

FILME DE PARTÍCULAS DE CAULINITA PROCESSADA COMO  
MITIGADOR DO ESTRESSE SUPRA-ÓTIMO DA RADIAÇÃO SOLAR  
EM PLANTAS JOVENS DE *Coffea* sp.: TROCAS GASOSAS,  
EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E TEMPERATURA FOLIAR

**DEIVISSON PELEGRINO DE ABREU**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO - 2020



FILME DE PARTÍCULAS DE CAULINITA PROCESSADA COMO  
MITIGADOR DO ESTRESSE SUPRA-ÓTIMO DA RADIAÇÃO SOLAR  
EM PLANTAS JOVENS DE *Coffea* sp.: TROCAS GASOSAS,  
EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E TEMPERATURA FOLIAR

**DEIVISSON PELEGRINO DE ABREU**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eliemar Campostrini

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO - 2020

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

A162 Abreu, Deivisson Pelegrino de.

FILME DE PARTÍCULAS DE CAULINITA PROCESSADA COMO MITIGADOR DO ESTRESSE SUPRA-ÓTIMO DA RADIAÇÃO SOLAR EM PLANTAS JOVENS DE *Coffea* sp. : TROCAS GASOSAS, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E TEMPERATURA FOLIAR / Deivisson Pelegrino de Abreu. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

112 f. : il.  
Bibliografia: 73 - 92.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2020.  
Orientador: Eliemar Campostrini.

1. Eficiência do uso da água. 2. Estresse abiótico . 3. Plantio de café. 4. Surround® WP. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

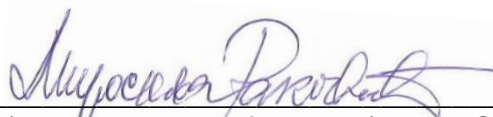
FILME DE PARTÍCULAS DE CAULINITA PROCESSADA COMO  
MITIGADOR DO ESTRESSE SUPRA-ÓTIMO DA RADIAÇÃO SOLAR  
EM PLANTAS JOVENS DE *Coffea* sp.: TROCAS GASOSAS,  
EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E TEMPERATURA FOLIAR

**DEIVISSON PELEGRINO DE ABREU**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 02 de março de 2020

Banca Examinadora:



---

Miroslava Rakocevic (Doutora em Ecofisiologia) – UNICAMP/Brasil



---

Cesar Abel Krohling (Doutor em Ecologia de Ecossistemas) – UVV/Brasil



---

Rogério Figueiredo Daher (Doutor em Produção Vegetal) – UENF/Brasil



---

Eliemar Campostrini (Doutor em Produção Vegetal) – UENF/Brasil  
Orientador

Dedico a Deus, aos meus pais Adelson Nogueira de Abreu e Dalva Gaiz Pelegrino de Abreu, ao meu irmão Gideão Pelegrino de Abreu e a minha esposa Patrícia Souza Pinto Abreu pelo apoio durante o período do mestrado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, pela saúde, e pela proteção diária.

Agradeço a minha família, e em especial à minha esposa Patrícia, ao meu pai Adelson, à minha mãe Dalva e ao meu irmão Gideão.

Ao meu orientador e amigo prof. Dr. Eliemar Campostrini, o que proporcionou condições para o meu crescimento profissional e acadêmico, além de promover confraternizações para um bom convívio social do nosso grupo de pesquisas em Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais.

Agradeço imensamente a Dr<sup>a</sup>. Miroslava Rakocevic pelo rigor científico na correção deste trabalho, e ao analista de sistemas Gideão Pelegrino de Abreu, na realização das análises estatísticas e confecção dos gráficos.

Agradeço aos amigos Weverton Rodrigues, Katherine Fraga, Wallace de Paula, Jefferson Rangel, Benjamim Valentin, Danilo Baroni, Henrique de Oliveira, Guilherme Rodrigues, Thiago Amistá, Rosana Miranda, Claudio Martins, Clemilton Alves, João Pedro, João Victor, Letícia, Diesily de Andrade. Todos pertencem ao grupo de pesquisas em Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal CCTA/UENF pela oportunidade, e ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa.

Agradeço ao Dr. Newton Roda por acreditar nesse trabalho e ao Grupo Tessenderlo Kerley Inc – TKI por financiar a minha pesquisa.

Agradeço aos servidores da UENF. Caso alguém não tenha sido lembrado nessas palavras, certamente foi lembrado em minhas orações.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. Taxonomia, origem geográfica e importância do cafeeiro .....	7
2.2. Condições para o desenvolvimento do cafeeiro .....	9
2.2.1. Temperatura do ar .....	9
2.2.2. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA).....	10
2.2.3. Aclimação de cafeeiros a pleno sol .....	11
2.2.4. Trocas gasosas sob estresse .....	12
2.2.5. Emissão da fluorescência da clorofila (EFC) .....	13
2.2.6. Termografia por infravermelho sob estresse .....	14
2.3. Filme de partículas de caulinita processada (FPCP).....	15
2.4. Possibilidades do uso do FPCP na agricultura brasileira .....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1. Local e data das avaliações .....	24
3.2. Material vegetal e condições experimentais .....	25



3.3.	Preparo e aplicação do FPCP .....	25
3.4.	Aplicação dos tratamentos e análises estatísticas .....	26
3.5.	Avaliação das variáveis micrometeorológicas .....	27
3.6.	Trocas gasosas .....	27
3.7.	Emissão da fluorescência da clorofila .....	28
3.8.	Termografia por infravermelho .....	29
4.	RESULTADOS .....	31
4.2.	Variáveis climáticas .....	31
4.3.	Termografia por infravermelho .....	33
4.3.1.	Temperatura foliar média (°C) .....	33
4.3.2.	Índice de estresse de água de cultivo (CWSI) .....	36
4.3.3.	Índice Térmico de Condutância Estomática Relativa ( $I_g$ ) .....	39
4.4.	Trocas gasosas .....	42
4.4.1.	Fotossíntese ( $A$ ) .....	42
4.4.2.	Condutância estomática ( $g_s$ ) .....	47
4.4.3.	Transpiração ( $E$ ) .....	51
4.4.4.	Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) .....	55
4.4.5.	Eficiência do uso da água (EUA) .....	57
4.5.	Emissão da fluorescência da clorofila .....	59
4.5.1.	Rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) .....	59
4.5.2.	Índice Fotossintético (PI) .....	63
5.	DISCUSSÃO .....	67
6.	CONCLUSÃO .....	72
	BIBLIOGRAFIA .....	73
	APÊNDICE .....	93

## RESUMO

O filme de partículas de caulinita processada e purificada (FPCP) é uma tecnologia multifuncional considerada ecologicamente correta, que permite o controle eficaz de insetos, mitiga o estresse supra-ótimo de temperatura foliar ( $T_F$ ) e pode contribuir para a produção de frutas de melhor qualidade. Nesse sentido, no momento da transição das mudas cultivadas no viveiro para o campo a pleno sol, o uso do FPCP pode mitigar os danos do excesso da RFA, reduzir a  $T_F$ , e evitar danos no aparato fotossintético em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*. Para testar essa hipótese foram analisadas as trocas gasosas foliares, a emissão da fluorescência da clorofila *a* e a  $T_F$  por meio da termografia por infravermelho, e a partir de  $T_F$  foram calculados os índices CWSI e  $I_g$ . As mudas foram cultivadas em sacolas plásticas de 800 mL e crescidas em viveiro durante 5 meses, sob sombrite com RFA incidente inferior a  $700 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Antes da exposição à radiação a pleno sol, as mudas foram transplantadas em um pote de 25L (contendo solo, areia e matéria org\u00e2nica, 7:1:2). Em um grupo de plantas, o FPCP foi aplicado a 5% do volume de calda sobre as folhas, o que resultou numa cobertura de  $646 \text{ mg de part\u00edculas m}^{-2}$ . O outro grupo de plantas n\u00e3o recebeu o produto. O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados com 4 tratamentos (*C. arabica* com FPCP 5%, *C. arabica* sem o FPCP, *C. canephora* com FPCP 5%, e *C. canephora* sem FPCP) e 5 plantas por parcela. As m\u00e9dias foram comparadas pela ANOVA e pelo teste Tukey a 5%. Em mudas de duas esp\u00e9cies de cafeeiros, a aplica\u00e7\u00e3o do FPCP no outono reduziu a temperatura foliar

ao meio-dia em até 7,5 °C e 6,2 °C, em *C. arabica* e *C. canephora*, respectivamente. No verão, a aplicação do FPCP na superfície das folhas reduziu a temperatura foliar às 12:00h, em até 6,0 °C e 5,3 °C, em *C. arabica* e *C. canephora*, respectivamente. A menor temperatura foliar reduziu o estresse supra-ótimo de temperatura, mitigou os danos do excesso de radiação solar e evitou danos no aparato fotossintético exteriorizados na forma de ausência de escaldadura no tratamento SFP. Em *C. canephora*, a aplicação do FPCP aumentou a EUA e a EIUA. Nas mudas de *C. arabica*, e no tratamento FPCP, a maior transpiração e a maior condutância estomática causaram maior taxa fotossintética. Para as demais variáveis analisadas, as plantas de *C. arabica* foram mais responsivas a aplicação do FPCP. Para a espécie *C. arabica*, ao que tudo indica, o outono pode ser considerado a melhor estação do ano para o plantio, sendo necessário a aplicação do FPCP. Com o uso do FPCP, a espécie *C. canephora* demonstrou ter maior plasticidade relacionada à época de plantio. O uso do filme de partículas de caulinita processada (FPCP), de nome comercial Surround® WP, pode ser adotado como estratégia de manejo na transição de mudas do viveiro para a condição de plantio no campo, de modo a proteger as folhas das plantas das duas espécies em estudo contra o excesso de radiação solar.

**Palavras-chave:** Eficiência do uso da água, estresse abiótico, plantio de café, Surround® WP.

## ABSTRACT

The processed and purified kaolinite particle film (PKPF) is a multifunctional technology considered to be ecologically correct, which allows effective control of insects, mitigates the supra-optimal stress of leaf temperature (TL) and can contribute to the production of better fruits quality. In this sense, at the time of the transition from seedlings grown in the nursery to the field in full sun, the use of PKPF can mitigate the damage from the excess of PAR, reduce TL, and avoid damage to the photosynthetic apparatus in *C. arabica* and *C. canephora* seedlings. To test this hypothesis, leaf gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence emission and TL by means of infrared thermography were analyzed, and from TL the CWSI and Ig indices were calculated. The seedlings were grown in 800 mL plastic bags and grown in a nursery for 5 months, under shade with incident PAR less than 700  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Before exposure to radiation in full sun, the seedlings were transplanted into a 25L pot (containing soil, sand, and organic matter, 7: 1: 2). In a group of plants, the PKPF was applied to 5% of the syrup volume on the leaves, which resulted in a coverage of 646 mg of particles  $\text{m}^{-2}$ . The other group of plants did not receive the product. The experiment was carried out in a randomized block design with 4 treatments (*C. arabica* with 5% PKPF, *C. arabica* without PKPF, *C. canephora* with 5% PKPF, and *C. canephora* without PKPF) and 5 plants per plot. The averages were compared by ANOVA and the Tukey test at 5%. In seedlings of two coffee species, the application of PKPF in the fall reduced the leaf temperature

at noon at up to 7.5 °C and 6.2 °C, in *C. arabica* and *C. canephora*, respectively. In summer, the application of PKPF on the leaf surface reduced the leaf temperature at 12:00, up to 6.0 °C and 5.3 °C, in *C. arabica* and *C. canephora*, respectively. The lower leaf temperature reduced the supra-optimal temperature stress, mitigated the damage caused by excess solar radiation and avoided damage to the photosynthetic apparatus externalized in the form of no scald in the without PKPF treatment. In *C. canephora*, the application of the PKPF has increased to in the iWUE and the WUE. In *C. arabica* seedlings, and in the PKPF treatment, the greatest transpiration and the highest stomatal conductance caused the highest photosynthetic rate. For the other analyzed variables, the plants of *C. arabica* were more responsive to the application of the PKPF. For the species *C. arabica*, it seems that autumn can be considered the best season of the year for planting, requiring the application of PKPF. With the use of PKPF, the species *C. canephora* was shown to have greater plasticity related to the time of planting. The use of the processed kaolinite particle film, of the commercial name Surround® WP, can be adopted as a management strategy in the transition of seedlings from the nursery to the condition of planting in the field, in order to protect the leaves of the plants from two species under study against excessive solar radiation.

Keywords: abiotic stress, coffee planting, Surround® WP, water use efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* é nativo da África tropical, e o *Coffea arabica* L. e o *Coffea canephora* Pierre são as duas espécies mais importantes economicamente deste gênero. A espécie *C. arabica* é nativa das florestas tropicais etíopes, com altitude superior a 1600 m até 2800 m, e com temperatura média anual de 20 °C. Nesta condição, o *C. arabica* evoluiu como uma árvore de sub-bosque. A espécie *C. canephora* é nativa das densas florestas equatoriais da bacia do rio Congo, e cresce em altitude até 1200 m, com temperatura média anual entre 24 °C e 26 °C. Esta espécie evoluiu como uma árvore de médio porte (Sylvain, 1955; Fournier, 1988; Coste, 1992; Beer et al., 1997; DaMatta, 2004).

As espécies *C. arabica* e *C. canephora* são responsáveis por praticamente toda a produção mundial de café (Davis et al., 2012). O fruto dessas duas espécies é produzido em mais de 50 países, dos quais o Brasil é o maior produtor (OIC, 2019; CONAB, 2020). A produção desses 50 países e incluindo o Brasil atende a um consumo diário superior a 3 bilhões de xícaras de café, e, para sustentar essa demanda, são necessárias mais de 125 milhões de pessoas (fornecedores de insumos, agricultores, comerciantes, processadores, torrefadores, distribuidores, fornecedores de embalagens e baristas). Globalmente, os consumidores da bebida café estão aumentando, e conseqüentemente o consumo desta bebida está em elevação a uma taxa anual de 2,2% (OIC, 2019).

A cultura do café é perene, cultivada por longos anos, podendo facilmente ultrapassar 20 anos de cultivo. Somente no Brasil, e todos os anos, são plantados aproximadamente 300 mil hectares, seja para renovação dos pomares ou para a implantação novas áreas, o que corresponde a 13% do parque cafeeiro nacional (CONAB, 2020). Nessa condição, o plantio de mudas de qualidade é fundamental para a planta poder expressar o potencial genético e produtivo no pós-plantio (Matiello et al., 2016). As mudas do cafeeiro são produzidas em viveiros, normalmente cobertos com malha plástica denominada sombrite, o que pode bloquear cerca de 50 a 75% de radiação fotossinteticamente ativa, o que equivale, em condição de céu claro sem nuvens, uma incidência de luz sobre as folhas em torno de 600-700  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Em mudas de cafeeiros, a redução da radiação solar até a formação de quatro a seis pares de folhas, pode garantir um ambiente com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) adequada, de modo que a taxa fotossintética líquida ( $A$ ) atinja valores ótimos, e assim obter um crescimento adequado das mudas do cafeeiro. Quando as mudas formadas no viveiro atingem 4 a 6 pares de folhas, estas mudas passam por um período gradual de exposição a pleno sol, denominado de aclimação, e, após, são posteriormente levadas ao campo (Ferrão et al., 2007; Matiello et al., 2016).

No Centro-Sul do Brasil, a melhor época de plantio do cafeeiro ocorre de outubro a março, enquanto no Nordeste Brasileiro é de fevereiro a julho. Em algumas regiões, como Zona da Mata de Minas, os produtores preferem plantar em outubro e novembro, enquanto no Sul de Minas, a preferência é pelo período de fevereiro e março, uma vez que nesta época, as temperaturas são mais amenas (Matiello et al., 2016). Nos plantios realizados na primavera e no início do verão, e no mês de janeiro, pode ocorrer uma condição com altas irradiações, altas temperaturas e ausência de chuva (veranico) o que pode prejudicar acentuadamente o crescimento das mudas. Para o plantio do estado do Espírito Santo, duas épocas principais são recomendadas, sendo uma no período mais chuvoso e quente (outubro a março), e a outra no período mais frio e seco (abril a agosto) (Fonseca, 2017).

Em regiões muito quentes, em períodos mais críticos, e em plantios com atraso, especialmente nas áreas de plantio de *C. canephora*, uma estratégia de manejo adotada é cobrir as mudas pós-plantio com pedaços de folhas de palmeira fincados próximo as mudas, com pequenas gaiolas de capim, colmos de bambu

abertos, folhas de bananeira e mais recentemente uma espécie de bandeira construída em TNT com uma talisca de bambu. Estas estruturas de TNT é colocada voltada para o sol da tarde, sempre no sentido Leste-Oeste. Contudo, esses métodos costumam ser pouco eficientes e demandam elevada quantidade de mão-de-obra (Ferrão et al., 2007; Matiello et al., 2016).

A definição da data de plantio das mudas do cafeeiro é um momento crítico pela própria biologia da espécie. Ainda, as folhas podem ter irradiância saturante variando em cerca de 300 a 600-700  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e a temperatura ideal para o crescimento da espécie é de 20 °C para *C. arabica* e 26 °C para *C. canephora* (Sylvain, 1955; Fournier, 1988; Coste, 1992; Fahl et al., 1994; Beer et al., 1997; DaMatta, 2004). No pós-plantio das mudas, caso haja a combinação entre alta irradiância solar e elevada temperatura do ar, pode ocorrer um distúrbio fisiológico chamado de escaldadura (Yuri et al., 2004). A escaldadura ocorre em praticamente todas as regiões cultivadas do mundo, causando todos os anos severas perdas na produtividade (Racsko e Schrader, 2012). Entre vários efeitos deletérios da escaldadura, e associados a morfologia da planta, destacam-se a redução na altura da planta e na área foliar (com sintomas de clorose e necrose), e redução no comprimento dos ramos, o que pode resultar em plantas de menor porte e com encurtamento dos internódios. Ainda, nas folhas submetidas a este distúrbio, se observa o aumento da espessura destes órgãos (Meijkamp et al., 2001; Kakani et al., 2003; Reddy et al., 2013; Kataria et al., 2014; Pathak et al., 2019).

