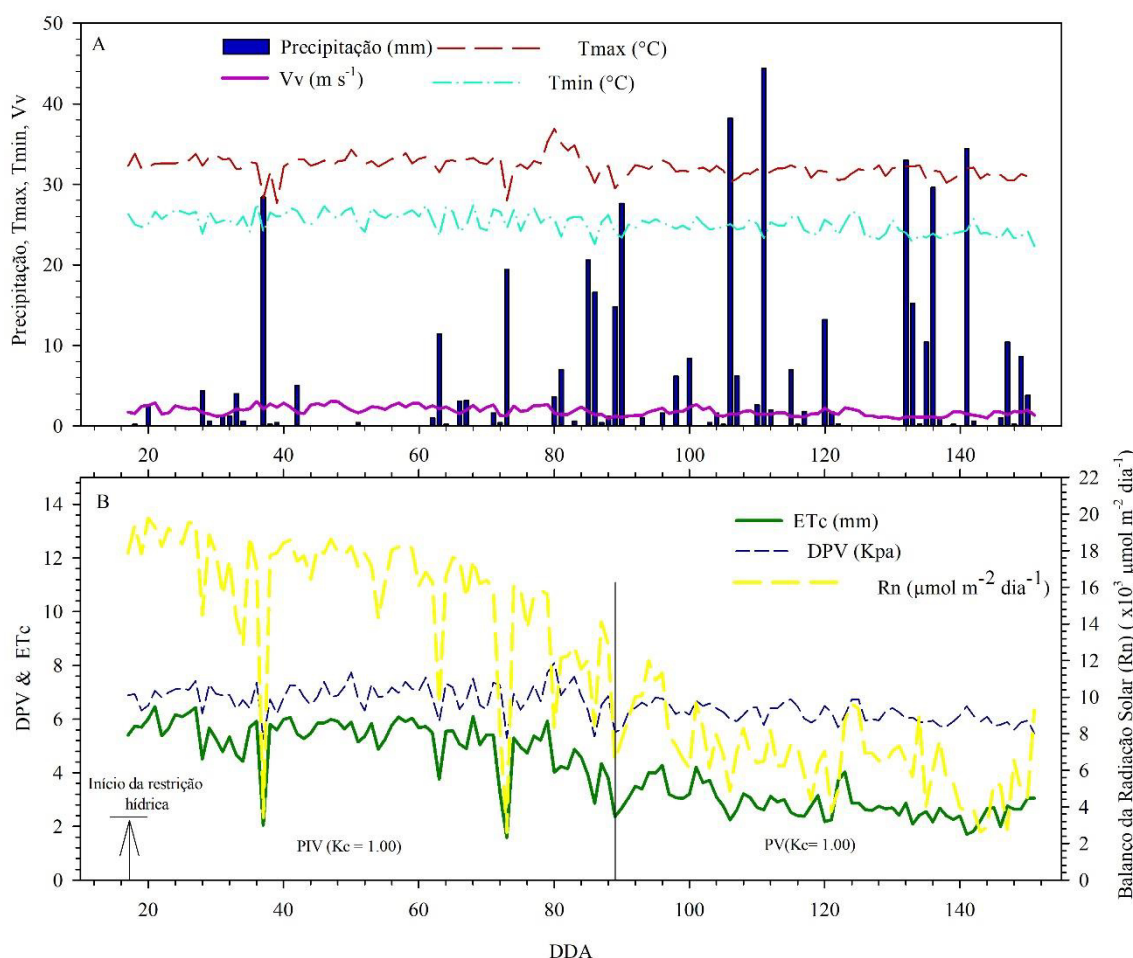


Fig. 1. Dados agrometeorológicos ao longo dos dias do ano (DDA) para precipitação, temperaturas do ar (máxima e mínima) e velocidade do vento (Vv) (A), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), evapotranspiração da cultura (ETc), saldo de radiação solar (Rn) e coeficiente da cultura do cafeeiro conilon (Kc) durante as fases fenológicas de PIV (granação) e PV (maturação) (B) em 2019.

5.2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Entre PI e PIII as plantas de café foram mantidas sob umidade do solo na capacidade de campo fornecendo-se aproximadamente 100% da demanda hídrica com base na evapotranspiração da cultura (ETc) (mm), adotando-se o turno de rega de 2 dias. A partir do 17 DDA (PIV), estágio fenológico do cafeeiro em que a demanda hídrica é crucial para determinar padrões de qualidade nos frutos e grãos de café (Camargo and Camargo, 2001; Rezende et al., 2010), as plantas foram submetidas a três tratamentos de regimes hídricos, 33%, 66% e 99% ou 100% (controle) da ETc. A ETc foi o produto da evapotranspiração potencial (ETo) (mm) pelo coeficiente da cultura (Kc) do cafeeiro conilon (Fig. 1B). A ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998). A lâmina de irrigação necessária (mm) foi calculada pela diferença entre a ETc e a precipitação (mm).

O sistema de irrigação foi organizado em duas linhas laterais de mangueiras de gotejo por fileira de plantas, espaçamento de 0,3m entre emissores, vazão de 1,8L h⁻¹ por emissor e a eficiência do sistema considerada em 90%. A área molhada pelos emissores por planta foi de 1,2m², com linhas laterais distanciadas das plantas em 0,25m e seis emissores por planta, o espaçamento da cultura era 1m x 1,5m entre plantas e linhas, respectivamente. A irrigação

durante a granação foi manejada para compensar o regime de chuvas e encerrada aos 90 DDA, quando as chuvas supriam a demanda hídrica. O volume total de água aplicado para suprir a demanda da ETc durante o estágio de granação por planta foi de 0,292 m³, 0,192m³ e 0,096 m³ para 99%, 66% e 33% da ETc, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 3x2, onde as linhas com os três regimes hídricos diferentes eram as parcelas e os dois tratamentos de sombreamento as subparcelas, com 4 repetições (blocos).

5.2.3. Aplicação e monitoramento do filme de partículas

O filme de partículas de óxido de cálcio (CaO) foi preparado pela suspensão aquosa na concentração de 20% p/v (Silva et al., 2019a). A aplicação foi na face adaxial das folhas em toda a copa da planta, ramos e frutos com um pulverizador de vazão constante (KwsPem-P20, Kawashima, Japão).

A cobertura do filme foi monitorada pela luminosidade (L^*) com um colorímetro modelo CR400 (Konica Minolta, Japão) em três diferentes posições na copa de cada planta. O equipamento fornece valores entre 0-100 que vai do preto absoluto (total absorção de luz) ao branco absoluto (total reflexão de luz), respectivamente, e está relacionado às propriedades refletivas de folhas e filmes (Silva et al., 2019a, 2019c) (Folhas de café sem filme apresentaram valor médio de $L^* = 39,4$). Os tratamentos de sombreamento artificial com filmes de partículas de CaO 20% p/v (FP) ou plantas a pleno sol (PS) compuseram as subparcelas. A primeira aplicação foi realizada em 4 DDA e as demais após se verificar a remoção de pelo menos 50% da cobertura de filmes com base em L^* , aos 40 DDA, 65 DDA e 91 DDA. O consumo de CaO por aplicação foi em torno de 111 g m⁻², considerado o espaçamento da cultura.

5.2.4. Teor relativo de água e prolina livre

O teor relativo de água nas folhas foi medido entre o 3º e 4º folíolos expandidos de folhas fotossinteticamente ativas, saudáveis e expostas ao sol de ramos plagiotrópicos, no terço superior da copa. Discos foliares de 8 mm de diâmetro (10 discos por repetição e 4 repetições) foram cortados com broca de cortiça, colocados em placas petri e imediatamente pesados em balança semianalítica para determinar o peso fresco (PF). Posteriormente, os discos foram imersos em água destilada por 24h à 24 °C, secos em papel filtro e o peso túrgido (PT) determinado em balança. Em seguida os discos foram secos em estufa à 70 °C até adquirirem peso constante (48h) e determinado o peso seco (PS). O teor relativo de água TRA% foi calculado como $100 \times (PF - PS) / (PT - PS)$ (Awachare et al., 2018; Zegaoui et al., 2017).

O teor de prolina livre foi determinado pela adaptação do método colorimétrico (Bates et al., 1973). Discos foliares (5 discos) nas mesmas dimensões e do mesmo material vegetal utilizado anteriormente foram cortados e pesados em balança semianalítica (3 repetições). Posteriormente macerados em almofariz com 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3% p/v e o homogenato centrifugado a 5.000 rpm a 8°C por 10 min. Uma alíquota do sobrenadante (2 mL) foi adicionado a 2mL do tampão de ninidrina (2,5% de ninidrina, 60% de ácido acético, 16% de ácido fosfórico puro (6N) e 24% de água destilada) e 2mL de ácido acético na proporção (1:1:1 v/v/v). Em seguida, a reação de cor foi desenvolvida com as amostras em tubos imersos em água quente a 95 °C por 60 min. As amostras foram resfriadas, adicionou-se 4 mL de tolueno em cada e agitou-se. Posteriormente, 3mL da fase orgânica superior de menor densidade foi lida pela absorbância a 520 nm em espectrofotômetro UV-VIS, tolueno foi usado como branco. A prolina livre foi quantificada por comparação com o padrão de L-Prolina variando entre 1 e 8 µg mL⁻¹, e expressa em [µmol prolina] [g massa fresca]⁻¹ (Bates et al., 1973; Zegaoui et al., 2017). Ambas as análises foram realizadas aos 60 DDA, plena granação dos frutos.

5.2.5. Índices de clorofila e temperatura da copa

Os índices de clorofila Falker foram mensurados em folhas fotossinteticamente ativas e saudáveis, entre o 3º e 4º par de folíolos em ramos plagiotrópicos no terço superior da copa,

com três medições na copa de cada planta (DaMatta et al., 2003; Silva et al., 2019a). Foi utilizado um medidor do índice de clorofila Falker (CFL1030, Falker, Brasil) que fornece medições não destrutivas e adimensionais de confiabilidade (Krenchinski et al., 2018; Olivoto et al., 2018) e fortemente relacionadas aos métodos destrutivos clássicos. O equipamento fornece leituras obtidas de fotodiodos após emissão de luz nos comprimentos 635, 660 e 880 nm (Barbieri Júnior et al., 2012; Brito et al., 2011; Rodrigues et al., 2017).