O mesofilo foliar (onde ocorre cerca de 97% da assimilação fotossintética do carbono) é o tecido vegetal onde a absorção da radiação solar é verificada em maior intensidade. Neste tecido, e nos cloroplastos, estão localizados a maior parte dos pigmentos fotossintéticos, os quais são denominados clorofilas e carotenoides (Taiz et al., 2017). Nos cloroplastos, a energia da radiação solar absorvida é convertida em energia química por duas unidades funcionais denominadas de fotossistema I (PS I, do inglês *photosystem I*) e fotossistema II (PS II, do inglês *photosystem II*). Alguns estudos demonstraram que o PSII é mais sensível à radiação ultravioleta (contida no espectro da radiação solar) do que o PS I (Bornman, 1989; Horton e Ruban, 2005; Lidon et al., 2012; Pathak et al., 2019).

Alguns dos efeitos bioquímicos e fisiológicos nas estruturas fotossintéticas expostas ao excesso da radiação solar são a formação de espécies reativas de oxigênio (Kliebenstein et al., 2002), acúmulo de pigmentos de proteção contra



radiação ultravioleta (Hassan et al., 2013), indução de antioxidantes e enzimas antioxidantes (Hassan et al., 2013; Kataria et al., 2014), redução da fotossíntese (Taiz et al., 2017), redução da atividade e conteúdo da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO) (Yu et al., 2013), efeitos sob a abertura estomática (Kataria et al., 2014), fotooxidação do ácido indol-3-acético (Pathak et al., 2019) e peroxidação de lipídios (Kataria et al., 2014; Taiz et al., 2017; Pathak et al., 2019). Nos vegetais, entre os efeitos deletérios da radiação ultravioleta, presente no espectro da radiação solar, [320 e 280 nm (UV-B)], está a degradação das proteínas de membrana, D1 e D2 (Vass et al., 1992; Barbato et al., 1995; Vass, 1996; Lidon et al., 2012; Kataria et al., 2014; Taiz et al., 2017; Pathak et al., 2019). Por isso, a passagem da muda do cafeeiro que está no viveiro para o campo deve ser muito bem planejada, para que não ocorra a mortalidade das mudas (Ferrão et al., 2007; Matiello et al., 2016).

As plantas desenvolvem alguns mecanismos de defesa/adaptação para evitar os processos danosos do excesso de radiação solar. A adaptação aos estresses é caracterizada por mudanças genéticas na população inteira, as quais foram fixadas por seleção natural durante muitas gerações (Taiz et al., 2017). Entre estes mecanismos adaptativos se pode incluir o aumento na concentração de flavonoides (absorvem UV-B), a criação de um sistema de antioxidantes enzimáticos composto por catalase, superóxido desmutase, glutathione redutase e ascorbato peroxidase, o qual atua na eliminação das espécies reativas de oxigênio. Em adição ao sistema antioxidante enzimático, as plantas possuem sistemas antioxidantes considerados não enzimáticos como exemplo o  $\alpha$  tocoferol, o ácido ascórbico e carotenoides (Jain et al., 2003; Jansen et al., 2008; Kumari et al., 2009; González-Villagra et al., 2020; Rippa et al., 2020). No entanto, os mecanismos de adaptação/tolerância representam um “custo” adicional para as plantas, e assim boa parte dos fotoassimilados que seriam destinadas para o crescimento e produção, são utilizados para síntese e reparo de proteínas danificadas, para o aumento da síntese de compostos antioxidantes, bem como no aumento da espessura das folhas (Meijkamp et al., 2001; Jain et al., 2003; Kakani et al., 2003; Reddy et al., 2013; Kataria et al., 2014; Pathak et al., 2019). Essas respostas não exigem novas modificações genéticas e, se a resposta de um indivíduo o capacita após exposições repetidas à nova condição ambiental, então a resposta é de uma aclimatação (Taiz et al., 2017). Geralmente essas respostas são referidas como

plasticidade fenotípica e representam mudanças não permanentes na fisiologia ou morfologia da planta, com a possibilidade de serem revertidas caso haja mudanças no ambiente (Debat e David, 2001; Taiz et al., 2017).

Associado aos mecanismos de defesa natural das plantas, uma estratégia de manejo que tem sido realizada, é a aplicação sobre as folhas de um filme composto de partículas de caulinita processada (FPCP), o qual pode atuar como um “filtro solar”, e assim amenizar os efeitos negativos do excesso de radiação solar. Quando aplicado sobre as folhas e frutos, vários trabalhos em diferentes partes do mundo tem mostrado o efeito benéfico do FPCP. Nos Estados Unidos, o FPCP reduziu o estresse hídrico em *Capsicum annuum*, (Creamer et al., 2005), este produto reduziu em 2,5 °C a temperatura foliar de *Rose* spp na Colômbia (Sotelo-Cuitiva et al., 2011), reduziu em 17% a temperatura foliar de *Malus domestica* na Nova Zelândia (Wünsche et al., 2004), mitigou danos de escaldadura em *Malus domestica* na África do Sul (Gindaba e Wand, 2007), aumentou em 26,24% a eficiência do uso da água em *Solanum lycopersicum* no Egito (AbdAllah, 2017), reduziu em 47% a queimadura nos frutos de *Punica granatum* cultivados na Índia (Sharma et al., 2018), reduziu a temperatura foliar em 1,1 °C *Solanum lycopersicum* cultivados na Itália (Boari et al., 2014), aumentou a assimilação fotossintética de carbono, a condutância estomática e a produtividade em macieiras nos Estados Unidos (Glenn e Puterka, 2001), foi considerado o melhor método contra escaldadura de *Punica granatum* L na Turquia (Yazici e Kaynak, 2009) e, na Itália, se teve um lucro de até 900 €/ha no cultivo de *Solanum lycopersicum* (Boari et al., 2014).

O FPCP é composto basicamente pelo mineral de argila denominado caulinita, já registrado para uso na agricultura orgânica nos Estados Unidos e na União Europeia (Glenn e Puterka, 2005). Os efeitos da radiação UV-B são mais pronunciados sob condições de alta irradiância solar (Kataria et al., 2014), e quando o FPCP é aplicado sobre as folhas e frutos, as partículas refletem a radiação ultravioleta, reduzindo os efeitos danosos deste tipo de radiação sobre as folhas (Glenn et al., 2002).

Na cafeicultura brasileira, o FPCP começou a ser utilizado em plantas adultas na safra 2015/2016, com resultados promissores, tais como redução de 2 °C na temperatura média foliar, redução em 39,25% do estresse hídrico, aumento de 87,20% no índice térmico da condutância estomática, redução no número de

defeitos nos frutos, aumento no tamanho dos frutos colhidos e ganho em produtividade (Abreu et al., 2016a; Abreu et al., 2016b; Santinato et al., 2016). No entanto, apesar da grande importância nacional do cafeeiro e da necessidade de tecnologias para garantir o máximo pegamento de mudas na transição do viveiro para o campo, não há relatos do uso do FPCP sobre esta etapa tecnológica crucial que é o estabelecimento inicial das mudas recém transplantadas no campo, vindas do viveiro, para a formação de cafezais.

No presente trabalho, tem-se a hipótese de que, quando as mudas de cafeeiro formadas em condição de viveiro (RFA entre 400 a 700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) são expostas a RFA máxima em torno de 1700 a 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em associação com temperaturas supra-ótimas, o uso do FPCP pode mitigar os danos do excesso de radiação solar nas folhas, e assim, a presença do produto pode evitar danos no aparato fotoquímico, pode reduzir a temperatura foliar e manter a assimilação fotossintética do carbono ( $A$ ) em valores adequados em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*. Ainda, as mudas de *C. arabica*, poderão ser mais responsivas positivamente ao uso do FPCP em relação a *C. canephora*, uma vez que esta espécie é originária de regiões de temperaturas mais amenas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Taxonomia, origem geográfica e importância do cafeeiro

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, que é a quarta maior família das Angiospermas, com cerca de 611 gêneros e 13.150 espécies (Robbrecht, 2006). A família Rubiaceae foi descrita por Antoine Laurent de Jussieu em 1789 (Williams, 1988). O gênero *Coffea* é nativo da África tropical e as principais espécies são *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre. A espécie *C. arabica* é nativa das florestas tropicais etíopes com altitude superior a 1600 m até 2800 m e com temperatura média anual de 20 °C. Nesta condição, esta espécie evoluiu como uma árvore de sub-bosque. A espécie *C. canephora* é nativa das densas florestas equatoriais da bacia do rio Congo, em altitude do nível do mar até 1200 m, e a temperatura média anual da região está entre 24 °C e 26 °C. Esta espécie evoluiu como uma árvore de médio porte (Sylvain, 1955; Fournier, 1988; Coste, 1992; Beer et al., 1997; DaMatta, 2004). Os membros deste gênero são facilmente reconhecidos por terem folhas simples, opostas, com estípulas interpeciolares (Davis et al., 2011).

As espécies *C. arabica* e *C. canephora* são responsáveis por praticamente toda a produção mundial de café (Davis et al., 2012). O fruto dessas espécies é produzido em mais de 50 países, dos quais o Brasil é o maior produtor (OIC, 2019; CONAB, 2020). A produção do Brasil e desses 50 países atende a um consumo

diário superior a 3 bilhões de xícaras de café (OIC, 2019) e para sustentar essa demanda, são necessárias mais 125 milhões de pessoas (OIC, 2019).

O cafeeiro foi introduzido no Brasil em 1727, no estado do Pará, com as sementes e mudas trazidas da Guiana Francesa. Inicialmente, o cafeeiro foi cultivado em Belém do Pará, e em seguida, as sementes e mudas foram trazidas e cultivadas no Maranhão. Posteriormente, a cultura se expandiu em pequenas plantações nos estados vizinhos. No estado do Rio de Janeiro, o cafeeiro chegou em 1774, onde houve uma ampliação considerável dos cafezais para os estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. Em 1845, o Brasil já era considerado o maior produtor de café, permanecendo nessa posição desde então (Ferrão et al., 2007; Matiello et al., 2016).

No Brasil, a área plantada com café, no ciclo 2019/2020, foi de 2,2 milhões de hectares, sendo que 12,83% estão em formação (CONAB, 2020). Os 1,8 milhões de hectares plantados, terão uma produção entre 57,2 milhões e 62,02 milhões de sacas beneficiadas, com receita bruta total para os anos de 2019 e 2020 estimada em R\$ 47,5 bilhões. De um modo geral, o Brasil renova entre 270 e 330 mil ha ano<sup>-1</sup>, correspondendo a 12% e 15% do parque cafeeiro (Figura 1)

### Levantamento da área plantada com café no Brasil

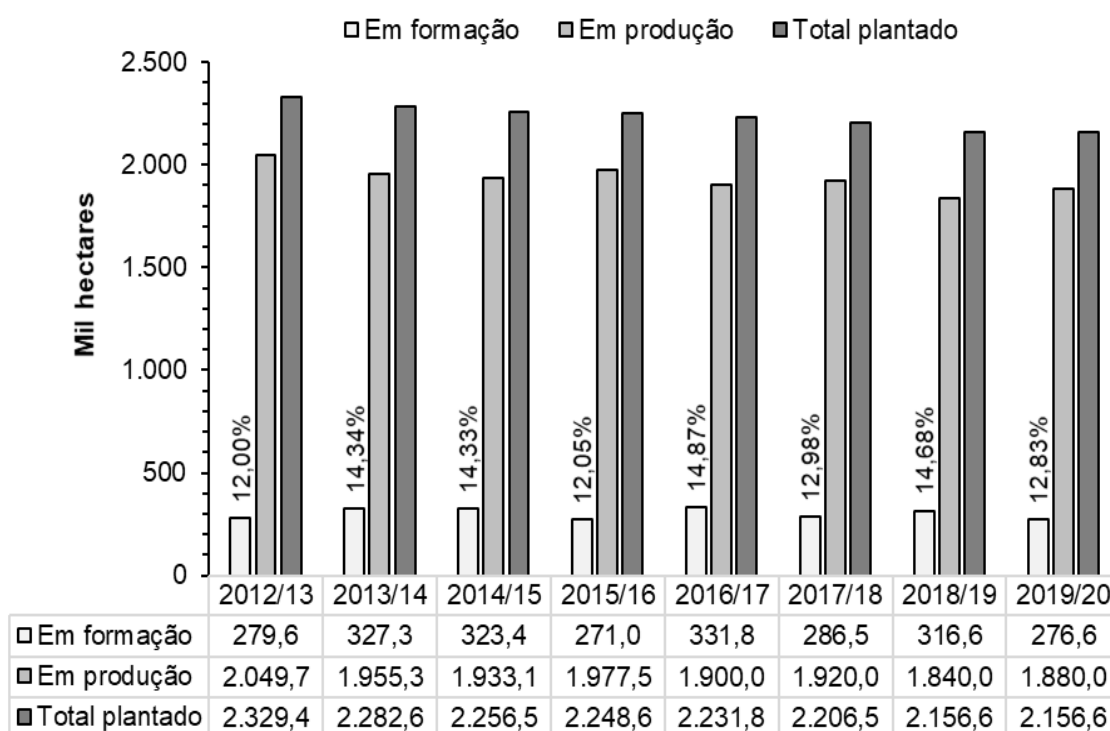


Figura 1 – Área plantada da cafeicultura brasileira entre os anos de 2012 e 2020.

## 2.2. Condições para o desenvolvimento do cafeeiro

### 2.2.1. Temperatura do ar

No pós-plantio, as temperaturas ótimas para o crescimento vegetativo da espécie *C. arabica* são cerca de 30 °C durante o dia e 23 °C à noite. Ao entrar em período reprodutivo, a espécie *C. arabica* atinge a máxima taxa fotossintética em temperatura de 24 °C, e necessita de temperatura diurna e noturna de 23 °C e 17 °C, respectivamente (Matiello, 2016). A partir dos 24 °C, há um decréscimo de 10% na taxa fotossintética para cada 1 °C de aumento na temperatura ambiente, e aproxima-se de zero a partir de 34 °C (Nunes et al., 1968). Contudo, essa informação pode ser contestada, pois se houver tempo de aclimatação suficientemente longo, a faixa ideal de temperatura para as ótimas taxas fotossintéticas do cafeeiro podem ser mantidas em valores elevados, mesmo em temperaturas acima de 30 °C (Gaëttli et al., 1980; Frischknecht et al., 1982; Alves et al., 1985; Carelli et al., 1999; Silva et al., 2000; DaMatta et al., 2001; DaMatta et al., 2003; DaMatta, 2004).

Ao longo do dia, a temperatura do ar, bem como a umidade relativa e o déficit de pressão de vapor estão submetidos a oscilações em função da radiação solar incidente sobre a superfície da terra. À medida que a incidência da radiação solar se eleva, a temperatura do ar aumenta e a atividade de transpiração na planta pode aumentar gradualmente. Contudo, se houver um decréscimo acentuado na umidade relativa do ar, os estômatos do cafeeiro podem se fechar parcial ou totalmente, reduzindo a transpiração e conseqüentemente a capacidade de dissipação de calor, resultando assim no aumento da temperatura foliar (Martins et al., 2014, Rocnhi et al., 2019). Com o excesso de radiação solar, as trocas gasosas do cafeeiro podem ser comprometidas, e assim causar um aumento da fração de energia não utilizada na fotossíntese. Esta fração não utilizada da energia pode incrementar, nas folhas mais expostas a esta radiação solar, o aparecimento do distúrbio fisiológico denominado escaldadura. Ao longo do tempo, a recorrência desse processo pode reduzir a longevidade do cafezal (DaMatta, 2004b; DaMatta et al., 2019). Contudo, no Brasil, vale ressaltar que existem cultivares com alta capacidade de produzir frutos em condições supra ótimas de temperatura do ar (DaMatta e Ramalho, 2006).

### 2.2.2. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA; PAR, *photosynthetically active radiation*) é a faixa do espectro da radiação solar de comprimento de onda entre 400 e 700nm, o que corresponde à faixa de fótons que são absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos (Taiz et al., 2017). Considerando a origem das duas espécies de cafeeiro de florestas densas tropicais, estas podem ser consideradas tolerantes à sombra (Nutman, 1937a; Nutman, 1937b). Estas espécies possuem baixo ponto de saturação de luz (Fahl et al., 1994; Rena et al., 1994) e baixa razão de clorofila *a* para clorofila *b* (Lerch et al., 1970; DaMatta e Maestri, 1997; Carelli e Fahl, 2000; Araujo et al., 2008).

Em cafeeiro, quando RFA é incidida perpendicularmente sobre a folha, como ocorre nas câmaras para medições de trocas gasosas foliares por meio dos analisadores de gás infravermelho, a RFA saturante para a fotossíntese é relativamente baixa, variando de cerca de 300 a 600-700  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Fahl et al., 1994; DaMatta, 2004). Sob condições naturais, as folhas interceptam a luz em diferentes ângulos de incidência ao longo do dia, ficando expostas à irradiância plena por períodos muito curtos. Nestes curtos períodos, e considerando que as folhas internas, é esperado alguma assimilação fotossintética do carbono no interior do dossel, embora estas folhas internas possam receber reduzidos valores da (DaMatta, 2004; Rakocevic, et al., 2018).

No Brasil, as cultivares modernas e de alto rendimento foram selecionadas em ensaios realizados sob os cultivos a pleno sol e, na maioria dos casos, com espaçamentos sem sobreposição de plantas. Portanto, essas cultivares podem ser melhor adaptadas à alta irradiância do que as cultivares selecionadas para ambientes sombreados (DaMatta, 2004). Além disso, observa-se que não há depressão na fotossíntese ao meio-dia sob radiação solar de até 1.200  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tió, 1962; Kumar e Tieszen, 1980; Ramalho et al., 2000a). O cafeeiro possui mecanismos para dissipar termicamente ou não fotoquimicamente o excesso de energia de excitação, o que explicaria parcialmente por que o cafeeiro pode responder plasticamente à mudança de irradiância. Portanto, parece mais apropriado considerar os cafeeiros como espécies tolerantes à sombra, e não como espécies da sombra, como é frequentemente relatado. Alternativamente, em resposta a diferentes irradiâncias, as espécies de cafeeiro utilizadas

comercialmente poderiam ser consideradas como espécies de ampla plasticidade (DaMatta, 2004).