Os parâmetros obtidos foram os índices Falker de clorofila a (chl a), clorofila b (chl b), e calculados a clorofila total [total chl = (chl a + chl b)] e a razão chl a chl b⁻¹ (chl a/b ratio). As medições foram realizadas também aos 60 DDA entre 9:00 e 10:00h para evitar interferências do ambiente nas medições (Naus et al., 2010). A temperatura da copa (°C) foi mensurada em três pontos da copa de cada planta com um termômetro digital infravermelho (MT-320, Minipa, Brasil) ao meio dia, para se verificar efeitos dos filmes durante o pico de radiação solar.

5.2.6. Medições de trocas gasosas

Medições de trocas gasosas foram realizadas no mesmo DDA e folhas das medições dos índices de clorofila entre 9:00 e 10:00h, horário do dia onde se espera maior atividade fotossintética das plantas de café (Guo et al., 2009; Koyama and Takemoto, 2014). Foi utilizado um analisador portátil de trocas gasosas e fluorescência (IRGA) (LI-6400XT, LI-COR, USA), calibrado nas condições ambientais do local com CO₂ de referência na concentração de 400 ± 10 μmol CO₂ mol air⁻¹, radiação fotossintética ativa (PAR) de 1.500 μmol m⁻² s⁻¹ e umidade relativa do ar (RH%) em 65% (Silva et al., 2019a). Os parâmetros obtidos foram a taxa de fotossíntese ou assimilação de CO₂ (*A*, μmolCO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*g_s*, molH₂O m⁻² s⁻¹), transpiração (*E*, mmolH₂O m⁻² s⁻¹) e carbono intercelular (*C_i*, μmolCO₂ mol ar⁻¹). Calculados também a eficiência instantânea do uso da água pela razão *A E*⁻¹ (*EUA*, [(μmolCO₂ m⁻² s⁻¹) (mmolH₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹]), a eficiência intrínseca do uso a água pela razão *A g_s*⁻¹ (*EIUA*, [(μmolCO₂ m⁻² s⁻¹) (molH₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹]) e a eficiência instantânea de carboxilação pela razão *A C_i*⁻¹ (*EIC*, [(μmolCO₂ m⁻² s⁻¹) (μmolCO₂ mol ar⁻¹)⁻¹]).

5.2.7. Parâmetros de frutos e grãos de café

A colheita manual ocorreu aos 137 DDA, quando cerca de 80% dos frutos de plantas sem filme (PS) sob 99% da ETc (controle) apresentavam coloração cereja (Bártholo and Guimarães, 1997; Ferrão et al., 2012). Frutos no estágio de maturação cereja, padrão comercial, de todas as plantas para cada combinação de tratamentos foram misturados (n=4), em seguida, quatro amostras (120 frutos cada) foram retiradas aleatoriamente e mensurado o maior diâmetro equatorial (frutos chatos) e o comprimento dos frutos (mm) com uso de paquímetro digital (Coelho et al., 2015). O peso por amostra de 100 frutos frescos foi determinado em balança (Souza et al., 2013).

Parâmetros de cor dos frutos foram medidos com colorímetro (CR400, Konica Minolta, Japão) para expressar a luminosidade de frutos (*L**), variações na cor entre o verde (- *a**) e o vermelho (+ *a**) e variações da cor entre o amarelo (+ *b**) ao azul (- *b**) (n=4). Frutos de café conilon variedade ‘Vitoria Incaper 8142’ apresentam mudanças de coloração nos estádios de maturação que passam pelo verde-amarelo-cereja (Ferrão et al., 2012).

Frutos cereja foram secos em secador com ventilação na temperatura de 40°C por 96h e em seguida descascados (Ferrão et al., 2012). Os grãos crus descascados de café tipo chato de todos os diâmetros foram misturados. Posteriormente, a partir de uma amostragem aleatória (300g) para cada combinação de tratamentos, realizou-se a classificação em peneiras de subamostras (n=4), de acordo com a maior largura do grão para os crivos: chato grosso (GCG) (17-20/64” ou 6,75–7,94 mm), chato médio (GCM) (15-16/64” ou 5,95–6,35 mm), chato miúdo (GCP) (13-14/64” ou 5,16–5,56 mm), fundo (GF) (<13/64” ou <5,16mm), os valores foram expressos em porcentagem (Bártholo and Guimarães, 1997; Brasil, 2003; Custódio et al., 2007; Dardengo et al., 2018; Souza et al., 2013).

5.2.8. Análises estatísticas

A normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foram avaliados pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, com o pacote estatístico “stats”. A análise de variância (ANOVA) dos efeitos dos tratamentos pelo teste F, o teste de comparação de médias de Student-Newman-Keuls (SNK) ($P \leq 0,05$) foram realizados pelo pacote estatístico “ExpDes.pt” (Ferreira et al., 2013). As análises estatísticas foram realizadas com R CRAN version 3.2.5 (R Core Team, 2016).

5.3. Resultados e discussão

5.3.1. Aplicação e monitoramento do filme de partículas

O filme de partículas de CaO na concentração de 20% p/v proporcionou uma significativa cobertura e aderência às folhas dos cafeeiros. Os valores verificados indicam que em plantas sob FP, L^* foram 78% maior que em plantas PS e poderia fornecer um significativo sombreamento artificial (Fig. 2). Resultados similares com uso da concentração de 20% de CaO foram verificados no cafeeiro conilon (Silva et al., 2019a) e em videiras (Silva et al., 2019b).

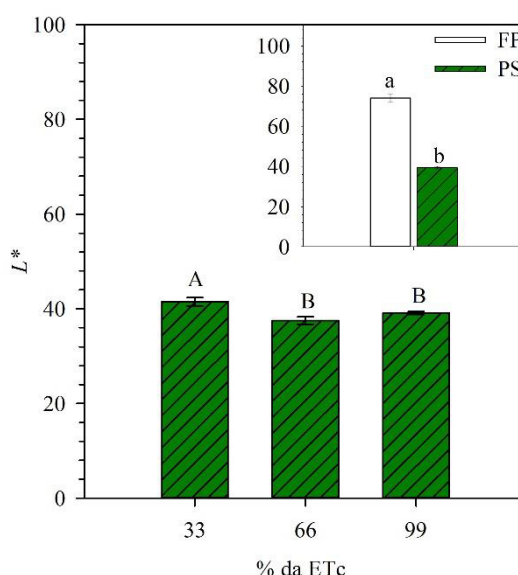


Fig. 2. Valores de luminosidade (L^*) das folhas do cafeeiro conilon para diferentes regimes hídricos ($n=4$) e níveis de sombreamento da copa com filmes de partículas (FP) e a pleno sol (PS) ($n=12$). Mesmas letras maiúsculas ou minúsculas comparadas para cada fator não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) ($p \leq 0,05$). Os intervalos sobre as barras correspondem ao Erro Padrão da Média (EPM).

Valores de L^* para folhas de plantas PS sob o regime 33% da ETc foram significativamente maiores em 11% e 6%, comparado a 66% e 99% da ETc respectivamente, os quais não diferiram entre si (Fig. 2). Análises com base na luminosidade (L^*) já foram utilizados para demonstrar mudanças epicuticulares da face adaxial de folhas em plantas arbóreas (Nakayama and Iwashina, 2017). Especificamente para plantas de café, dada a ampla plasticidade fenotípica (Matos et al., 2009; Silva et al., 2018) estes resultados podem estar relacionados a respostas ecofisiológicas para produzir mudanças epicuticulares como aumento da serosidade em folhas sob efeito do déficit hídrico e exposição a pleno sol (Batista et al., 2010; Campa et al., 2017; Mofatto et al., 2016). Os resultados indicaram também que regimes hídricos de 66% da ETc poderiam ser manejados ao cafeeiro conilon sem induzir respostas com

gasto de energia para produzir mudanças epicuticulares como mecanismo de aclimação à restrição hídrica.

5.3.2 Teor relativo de água e prolina livre

A interação entre os fatores foi significativa apenas para a variável prolina livre (Fig. 3A). Os resultados evidenciaram que sob PS os teores de prolina decresceram com o aumento do regime hídrico, os quais eram significativamente diferentes entre si. No entanto, sob FP, os regimes 66% e 99% da ETc não diferiram, e foram significativamente menores que 33% da ETc. Foi possível verificar também que plantas sob restrição hídrica com 66% da ETc e FP apresentavam menores tores de prolina livre que 99% da ETc e PS, o que sinaliza a capacidade do filme em favorecer a manutenção do status hídrico sem a necessidade de aumento deste osmorregulador, mesmo sob uma menor disponibilidade hídrica.