### **2.2.3. Aclimação de cafeeiros a pleno sol**

O nitrogênio é um nutriente considerado importante pois permite às plantas neutralizarem e até resistirem aos efeitos relacionados a fotoinibição (DaMatta et al., 2002). Ao reduzir o estado de excitação dos fotossistemas, a assimilação fotossintética do carbono é elevada. Portanto, nos cafeeiros em cultivos a pleno sol, torna-se reduzida a probabilidade de ocorrência de fotodano nos fotossistemas I (PSI) e fotossistema II (PSII). O nitrogênio também participa de rotas metabólicas que mitigam os efeitos deletérios do estresse luminoso no aparelho fotossintético (DaMatta et al., 2002). Após 130 dias de exposição a elevada radiação solar, 100% das mudas de cafeeiros que não receberam suplementação de nitrogênio, morreram, ao passo que sobreviveram 70% das plantas que receberam elevadas dose de nitrogênio (Nunes et al., 1993).

Em *C. arabica*, as folhas desenvolvidas sob baixa irradiância são capazes de se adaptar a alta irradiância por meio de processos que pelo menos são parcialmente dependentes de nitrogênio (Nunes et al., 1993). Quando aplicados diferentes níveis de fertilização com nitrogênio, este nutriente mineral pode promover mecanismos específicos de aclimação, diferentes daqueles que podem ser esperados de uma partição preferencial. Isso é particularmente evidente quando as plantas jovens de café são transferidas do viveiro para o campo. Durante o período de aclimação a alta irradiância, apenas as folhas das plantas com alto N foliar apresentam restauração quase completa da fotossíntese (Ramalho et al., 2000a). Algumas estratégias de aclimação do cafeeiro podem ser vistas na Tabela 1.



Tabela 1 – Estratégias de aclimação do cafeeiro sob alta irradiância solar.

<b>Atributos associados à aclimação</b>	<b>Autores</b>
Aumento da densidade estomática.	Voltan et al. (1992),
Diminuição da área foliar específica, cutícula mais espessa.	Voltan et al. (1992); Fahl et al. (1994)
Aumento de cera epicuticular.	Akunda et al. (1979b)
Aumento de ponto de saturação e irradiância, cloroplastos com diminuição de grana e tilacóide por granum.	Fahl et al. (1994)
Aumento na atividade de Rubisco (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase).	Kanechi et al. (1996); Ramalho et al. (1999)
Recuperação rápida da fotoinibição.	DaMatta e Maestri (1997)

#### 2.2.4. Trocas gasosas sob estresse

As trocas gasosas são influenciadas por fatores como a idade da planta, a idade da folha ou a posição da folha no dossel, bem como pode ser afetada por fatores ambientais e períodos de crescimento (Dufrene e Saugier, 1993; Rakocevic et al., 2015). A combinação entre esses fatores e as espécies de plantas resulta em ampla faixa de valores das taxas fotossintéticas saturadas pela luz, com valores inferiores a  $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Smith, 1989) até valores próximos a  $80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em *Amaranthus palmeri* (Percy e Ehleringer, 1984). Com relação a valores de fotossíntese no cafeeiro, algumas divergências entre autores ainda persistem, por exemplo, para Cannell (1985) as plantas sombreadas assimilam  $\text{CO}_2$  em dobro das plantas expostas a pleno sol ( $14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente). No Havaí, em *C. arabica*, a taxa fotossintética líquida ( $A$ ) é mais elevada nas folhas superiores do dossel (folhas consideradas de sol), do que nas folhas de sombra localizadas na parte média do dossel (folhas intermediárias de sombra) (Gutiérrez e Meinzer, 1994).

Em comparação com a estação de crescimento ativo, os valores de  $A$  durante a fase de redução do crescimento diminuem, especialmente em folhas autossombreadas localizadas nas camadas inferiores do dossel (Rakocevic et al., 2015). A estação de cultivo influencia o processo fisiológico do cafeeiro arábica, e esta espécie pode ter valores de  $A$  em cerca de 28% maior na primavera ( $7,09 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) quando comparados aos valores do verão ( $5,05 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

(Rodrigues et al., 2018). Em casa de vegetação, se a planta crescer em condições consideradas ideais de déficit de pressão de vapor do ar ( $DPV_{ar}$ ) ( $<1$  kPa), as taxas fotossintéticas líquidas máximas podem ter valores entre 7 e 9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Fahl et al., 1994).

Com relação ao uso de FPCP, em experimento de campo, as plantas de *C. arabica* 'Typica' que receberam a aplicação do FPCP tiveram um aumento de 71% em  $A$  (Steiman et al., 2007). Torna-se importante relatar que, no tratamento com o uso do FPCP, o aumento da  $A$  das folhas de café foi um dos maiores valores observados em campo (Steiman et al., 2007). A aplicação de FPCP no dossel de nogueiras e amendoeiras aumentaram a RFA refletida dentro do dossel, permitindo aumento de interceptação em até 200% nas folhas mais internas deste dossel, o que elevou o valor de  $A$  (Rosati et al., 2007).

### **2.2.5. Emissão da fluorescência da clorofila (EFC) sob estresse**

Nos tilacoídes, existem dois complexos pigmentos/proteínas conectados entre si, sendo o PSI e o PSII (Emerson et al., 1932). Na prática, as diferenças na atividade do PSI e PSII significam que, pelo menos 95% do sinal de fluorescência da clorofila observado sob temperaturas fisiológicas é derivado de moléculas de clorofilas associadas ao PSII (Taiz et al., 2017). O nível de distribuição de energia de excitação nos complexos pigmento/proteínas podem ser quantificados por meio da emissão da fluorescência da clorofila (EFC) e a intensidade de emissão está diretamente relacionada com a eficiência de produção de ATP, NADPH e de  $A$  (Johnson et al., 1993). Por meio da EFC, é possível obter informações detalhadas sobre a estrutura, a distribuição de energia e a atividade do aparato fotoquímico, em especial do PSII (Strasser et al., 2000).

A avaliação da EFC é uma técnica que permite avaliações tanto na condição de laboratório, como na condição de campo. Nestas condições, se pode ter um diagnóstico da atividade do PSII, o que pode identificar danos no aparato fotossintético, principalmente deste PSII, até antes do aparecimento de sintomas visuais no órgão avaliado. Em plantas não submetidas a estresse, o rendimento quântico máximo do PS II pode variar em uma faixa de 0,75 a 0,85, com valor médio de 0,83 (Bolhar-NordenKampf et al., 1989). A diminuição da relação da fluorescência variável com a fluorescência máxima ( $F_v/F_m$ ) pode ser um excelente indicador do efeito fotoinibitório, quando as plantas estão submetidas a algum tipo

de estresse, principalmente o hídrico e o luminoso. A partir dos valores desta relação, se pode ter uma referência sobre a regulação fotoprotetora reversível ou uma inativação irreversível dos fotossistemas (Araus e Hogan, 1994). A relação  $F_v/F_m$  mostra a capacidade com que a energia dos fótons absorvida pelas moléculas de clorofilas consegue causar a redução da molécula de Quinona A. Assim, os valores desta variável em torno de 0,75 a 0,85, mostram que existe uma probabilidade de 75% a 85% de que a energia de um fóton absorvido pelas moléculas de clorofilas consiga causar a redução da Quinona A, o que este valor de probabilidade demonstra uma atividade (eficiência) adequada do PSII (Strasser, 1995).

Em adição as informações relacionadas à EFC, a eficiência fotoquímica de uma folha ou outro órgão, pode ser caracterizada pelo índice fotossintético (PI), e valor desta variável é obtido a partir dos componentes do JIP-Test (Strasser et al., 1999; Strasser et al., 2000; Strasser et al., 2004). Por meio do fluorímetro não modulado como exemplo o Pocket-PEA (Hansatech, UK), se obtém esta variável PI e está reflete a atividade dos PSI e PS II, bem como fornece uma informação quantitativa sobre o estado atual da atividade fotoquímica da folha em condições de diferentes intensidades de estresses na planta (Strasser et al., 1999; Strasser et al., 2000; Strasser et al., 2004; Netto et al., 2005; Bussotti et al., 2007).

#### **2.2.6. Termografia por infravermelho sob estresse**

A termografia por infravermelho permite realizar medidas da temperatura em associação com imagens, sem a necessidade de contato do termógrafo com o objeto, pois utiliza um sensor remoto. Essa técnica permite a visualização do alvo em duas dimensões, sendo possível identificar problemas ou pontos de especial interesse. Uma comparação entre áreas do alvo é possível. Assim, se pode medir a temperatura em pontos distintos e depois compará-los. Por fim, porém não menos importante, as medidas são feitas em tempo real, permitindo efetuar varreduras muito rápidas de alvos estacionários. Essa técnica é definida como a ciência de aquisição e análise de informações térmicas, a partir de dispositivos de obtenção das imagens térmicas sem contato, as quais são denominadas de termograma (Zissis, 1976; Infrared Training Center, 2010).

Em uma planta, o estresse supra-ótimo de temperatura da folha pode ser relacionada com as diferenças entre a temperatura do ar e a temperatura da folha.

A relação da temperatura foliar mínima e a temperatura foliar máxima permite calcular o “Índice de Estresse de Água de Cultivo” [no original “*Crop Water Stress Index*” (CWSI) (Jackson et al., 1977; Idso et al., 1981)]. Algumas das limitações no cálculo do índice CWSI foram superadas, por meio da utilização de superfícies físicas de referência úmidas e secas. Outro índice relevante que pode ser calculado a partir das temperaturas mínimas e máximas da folha, é o “Índice Térmico de Condutância Estomática Relativa” [no original: “*Index of Relative Stomatal Conductance ( $I_g$ )*” (Jones, 1999)].

Abreu et al., 2016b têm relatado que as plantas de *C. canephora* cultivadas em condições de elevada radiação solar, após receber a tecnologia Surround®WP (Dosagem a 7% do volume da calda) teve a redução de 2 °C na temperatura média foliar, redução em 39,25% do CWSI e aumento de 87,20% no  $I_g$ . O  $I_g$  é linearmente proporcional a condutância estomática ( $g_s$ ), mas apenas para um limite constante, ao contrário do CWSI (Jones et al., 2009). No entanto, na cultura do café, o  $I_g$  não teve uma boa correlação com  $g_s$ , embora as leituras mais adequadas devam ser feitas com plantas sombreadas e no momento do pôr do sol (Craparo et al., 2017). Na Tabela 2, são mostradas algumas espécies vegetais estudadas com o auxílio da termografia, e com os respectivos autores dos estudos realizados.

### **2.3. Filme de partículas de caulinita processada (FPCP)**

A utilização de materiais de cor branca para proteção de plantas contra queimaduras solares e ação antitranspirante não é uma prática nova, e o interesse nesse tema já existia antes da década de 60 (Gale e Hagan, 1966). Contudo, as pesquisas com o uso de filmes de partículas de caulinita começaram efetivamente na década de 70, e mostrou que o uso do caulim reduziu em 4 °C a temperatura foliar de laranjeiras, e em até 5,4 °C em seringueira. Essa redução na temperatura foliar diminuiu em 25% a taxa de transpiração (Abou-Khaled et al., 1970). As pesquisas veem mostrando que em algumas culturas e sob algumas condições, as partículas de caulinita aumentam o rendimento produtivo, como exemplo, no sorgo (Stanhill et al., 1976), algodão (Moreshet et al., 1979), tomate (Srinivasa Rao, 1985), amendoim (Soundara Rajan et al., 1981), maçã (Glenn et al., 2001) e café (Abreu et al., 2016b). Outros exemplos são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

O caulim, matéria-prima para fabricação do FPCP, é constituído principalmente de caulinita. A caulinita um silicato de alumínio hidratado de grãos finos, cuja célula unitária é expressa por  $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ , com composição química teórica de 39,50% de  $Al_2O_3$ , 46,54% de  $SiO_2$  e 13,96% de  $H_2O$ . Contudo, as pequenas variações na composição deste mineral de argila podem ser observadas (Luz et al., 2008). No caulim extraído, encontram-se traços de óxidos de dois minerais, o  $Fe_2O_3$  e o  $TiO_2$ ; o primeiro deve ser removido para obter qualidades relacionadas a intensidade de coloração branca de 0,85%. O segundo componente é removido do caulim para atender exigências de várias aplicações industriais (Harben, 1995).

Tabela 2 - Relação de espécies estudadas com o auxílio da termografia e seus respectivos autores.

<b>Espécie</b>	<b>Autor(es)</b>
<i>Triticum durum</i>	Jackson et al. (1977)
<i>Medicago sativa</i>	Idso et al. (1981)
<i>Glycine max</i>	Idso et al. (1981)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Jones (1999); Durigon e Lier (2013)
<i>Vitis vinifera</i>	Maes et al. (2016); Tejero et al. (2016)
<i>Pistachio integerrima</i>	Testi et al. (2008)
<i>Oryza sativa</i>	Jones et al. (2009)
<i>Prunus dulcis</i> Mill	Tejero et al. (2012); Poirier-Pocovi et al. (2020)
<i>Citrus</i> sp.	Ballester et al. (2014)
<i>Pyrus communis</i>	Struthers et al. (2015)
<i>Actinidia chinensis</i>	Maes et al. (2016)
<i>Carica papaya</i>	Lima et al. (2016)
<i>Coffea canephora</i>	Abreu et al. (2016b); Abreu et al. (2017b)
<i>Coffea arabica</i>	Craparo (2017); Abreu et al. (2020)
<i>Olea europaea</i>	Tejero et al. (2017)

Por meio das características apresentadas, o caulim é aplicado em indústrias de cerâmica, produtos medicinais e cosméticos, em pastas de dente, produção de tijolos, papel revestido, como aditivo alimentar, como um material difusor de luz em lâmpadas incandescentes brancas, bem como em cosméticos, sendo que o uso mais comum deste mineral de argila é no branqueamento do papel. A versatilidade é possível, uma vez que é quimicamente inerte em ampla faixa de pH, macio, não poroso, não dilatador e não abrasivo, dispersa-se facilmente em água, possui coloração branca ou quase branca (alvura). Quando usado como pigmento, este mineral possui elevada capacidade de cobertura, e é reforçador para as aplicações de carga. Ainda, possui baixa condutividade térmica e elétrica (Luz e Damasceno, 1994; Harben, 1995; Glenn et al., 2002).

A aplicação do caulim não purificado em plantas pode ter efeito negativo nas trocas gasosas, e pode causar os mesmos danos que o depósito de poeiras de minério ou asfáltica sobre as folhas, o que pode diminuir a produtividade da planta e aumentar o ataque de pragas como pulgões e até infecções fúngicas (Farmer, 1993). Na vegetação, o impacto químico e físico da aplicação de caulim não purificado, ou mesmo a deposição de partículas de poeira natural, é ocasionado pelo grande tamanho das partículas que geralmente variam de 5 a 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro (Farmer, 1993). Outros trabalhos mostram que aplicações foliares de caulim não purificado causam fitotoxicidade e danificam a cutícula foliar, além de aumentar a perda de água (Eveling, 1972; Eveling e Eisa, 1976). A aplicação de cal (CaO) com 15% de sólidos minerais causou redução significativa no rendimento da batata e a aplicação de partículas não brancas causou redução significativa em A e no rendimento produtivo de plantas de pepino e feijão (Marco, 1986; Hirano et al., 1995). Contudo, vários avanços foram feitos pelos cientistas nas propriedades de processamento, formulação do caulim e técnicas de aplicação do produto sobre a superfície de plantas, o que contribuiu para o uso do caulim processado ser parte integrante de processos de cultivo de hortícolas. A fabricação de partículas de caulim com tamanhos menores que 2  $\mu\text{m}$  minimiza a interferência do produto nas trocas gasosas e está sendo recomendada como parte integrante do manejo agrícola com benefícios econômicos significativos. Como exemplo, no cultivo de *Solanum lycopersicum* na Itália, observou-se um lucro de até 900 €/ha. (Glenn et al., 1999; Glenn, 2012; Boari et al., 2014).

O filme de partículas de caulim hidrofóbico foi co-desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*USDA*) em colaboração com a *Engelhard Corporation*, Iselin, New Jersey, líder mundial em ciência de superfícies e materiais, ao longo de vários anos (Sharma, 2015). Este filme de partículas, quando aplicado sobre as folhas e frutos, se mostrou eficaz contra insetos e ácaros em macieiras e pereiras. Contudo, devido aos problemas na mistura com água e a falta de adesividade à planta, tornou-se impraticável (Glenn, 1999). Um ano depois, um sistema de metanol-água foi desenvolvido, no qual o filme hidrofóbico foi pré-empastado, e assim foi facilmente pulverizado sobre as folhas das plantas. Contudo, essa metodologia foi muito cara e tornou-se difícil de manusear e transportar. Além disso, o metanol foi listado como material perigoso nos EUA (Puterka et al., 2000a). Outra formulação foi desenvolvida, mas sem revestimento de silício, e com um tamanho de partícula menor que 1,0  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Em laboratório, bem como em condições de campo, esta última formulação foi bastante eficaz no controle de insetos e doenças (Puterka et al., 2000a; Puterka et al., 2000b; Sharma, 2015). De um modo geral, o filme de partículas repele insetos pela mudança que causa a textura da folha/fruto, e devido a mudança no espectro da radiação refletida/absorvida pela superfície da folha ou fruto, o que pode confundir e evitar a postura de muitos insetos considerados pragas (Glenn e Puterka, 2005).

A continuação de pesquisas com o FPCP mostra que esse é um produto multifuncional e o uso deste FPCP é considerado uma tecnologia ecologicamente correta, o que permite controlar de maneira eficaz os insetos, mitiga o estresse térmico e contribui para a produção de frutas e vegetais de alta qualidade (Glenn e Puterka, 2005). Os resultados obtidos com o uso do FPCP propiciaram a criação de um filme na forma de pó molhável, com formulação miscível em água (WP é do inglês "*wettable powder*", a tradução é "pó molhável"). A aplicação deste produto pode ser feita com equipamentos convencionais de pulverização (Abreu, 2018).

A aplicação do FPCP em dosagens de 60  $\text{g.L}^{-1}$  aumenta em até 62% a coloração branca das superfícies dos vegetais, e como consequência aumenta a capacidade de refletir a luz, reduz a transmitância de RFA em até 28%, e diminui em 20% o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ ) (Jifon e Syvertsen, 2003). Além disso, o FPCP é capaz de refletir a luz no comprimento de onda na região do infravermelho, do ultravioleta e no espectro da RFA (400 a 700 nm) (Glenn et al., 2002; Steiman et al., 2007; Glenn et al., 2008). A reflexão dos

fótons na região do infravermelho pode reduzir a temperatura do dossel em até 5 °C, o que pode aumentar ou reduzir a transpiração (Glenn et al., 2003; Jifon e Syvertsen, 2003; Glenn, 2009). A redução da temperatura do dossel causada pelo FPCP pode reduzir o estresse térmico, por meio da redução na saída da molécula de água da folha (menor  $DPV_{\text{folha-ar}}$ ), uma vez que com menor temperatura da folha, se tem menor pressão de vapor de saturação dentro da folha ( $e_s$ ). Nesta condição, se terá menor transpiração, o que pode resultar no aumento da eficiência do uso da água (EUA) (taxa fotossintética líquida/transpiração). Essa maior EUA poderá causar um aumento da produtividade (Glenn, 2010).

Em 2000, o FPCP foi registrado comercialmente como '*Surround® WP Crop Protectant*' pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. O principal ingrediente ativo do SURROUND WP *Crop Protectant* é o caulim calcinado (95%). A característica importante desse produto é o tratamento térmico feito num caulim com a mais alta qualidade, e com o mínimo de impurezas. A patente registrada pela empresa Engelhard Corporation (Iselin, New Jersey), foi vendida para BASF (Research Triangle Park, North Carolina, USA). Atualmente a tecnologia Surround® WP pertence ao grupo Tessenderlo Kerley Inc. Este produto é listado pelo Instituto de Revisão de Materiais Orgânicos (OMRI - Organic Materials Review Institute, link de acesso ao registro: <https://www.omri.org/mfg/tki>), como uma substância autorizada na produção orgânica.

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) definiu o Surround® como um produto a base de caulim calcinado ( $Al_4Si_4O_{14}$ ), composto de partículas minerais quimicamente inerte, com formulação de pó molhável (WP), de coloração branca, inodoro, não inflamável, não contaminante e, não perigoso para manuseio. O produto é autorizado para uso na agricultura, em pulverização foliar e em associação compatível com fertilizantes foliares, com agroquímicos e afins. O Surround® forma uma película sobre a superfície da folha e fruto e atua como um aditivo filtrante, com poder refletivo das radiações solares, principalmente os raios ultravioletas e os raios infravermelhos (MAPA, 2016). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o produto não necessita de registro na área referente aos agrotóxicos e afins, pois não é tóxico, e é indicado para proteção de partes da planta contra a radiação solar em excesso. Ainda, segundo a ANVISA, por meio da composição química do Surround® WP, este produto não possui potencial em causar danos às culturas de interesse



agrícola e florestal, à saúde pública e ao meio ambiente (MAPA, 2016). O produto não está sujeito ao enquadramento nas legislações relacionadas aos agrotóxicos, aos fertilizantes e aos produtos correlacionados, tampouco a outras legislações relacionadas a insumos agrícolas. Sendo assim, o Surround® está dispensado de registro no MAPA para o fim a que foi proposto (MAPA, 2016). A autenticidade deste documento pode ser conferida no site: [http://sistemas.agricultura.gov.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sistemas.agricultura.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), por meio do código verificador **0846977** e do código CRC **3CB03941**.

#### **2.4. Possibilidades do uso do FPCP na agricultura brasileira**

O Brasil deixou de ser importador de tecnologia e alimentos em larga escala, para se tornar gerador de conhecimentos sobre a agricultura tropical e sustentável. O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, capaz de exportar para cerca de 170 países, com enorme impacto na balança comercial (Embrapa, 2018). Paralelo a isso, existe uma demanda crescente da sociedade pelo desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis e uma pressão mundial pela sustentabilidade nos aspectos social, econômico e ambiental.

Ao final do ciclo de colheita dos frutos do cafeeiro da safra 2019/2020, o volume de produção brasileira atingiu cerca de 253,7 milhões de toneladas, as quais foram produzidas em 65 milhões de hectares, o que se pode confirmar mais uma safra recorde. Esse resultado apresenta, em relação à produção da safra 2018/19, um crescimento de 4,8% ou 11,6 milhões de toneladas (CONAB, 2020). O uso do FPCP tem potencial de ampliar ainda mais esse crescimento da safra brasileira, uma vez que as propriedades do FPCP podem mitigar os estresses do ambiente (térmico e hídrico), minimizar o ataque de doenças e repelir as pragas das culturas (Tabelas 3 e 4).

O Brasil tem a segunda maior reserva de caulim no mundo. Atualmente, quatro países detêm 95% de um total estimado de 15 bilhões de toneladas, sendo os Estados Unidos com 53%, o Brasil com 28%, a Ucrânia com 7% e a Índia com 7%. As reservas de caulim no Brasil são da ordem de 4,2 bilhões de toneladas (IBRAM, 2012). As reservas brasileiras possuem alta qualidade em termos de coloração branca e pureza, em especial para o uso na indústria de papel especial (IBRAM, 2012). Em 2019, a exportação de caulim nacional foi de 1,4 milhões de toneladas e gerou receita de US\$ 152 milhões (Figura 2, IBRAM, 2019). Os

principais importadores do caulim brasileiro são a Bélgica (21%), os Estados Unidos (20%), o Japão (14%), a Holanda (13%), a Finlândia (11%) e outros (21%) (IBRAM, 2012).

No Brasil, em lavouras comerciais, os ensaios de validação técnica do uso do FPCP demonstram que, para proteção satisfatória no cultivo de soja, feijão e algodão, são necessários a partir de  $6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ , o que pode proporcionar aumentos médios de produtividade em torno de 5%. Se considerarmos que apenas os 10% da área de grãos no Brasil mais afetados pelo clima venham a usar essa tecnologia (19,49 milhões de hectares), com possibilidades de ganho médio de 5% de produtividade, se terá um ganho superior a 1,25 milhões de toneladas de alimentos.

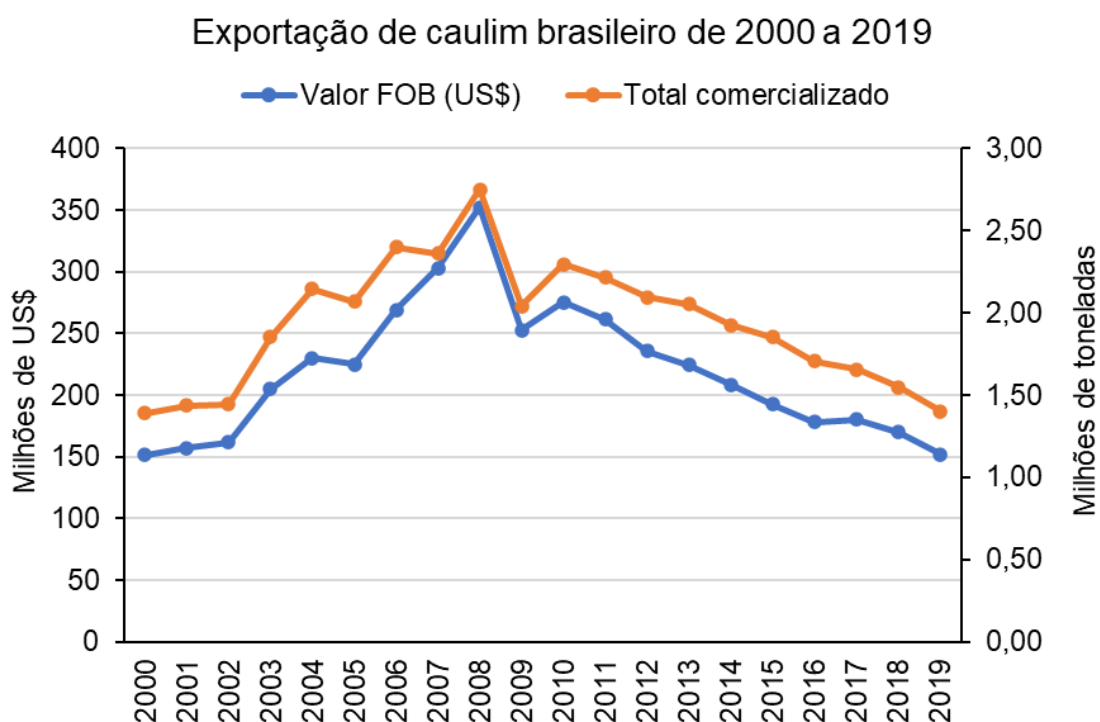


Figura 2 - Exportação do caulim brasileiro dos anos de 2000 até 2019. Gráfico construído a partir de valores obtidos no portal da mineração (<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/17349>).

Tabela 3 – Alguns exemplos do uso do filme de partículas de caulinita processada no conforto térmico de culturas e aumento de produtividade.

<b>Espécie</b>	<b>País</b>	<b>[ ] (kg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Resultado do uso do FPCP</b>
<i>Coffea canephora</i>	Brasil	50 a 70	Abreu et al. (2016b)	Reduziu em 2 °C a temperatura foliar.
<i>Capsicum annuum</i>	EUA	30	Creamer et al. (2005)	Reduziu o estresse hídrico.
<i>Rose spp</i>	Colômbia	50	Sotelo-Cuitiva et al. (2011)	Reduziu em 2,5 °C a temperatura foliar.
<i>Malus domestica</i>	Nova Zelândia	50	Wünsche et al. (2004)	Reduziu em 17% a temperatura foliar.
<i>Malus domestica</i>	África do Sul	30 a 60	Gindaba e Wand (2007)	Mitigou danos de escaldadura.
<i>S. lycopersicum.</i>	Egito	50	AbdAllah (2017)	Aumento de 26,24% na eficiência do uso da água.
<i>Punica granatum</i>	Índia	30	Sharma et al. (2018)	Reduziu em 47% a queimadura dos frutos.
<i>S. lycopersicum</i>	Itália	40	Boari et al. (2014)	Reduziu em até 1,1 °C a temperatura foliar.
<i>Punica granatum</i>	Turquia	30	Yazici e Kaynak (2009)	O melhor método para evitar escaldadura.
<i>S. lycopersicum</i>	Itália	40	Boari et al. (2014)	Lucro de até 900 €/ha.
<i>Coffea canephora</i>	Brasil	50 a 70	Abreu et al. (2016d)	Aumento no tamanho dos frutos.
<i>Malus domestica</i>	Nova Zelândia	50	Wünsche et al. (2004)	Aumentou a proporção de frutas sadias.
<i>Coffea arabica</i>	Brasil	50	Santinato et al. (2016)	Aumentou a produtividade do cafeeiro.

Tabela 4 - Impactos do uso do filme de partículas de caulinita processada no controle e repelência de pragas.

<b>Espécie</b>	<b>País</b>	<b>[ ] (kg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Resultado do trabalho</b>
<i>Malus domestica</i>	EUA	30	Leskey et al. (2010)	Promoveu dissuasão tátil de insetos (repelência).
<i>Mangifera indica</i>	África do Sul	60	Joubert et al. (2004)	Controlou eficazmente os tripses, o gorgulho da manga e o percevejo do coco.
<i>Vitis vinifera</i>	EUA	30	Puterka et al. (2003)	Repeliu cigarras (GWSS) transmissoras de <i>Xylella fastidiosa</i> .
<i>Mangifera indica</i>	EUA	60	Mazor e Erez (2004)	Proteção contra a mosca do Mediterrâneo.
<i>Prunus persica</i>	EUA	60	Mazor e Erez (2004)	Proteção contra a mosca do Mediterrâneo.
<i>Diospyros kaki</i>	EUA	60	Mazor e Erez (2004)	Proteção contra a mosca do Mediterrâneo.
<i>Prunus laurocerasus</i>	Itália	40	Salerno et al. (2020)	Repelência dos insetos está relacionada ao nível de cobertura da folha.
<i>Helianthus annuus</i>	Itália	40	Salerno et al. (2020)	Repelência dos insetos está relacionada ao nível de cobertura da folha.
<i>Punica granatum</i>	Índia	30	Sharma et al. (2018)	Reduziu em 50,3% a incidência de broca da fruta e em 40,2% o crestamento bacteriano.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local e data das avaliações

Os experimentos foram realizados na unidade de Apoio à pesquisa da Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro” (Latitude = 21°19'23”; Longitude = 41°10'40” W; Altitude = 14 metros acima do mar), no estado do Rio de Janeiro (Apêndice 1 e Apêndice 2). As avaliações foram feitas em duas estações do ano, sendo o outono de 2018 e o verão de 2019.

Em ambas as estações de cultivo, foram realizadas análises das trocas gasosas (às 8h e às 14h), da emissão da fluorescência da clorofila *a* (às 8h, às 12h e às 15h) e da termografia (às 12h). No outono de 2018, as avaliações foram feitas nos dias 21, 23, 24, 29/05 e 13/06/2018. No verão, as avaliações foram feitas nos dias 11, 13, 14, 20, 26/03/2019.

Tabela 5 – Horário das análises das trocas gasosas (às 8h e às 14h), fluorescência da clorofila *a* (às 8h, às 12h e às 15h) e termografia (às 12h) no outono e verão.

	Trocias gasosas		Fluorescência da clorofila <i>a</i>			Termografia
	08:00h	14:00h	08:00h	12:00h	15:00h	12:00h
<b>Outono 2018</b>	x	x	x	x	x	x
<b>Verão 2019</b>	x	x	x	x	x	x

### 3.2. Material vegetal e condições experimentais

As mudas de *C. canephora* e *C. arabica* foram cultivadas em sacolas plásticas de 800 mL e crescidas em viveiro durante 5 meses, sob cobertura com tela plástica, tipo sombrite, com aproximadamente 50% de interceptação da radiação solar, e sobre as folhas no viveiro, a RFA não ultrapassou 700  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Apêndice 3 e Apêndice 4). Quando atingiram um número de cinco pares de folhas, conforme é feito em um plantio comercial, as mudas foram transplantadas em vasos de 25 L. Nestes vasos, foram usados um latossolo vermelho amarelo (Embrapa, 2013). Este solo foi peneirado e misturado com areia e esterco bovino curtido, na proporção 7:1:2. Durante o preparo do substrato, em 1000 L desse solo foi adicionado 2 kg de calcário dolomítico e 7 kg de superfosfato simples. No fundo dos vasos, e antes de adicionar o substrato, foi colocado 3 L de brita para evitar acúmulo de água (Apêndice 5).

No outono de 2018, as mudas foram transplantadas das sacolas plásticas (800ml) para os vasos de 25 L em 07 de março de 2018 e permaneceram sob cobertura de telado sombrite 50% por 78 dias. O sombrite foi retirado às 20:00h no dia 22 de maio de 2018 e as plantas permaneceram a pleno sol por 23 dias. No verão de 2019, as mudas foram transplantadas das sacolas plásticas (800 mL) para os vasos de 25 L em 10 de março de 2019 e permaneceram sob cobertura de telado sombrite 50% por dois dias. O sombrite foi retirado às 20:00h no dia 12 de março de 2019 e as plantas permaneceram a pleno sol por 14 dias (posteriormente serão detalhados os dias e os horários das avaliações, bem como as metodologias utilizadas no experimento)

### 3.3. Preparo e aplicação do FPCP

O FPCP de nome comercial Surround® WP (Tessenderlo Kerley Inc.), foi misturado em um béquer de 2 L, na proporção de 50 g de produto para 1 L de água, o que resultou, quando aplicado sobre as folhas, em uma cobertura de 646 mg de produto por metro quadrado de folha. O equipamento utilizado para aplicação foliar foi o pulverizador Guarany de compressão prévia, de uso facilitado, pois possui a pressão prévia, com capacidade 1,2 L por aplicação (Apêndice 6).

A quantidade do FPCP aplicado por um  $\text{m}^2$  de folhas foi obtido a partir da disposição de placas de Petri, de massa e área conhecida, posicionadas na mesma

angulação das folhas de *Coffea* sp. no momento da aplicação do FPCP. Após a aplicação, as placas de Petri foram recolhidas e deixadas em estufa sob temperatura de 85 °C por um dia para completa evaporação da água. Em seguida as placas foram pesadas. Para tanto, descontando-se a massa da placa de Petri, obteve-se a quantidade de produto por área, resultando em 646 mg m<sup>-2</sup> de folha.

### 3.4. Aplicação dos tratamentos e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (Tabela 6), com cinco repetições, sendo o controle local representado pelos blocos. Cada bloco inclui todos os tratamentos, conforme sugerido por Gomes (2009). Cada um dos experimentos recebeu dois tratamentos, sendo o primeiro caracterizado por um grupo de mudas mantidas no manejo convencional do cafeicultor (sem filme de partículas - SFP) e um segundo grupo de mudas recebeu a aplicação do filme de partículas de caulinita processada (CFP).

No outono de 2018, as aplicações dos tratamentos em *C. arabica* e *C. canephora* foram feitas no dia 20 de maio. A partir deste dia, e até às 20:00h do dia 22 de maio de 2018 as plantas permaneceram sob a cobertura de telado sombrite 50%. No verão de 2019, a aplicação dos tratamentos em *C. arabica* e *C. canephora* foram feitas no dia 10 de março. A partir deste dia, e até às 20:00h do dia 12 de março de 2019, as plantas permaneceram sob cobertura de telado sombrite 50%. Nas duas estações de avaliação, o sombrite foi retirado no período noturno, para evitar que as plantas fossem expostas ao sol.