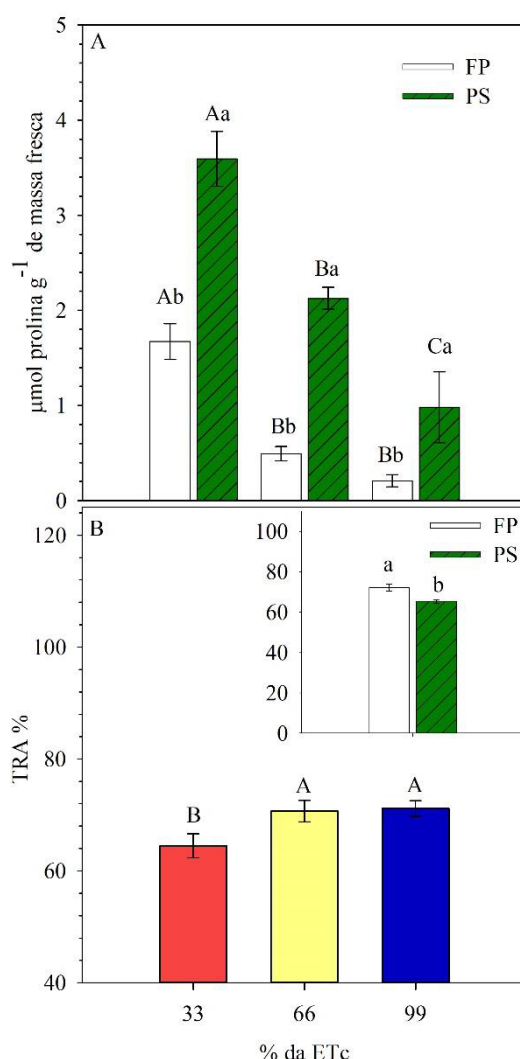


Fig. 3. Interação entre fatores para teor de prolina livre (A) ($n=3$) e fatores isolados para teor relativo de água (TRA%) (B) em folhas do cafeeiro conilon sob diferentes regimes hídricos ($n=8$) e níveis de sombreamento da copa com filmes de partículas (FP) e a pleno sol (PS) ($n=12$). Mesmas letras maiúsculas para comparar diferentes regimes hídricos em um mesmo nível de sombreamento, ou minúsculas para diferentes níveis de sombreamento em um mesmo regime hídrico, ou para fatores isolados para TRA% não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) ($p \leq 0,05$). Os intervalos sobre as barras correspondem ao Erro Padrão da Média (EPM).

Para fatores isolados verificou-se que o FP de CaO proporcionou significativa redução (65%) nos teores de prolina (Fig. 3A), enquanto aumentava o TRA% em 11% (Fig. 3B),

comparado ao PS. Resultados similares para redução da prolina como indicador de redução do estresse foram verificados em folhas tratadas com caulim em noqueira persa (Gharaghani et al., 2018) e videira (Dinis et al., 2016). A manutenção da turgidez dos tecidos está associada ao TRA% e é fundamental para expansão e divisão celular, mecanismos relacionados aos movimentos estomáticos, fotossíntese e crescimento, e foi verificada como um dos efeitos promissores do uso de filmes de partículas em outros estudos (Brito et al., 2018; Denaxa et al., 2012). Aumentos no TRA% em folhas de oliveiras tratadas com FP de caulim foram relacionados também à redução na perda de água dos tecidos foliares, mudanças em células do mesófilo e em estruturas de proteção das folhas, indicando redução do estresse ou aclimatização às condições de sombreamento artificial (Brito et al., 2019) e poderiam demonstrar a plasticidade fenotípica de plantas de café (Matos et al., 2009).

Para efeitos dos regimes hídricos verificou-se aumentos proporcionais entre os teores de prolina e os níveis de restrição hídrica (Fig. 3A), mas para 33% da ETc esse aumento foi de 102% e 345% comparado aos regimes de 66% e 99% da ETc, respectivamente. Para o TRA% apenas 33% da ETc diferiu dos demais apresentando valores 9% menores. O acúmulo de prolina em resposta ao déficit hídrico foi indicado como mecanismo osmorregulador em diferentes genótipos e cultivares de café (Silva et al., 2010; Tesfaye et al., 2014). Está relacionado também aos efeitos de proteção contra exposição ao excesso de radiação solar por sua atividade desintoxicante de EROs, associado à estabilização de membranas e do complexo enzimático antioxidativo em videiras (Bernardo et al., 2017; Ozden et al., 2009) e como mecanismo favorável à manutenção do TRA% em plantas sob déficit hídrico (Brito et al., 2019). Os resultados sugerem também que plantas de café conilon da variedade em estudo poderiam fazer um eficiente ajuste osmótico sob lâmina de 66% da ETc (Silva et al., 2017), o que poderia ser melhorado quando associado ao FP de CaO, favorecendo a economia de água quando comparado a 99% da ETc.

5.3.3. Índices de clorofila e temperatura da copa

Os índices de clorofila foram significativamente influenciados pelos fatores individuais e pela interação (Tabela 1). O FP promoveu aumentos significativos nos índices de clorofila *a*, *b* e total, enquanto reduzia a razão chl *a/b*. Para interação, verificou-se que em plantas de café sob FP os regimes 33% e 99% da ETc não diferiram e apresentaram valores significativamente maiores de chl *a*, comparados a 66% da ETc. Para chl *b*, FP foi capaz de atenuar significativamente as diferenças entre 33% e 66% da ETc, os quais apresentaram valores menores que 99% da ETc. Ainda sob FP os índices de chl total e a razão chl *a/b*, aumentaram e diminuíram, respectivamente, com o aumento do regime hídrico. Em plantas PS os regimes hídricos de 66% e 99% da ETc não diferiram entre si, e apresentaram valores significativamente maiores que 33% da ETc para chl *a*, *b* e total. A razão chl *a/b* decresceu com o aumento do regime hídrico, no entanto, 99% da ETc não diferiu entre 66% e 33% da ETc.

A razão chl *a/b* é um indicador da proporção entre o complexo fotocoletor de luz associado ao PSII (LCHII) e outros complexos contendo clorofila (Matos et al., 2009), pode revelar também aspectos da estequiometria entre os fotossistemas II (PSII): fotossistemas I (PSI) (Li et al., 2018; Nyongesah et al., 2015). Em plantas de café com alta plasticidade fenotípica nem sempre alterações em chl *a/b* em resposta a diferentes níveis de exposição à luz foram observadas (Matos et al., 2009; Pompelli et al., 2010), mas neste estudo os incrementos em chl *a*, *b* e total e as reduções em chl *a/b* foram evidentes para indicar que o FP de CaO foi capaz de fornecer significativo efeito de sombreamento artificial, estimular a biossíntese de clorofilas em plantas de café e melhorar a absorção e o metabolismo dependente de luz (Ilić et al., 2015).

Os resultados são compatíveis com aqueles verificados pelo sombreamento artificial com uso de filmes de cálcio em tomateiros (Silva et al., 2019c), videiras (Silva et al., 2019b), de caulim em noqueira persa (Gharaghani et al., 2018) e oliveiras (Khaleghi et al., 2015) e tela de nylon em cafeeiros (Cavatte et al., 2012). Os resultados revelaram também que FP foi capaz

de amenizar o impacto do déficit hídrico sobre a manutenção das estruturas fotocoletoras de energia luminosa (Silva et al., 2019c).

A temperatura da copa (Tabela 1) foi significativamente reduzida sob FP (aproximadamente 3°C) comparado ao PS. Sob 99% da ETc a temperatura da copa também reduziu significativamente, enquanto 33% e 66% da ETc não diferiam entre si. Pela análise da interação foi possível verificar que os filmes promoveram estabilidade à temperatura da copa, sob FP os regimes hídricos não diferiram. No entanto, sob PS, 33% apresentou maior temperatura diferindo de 99% da ETc, 66% da ETc não diferiu dos demais.

Tabela 1. Índices de clorofila Falker e temperatura da copa de plantas de café conilon submetidas a diferentes regimes hídricos e níveis de sombreamento.

Tratamentos	Variáveis				
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl total	Razão chl <i>a/b</i>	Temperatura da copa (°C)
Sombreamento (Shd) (n=12)	**	**	**	**	**
FP	34,24 a	17,08 a	51,33 a	2,08 b	25,50 b
PS	30,78 b	13,75 b	44,53 b	2,25 a	28,38 a
Regimes hídricos (WR)	**	*	**	**	*
% da ETc (n=8)					
33	32,48 b	13,19 b	45,66 b	2,47 a	27,81 a
66	31,26 c	14,94 a	46,20 b	2,10 b	27,31 a
99	33,79 a	18,13 a	51,91 a	1,93 c	25,69 b
WR x Shd (n=4)	*	*	**	**	*
33 x FP	35,45 Aa	14,08 Ba	49,53 Ba	2,52 Aa	25,38 Ab
66 x FP	31,13 Ba	15,20 Ba	46,33 Ca	2,05 Ba	26,38 Aa
99 x FP	36,15 Aa	21,98 Aa	58,13 Aa	1,65 Cb	24,75 Ab
33 x PS	29,50 Bb	12,30 Bb	41,80 Bb	2,41 Aa	30,25 Aa
66 x PS	31,40 Aa	14,68 Aa	46,08 Aa	2,15 Ba	28,25 ABa
99 x PS	31,43 Ab	14,28 Ab	45,70 Ab	2,20 ABa	26,63 Ba

Médias seguidas de letra maiúscula para comparar diferentes regimes hídricos dentro do mesmo nível de sombreamento, ou minúscula para comparar diferentes níveis de sombreamento em um mesmo regime hídrico, ou fatores isolados, não diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK). Significância: ** ($p \leq 0,01$), * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

Reduções na temperatura da copa pelo uso de filmes de partículas estão associadas a mecanismos de reflectância do excesso de radiação solar e controle da transpiração de resfriamento em folhas hipoestomáticas do cafeeiro (Gharaghani et al., 2018; Glenn et al., 2002; Silva et al., 2019a; Steiman et al., 2011, 2007).

Os resultados são contundentes em mostrar que sob déficit hídrico mais severo (33% da ETc) a radiação solar pode intensificar o aumento da temperatura da copa e exigir o acionamento de mecanismos para controle do estresse térmico associado (Dejonge et al., 2015; Durigon and Lier, 2013; Silva et al., 2019c), e sugere que limitações nesse sentido poderiam ser contornados pelo uso do FP.

5.3.4. Medições de trocas gasosas

A taxa de fotossíntese (*A*) (Fig. 4A) aumentou significativamente em plantas sob FP nos regimes 33% e 99% da ETc, comparado ao PS, sob 66% da ETc não se verificaram diferenças entre os níveis de sombreamento artificial. Em plantas sob FP os valores de *A* aumentaram linearmente com o aumento da disponibilidade hídrica, enquanto sob PS, os valores eram significativamente menores para 33% da ETc, e não diferiam entre 66% e 99% da ETc. A eficiência instantânea de carboxilação (*EIC*) (Fig. 4F) foi significativamente aumentada em plantas com FP comparado ao PS sob 33% e 99% da ETc, enquanto 66% da ETc não diferia entre os níveis de sombreamento. Para plantas sob PS, *EIC* aumentou paralelamente ao regime hídrico, no entanto, sob FP, 66% da ETc reduziu significativamente *EIC* em relação a 33% e 99% da ETc, os quais não diferiram entre si. Esta redução está relacionada a aumentos significativos em *Ci* para 66% da ETc naquela ocasião em relação aos demais regimes hídricos.