A avaliação relacionada à caracterização das plantas foi realizada ainda sob sombreamento 50%, e esta avaliação será considerada dia 0 (as plantas não receberam a radiação solar plena). No dia seguinte da retirada do sombrite, este foi considerado o dia 1 de exposição à radiação solar plena. As avaliações dos dias 24/05, 29/05 e 13/06, foram nomeadas respectivamente de 2, 7 e 22 dias de radiação solar plena.

Tabela 6 - Descrição dos quatro experimentos realizados.

	<b>Espécie</b>	<b>Estação/Ano</b>
Experimento 1	<i>C. arabica</i>	Outono 2018
Experimento 2	<i>C. canephora</i>	Outono 2018
Experimento 3	<i>C. arabica</i>	Verão 2019
Experimento 4	<i>C. canephora</i>	Verão 2019

Na definição de Yates (1937), o experimento pode ser classificado como um experimento fatorial, pois inclui a análise de impacto de fatores. O Fator 1, foi considerado Fator Filme, e foi com presença ou ausência do FPCP. O Fator 2, considerado de Fator Hora, foi o horário em que se realizaram as avaliações relacionadas à capacidade fotossintética.

Para a avaliação relacionada às trocas gasosas, teve-se um fatorial 2 x 2, sendo dois tipos de cobertura das folhas [com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP)] e dois horários (08:00h e 14:00h) (Tabela 5). Para as análises relacionadas a fluorescência da clorofila *a*, teve-se um fatorial 2 x 3, dois tipos de cobertura das folhas (CFP e SFP) e três horários (08:00h, 12:00h e 15:00h) (Tabela 5). Para a avaliação relacionada à termografia, aplicou-se análise de impacto em somente um fator com dois tipos de cobertura das folhas (CFP e SFP).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para isso, foi utilizado o software estatístico R, versão R 4.0.2 para Windows, com o processamento no RStudio, versão 1.3.1056.

### **3.5. Avaliação das variáveis micrometeorológicas**

As variáveis micrometeorológicas, como a radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a temperatura ar ( $T$ , °C) e a umidade relativa do ar (UR, %) foram obtidas por meio de uma miniestação climatológica automática (Modelo 2475, WatchDog Spectrum Technologies, USA, instalada no experimento. Apêndice 8 e Apêndice 9. Os dados da miniestação foram registrados a cada 30 min. A apresentação dos dados foi feita a partir da média de três leituras, como exemplo, as leituras mostradas como 8:00h, se referem a média das leituras realizadas às 7:30h, às 8:00h e às 8:30h.

### **3.6. Trocas gasosas**

As avaliações das trocas gasosas foram feitas no tempo 0 (no viveiro), 1, 2, 7 e 22 dias de exposição à radiação solar plena. Para tanto, com um analisador portátil de gás a infravermelho de sistema aberto (IRGA), modelo LI-6400 (Li-COR XT, Lincoln, Nebraska, USA) (Apêndice 10 e 13), foram avaliadas a taxa fotossintética líquida ( $A$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e a transpiração ( $E$ )



(Apêndice 10). Os valores de  $A$ ,  $g_s$  e  $E$  foram utilizados para calcular a eficiência do uso da água ( $A/E = \text{EUA}$ ) e a eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s = \text{EIUA}$ ). Em ambos os tratamentos, as medições foram realizadas às 08:00h e às 14:00h, no 2º par de folhas recém-maduras e completamente expandidas, e contadas do ápice caulinar para a base da planta. Durante as avaliações, foi utilizada uma fonte artificial composta por LEDs (*Light Emitting Diodes*) azuis e vermelhos (20%Azul:80%Vermelho), na intensidade de  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , com objetivo de promover saturação luminosa das folhas. A temperatura, a umidade relativa e o déficit de pressão de vapor do ar dentro da câmara foram de 25 °C, 60% e 1,5 kPa, respectivamente. No tratamento CFP, imediatamente antes das avaliações com o IRGA, no local de avaliação na folha, as partículas foram removidas para não causar o entupimento das tubulações do equipamento, e assim evitar as possíveis alterações na leitura, em função das partículas dentro da câmara.

### 3.7. Emissão da fluorescência da clorofila

As avaliações da EFC foram feitas no tempo 0 (no viveiro), 1, 2, 7 e 22 dias de exposição à radiação solar plena. Para tanto, em todos os experimentos, e nas folhas em que foram avaliadas as trocas gasosas, foi avaliada a EFC. As avaliações foram feitas por meio de um fluorímetro de luz não modulada modelo PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Ltd., King's Lynn, Norfolk, UK) (Apêndice 11).

As medidas foram realizadas em três horários, às 08:00h, às 12:00h e às 15:00h. Em cada uma das avaliações, antes das análises, as folhas do cafeeiro das duas espécies foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças (*leaf-clip*), para que os centros de reação adquirissem a condição de abertos. Após este período, a indução da fluorescência foi feita por um pulso de luz vermelha (650 nm), de intensidade  $3500 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ , por meio de LEDs (*Light Emitting Diodes*), localizados na sonda do aparelho. Posteriormente, os dados coletados foram submetidos ao  $\text{JIP}_{\text{test}}$  sugerido por Strasser et al. (2004) e analisados por meio do software Biolyzer, a partir dos dados da cinética rápida da emissão da fluorescência do PSII, no tempo. Assim, foram utilizadas as variáveis geradas pelo  $\text{JIP}_{\text{test}}$ , tais como o rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) e o índice fotossintético (PI) (Strasser et al., 2004).

### 3.8. Termografia por infravermelho

As avaliações da termografia foram feitas no tempo 0 (no viveiro), 1, 2, 7 e 22 dias de exposição à radiação solar plena. As imagens térmicas foram obtidas com uma câmera de infravermelho de onda média Flir i50 (Flir Systems, EUA) com emissividade da câmera ajustada para 0,96 (Apêndice 12). Com detector de matriz de plano focal, foram produzidas imagens de resolução 140 x 140 pixels (19.600 pixels) com precisão de  $\pm 2\%$ . Para estas medidas, o equipamento foi aproximado cerca de 0,50 m acima da planta. As avaliações foram realizadas sempre no horário entre às 12:00h e às 13:00h. As imagens capturadas foram armazenadas na memória do equipamento, e para o processamento das imagens, foi utilizado o Software FLIR Tools versão 5.12.17023.2001, Copyright© 2015 FLIR.

Em cada parcela experimental, foi selecionada uma planta para obtenção das temperaturas mínima e máxima. No primeiro par de folhas completamente expandido e desenvolvido, contado a partir do ápice, uma folha foi umedecida com água na face adaxial ( $T_{wet}$ ), de modo a reduzir a temperatura foliar devido a evaporação da água da superfície foliar ( $T_{wet}$ ) (Figura 3A). Em uma outra folha, foi aplicada vaselina na face abaxial ( $T_{dry}$ ), de modo que se pudesse ter a máxima temperatura da folha durante a exposição da radiação solar. Esta vaselina na face abaxial causa bloqueio na transpiração (obstrui os estômatos), e assim se tem o aumento da temperatura foliar ( $T_{dry}$ ) (Figura 3B). A temperatura foliar da planta foi obtida no instante da avaliação ( $T_{canopy}$ ) (Figuras 3C, D, E e F). A partir da determinação das temperaturas  $T_{canopy}$ ,  $T_{dry}$  e  $T_{wet}$  foi obtido o Índice de Estresse Hídrico (CWSI) (Jones, 1999; Guillioni et al., 2008; Jones, 2013; Craparo et al., 2017) segundo a equação abaixo relacionada.

$$CWSI = \frac{T_{canopy} - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}} \quad \text{Equação 1}$$

Ainda, utilizando as temperaturas  $T_{canopy}$ ,  $T_{dry}$  e  $T_{wet}$ , foi possível obter o índice térmico de condutância estomática relativa ( $I_g$ ) (Jones, 1999):

$$I_g = \frac{T_{dry} - T_{canopy}}{T_{canopy} - T_{wet}} \quad \text{Equação 2}$$

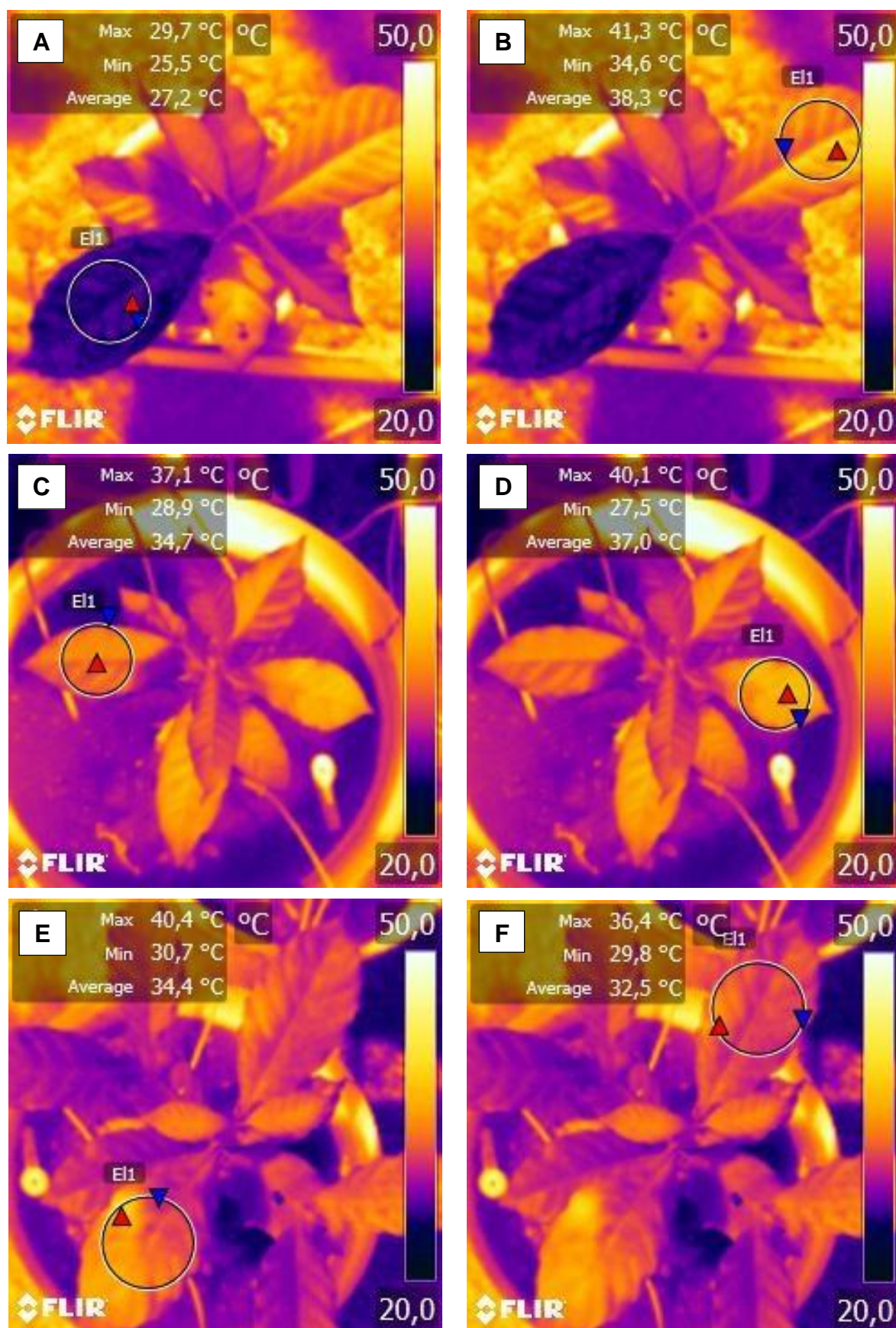


Figura 3 – Imagem termográfica com paleta “ferro”. Amplitude de 20° C a 50° C. (A) Folha umedecida com água. (B) Folha umedecida com vaselina. (C e D) Folhas sem o FPCP. (E e F) Folhas com o FPCP.

## 4. RESULTADOS

### 4.2. Variáveis climáticas

No outono de 2018, os valores da RFA com potencial de causar depressão na fotossíntese, ou seja, RFA acima de  $1.200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , ocorreram principalmente às 12:00h e um pouco menos às 14:00h (Tabela 7). Os valores da RFA registrados às 08:00 e às 15:00h permaneceram abaixo de 600 e  $1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. No ver\u00e3o de 2019, os valores da RFA com potencial de causar depress\u00e3o na fotoss\u00edntese, ocorreram principalmente \u00e0s 12:00h e um pouco menos \u00e0s 14:00h. Os valores de RFA registrados \u00e0s 08:00 e \u00e0s 15:00h permaneceram abaixo de  $1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Tabela 7 - RFA ( $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) registrada nos hor\u00e1rios de avalia\u00e7\u00e3o das trocas gasosas, EFC e da termografia, no outono de 2018 e no ver\u00e3o de 2019.

	<b>Data</b>	<b>08h</b>	<b>12h</b>	<b>14h</b>	<b>15h</b>
<b>Outono 2018</b>	21/05 - 0	54	372	291	175
	23/05 - 1	243	1752	1341	983
	24/05 - 2	594	1335	866	719
	29/05 - 7	531	798	1050	904
	13/06 - 22	517	1260	1160	609
<b>Ver\u00e3o 2019</b>	11/03 - 0	385	574	453	335
	13/03 - 1	806	1661	917	577
	14/03 - 2	994	1226	1209	891
	20/03 - 7	793	2000	1276	816
	26/03 - 14	908	269	618	537

No outono de 2018, e durante todo o experimento, e no horário das 08:00h, a UR permaneceu acima de 79% (Tabela). Os valores mais reduzidos da UR foram registrados às 14:00h. No verão de 2019, os valores de UR foram menores em relação ao outono de 2018. No horário das 08:00h, a UR permaneceu acima de 67%. No horário das 14:00h, nos dias 13/03 e 26/03, a presença de nuvens contribuiu para que a UR ficasse em 91% e 83%, respectivamente.

Tabela 8 - Umidade relativa do ar (UR, %) registrada nos horários de avaliação das trocas gasosas, EFC e da termografia, no outono de 2018 e no verão de 2019.

	<b>Data</b>	<b>08h</b>	<b>12h</b>	<b>14h</b>	<b>15h</b>
<b>Outono 2018</b>	21/05 - 0	97	42	39	40
	23/05 - 1	99	51	48	56
	24/05 - 2	79	50	56	58
	29/05 - 7	96	70	49	49
	13/06 - 22	91	66	66	72
<b>Verão 2019</b>	11/03 - 0	85	79	83	76
	13/03 - 1	67	50	91	77
	14/03 - 2	69	50	52	65
	20/03 - 7	89	50	46	56
	26/03 - 14	71	65	83	73

No outono de 2018, a temperatura permaneceu acima de 17 °C e abaixo de 30 °C (Tabela 9). Os valores reduzidos de temperatura do ar foram registrados às 08:00h, enquanto os mais elevados foram registrados às 12:00h, 14:00h e às 15:00h. No verão de 2019, no ambiente de exposição ao pleno sol, no horário das 12:00h, em todos os dias de avaliação, a temperatura esteve acima de 30 °C. O maior valor de temperatura do ar registrado foi de 37,0 °C, às 14:00h.

Tabela 9 - Temperatura do ar (T, °C) registrada nos horários de avaliação das trocas gasosas, EFC e da termografia, no outono de 2018 e no verão de 2019.

	<b>Data</b>	<b>08h</b>	<b>12h</b>	<b>14h</b>	<b>15h</b>
<b>Outono 2018</b>	21/05 - 0	17,5	26,8	28,3	28,1
	23/05 - 1	19,4	28,0	29,0	28,1
	24/05 - 2	22,2	27,3	26,2	26,1
	29/05 - 7	20,7	24,5	26,5	26,2
	13/06 - 22	22,0	26,3	26,5	25,3
<b>Verão 2019</b>	11/03 - 0	24,1	25,9	25,3	25,8
	13/03 - 1	29,4	34,3	27,5	29,0
	14/03 - 2	30,4	34,2	34,2	31,8
	20/03 - 7	29,5	36,0	37,0	34,2
	26/03 - 14	29,8	30,4	28,1	29,0

### 4.3. Termografia por infravermelho

#### 4.3.1. Temperatura foliar média (°C)

Após a exposição à radiação solar plena, e no horário de 12:00h, as mudas de *C. arabica* e *C. canephora* que receberam a aplicação do FPCP sobre as folhas (CFP) tiveram uma redução significativa na temperatura das folhas, quando comparadas com as mudas que não receberam o FPCP (SFP) (Figura 4 e Tabela 10).