Valores similares de taxa de fotossíntese foram alcançados em plantas de *C. canephora* sob condições aproximadas à concentração de CO₂ utilizada neste estudo (DaMatta et al., 1997; Ramalho et al., 2013). Em plantas de café, a aquisição de CO₂ sob baixas concentrações no ambiente pode reduzir a atividade carboxilase da RuBisCO e a assimilação de CO₂ atmosférico, quando associado a outros mecanismos de estresse como o déficit hídrico, podem reduzir a formação de ATP, a regeneração da RuBP e limitar a atividade fotossintética (Damatta et al., 2016; Martins et al., 2016).

Neste estudo, assim como em outras culturas submetidas ao déficit hídrico e filmes de partículas, sob déficit hídrico severo, o uso de FP não foi capaz de evitar o declínio da taxa de fotossíntese, mas aumentou, significativamente, comparado ao controle PS (Boari et al., 2015; Brito et al., 2018; Denaxa et al., 2012). Estes resultados são confirmados pelo aumento na eficiência de carboxilação em plantas com FP. Os resultados nos indicam também que para o cafeeiro o FP de CaO poderia otimizar a atividade fotossintética e melhorar a eficiência de carboxilação mesmo quando fornecida a demanda hídrica total da cultura.

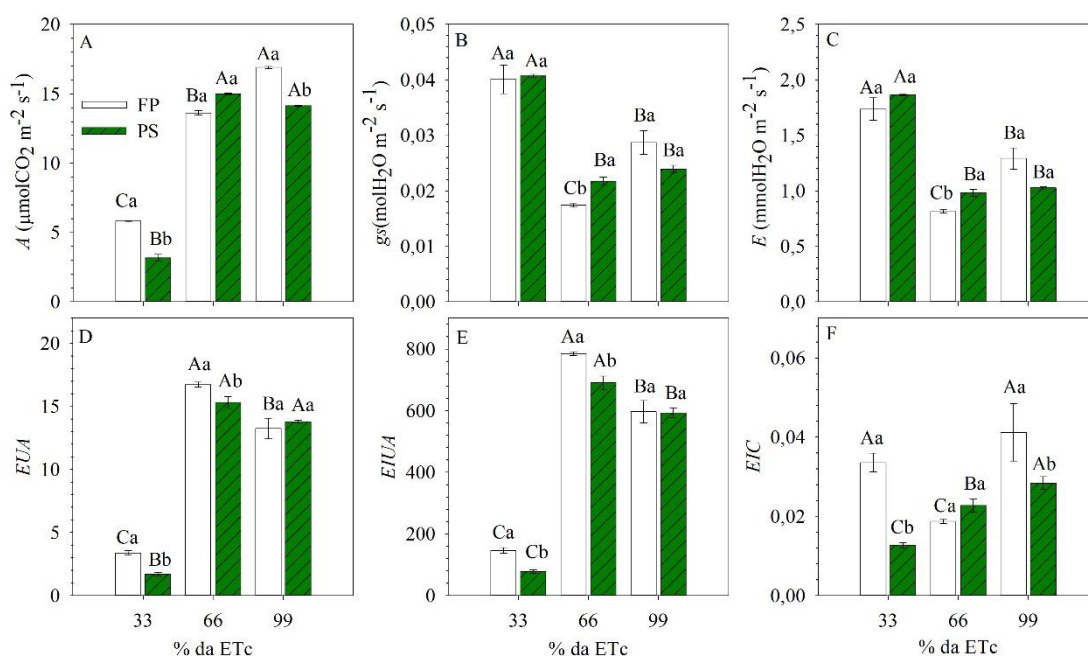


Fig. 4. Efeitos de três regimes hídricos e dois níveis de sombreamento aplicados ao cafeeiro conilon sobre as trocas gasosas (A, B e C), eficiência instantânea (EUA) (D) e intrínseca ($EIUA$) (E) do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) (F). Médias acompanhadas de mesma letra maiúscula para diferentes regimes hídricos sob mesmo nível de sombreamento e minúscula para diferentes níveis de sombreamento no mesmo regime hídrico não diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) ($p \leq 0,05$) ($n=4$). Os intervalos sobre as barras correspondem ao Erro Padrão da Média (EPM).

De forma similar, g_s e E (Figures 4B e 4C) foram, significativamente, aumentadas sob 33% da ETc em ambos os níveis de sombreamento que não diferiram, quando comparado aos demais regimes hídricos. Sob 66% da ETc o FP de CaO contribuiu para reduzir significativamente g_s e E , comparado ao PS. Sob 99% da ETc não se verificou diferenças entre os níveis de sombreamento artificial para as variáveis em questão. Sob efeito de PS, 66% e 99% da ETc não diferiam entre si para g_s e E , no entanto, sob FP, 66% da ETc apresentou os menores valores para estas variáveis.

As eficiências, instantânea (EUA) e intrínseca ($EIUA$) do uso da água (Fig. 4D e 4E), foram significativamente aumentadas em plantas com FP sob 33% e 66% da ETc, comparado a PS, somente 99% da ETc não se apresentou diferenças entre os níveis de sombreamento. Em plantas de café tratadas com FP, 66% da ETc apresentou valores significativamente maiores de EUA e $EIUA$ entre os regimes hídricos. Sob PS, 66% e 99% da ETc não diferiram para EUA ,

no entanto, para *EIUA*, 66% da *ETc* era significativamente maior que os demais regimes hídricos.

Os resultados sugerem que em plantas sob 33% da *ETc* o aumento nas concentrações do osmorregulador prolina e a redução no TRA evidenciaram o esforço para extrair água do solo, manter a turgescência e o fornecimento hídrico e nutricional para as demandas fotossintéticas e de crescimento dos frutos e grãos (Cavatte et al., 2012; Zali and Ehsanzadeh, 2018). Esses resultados foram acompanhados de aumentos significativos em *gs* e *E*, que estão relacionados à redução na tensão hídrica na interface folha-atmosfera para favorecer a absorção de água pela raiz e o fluxo de massa via xilema em resposta ao aumento da tensão de água na interface solução do solo-raiz (Taiz et al., 2017), o que reduziu significativamente *EUA* e *EIUA* sob esse regime hídrico.

Sob PS, os efeitos de alta luminosidade e temperatura da copa possivelmente intensificaram o acionamento de mecanismos relacionados à transpiração de resfriamento para 33% da *ETc* (Fahl et al., 2001; Martins et al., 2014; Rodrigues et al., 2016), enquanto sob FP, mecanismos desenvolvidos para manter o fornecimento hídrico e nutricional aos tecidos em crescimento nos frutos podem ter sido mais evidentes (Brüggenwirth et al., 2016; Morandi et al., 2007). O aumento de *gs* e *E* já foi verificado como uma resposta de tolerância de genótipos de citros ao déficit hídrico combinado com altas temperaturas (Zandalinas et al., 2016).

Diferentes estudos evidenciaram também que reduções na disponibilidade hídrica podem conduzir ao déficit nutricional pela redução na absorção e transporte de nutrientes via fluxo de massa a partir da solução do solo (Klem et al., 2018; Kunrath et al., 2018; Liu et al., 2018; Nyathi et al., 2018), especialmente durante o período reprodutivo de maior demanda das plantas (Bastani and Hajiboland, 2017; Wijewardana et al., 2019), como verificado visualmente em plantas de café sob 33% da *ETc* que apresentavam amarelecimento neste estudo.

O déficit nutricional foi indicado também como um dos fatores envolvidos no aumento da *gs* e *E* e redução em *EUA*, estimulados pela absorção e transporte via fluxo de massa. Especificamente a absorção de nitrogênio (N), ferro (Fe) e potássio (K) dentre outros nutrientes, demonstraram ser significativamente dependentes do fluxo de massa movido por elevadas *gs* e *E*, apresentando reduções em *EUA* (Cramer et al., 2008; Kunrath et al., 2018; Lihavainen et al., 2016; Shrestha et al., 2015).

Embora *gs* e *E* tenham aumentado, *A* não seguiu o mesmo comportamento, indicando que limitações não estomáticas promoveram regulação metabólica nestas plantas, como maior gasto de energia na absorção radicular em detrimento da produção de fotoassimilados (Cramer et al., 2009, 2008). Reduções em 50% da demanda hídrica total em cafeeiros arábica foi suficiente para reduzir a absorção de nutrientes e a qualidade nutricional do café (Liu et al., 2018). Possivelmente estes efeitos acumulados conduziram aos aumentos em *gs* e *E* sob regime de 33% da *ETc* e merecem investigações adicionais, indicando-o como um regime hídrico inadequado para o manejo do cafeeiro conilon.

Apenas 66% da *ETc* sob FP parece ter acumulado respostas ao déficit hídrico moderado e efeitos de proteção luminosa e térmica do filme para reduzir a necessidade de transpiração e a perda de água pelos estômatos para aquisição nutricional. Embora plantas sob FP e 33% da *ETc* tenham apresentado elevados valores de *gs* e *E*, valores significativamente maiores de *A* produzidos pelo aumento de *EIC* em plantas sob FP foi responsável por aumentar significativamente *EUA* e *EIUA* comparado ao PS. No entanto, foi 66% da *ETc* sob FP que acumulou melhores resultados das eficiências do uso da água neste sentido.

5.3.5. Parâmetros de frutos e grãos de café

A análise da interação para variáveis de frutos cereja tipo chato de café conilon (Tabela 2) demonstrou que sob efeito de FP, 33% e 66% da *ETc* não diferiram e apresentaram maior diâmetro dos frutos. No entanto, o comprimento dos frutos foi maior em plantas sob 66% e 99% da *ETc*. Especialmente 66% da *ETc* proporcionou maior diâmetro, comprimento e peso das amostras de frutos analisadas.

Em plantas sob PS, 33% e 99% da ETc não diferiram entre si para diâmetro do fruto e apresentaram maiores valores que 66% da ETc. No entanto, o comprimento do fruto e o peso da amostra foram significativamente maiores para 66% e 99% da ETc. Ao comparar os níveis de sombreamento para cada regime hídrico verificou-se que os filmes aumentaram significativamente o diâmetro, comprimento e peso da amostra de frutos, comparado ao PS, exceto para 99% da ETc que não apresentou diferenças entre os níveis de sombreamento para diâmetro e peso da amostra de frutos (Tabela 2).

Reduções no crescimento da copa e caule do cafeeiro conilon já foram verificados por efeito de restrição hídrica similar às aplicadas neste estudo (Rodrigues et al., 2016) e poderiam se estender aos frutos e grãos. Valores de TRA podem indicar também que sob 33% da ETc a redução da disponibilidade hídrica nos tecidos foi significativa para reduzir o comprimento dos frutos de café (Dardengo et al., 2018; Rezende et al., 2010), no entanto, efeitos de sombreamento do FP de CaO poderiam melhorar o status hídrico, o crescimento e o acúmulo de matéria seca (Rodríguez-López et al., 2013; Silva et al., 2019a; Souza et al., 2013), contrapondo resultados de efeitos de seca que aparentemente não foram mitigados por sombreamento natural em café (Cavatte et al., 2012).

Tabela 2. Parâmetros morfoagronômicos e cor de frutos cereja tipo chato de plantas de café conilon submetidas a diferentes regimes hídricos e níveis de sombreamento.

Tratamentos	Variáveis (frutos cereja)					
	Diâmetro	Comprimento	Peso de 100 frutos (g)	Cor		
	(mm)			<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
Regimes hídricos (WR) % da ETc (n=8)	**	**	**	ns	ns	**
33	10,03 a	10,85 b	66,56 b	26,53	15,27	17,33 a
66	9,99 a	11,48 a	80,87 a	24,86	17,63	15,47 a
99	9,80 b	11,33 a	70,92 b	25,81	17,16	13,46 b
Sombreamento (Shd) (n=12)	**	**	**	**	**	**
FP	10,26 a	11,52 a	77,63 a	28,40 a	14,68 b	13,76 b
PS	9,72 b	10,92 b	66,86 b	23,06 b	18,69 a	17,07 a
WR x Shd (n=4)	**	**	**	ns	**	**
33 x FP	10,31 Aa	11,05 Ca	71,82 Ba	28,82	15,65 Aa	16,61 Aa
66 x FP	10,34 Aa	11,95 Aa	91,76 Aa	26,83	13,99 Ab	11,93 Bb
99 x FP	9,84 Ba	11,56 Ba	71,80 Ba	29,55	14,41 Ab	12,74 Ba
33 x PS	9,75 Ab	10,64 Cb	51,08 Bb	24,25	14,90 Ba	18,04 Aa
66 x PS	9,64 Bb	11,01 Bb	61,30 Ab	22,89	21,27 Aa	19,00 Aa
99 x PS	9,76 Aa	11,11 Ab	72,50 Aa	22,06	19,92 Aa	14,17 Ba

Médias seguidas de letra maiúscula para comparar diferentes regimes hídricos dentro do mesmo nível de sombreamento, ou minúscula para comparar diferentes níveis de sombreamento em um mesmo regime hídrico, ou fatores isolados, não diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK). Significância: ** ($p \leq 0,01$), * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

Os parâmetros de cor (Tabela 2) evidenciaram maior luminosidade (*L**) em frutos tratados com FP como resultado do efeito de cobertura. Além disso, sob efeito de FP os frutos de plantas sob regime 66% e 99% da ETc apresentavam menores valores de *a** e *b**, comparados ao PS. Sob 33% da ETc os níveis de sombreamento não diferiram para estas variáveis. Os valores de *a** não diferiram entre os regimes hídricos sob FP, no entanto, sob PS, *a** foi significativamente menor para 33% da ETc, os demais regimes não diferiram. Para *b**, sob efeito de FP, 33% da ETc apresentava valor significativamente maior que os demais regimes hídricos que não diferiram entre si. Sob efeito de PS apenas 99% da ETc diferiu entre os regimes hídricos apresentando valores significativamente menores de *b**.

Os resultados com base na cor dos frutos sugerem que em plantas sob sombreamento com FP o estágio fenológico de maturação plena para cor cereja foi atrasado, semelhante aqueles verificados por sombreamento natural com bananeiras (Araújo et al., 2015). Reduções

nos valores de a^* e b^* caracterizaram frutos com aspecto visual alaranjado em plantas sob FP e 66% e 99% da ETc, respostas neste sentido podem estar relacionadas a mecanismos de redução na respiração dos frutos pela ação de cobertura dos filmes (Buchner et al., 2011; Sharma et al., 2015), redução na formação de pigmentos carotenoides pelo sombreamento (Bou-Torrent et al., 2015; Cooney et al., 2018) e alterações na maturação pela ação do cálcio disponibilizado para retardar o estágio cereja pleno (Madani et al., 2014), e merecem investigações adicionais.

A análise das peneiras dos grãos de café cereja tipo chato (Tabela 3), com base na interação dos fatores evidenciou que sob FP, GCG (%) (peneira 17-20) aumentou com o regime hídrico, no entanto, 33% e 66% da ETc não diferiram entre si. Sob PS, apenas 66% da ETc diferiu, apresentando maiores valores. FP aumentou significativamente os valores de GCG (%) comparado ao PS, exceto para 66% da ETc que não diferiu entre os níveis de sombreamento. De forma similar GCM (%) (peneira 15-16) aumentou com o regime hídrico em plantas sob FP, enquanto sob PS, 33% e 99% da ETc não diferiram e apresentaram maiores valores que 66% da ETc. Em todos os regimes hídricos plantas de café tratadas com FP apresentam valores significativamente maiores de GCM (%) comparados ao PS.

Tabela 3. Classificação em peneiras (%) de grãos de café conilon cereja tipo chato em resposta a diferentes regimes hídricos e níveis de sombreamento empregados no estágio de granação.

Tratamentos	Peneiras de grãos de café cereja (%)			
	GCG 17-20/64"	GCM 15-16/64"	GCP 13-14/64"	GF <13/64"
Regimes hídricos (WR) % da ETc (n=8)	**	**	**	*
33	0,63 b	26,15 b	46,14 a	27,08 ab
66	2,29 a	32,71 a	30,83 b	34,17 a
99	2,29 a	28,33 b	48,23 a	21,15 b
Sombreamento (Shd) (n=12)	**	**	**	**
FP	2,57 a	40,63 a	37,22 b	19,58 b
PS	0,90 b	17,50 b	46,25 a	35,35 a
WR x Shd (n=4)	**	**	**	**
33 x FP	1,04 Bc	30,21 Ca	32,29 Bb	36,46 Aa
66 x FP	2,29 Bb	55,21 Aa	35,63 Ba	6,88 Cb
99 x FP	4,38 Aa	36,46 Ba	43,75 Ab	15,42 Bb
33 x PS	0,21 Bc	22,08 Ab	60,00 Aa	17,71 Cb
66 x PS	2,29 Ab	10,21 Bb	26,04 Cb	61,46 Aa
99 x PS	0,21 Bb	20,21 Ab	52,71 Ba	26,88 Ba

Médias seguidas de letra maiúscula para comparar diferentes regimes hídricos dentro do mesmo nível de sombreamento, ou minúscula para comparar diferentes níveis de sombreamento em um mesmo regime hídrico, ou fatores isolados, não diferem entre si pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK). Significância: ** ($p \leq 0,01$), * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

Para GCP (%) (peneira 13-14) sob efeito de FP, 33% e 66% da ETc não diferiram e apresentaram menores valores que 99% da ETc. No entanto, sob efeito PS os regimes hídricos diferiram entre si e 33% da ETc apresentou maiores valores de GCP (%). Com exceção de 66% da ETc, o FP diminuiu valores de GCP (%), comparada ao PS. Com exceção de 33% da ETc, plantas tratadas com FP também apresentaram menores valores de GF (%) (peneira ≤ 13), comparado ao PS. Sob FP, 66% e 99% da ETc apresentaram menores valores de GF (%), enquanto sob PS, 33% e 99% da ETc reduziram GF (%).

Os resultados mostraram que o sombreamento artificial proporcionou maior estabilidade às plantas, aumentando a granação em peneiras (>13) com o aumento do regime hídrico, enquanto reduzia grãos de fundo, resultados neste sentido já foram verificados para o café conilon sob efeito de diferentes regimes hídricos (Dardengo et al., 2018) e café arábica com sombreamento natural (Souza et al., 2013).

Os resultados são compatíveis também com a % média de grãos entre peneiras de 13-15 (70,2%) verificado para os clones do café conilon 'Vitória Incaper 8142' sob regime hídrico

e sol plenos em condições de clima ameno (Silva et al., 2017). No entanto, neste estudo sob as condições climáticas do Nordeste do Brasil, o FP foi capaz de aumentar em 20% e 11.5% a formação de grãos com peneira >13 sob regimes de 66% e 99% da ETc, respectivamente, comparado ao controle 99% da ETc sob PS (73,1%). O que sugere que 66% da ETc com FP pode ser uma técnica eficiente para melhorar a granação do café conilon.

Grãos de café com maiores dimensões apresentam maior valor comercial e refletem o desenvolvimento pleno das plantas em função do manejo empregado na lavoura (Custódio et al., 2007; Dardengo et al., 2018).

Neste sentido, é possível que plantas sob FP, similar ao sombreamento natural, tenham sofrido menor impacto dos efeitos acumulados de estresse e tenham melhorado o desempenho dos processos fisiológicos (Silva et al., 2019a) e o status hídrico para expansão dos tecidos e desenvolvimento dos grãos (Souza et al., 2013).