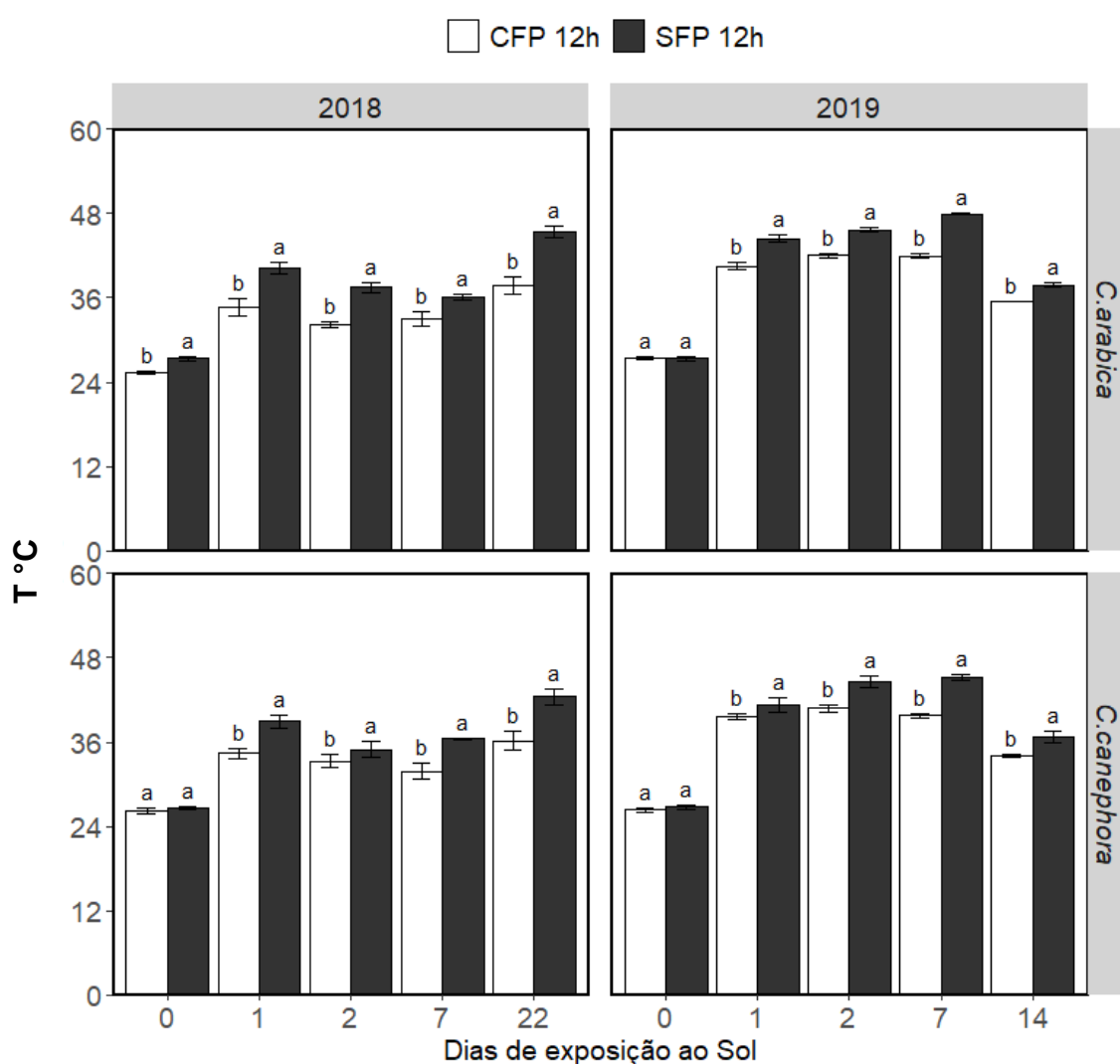


Figura 4 – Temperatura foliar média ( $T_{folha}$ ) no horário das 12:00h, de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol.

No outono de 2018, durante os 22 dias de avaliação, no horário de 12:00h, e em relação ao tratamento controle, as folhas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram temperatura foliar reduzida em até 7,5 °C e 6,2 °C, respectivamente, (Tabela 10). As mudas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, tiveram temperatura foliar de 40,1 °C, 37,4 °C, 36,0 °C e 45,3 °C, maior em 14%, 14%, 8% e 17%, quando comparadas as mudas que receberam o FPCP. As mudas do tratamento CFP tiveram temperatura foliar de 34,6 °C, 32,2 °C, 33,0 °C e 37,8 °C, ou seja, o FPCP causou uma redução na temperatura foliar em 5,5 °C, 5,2 °C, 3,0 °C e 7,5 °C, respectivamente nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol. As mudas de *C. canephora* que não receberam a proteção do FPCP, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, tiveram temperatura foliar de 38,9 °C, 34,9 °C, 36,2 °C e 42,4 °C, maior em 12%, 6%, 12% e 15%, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP. Este produto sobre as folhas permitiu as plantas de *C. canephora* terem temperatura foliar de 34,4 °C, 32,7 °C, 31,8 °C e 36,2 °C; ou seja, o FPCP causou a redução na temperatura foliar em 4,5 °C, 2,2 °C, 4,4 °C e 6,2 °C.

No verão de 2019, durante os 14 dias de avaliação, no horário de 12:00h, e sob RFA de até 2000  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em relação ao tratamento controle, as folhas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram temperatura foliar reduzida em até 6,0 °C e 5,3 °C, respectivamente, (Tabela 10). As mudas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, tiveram temperatura foliar de 44,4 °C, 45,6 °C, 47,9 °C e 37,8 °C, respectivamente. Os valores foram maiores em 9%, 8%, 13% e 6%, quando comparadas as mudas que receberam o FPCP. Estas plantas com FPCP, tiveram temperatura foliar de 40,6 °C, 42,0 °C, 41,9 °C e 35,5 °C; ou seja, o FPCP causou a uma redução na temperatura foliar em 3,8 °C, 3,6 °C, 6,0 °C e 2,3 °C, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol. As plantas de *C. canephora* que não receberam a proteção do FPCP, e nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, tiveram temperatura foliar de 41,3 °C, 44,6 °C, 45,1 °C e 36,8 °C, respectivamente. Um valor maior de 4%, 9%, 12% e 7%, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP. As plantas de *C. canephora* com o FPCP sobre as folhas, tiveram temperatura foliar de 39,6 °C, 40,8 °C, 39,8 °C e 34,1 °C, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente; ou seja, o FPCP causou a redução na temperatura foliar em 1,7 °C, 3,8 °C, 5,3 °C e 2,7 °C.

Tabela 10 – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T_{\text{ar}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (UR, %), temperatura foliar média ( $T_{\text{folha}}$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. Os valores da temperatura foliar ( $T_{\text{F}}$ ) média são apresentados nas colunas CFP (com filme de partículas) e SFP (sem filme de partículas) no horário das 12:00h. O  $\Delta$  é a subtração dos valores da temperatura foliar do tratamento CFP e dos valores de temperatura do tratamento SFP. Valores de *P-value* menores que 0,0500 indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A razão CFP/SFP mostra a intensidade de redução (%) na temperatura da folha causada pela aplicação do FPCP em relação ao tratamento SFP.

<i>Coffea arabica</i>									
12:00h		RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$T_{\text{F}}$ (CFP)	$T_{\text{F}}$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
Outono 2018	0	372	26,8	42	25,6	27,3	-1,7	0,0013	-6%
	1	1752	28	51	34,6	40,1	-5,5	0,0018	-14%
	2	1335	27,3	50	32,2	37,4	-5,2	0,0046	-14%
	7	798	24,5	70	33,0	36,0	-3,0	0,0075	-8%
	22	1260	26,3	66	37,8	45,3	-7,5	0,0002	-17%
Verão 2019	0	574	25,9	79	27,3	27,4	-0,1	0,8003	0%
	1	1661	34,3	50	40,6	44,4	-3,8	0,0050	-9%
	2	1226	34,2	50	42,0	45,6	-3,6	0,0011	-8%
	7	2000	36	50	41,9	47,9	-6,0	0,0056	-13%
	14	269	30,4	65	35,5	37,8	-2,3	0,0390	-6%

<i>Coffea canephora</i>									
12:00h		RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$T_{\text{F}}$ (CFP)	$T_{\text{F}}$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
Outono 2018	0	372	26,8	42	26,3	26,8	-0,5	0,1266	-2%
	1	1752	28	51	34,4	38,9	-4,5	0,0029	-12%
	2	1335	27,3	50	32,7	34,9	-2,2	0,0390	-6%
	7	798	24,5	70	31,8	36,2	-4,4	0,0158	-12%
	22	1260	26,3	66	36,2	42,4	-6,2	0,0026	-15%
Verão 2019	0	574	25,9	79	26,3	26,8	-0,5	0,2952	-2%
	1	1661	34,3	50	39,6	41,3	-1,7	0,0450	-4%
	2	1226	34,2	50	40,8	44,6	-3,8	0,0111	-9%
	7	2000	36	50	39,8	45,1	-5,3	< 0,0001	-12%
	14	269	30,4	65	34,1	36,8	-2,7	0,0315	-7%



### 4.3.2. Índice de estresse de água de cultivo (CWSI)

A maior temperatura foliar pode estar relacionada a um maior estresse supra-ótimo de temperatura no dossel da planta. Após as mudas serem retiradas do sombreamento do viveiro para a condição de exposição à radiação solar plena, as 12:00h, em *C. arabica* e *C. canephora*, nos dias 1, 2, 7, 14 (2019) e 1, 2, 7, 22 (2018) de exposição ao pleno sol, o tratamento CFP causou redução significativa no CWSI, (Figura 5 e Tabela 11).

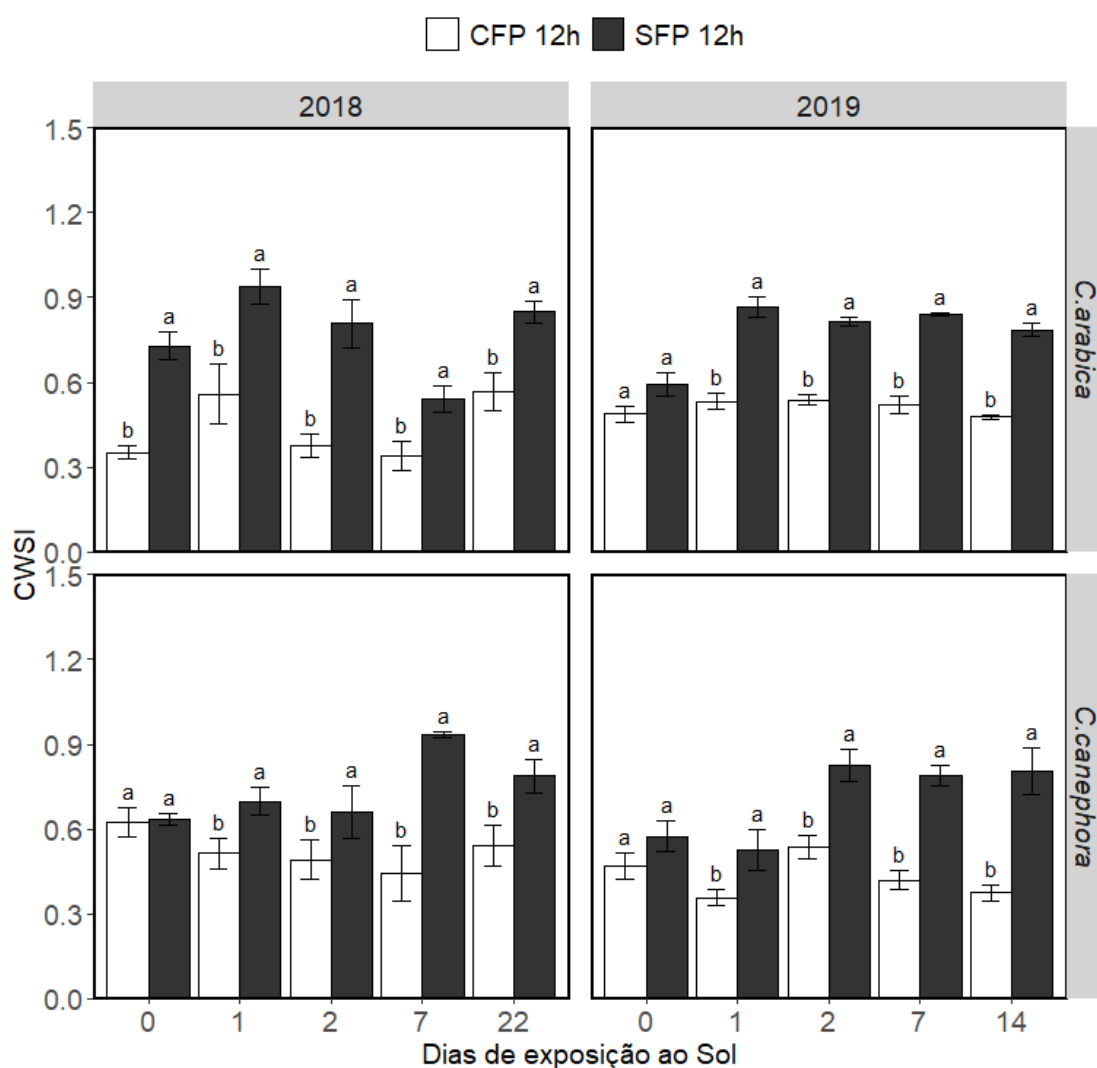


Figura 5 – Índice de estresse de água (CWSI) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, as 12:00h, no outono de 2018 e verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol.

No outono de 2018, as 12:00h, durante os 22 dias de avaliação e em relação ao tratamento SFP, as folhas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram CWSI reduzido em até 53% (Tabela 11). As plantas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP, e nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição à radiação solar plena, tiveram CWSI de 0,92, 0,81, 0,54 e 0,85 maior em 39%, 53%, 41% e 33%, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP, as quais tiveram CWSI de 0,56, 0,38, 0,32 e 0,57, respectivamente nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição à radiação solar plena. Este fato mostra que o FPCP causou uma redução no CWSI de 0,36, 0,43, 0,22 e 0,28, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição à radiação solar plena, respectivamente. As plantas de *C. canephora* que não receberam a proteção do FPCP, tiveram os valores de CWSI de 0,70, 0,66, 0,93 e 0,79, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Nas plantas do tratamento SFP, os valores do CWSI foram maiores em 26%, 32%, 53% e 31%, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP, as quais tiveram os valores de CWSI de 0,52, 0,45, 0,44 e 0,54. Nas mudas de *C. canephora*, o FPCP causou uma redução nos valores de CWSI em 0,18, 0,21, 0,49 e 0,25.

No verão de 2019, às 12:00h, durante os 14 dias de avaliação e sob  $T_{ar}$  de até 36,0 °C, em relação ao tratamento SFP, as folhas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas CFP tiveram CWSI reduzido, respectivamente, em até 40% e 53%, (Tabela 11). As plantas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP tiveram CWSI de 0,87, 0,81, 0,84 e 0,78, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Quando comparadas as plantas que receberam o FPCP, estes valores foram maiores em cerca de 37%, 34%, 38% e 40%, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente. As mudas CFP tiveram valores de CWSI de 0,54, 0,54, 0,52 e 0,47, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente. O FPCP causou uma redução no CWSI de 0,32, 0,28, 0,32 e 0,31, nos dias supracitados.

As plantas de *C. canephora* que não receberam a proteção do FPCP tiveram CWSI de 0,70, 0,66, 0,93 e 0,79, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Estas mudas do tratamento SFP tiveram um incremento nos valores de CWSI de 26%, 32%, 53% e 31%, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP. As mudas do tratamento CFP tiveram valores de CWSI de

0,52, 0,45, 0,44 e 0,54; ou seja, o FPCP causou uma redução no CWSI em 0,18, 0,21, 0,49 e 0,25, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente.

Tabela 11 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T_{\text{ar}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (UR, %), temperatura foliar média ( $T_{\text{folha}}$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. Os valores de CWSI são apresentados nas colunas CFP (com filme de partículas) e SFP (sem filme de partículas) no horário das 12:00h. O  $\Delta$  é a subtração dos valores de CWSI do tratamento CFP e dos valores de CWSI do tratamento SFP. Valores de *P-value* menores que 0,0500 indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A razão CFP/SFP mostra a intensidade de redução (%) do CWSI causada pela aplicação do FPCP em relação ao tratamento SFP.

<i>Coffea arabica</i>									
12:00h		RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	CWSI <sub>CFP</sub>	CWSI <sub>SFP</sub>	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
Outono 2018	0	372	26,8	42	0,38	0,73	-0,35	0,0003	-48%
	1	1752	28,0	51	0,56	0,92	-0,36	0,0091	-39%
	2	1335	27,3	50	0,38	0,81	-0,43	0,0121	-53%
	7	798	24,5	70	0,32	0,54	-0,22	0,0009	-41%
	22	1260	26,3	66	0,57	0,85	-0,28	0,0010	-33%
Verão 2019	0	574	25,9	79	0,48	0,59	-0,11	0,0698	-19%
	1	1661	34,3	50	0,54	0,87	-0,32	0,0021	-37%
	2	1226	34,2	50	0,54	0,81	-0,28	0,0014	-34%
	7	2000	36,0	50	0,52	0,84	-0,32	0,0162	-38%
	14	269	30,4	65	0,47	0,78	-0,31	0,0200	-40%

<i>Coffea canephora</i>									
12:00h		RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	CWSI <sub>CFP</sub>	CWSI <sub>SFP</sub>	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
Outono 2018	0	372	26,8	42	0,63	0,66	-0,03	0,4619	-5%
	1	1752	28,0	51	0,52	0,70	-0,18	0,0150	-26%
	2	1335	27,3	50	0,45	0,66	-0,21	0,0197	-32%
	7	798	24,5	70	0,44	0,93	-0,49	0,0108	-53%
	22	1260	26,3	66	0,54	0,79	-0,25	0,0092	-31%
Verão 2019	0	574	25,9	79	0,47	0,57	-0,10	0,0878	-18%
	1	1661	34,3	50	0,36	0,52	-0,17	0,0209	-32%
	2	1226	34,2	50	0,54	0,83	-0,29	0,0115	-35%
	7	2000	36,0	50	0,42	0,79	-0,37	0,0001	-47%
	14	269	30,4	65	0,37	0,80	-0,43	0,0075	-53%

### 4.3.3. Índice Térmico de Condutância Estomática Relativa ( $I_g$ )

A partir do índice  $I_g$ , foi possível inferir que a redução da transpiração das mudas reduziu a capacidade de dissipação de calor, elevou a temperatura da folha, principalmente nas mudas não protegidas com o FPCP. Quanto menores os valores de  $I_g$ , maior é a redução na capacidade transpiratória, e está associada a diminuição na condutância estomática (Figura 6 e Tabela 12).

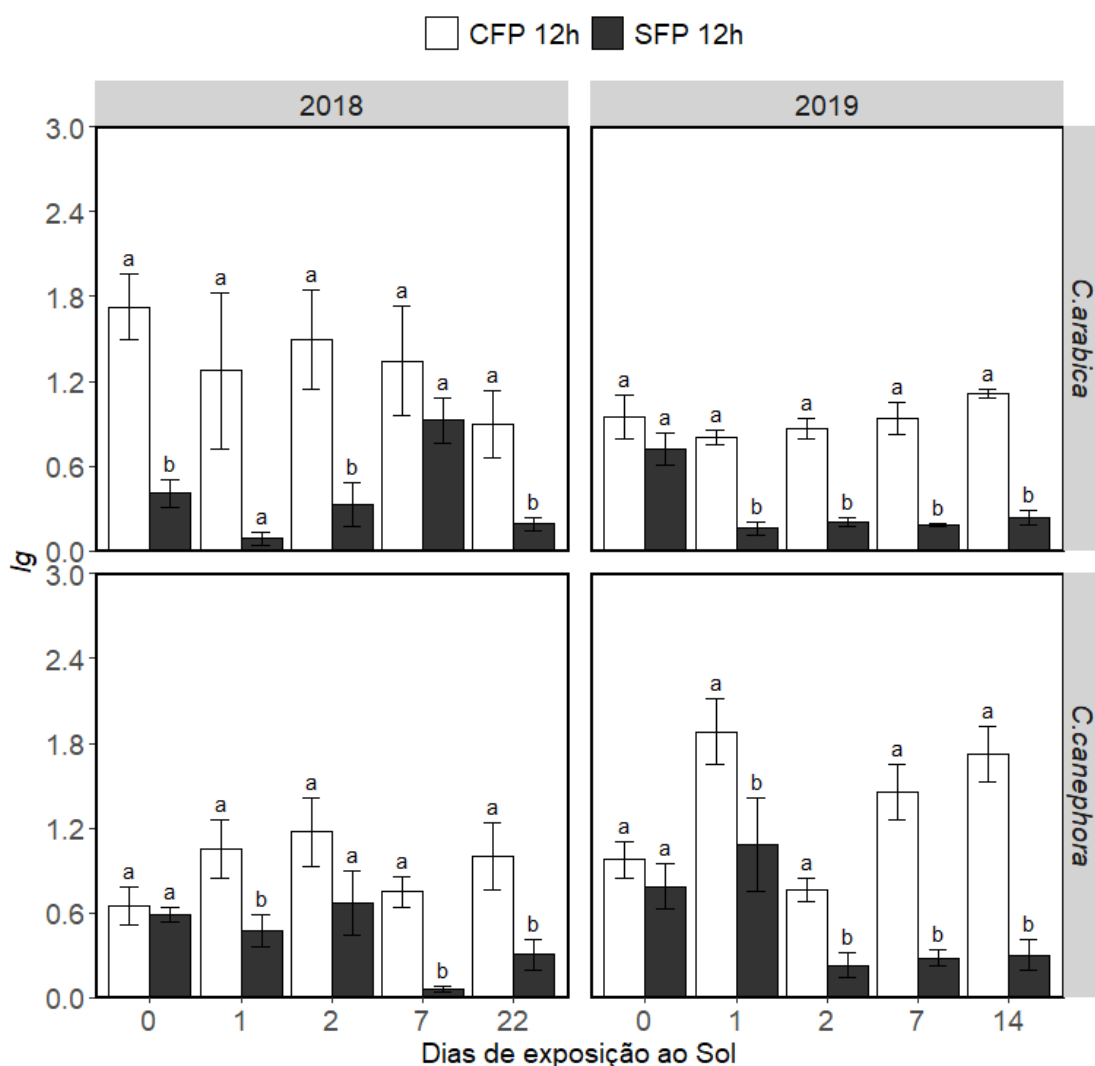


Figura 6 – Índice da condutância estomática relativa ( $I_g$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol.

No outono de 2018, durante os 22 dias de avaliação, as 12:00h, e em relação ao tratamento SFP, as folhas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de  $l_g$  maiores em até 1371% (Tabela 12). As mudas de *C. arabica* do tratamento CFP, tiveram valores de  $l_g$  de 0,087, 0,328, 0,925 e 0,190, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Estas plantas do tratamento SFP tiveram um comprometimento na capacidade de resfriar a folha, quando avaliado pela redução dos valores de  $l_g$  de 1371%, 354%, 45% e 370%, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. As mudas CFP tiveram  $l_g$  de 1,275, 1,490, 1,344 e 0,893, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente; ou seja, o FPCP causou um aumento no  $l_g$  de 1,188, 1,162, 0,419 e 0,703, nos respectivos dias de avaliação.

As mudas de *C. canephora* do tratamento SFP, nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, tiveram  $l_g$  de 0,475, 0,672, 0,067 e 0,307, respectivamente, um comprometimento na capacidade de resfriar a folha maior em 121%, 74%, 1022% e 226%, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP. Estas plantas CFP, tiveram  $l_g$  de 1,048, 1,171, 0,746 e 1,002, ou seja, o FPCP causou um aumento no  $l_g$  em 0,573, 0,499, 0,680 e 0,695, aos 1, 2, 7 e 22 dias de exposição ao pleno sol, respectivamente.

No verão de 2019, as 12:00h, durante os 14 dias, e em relação ao tratamento SFP, as folhas de *C. arabica* e *C. canephora* com o FPCP tiveram valores de  $l_g$  maiores em até 467% (Tabela 12). As mudas de *C. arabica* do tratamento SFP, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, tiveram  $l_g$  de 0,160, 0,200, 0,187 e 0,234, respectivamente. Estas mudas do tratamento SFP tiveram um comprometimento na capacidade de resfriar a folha, avaliado pela redução de  $l_g$  em 400%, 334%, 403% e 376%, aos 1, 2, 7 e 14 dias de exposição ao pleno sol, respectivamente. As mudas CFP tiveram valores de  $l_g$  de 0,800, 0,868, 0,940 e 1,113, ou seja, o FPCP causou um aumento no  $l_g$  de 0,640, 0,668, 0,753 e 0,879, aos 1, 2, 7 e 14 dias de exposição ao pleno sol. As mudas de *C. canephora* do tratamento SFP, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, tiveram  $l_g$  de 1,080, 0,230, 0,282 e 0,304, respectivamente. Nestas mudas, a redução nos valores de  $l_g$  foram de 74%, 231%, 415% e 467%, quando comparadas as plantas que receberam o FPCP, que tiveram  $l_g$  de 1,880, 0,761, 1,452 e 1,724, Nesta condição, o FPCP sobre as folhas causou um aumento no  $l_g$  em 0,800, 0,531, 1,170 e 1,420, para os dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente.

Tabela 12 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T_{\text{ar}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (UR, %), temperatura foliar m\u00e9dia ( $T_{\text{folha}}$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e ver\u00e3o de 2019. Os valores de  $I_g$  s\u00e3o apresentados nas colunas CFP (com filme de part\u00edculas) e SFP (sem filme de part\u00edculas) no hor\u00e1rio das 12:00h. O  $\Delta$  \u00e9 a subtra\u00e7\u00e3o dos valores de  $I_g$  do tratamento CFP e dos valores de  $I_g$  do tratamento SFP. Valores de *P-value* menores que 0,05 indicam diferen\u00e7as significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A raz\u00e3o CFP/SFP mostra a intensidade de aumento (%) do  $I_g$  causada pela aplica\u00e7\u00e3o do FPCP em rela\u00e7\u00e3o ao tratamento SFP.

<i>Coffea arabica</i>									
12:00h	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$I_g$ (CFP)	$I_g$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	
Outono 2018	0	372	26,8	42	1,722	0,407	1,315	0,0003	323%
	1	1752	28,0	51	1,275	0,087	1,188	0,0687	1371%
	2	1335	27,3	50	1,490	0,328	1,162	0,0289	354%
	7	798	24,5	70	1,344	0,925	0,419	0,3427	45%
	22	1260	26,3	66	0,893	0,190	0,703	0,0171	370%
Ver\u00e3o 2019	0	574	25,9	79	0,948	0,722	0,226	0,3090	31%
	1	1661	34,3	50	0,800	0,160	0,640	0,0126	400%
	2	1226	34,2	50	0,868	0,200	0,668	0,0010	334%
	7	2000	36,0	50	0,940	0,187	0,753	0,0392	403%
	14	269	30,4	65	1,113	0,234	0,879	0,0072	376%

<i>Coffea canephora</i>									
12:00h	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$I_g$ (CFP)	$I_g$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	
Outono 2018	0	372	26,8	42	0,653	0,545	0,108	0,3679	20%
	1	1752	28,0	51	1,048	0,475	0,573	0,0147	121%
	2	1335	27,3	50	1,171	0,672	0,499	0,0950	74%
	7	798	24,5	70	0,746	0,067	0,680	0,0072	1022%
	22	1260	26,3	66	1,002	0,307	0,695	0,0133	226%
Ver\u00e3o 2019	0	574	25,9	79	1,020	0,820	0,200	0,2312	24%
	1	1661	34,3	50	1,880	1,080	0,800	0,0033	74%
	2	1226	34,2	50	0,761	0,230	0,531	0,0154	231%
	7	2000	36,0	50	1,452	0,282	1,170	0,0015	415%
	14	269	30,4	65	1,724	0,304	1,420	0,0029	467%

#### 4.4. Trocas gasosas

##### 4.4.1. Fotossíntese (A)

No outono de 2018, em 4 avaliações durante 22 dias de exposição ao pleno sol, as mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, que receberam a aplicação do FPCP, quando comparadas às plantas do tratamento SFP, tiveram uma taxa fotossintética significativamente maior em até 60% nas mudas de *C. arabica*, e 81% nas mudas de *C. canephora* (Figura 7 e Tabela 13).

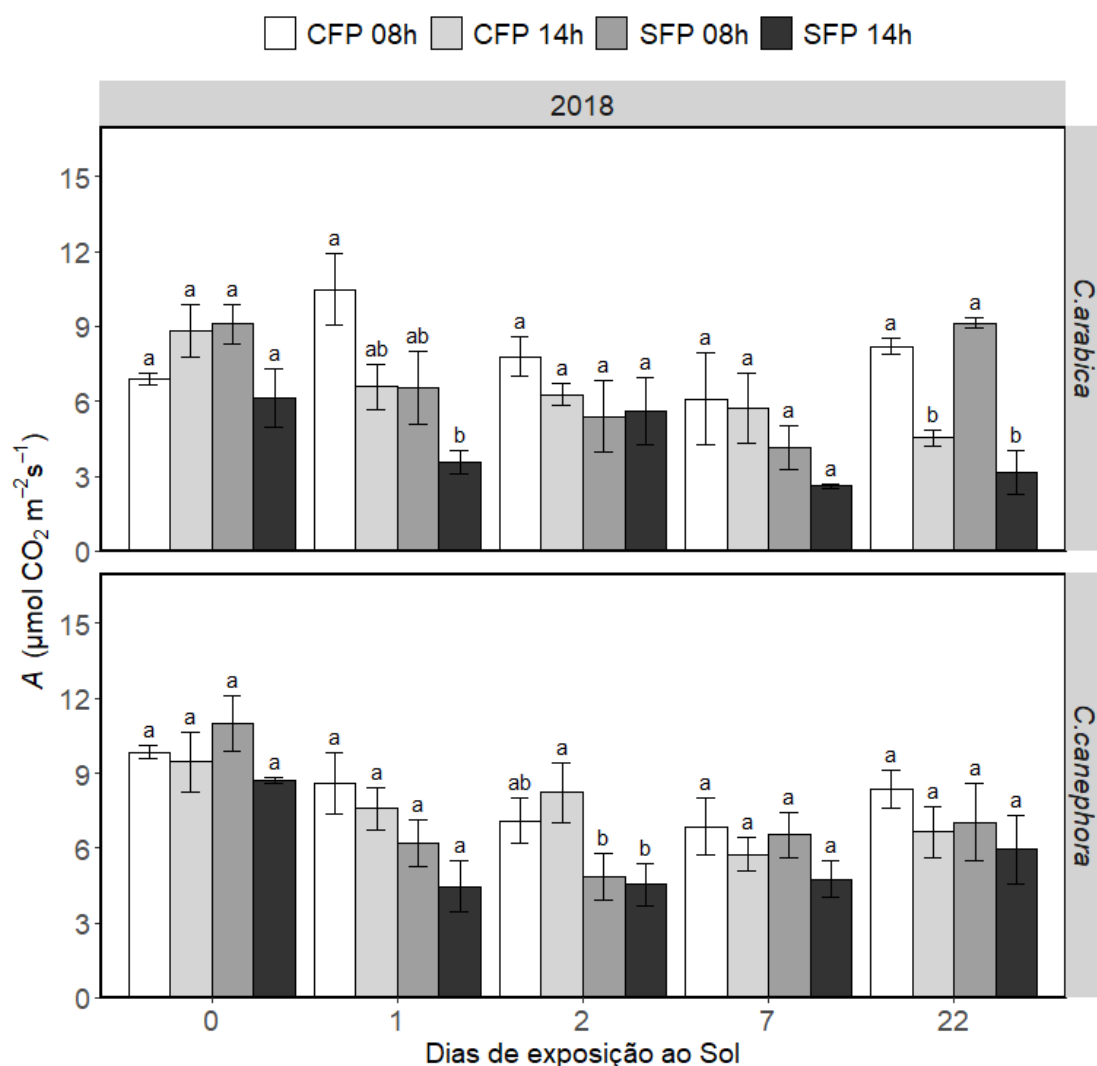


Figura 7 - Taxa fotossintética (A) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol e dois horários diurnos (8:00 e 14:00 horas).

A redução na  $A$  pode estar relacionada a um maior estresse supra-ótimo de temperatura nas mudas do cafeeiro. No verão de 2019, após as mudas serem retiradas do sombreamento do viveiro para a condição de exposição à radiação solar plena ao longo de 14 dias, houve um decréscimo de até 530% nos valores de  $A$  das mudas de *C. arabica*, e 505% nas mudas de *C. canephora* do tratamento SFP em relação ao tratamento CFP (Figura 8 e Tabela 13).

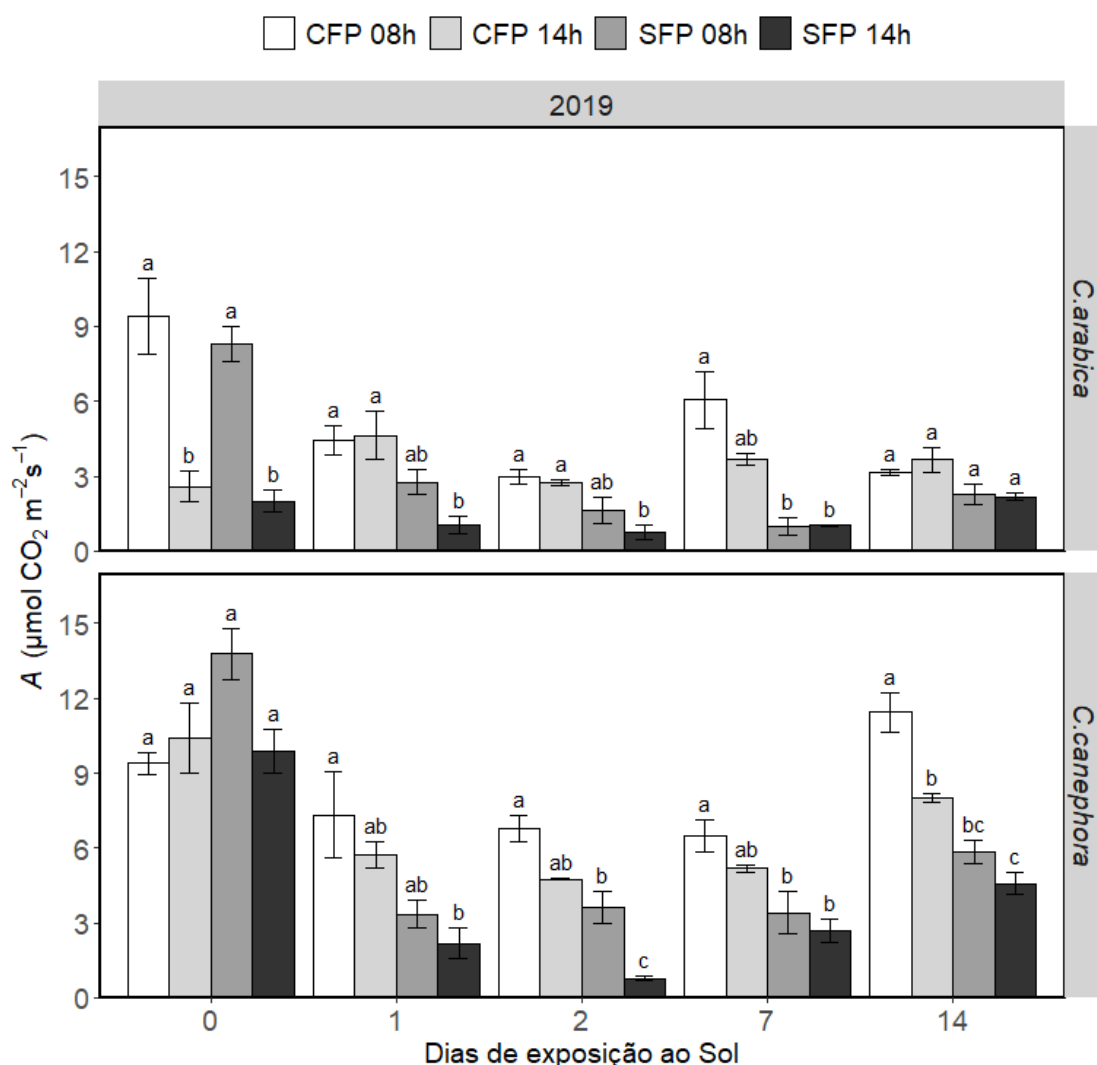


Figura 8 - Taxa fotossintética ( $A$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol e dois horários diurnos (8:00 e 14:00 horas).



Nesta estação de 2018, no horário das 08:00h e sob cultivo com RFA de até 594  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram valores de *A* de 10,48 e 7,79  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente nos dias 1 e 2 de exposição ao pleno sol (Figura 7, Tabela 13). Estes valores foram maiores em 60% e 44%, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP. As mudas do tratamento SFP, tiveram valores de *A* de 6,53 e 5,40  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , ou seja, o FPCP evitou uma redução de *A* em 3,95 e 2,39  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabela 13). Já as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de *A* de 7,09  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no horário das 08:00h, e no segundo dia de exposição ao pleno sol, maior em 46%, quando comparada as mudas que não receberam o FPCP. Estas mudas do tratamento SFP, tiveram valores de *A* de 4,86  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Este fato mostra que o FPCP evitou uma redução de *A* em 2,23  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . No segundo dia de exposição a pleno sol, às 14:00h, e sob RFA de até 1341  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP, quando comparadas com as mudas do tratamento SFP, tiveram valores de *A* maior em 81%.