5.4. Conclusões

O filme de partículas de óxido de cálcio, sob as condições de estudo, aplicado durante a granação do cafeeiro conilon ‘Vitória Incaper 8142’ proporcionou sombreamento artificial, reduziu a temperatura da copa, promoveu manutenção do status hídrico e reduziu o gasto de energia para produção de metabólitos osmorreguladores, melhorou o desempenho dos processos fisiológicos das plantas, a eficiência do uso da água e de carboxilação mesmo sob déficit hídrico severo. Com isso, o FP promoveu também aumentos nas dimensões de frutos e grãos, uma característica comercial de interesse para produção. Sob as condições climáticas às aplicadas neste estudo a lâmina de 66% da ETc poderia ser manejada durante a granação com economia de água, manutenção do desempenho dos processos fisiológico das plantas e melhoria na qualidade dos grãos do cafeeiro conilon. Mesmo quando fornecido o regime de 100% da ETc, FP poderia ser usado para otimizar o consumo de água e o desempenho das plantas. Portanto, o FP de CaO constitui uma tecnologia alternativa para mitigar efeitos ambientais sobre o cultivo do cafeeiro conilon no Nordeste do Brasil.

5.6. Referências Bibliográficas

- Achar, D., Awati, M.G., Udayakumar, M., Prasad, T.G., 2015. Identification of Putative Molecular Markers Associated with Root Traits in *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. Mol. Biol. Int. 2015, 532386. doi:10.1155/2015/532386
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., Ab, W., 1998. Allen_FAO1998, Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO. doi:10.1016/j.eja.2010.12.001
- Araújo, A.V., Partelli, F.L., Oliveira, M.G., Pezzopane, J.R.M., Falqueto, A.R., Cavatte, P.C., 2015. Microclimatic and vegetative growth in coffee and banana intercrop. Coffee Sci. 10, 214–222. doi:http://dx.doi.org/10.25186/cs.v10i2.856
- Awachare, C.M., Kurian, R.M., Upreti, K.K., Laxman, R.H., 2018. Morpho-physiological diversity in Annona species. Sci. Hort. 234, 58–62. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.005
- Barbieri Júnior, É., Rossiello, R.O.P., Silva, R.V.M.M., Ribeiro, R.C., Morenz, M.J.F., 2012. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. Ciência Rural 42, 2242–2245. doi:10.1590/S0103-84782012005000109
- Bártholo, G.F., Guimarães, P.T.G., 1997. Cuidados na colheita e preparo do café. Inf. Agropecuário 18, 33–42.
- Bastani, S., Hajiboland, R., 2017. Uptake and utilization of applied phosphorus in oilseed rape (*Brassica napus* L. cv. Hayola) plants at vegetative and reproductive stages: Comparison of root with foliar phosphorus application. Soil Sci. Plant Nutr. 63, 254–263.

- doi:10.1080/00380768.2017.1321471
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39, 205–207. doi:10.1007/bf00018060
- Batista, L.A., Guimarães, R.J., Pereira, F.J., Carvalho, G.R., Castro, E.M. de, 2010. Leaf anatomy and water potential in the coffee cultivars tolerance to water stress. *Rev. Ciência Agronômica* 41, 475–481. doi:10.1590/s1806-66902010000300022
- Bernardo, S., Dinis, L.-T., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., Valledor, L., Conde, A., Gerós, H., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2017. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Environ. Exp. Bot.* 139, 39–47. doi:10.1016/j.envexpbot.2017.04.002
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M.I., Cantore, V., 2015. Particle film technology: A supplemental tool to save water. *Agric. Water Manag.* 147, 154–162. doi:10.1016/j.agwat.2014.07.014
- Bou-Torrent, J., Toledo-Ortiz, G., Ortiz-Alcaide, M., Cifuentes-Esquivel, N., Halliday, Karen, J., Martinez-Garcia, Jaime, F., Rodriguez-Concepcion, M., 2015. Regulation of carotenoid biosynthesis by shade relies on specific subsets of antagonistic transcription factors and co-factors. *Plant Physiol.* 169, 1584–1594. doi:https://doi.org/10.1104/pp.15.00552
- Brasil, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2003. Instrução Normativa n. 8, de 11 de Junho de 2003. Brasília. 11p.
- Brito, C., Dinis, L., Luzio, A., Silva, E., Gonçalves, A., Meijón, M., Escandón, M., Arrobas, M., Rodrigues, M.Â., Moutinho-Pereira, J., Correia, C.M., 2019. Kaolin and salicylic acid alleviate summer stress in rainfed olive orchards by modulation of distinct physiological and biochemical responses. *Sci. Hortic.* 246, 201–211. doi:10.1016/j.scienta.2018.10.059
- Brito, C., Dinis, L.T., Ferreira, H., Rocha, L., Pavia, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C.M., 2018. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. *Plant Physiol. Biochem.* 133, 29–39. doi:10.1016/j.plaphy.2018.10.028
- Brito, G.G., Sofiatti, V., Brandão, Z.N., Silva, V.B., Silva, F.M., Silva, D.A., 2011. Análise não destrutiva dos pigmentos fotossintéticos em plantas de algodoeiro. *Acta Sci. - Agron.* 33, 671–678. doi:10.4025/actasciagron.v33i4.10926
- Brüggenwirth, M., Winkler, A., Knoche, M., 2016. Xylem, phloem, and transpiration flows in developing sweet cherry fruit. *Trees* 30, 1821–1830. doi:10.1007/s00468-016-1415-4
- Buchner, S., Kinnear, M., Crouch, I.J., Taylor, J., Minnaar, A., 2011. Effect of kafirin protein coating on sensory quality and shelf-life of ‘Packham’s Triumph’ pears during ripening. *J. Sci. Food Agric.* 91, 2814–2820. doi:10.1002/jsfa.4526
- Camargo, A.P., Camargo, M.B.P., 2001. Definition and outline for the phenological phases of arabic coffee under brazilian tropical conditions. *Bragantia* 60, 65–68. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052001000100008
- Campa, C., Urban, L., Mondolot, L., Fabre, D., Roques, S., Lizzi, Y., Aarrouf, J., Doulebeau, S., Breitler, J., Letrez, C., Toniutti, L., Bertrand, B., Fisca, P. La, Bidet, L.P.R., Etienne, H., 2017. Juvenile Coffee Leaves Acclimated to Low Light Are Unable to Cope with a Moderate Light Increase. *Front. Plant Sci.* 8. doi:10.3389/fpls.2017.01126
- Cavatte, P.C., Oliveira, Á.A.G., Morais, L.E., Martins, S.C. V., Sanglard, L.M.V.P., Damatta, F.M., 2012. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. *Physiol. Plant.* 144, 111–122. doi:10.1111/j.1399-3054.2011.01525.x
- César, F.R.C.F., Naomi, S.M., Viana, A.E.S., Bonfim, J.A., 2013. Morphological Plasticity of Three Coffee Cultivars Under Light Gradient. *Coffee Sci.* 8, 121–131. doi:http://dx.doi.org/10.25186/cs.v8i2.376
- Coelho, A.L.F., Santos, F.L., Pinto, F.A.C., Queiroz, D.M., 2015. Determination of geometric, physical and mechanical properties of coffee fruit-stem-branch system. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 19, 286–292. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p286-292

- Cooney, L.J., Logan, B.A., Walsh, M.J.L., Nnatubeugo, N.B., Reblin, J.S., Gould, K.S., 2018. Photoprotection from anthocyanins and thermal energy dissipation in senescing red and green *Sambucus canadensis* peduncles. *Environ. Exp. Bot.* 148, 27–34. doi:10.1016/j.envexpbot.2017.12.019
- Cramer, M.D., Hawkins, H.J., Verboom, G.A., 2009. The importance of nutritional regulation of plant water flux. *Oecologia* 161, 15–24. doi:10.1007/s00442-009-1364-3
- Cramer, M.D., Hoffmann, V., Verboom, G.A., 2008. Nutrient availability moderates transpiration in *Ehrharta calycina*. *New Phytol.* 179, 1048–1057. doi:10.1111/j.1469-8137.2008.02510.x
- Custódio, A.A.P., Gomes, N.M., Lima, L.A., 2007. Irrigation effect on coffee beans classification. *Eng. Agric.* 27, 691–701. doi:10.1590/S0100-69162007000400012
- DaMatta, F.M., 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. *F. Crop. Res.* 86, 99–114. doi:10.1016/j.fcr.2003.09.001
- DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Pinheiro, H.A., Ducatti, C., Loureiro, M.E., 2003. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Sci.* 164, 111–117. doi:10.1016/S0168-9452(02)00342-4
- Damatta, F.M., Godoy, A.G., Menezes-Silva, P.E., Martins, S.C.V., Sanglard, L.M.V.P., Morais, L.E., Torre-Neto, A., Ghini, R., 2016. Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: Disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. *J. Exp. Bot.* 67, 341–352. doi:10.1093/jxb/erv463
- DaMatta, F.M., Maestri, M., Mosquim, P.R., Barros, R.S., 1997. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. *Plant Sci.* 128, 43–50. doi:https://doi.org/10.1016/S0168-9452(97)00142-8
- Dardengo, M.C.J.D., Pereira, L.R., Sousa, E.F. de, Reis, E.F. dos, 2018. Yield, quality and water consumption of conilon coffee under irrigated and dryland managements. *Coffee Sci.* 13, 272–282. doi:10.25186/cs.v13i3.1437
- Dejonge, K.C., Taghvaeian, S., Trout, T.J., Comas, L.H., 2015. Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agric. Water Manag.* 156, 51–62. doi:10.1016/j.agwat.2015.03.023
- Denaxa, N.K., Roussos, P.A., Damvakaris, T., Stournaras, V., 2012. Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. *Sci. Hortic.* 137, 87–94. doi:10.1016/j.scienta.2012.01.012
- Dinis, L.T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., Gerós, H., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2016. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *J. Plant Physiol.* 191, 45–53. doi:10.1016/j.jplph.2015.12.005
- Durigon, A., Lier, Q.D.J. Van, 2013. Canopy temperature versus soil water pressure head for the prediction of crop water stress. *Agric. Water Manag.* 127, 1–6. doi:10.1016/j.agwat.2013.05.014
- Fahl, J.I., Carelli, M.L.C., Menezes, H.C., Gallo, P.B., Trivelin, P.C.O., 2001. Gas Exchange, Growth, Yield and Beverage Quality of *Coffea Arabica* Cultivars Grafted on To *C. Canephora* and *C. Congensis*. *Exp. Agric.* 37, 241–252. doi:10.1017/s0014479701002010
- FAO, 2017. World green coffee production in 2017 [WWW Document]. FAOSTAT.
- Ferrão, R.G., Fonseca, A.F., Ferrão, M.A.G., Filho, A.C.V., Volpi, P.S., Muner, L.H. De, Lani, J.A., Prezotti, L.C., Ventura, J.A., Martins, D. dos S., Mauri, A.L., Marques, E.M.G.F.Z., 2012. Café Conilon Técnicas De Produção Com Variedades Melhoradas, 4 revisada. ed, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, I. Vitória, ES.
- Ferreira, E.B., Cavalcanti, P.P., Nogueira, D.A., 2013. ExpDes.pt: Experimental Desings package (Portuguese). R package version 1.1.2.
- Gharaghani, A., Mohammadi, A., Vahdati, K., 2018. Kaolin particle film alleviates adverse

- effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. *Sci. Hortic.* 239, 35–40. doi:10.1016/j.scienta.2018.05.024
- Glenn, D.M., Prado, E., Erez, A., McFerson, J., Puterka, G.J., 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127, 188–193. doi:10.21273/JASHS.127.2.188
- Guo, W.-D., Guo, Y.-P., Liu, J.-R., Mattson, N., 2009. Midday depression of photosynthesis is related with carboxylation efficiency decrease and D1 degradation in bayberry (*Myrica rubra*) plants. *Sci. Hortic.* 123, 188–196. doi:10.1016/j.scienta.2009.07.014
- Ilić, Z.S., Milenković, L., Šunić, L., Fallik, E., 2015. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *J. Sci. Food Agric.* 95, 2660–2667. doi:https://doi.org/10.1002/jsfa.7000
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzegar, M., 2015. The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv “Zard” grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food Chem.* 166, 35–41. doi:10.1016/j.foodchem.2014.06.006
- Klem, K., Záhora, J., Zemek, F., Trunda, P., Tůma, I., Novotná, K., Hodaňová, P., Rapantová, B., Hanuš, J., Vavříková, J., Holub, P., 2018. Interactive effects of water deficit and nitrogen nutrition on winter wheat. Remote sensing methods for their detection. *Agric. Water Manag.* 210, 171–184. doi:10.1016/j.agwat.2018.08.004
- Koyama, K., Takemoto, S., 2014. Morning reduction of photosynthetic capacity before midday depression. *Sci. Rep.* 4, 1–6. doi:10.1038/srep04389
- Krenchinski, F.H., Albrecht, A.J.P., Salomão Cesco, V.J., Rodrigues, D.M., Pereira, V.G.C., Albrecht, L.P., Carbonari, C.A., Victória Filho, R., 2018. Post-emergent applications of isolated and combined herbicides on corn culture with cp4-epsps and pat genes. *Crop Prot.* 106, 156–162. doi:10.1016/j.cropro.2017.11.016
- Kunrath, T.R., Lemaire, G., Sadras, V.O., Gastal, F., 2018. Water use efficiency in perennial forage species: Interactions between nitrogen nutrition and water deficit. *F. Crop. Res.* 222, 1–11. doi:10.1016/j.fcr.2018.02.031
- Li, Y., Liu, C., Zhang, J., Yang, H., Xu, L., Wang, Q., Sack, L., Wua, X., Houa, J., He, N., 2018. Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-temperate forests: Association with gross primary productivity. *Ecol. Indic.* 85, 383–389. doi:10.1016/j.ecolind.2017.10.025
- Lihavainen, J., Ahonen, V., Keski-saari, S., Kontunen-soppela, S., Oksanen, E., Keinänen, M., 2016. Low vapour pressure deficit affects nitrogen nutrition and foliar metabolites in silver birch. *J. Exp. Bot.* 67, 4353–4365. doi:10.1093/jxb/erw218
- Liu, X., Qi, Y., Li, F., Yang, Q., Yu, L., 2018. Impacts of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of Arabica coffee under different shading levels in dry and hot regions of southwest China. *Agric. Water Manag.* 204, 292–300. doi:10.1016/j.agwat.2018.04.024
- Madani, B., Mohamed, M.T.M., Watkins, C.B., Kadir, J., Awang, Y., Shojaei, T.R., 2014. Preharvest calcium chloride sprays affect ripening of Eksotika II papaya fruits during cold storage. *Sci. Hortic.* 171, 6–13. doi:10.1016/j.scienta.2014.03.032
- Marraccini, P., Freire, L.P., Alves, G.S.C., Vieira, N.G., Vinecky, F., Elbelt, S., Ramos, H.J.O., Montagnon, C., Vieira, L.G.E., Leroy, T., Pot, D., Silva, V.A., Rodrigues, G.C., Andrade, A.C., 2011. RBCS1 expression in coffee: *Coffea* orthologs, *Coffea arabica* homeologs, and expression variability between genotypes and under drought stress. *BMC Plant Biol.* 11, 85. doi:10.1186/1471-2229-11-85
- Martins, M.Q., Rodrigues, W.P., Fortunato, A.S., Leitão, A.E., Rodrigues, A.P., Pais, I.P., Martins, L.D., Silva, M.J., Reboredo, F.H., Partelli, F.L., Campostrini, E., Tomaz, M.A., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A.I., Lidon, F.J.C., DaMatta, F.M., Ramalho, J.C., 2016. Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO₂] Conditions in *Coffea* spp. *Front. Plant Sci.* 7. doi:10.3389/fpls.2016.00947
- Martins, S.C. V, Araújo, W.L., Tohge, T., Fernie, A.R., DaMatta, F.M., 2014. In high-light-

- acclimated coffee plants the metabolic machinery is adjusted to avoid oxidative stress rather than to benefit from extra light enhancement in photosynthetic yield. *PLoS One* 9, 1–12. doi:10.1371/journal.pone.0094862
- Matos, F.S., Wolfgramm, R., Gonçalves, F. V., Cavatte, P.C., Ventrella, M.C., DaMatta, F.M., 2009. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. *Environ. Exp. Bot.* 67, 421–427. doi:10.1016/j.envexpbot.2009.06.018
- Mofatto, L.S., Carneiro, F.D.A., Vieira, N.G., Duarte, K.E., Vidal, R.O., Alekcevetch, J.C., Cotta, M.G., Verdeil, J., Lapeyre-montes, F., Lartaud, M., Leroy, T., Bellis, F. De, Pot, D., Rodrigues, G.C., Carazzolle, M.F., Amarante, G., Pereira, G., Andrade, A.C., Marraccini, P., 2016. Identification of candidate genes for drought tolerance in coffee by high-throughput sequencing in the shoot apex of different *Coffea arabica* cultivars. *BMC Plant Biol.* 16, 94. doi:10.1186/s12870-016-0777-5
- Morandi, B., Rieger, M., Grappadelli, L.C., 2007. Vascular flows and transpiration affect peach (*Prunus persica* Batsch.) fruit daily growth. *J. Exp. Bot.* 58, 3941–3947. doi:https://doi.org/10.1093/jxb/erm248
- Nakayama, M., Iwashina, T., 2017. Characteristics of green–blue fluorescence generated from the adaxial sides of leaves of tree species. *J. Plant Res.* 130, 301–310. doi:10.1007/s10265-016-0903-3
- Naus, J., Prokopová, J., Rebíček, J., Spundová, M., 2010. SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement. *Photosynth. Res.* 105, 265–271. doi:10.1007/s11120-010-9587-z
- Nyathi, M.K., Van Halsema, G.E., Beletse, Y.G., Annandale, J.G., Struik, P.C., 2018. Nutritional water productivity of selected leafy vegetables. *Agric. Water Manag.* 209, 111–122. doi:10.1016/j.agwat.2018.07.025
- Nyongesah, M.J., Wang, Q., Li, P., 2015. Effectiveness of photochemical reflectance index to trace vertical and seasonal chlorophyll a/b ratio in *Haloxylon ammodendron*. *Acta Physiol Plant* 37, 1–11. doi:10.1007/s11738-014-1747-x
- Olivoto, T., Elli, E.F., Schmidt, D., Caron, B.O., de Souza, V.Q., 2018. Photosynthetic photon flux density levels affect morphology and bromatology in *Cichorium endivia* L. var. *latifolia* grown in a hydroponic system. *Sci. Hortic.* 230, 178–185. doi:10.1016/j.scienta.2017.11.031
- Ozden, M., Demirel, U., Kahraman, A., 2009. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Sci. Hortic.* 119, 163–168. doi:10.1016/j.scienta.2008.07.031
- Pezzopane, J.R.M., Pedro Jr, M.J., Gallo, P.B., 2007. Microclimatic characterization in coffee and banana intercrop. *R. Brasi. Eng. Agríc Ambient.* 11, 256–264. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300003
- Pompelli, M.F., Martins, S.C. V, Antunes, W.C., Chaves, A.R.M., DaMatta, F.M., 2010. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *J. Plant Physiol.* 167, 1052–1060. doi:10.1016/j.jplph.2010.03.001
- Ramalho, J.C., Rodrigues, A.P., Semedo, J.N., Pais, I.P., Martins, L.D., Maria, C., Leitão, A.E., Fortunato, A.S., Batista-santos, P., Palos, I.M., Marcelo, A., Scotti-campos, P., Lidon, F.C., Damatta, F.M., 2013. Sustained Photosynthetic Performance of *Coffea* spp. under Long-Term Enhanced [CO₂]. *PLoS One* 8, 1–19. doi:10.1371/journal.pone.0082712
- Rezende, F.C., Arantes, K.R., Oliveira, S. dos R., de Faria, M.A., 2010. Coffee pruning and different irrigation periods: productivity and quality. *Coffee Sci.* 5, 229–236. doi:http://dx.doi.org/10.25186/cs.v5i3.339
- Ricci, M.S.F., Cochetto Junior, D.G.C., Almeida, F.F.D., 2013. Microweather conditions, phenology and external morphology of coffee trees in shaded and full sun systems. *Coffee Sci.* 8, 379–388.
- Rodrigues, A.A., Vasconcelos-Filho, S.C., Mendes, G.C., Rehn, L.S., Rodrigues, D.A.,

- Rodrigues, C.L., Müller, C., 2017. Fluoride in simulated rain affects the morphoanatomy and physiology of *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. Ecol. Indic. 82, 189–195. doi:10.1016/j.ecolind.2017.07.005
- Rodrigues, R.R., Pizetta, S.C., Silva, N.K.C., Ribeiro, W.R., Reis, E.F. dos, 2016. Growth initial conilon coffee under water deficit in soil. Coffee Sci. 11, 33–38. doi:http://dx.doi.org/10.25186/cs.v11i1.958
- Rodrigues, W., Machado Filho, J., Silva, J., Figueiredo, F.A.A., Moura, M., Ferraz, T.M., Ferreira, L.S., Bezerra, L.B.S., Abreu, D.P., Bernado, W.P., Passos, L.C., Sousa, E.F., Glenn, D.M., Ramalho, J.C., Campostrini, E., 2016. Whole-canopy gas exchanges in *Coffea* sp. is affected by supra-optimal temperature and light distribution within the canopy: The insights from an improved multi-chamber system. Sci. Hortic. 211, 194–202. doi:10.1016/j.scienta.2016.08.022
- Rodríguez-López, N.F., Cavatte, P.C., Silva, P.E.M., Martins, S.C. V, Morais, L.E., Medina, E.F., Damatta, F.M., 2013. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. Physiol. Plant. 149, 45–55. doi:10.1111/ppl.12010
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C. dos, Oliveira, V.Á., Lumbreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Cunha, T.J.F., Oliveira, J.B., 2014. Sistema brasileiro de classificação de Solos.
- Santos, V.P. Dos, Fernandes, P.D., Melo, A.S. De, Sobral, L.F., Brito, M.E.B., Dantas, J.D.D.M., Bonfim, L.V., 2009. Fertigation of banana cv Prata Anã with N and K in an Ultisol. Rev. Bras. Frutic. 31, 567–573. doi:10.1590/S0100-29452009000200035
- Scholz, M.B. dos S., Silva, J.V.N. da, Figueiredo, V.R.G. de, Kitzberger, C.S.G., 2013. Sensory attributes and physico-chemical characteristics of the coffee beverage from the IAPAR cultivars. Coffee Sci. 8, 5–14. doi:http://dx.doi.org/10.25186/cs.v8i1.297
- Sharma, R.R., Vijay Rakesh Reddy, S., Datta, S.C., 2015. Particle films and their applications in horticultural crops. Appl. Clay Sci. 116–117, 54–68. doi:10.1016/j.clay.2015.08.009
- Shrestha, R.K., Engel, K., Becker, M., 2015. Effect of transpiration on iron uptake and translocation in lowland rice. J. Plant Nutr. Soil Sci. 178, 365–369. doi:10.1002/jpln.201400361
- Silva, P.S.O., Oliveira Junior, L.F.G., Gonzaga, M.I.S., Sena, E.O.A., Maciel, L.B.S., Fiaes, M.P., Mattos, E.C., Carnelossi, M.A.G., 2019a. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. Sci. Hortic. 245, 171–177. doi:10.1016/j.scienta.2018.10.010
- Silva, P.S.O., Oliveira Junior, L.F.G., Mattos, E.C., Maciel, L.B., Santos, M.P.F., Sena, E.O.A., Barbosa, N.T.B., Carnelossi, M.A.G., Fagundes, J.L., 2019b. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). Sci. Hortic. 252, 77–84. doi:10.1016/j.scienta.2019.03.041
- Silva, P.S.O., Sena, E.O.A., Gonzaga, M.I.S., Oliveira Junior, L.F.G., Maciel, L.B.S., Santos, M.P.F., Mattos, E.C., Dias, K.L.L., Botelho, R.C., Carnelossi, M.A.G., 2019c. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. Environ. Exp. Bot. 165, 19–29. doi:10.1016/j.envexpbot.2019.05.017
- Silva, V.A., Antunes, W.C., Guimarães, B.L.S., Paiva, R.M.C., Silva, V. d F., Ferrão, M.A.G., DaMatta, F.M., Loureiro, M.E., 2010. Physiological response of Conilon coffee clone sensitive to drought grafted onto tolerant rootstock. Pesqui. Agropecu. Bras. 45, 457–464. doi:10.1590/S0100-204X2010000500004
- Silva, V.A., Machado, J.L., Rezende, J.C., Oliveira, A.L., Figueiredo, U.J., Carvalho, G.R., Ferrão, M.A.G., Guimarães, R.J., 2017. Adaptability, stability, and genetic divergence of conilon coffee in Alto Suaçuí, Minas Gerais, Brazil. Crop Breed. Appl. Biotechnol. 17, 25–31. doi:10.1590/1984-70332017v17n1a4
- Silva, V.A., Prado, F.M., Antunes, W.C., Paiva, R.M.C., Ferrão, M.A.G., Andrade, A.C.,

- Mascio, P. Di, Loureiro, M.E., DaMatta, F.M., Almeida, A.M., 2018. Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. *Plant Growth Regul.* 85, 221–229. doi:10.1007/s10725-018-0385-5
- Silva Neto, F.J., Morinigo, K.P.G., De França Guimarães, N., De Souza Gallo, A., De Souza, M.D.B., Stolf, R., Fontanetti, A., 2018. Shade trees spatial distribution and its effect on grains and beverage quality of shaded coffee trees. *J. Food Qual.* 2018, 7909467. doi:https://doi.org/10.1155/2018/7909467
- Souza, A.J.D.J., Matsumoto, S.N., Malta, M.R., Guimarães, R.J., 2013. Quality of shaded and unshaded coffee, in post-harvest management in southwestern bahia. *Coffee Sci.* 8, 109–120. doi:http://dx.doi.org/10.25186/cs.v8i2.375
- Steiman, S., Idol, T., Bittenbender, H.C., Gautz, L., 2011. Shade coffee in Hawai'i - Exploring some aspects of quality, growth, yield, and nutrition. *Sci. Hortic.* 128, 152–158. doi:10.1016/j.scienta.2011.01.011
- Steiman, S.R., Bittenbender, H.C., Idol, T.W., 2007. Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. *HortScience* 42, 1605–1608.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. max, Murphy, A., 2017. *Plant physiology and development*, 6. ed, Artmed. Porto Alegre.
- Team, R. core, 2016. R 3.2.5: A language and environment for statistical computing. [WWW Document]. R Found. Stat. Comput. URL https://www.r-project.org/ (accessed 10.15.17).
- Tesfaye, S.G., Ismail, M.R., Ramlan, M.F., Marziah, M., Kausar, H., 2014. Effect of Soil Drying on Rate of Stress Development, Leaf Gas Exchange and Proline Accumulation in Robusta Coffee (*Coffea Canephora* Pierre Ex Froehner) Clones. *Exp. Agric.* 50, 458–479. doi:10.1017/s001447971300063x
- Vicente, M.R., Mantovani, E.C., Fernandes, A.L.T., Delazari, F.T., Figueredo, E.M., 2015. Effects of different levels of irrigation depths on growth and production variables of coffee under center pivot irrigation. *Irriga* 20, 528–543. doi:https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p528
- Wijewardana, C., Reddy, K.R., Bellaloui, N., 2019. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. *Food Chem.* 278, 92–100. doi:10.1016/j.foodchem.2018.11.035
- Zali, A.G., Ehsanzadeh, P., 2018. Exogenously applied proline as a tool to enhance water use efficiency: Case of fennel. *Agric. Water Manag.* 197, 138–146. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.023
- Zandalinas, S.I., Rivero, R.M., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., Arbona, V., 2016. Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biol.* 16. doi:10.1186/s12870-016-0791-7
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, C., Belbachir, O.A., Djebbar, R., Carol, P., 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. *J. Plant Physiol.* 218, 26–34. doi:https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.07.009

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados com os estudos anteriores, demonstraram que os filmes de partículas de cálcio desenvolvidos podem ser utilizados para produzir efeitos de sombreamento em plantas de café conilon, em diferentes estádios de desenvolvimento. O filme de partículas de óxido de cálcio (CaO) na concentração de 20% p/v poderia prolongar estes efeitos e fornecer proteção para às plantas, além de melhorar o tamanho dos grãos sob as condições climáticas locais. Estes resultados provêm de diferentes mecanismos, dentre os quais, aqueles que promovem economia e eficiência no uso da água em plantas tratadas com filmes de partículas, melhorando a atividade fotossintética e o metabolismo vegetal, e pode ser uma ferramenta importante para gestão hídrica na agricultura e proteção das lavouras. Sob as condições de estudo, a redução da lâmina de irrigação para 66% da ETc no estádio de granação associada ao filme de CaO pôde ser manejada sem prejuízos ao desempenho das plantas, o que poderia indicar um método de manejo seguro para redução do consumo de água.

A tecnologia de filmes de partículas de cálcio para o cafeeiro não deve ser pensada como um substituto ao uso de consórcios e sistemas agroflorestais, uma vez que estes produzem diferentes benefícios agroecológicos e ao meio ambiente, além de diversificar a produção. Mas pode ser uma ferramenta acoplada a esses e outros sistemas de produção visando manter sempre a proteção do cafeeiro quando necessário. Por exemplo, quando práticas de reforma do sistema como podas e novas conduções forem realizadas, expondo as plantas de café. Estudos adicionais serão requeridos para melhoria da tecnologia e esclarecimento sobre outros processos biológicos do cafeeiro em diferentes condições ambientais e sistemas agrícolas. O trabalho proporcionou resultados com potencial inovador para indicação de melhorias no processo de produção do cafeeiro conilon nas condições climáticas do Nordeste do Brasil, e potencialmente expansível para outras regiões do País.