No verão de 2019, no horário das 08:00h e sob RFA de até 994  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP, quando comparadas ao tratamento SFP, tiveram valores de *A* de 2,99 e 6,05  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente nos dias 2 e 7 de exposição ao pleno sol. Estes valores correspondem a um incremento de 83% e 530%, nas plantas cultivadas no tratamento CFP. Nestes dias, as plantas do tratamento SFP tiveram valores de *A* de 1,63 e 0,96  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Este fato mostra que o FPCP evitou uma redução de *A* em 1,36 e 5,09  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos dias 2 e 7, respectivamente (Tabela 13). No horário das 14:00h e sob RFA de exposição solar plena de até 1276  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP, quando comparadas com o tratamento SFP, tiveram os valores de *A* maior em 350%, 263%, 261% e 69%, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente.

No horário das 08:00h, nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de *A* de 7,33, 6,77, 6,48 e 11,44  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Quando comparados com as mudas SFP, estes valores nas plantas CFP foram maiores em 126%, 86%, 91% e 104%. As plantas cultivadas SFP tiveram valores de *A* de 3,25, 3,64, 3,40 e 5,61  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; o que pode mostrar que o FPCP evitou uma redução de *A* em 4,08, 3,13, 3,08 e 5,83  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

No horário das 14:00h e sob RFA de até  $1276 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram  $A$  de 5,73, 4,76, 5,19 e 7,99  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposi\u00e7\u00e3o ao pleno sol, maior em 162%, 505%, 94% e 74% quando comparadas ao tratamento SFP, ou seja, o FPCP evitou uma redu\u00e7\u00e3o de  $A$  em 3,54, 3,97, 2,52 e 3,41  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente.

Tabela 13 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T_{\text{ar}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (UR, %), fotossíntese (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. Os valores de A são apresentados nas colunas CFP (com filme de partículas) e SFP (sem filme de partículas) no horário das 08:00h e 14:00h. O  $\Delta$  é a subtração de CFP por SFP. Valores de *P-value* menores que 0,0500 indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A razão CFP/SFP mostra a intensidade de aumento (%) do A causada pela aplicação do FPCP em relação ao tratamento SFP.

		Variáveis climáticas						Coffea arabica						Coffea canephora					
08:00h	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	A (CFP)	A (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	A (CFP)	A (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	A (CFP)	A (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	
	0	54	17,5	97	6,90	9,09	-2,19	0,1346	-24%	10,10	11,00	-0,90	0,4877	10,10	11,00	-0,90	0,4877	-8%	
	1	243	19,4	99	10,48	6,53	3,95	<b>0,0321</b>	60%	8,60	6,19	2,41	0,1174	8,60	6,19	2,41	0,1174	39%	
Outono 2018	2	594	22,2	79	7,79	5,40	2,39	<b>0,0161</b>	44%	7,09	4,86	2,23	<b>0,0394</b>	7,09	4,86	2,23	<b>0,0394</b>	46%	
	7	531	20,7	96	6,09	4,14	1,95	0,2080	47%	6,86	6,53	0,33	0,7839	6,86	6,53	0,33	0,7839	5%	
	22	517	22,0	91	8,23	9,11	-0,88	0,3479	-10%	8,35	7,02	1,33	0,4583	8,35	7,02	1,33	0,4583	19%	
	0	385	24,1	85	9,40	8,28	1,12	0,4053	14%	9,39	13,77	-4,38	<b>0,0142</b>	9,39	13,77	-4,38	<b>0,0142</b>	-32%	
Verão 2019	1	806	29,4	67	4,44	2,76	1,68	0,0833	61%	7,33	3,25	4,08	<b>0,0156</b>	7,33	3,25	4,08	<b>0,0156</b>	126%	
	2	994	30,4	69	2,99	1,63	1,36	<b>0,0182</b>	83%	6,77	3,64	3,13	<b>0,0010</b>	6,77	3,64	3,13	<b>0,0010</b>	86%	
	7	793	29,5	89	6,05	0,96	5,09	<b>0,0002</b>	530%	6,48	3,40	3,08	<b>0,0056</b>	6,48	3,40	3,08	<b>0,0056</b>	91%	
	14	908	29,8	71	3,14	2,27	0,87	0,0989	38%	11,44	5,61	5,83	<b>&lt;0,0001</b>	11,44	5,61	5,83	<b>&lt;0,0001</b>	104%	
<b>14:00h</b>																			
	0	291	28,3	39	8,82	6,14	2,68	0,0592	44%	9,45	8,60	0,85	0,5518	9,45	8,60	0,85	0,5518	10%	
	1	1341	29,0	48	6,57	3,54	3,03	0,0874	86%	7,57	4,46	3,11	0,0504	7,57	4,46	3,11	0,0504	70%	
Outono 2018	2	866	26,2	56	6,56	5,61	0,95	0,3195	17%	8,22	4,55	3,67	<b>0,0025</b>	8,22	4,55	3,67	<b>0,0025</b>	81%	
	7	1050	26,5	49	5,73	3,77	1,96	0,2807	52%	5,75	4,75	1,00	0,4124	5,75	4,75	1,00	0,4124	21%	
	22	1160	26,5	66	4,55	3,16	1,39	0,1130	44%	6,64	5,94	0,70	0,6937	6,64	5,94	0,70	0,6937	12%	
	0	453	25,3	83	2,59	1,99	0,60	0,6737	30%	10,39	9,89	0,50	0,7573	10,39	9,89	0,50	0,7573	5%	
Verão 2019	1	917	27,5	91	4,64	1,03	3,61	<b>0,0016</b>	350%	5,73	2,19	3,54	<b>0,0276</b>	5,73	2,19	3,54	<b>0,0276</b>	162%	
	2	1209	34,2	52	2,76	0,76	2,00	<b>0,0026</b>	263%	4,76	0,79	3,97	<b>0,0007</b>	4,76	0,79	3,97	<b>0,0007</b>	505%	
	7	1276	37,0	46	3,65	1,01	2,64	<b>0,0314</b>	261%	5,19	2,67	2,52	<b>0,0320</b>	5,19	2,67	2,52	<b>0,0320</b>	94%	
	14	618	28,1	83	3,66	2,16	1,50	<b>0,0137</b>	69%	7,99	4,58	3,41	<b>0,0013</b>	7,99	4,58	3,41	<b>0,0013</b>	74%	

#### 4.4.2. Condutância estomática ( $g_s$ )

Ao se comparar a tabela 13 e as figuras 7 e 8, com as figuras 9 e 10 e tabela 14, verifica-se que os maiores valores de  $A$  das mudas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP, quando comparadas com as mudas SFP, foram associados com valores de  $g_s$  maiores. No outono de 2018, nestas duas espécies, o FPCP incrementou em até 855% os valores de  $g_s$  nas mudas de *C. arabica* às 14:00h, no segundo dia de exposição ao pleno sol.

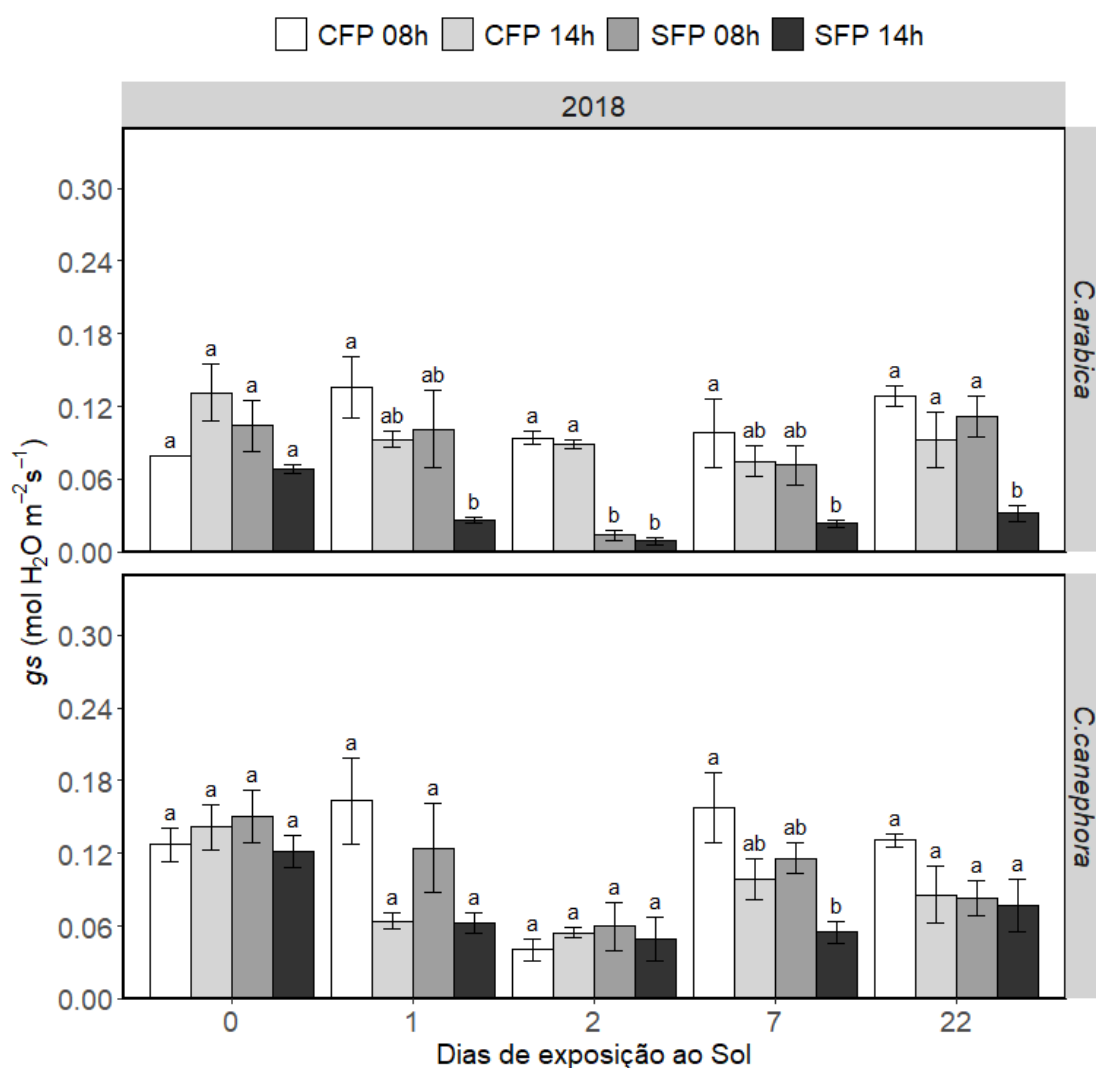


Figura 9 – Condutância estomática ( $g_s$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol e dois horários diurnos (8:00 e 14:00 horas).

No verão de 2019, a maior incidência de radiação solar com valores de RFA em torno de  $2000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabela 7) foi seguida de valores de temperatura do ar de at\u00e9  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  (Tabela 14). A elevada temperatura reduziu a condut\u00e2ncia estom\u00e1tica (Figura 10). Nessas condi\u00e7\u00f5es, foi observado que nas mudas do tratamento SFP, houve folhas com clorose e queima foliar [escaldadura (Ap\u00eandice 14)].

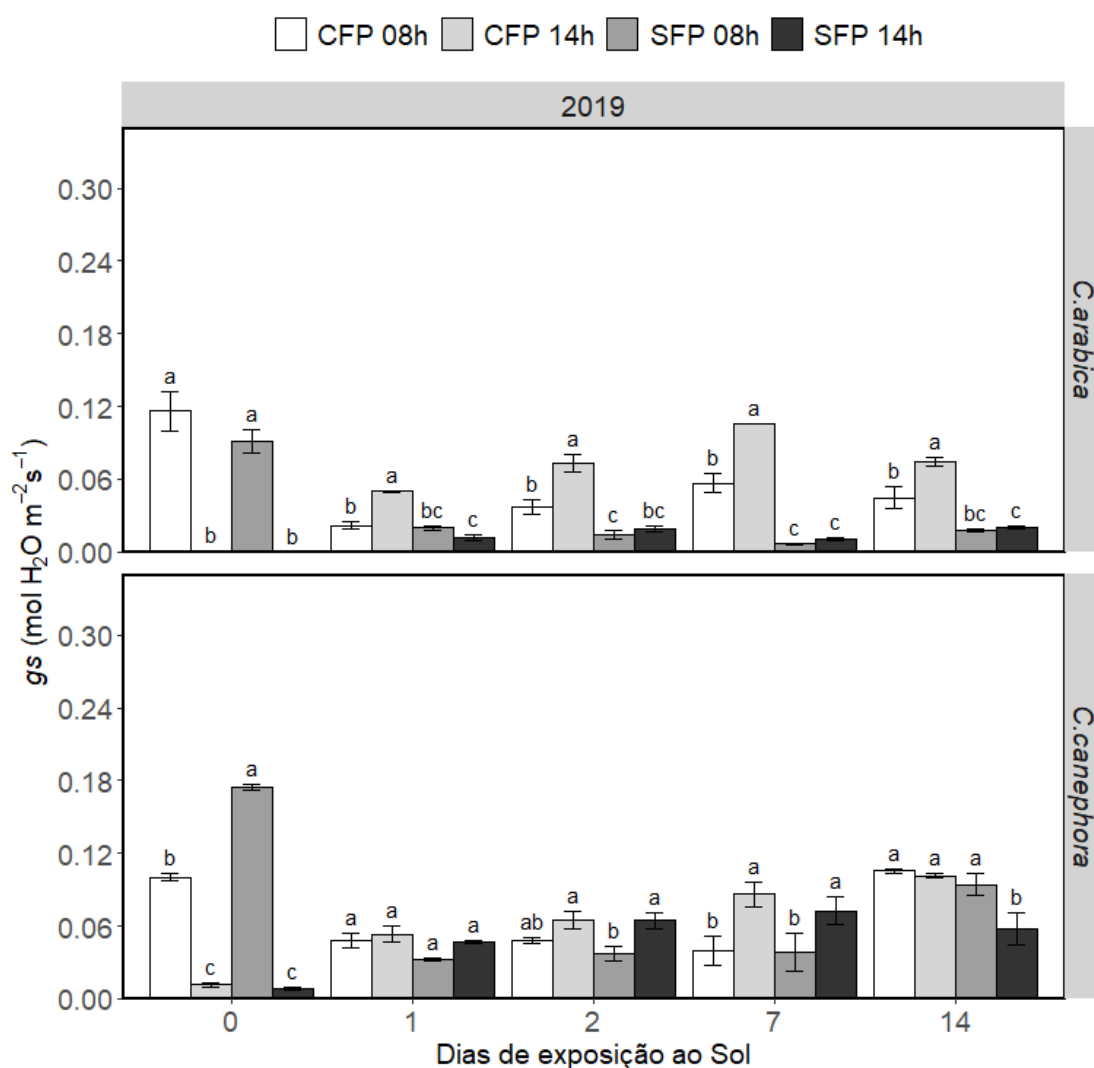


Figura 10 - Condut\u00e2ncia estom\u00e1tica ( $g_s$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no ver\u00e3o de 2019. As colunas s\u00e3o os valores m\u00e9dios e a barra de erro \u00e9 dada pelo erro estat\u00edstico da m\u00e9dia. Letras diferentes indicam diferen\u00e7as significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de part\u00edculas (CFP) e sem filme de part\u00edculas (SFP) em um mesmo dia de exposi\u00e7\u00e3o ao pleno sol e dois hor\u00e1rios diurnos (8:00 e 14:00 horas).

No outono de 2018, no horário das 08:00h, no segundo dia de exposição ao pleno sol e sob RFA de até 594  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram valores  $g_s$  de 0,094  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e este valor foi maior em 583%, do que as plantas que não receberam o FPCP. As plantas cultivadas SFP tiveram  $g_s$  de 0,014  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabela 14). Nesta mesma estação, no horário das 14:00h, e sob RFA de até 1341  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP, quando comparadas com as mudas do tratamento SFP, tiveram  $g_s$  maior em 885%, 281% e 186%, nos dias 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. As mudas de *C. canephora* cultivadas no tratamento CFP, no horário das 08:00h e das 14:00h, embora tiveram valores de  $g_s$  maior, não houve diferenças estatísticas.

No verão de 2019, no horário das 08:00h e sob RFA de até 994  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* com o FPCP aplicado na superfície das folhas tiveram  $g_s$  de 0,374, 0,057 e 0,045  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos dias 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente (Figura 10). Quando comparados aos valores das plantas SFP, estes valores de  $g_s$  foram maiores em 2444%, 826% e 119%. Nos dias 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, as mudas do tratamento SFP tiveram os valores de  $g_s$  de 0,015, 0,006 e 0,020  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Desta maneira, o FPCP contribuiu para uma maior condutância estomática de 0,359, 0,051 e 0,024  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabela 14). No horário das 14:00h e sob RFA de até 1276  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram  $g_s$  de 0,050, 0,074, 0,105 e 0,075  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol. Estes valores foram maiores em 308%, 281%, 848% e 273%, do que as mudas SFP, as quais tiveram  $g_s$  de 0,012, 0,019, 0,011 e 0,020  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Sendo assim, o FPCP contribuiu para uma maior abertura estomática em 0,038, 0,054, 0,094 e 0,055  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Já as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP, quando comparada as mudas que não receberam o FPCP, no horário das 08:00h, mesmo tendo valores de  $g_s$  aparentemente maior em 53%, 30%, 2% e 12%, respectivamente nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, estes valores não foram estatisticamente diferentes a 5%. No horário das 14:00h e sob RFA de até 1276  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. canephora* com o FPCP tiveram os valores de  $g_s$  maior em 10%, 1%, 19% e 76%, respectivamente nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, contudo, houve diferença estatística a 5% somente no dia 14.

Tabela 14 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T_{\text{ar}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (UR, %), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e ver\~ao de 2019. Os valores de  $g_s$  s\~ao apresentados nas colunas CFP (com filme de part\~ıculas) e SFP (sem filme de part\~ıculas) no hor\~ario das 08:00h e 14:00h. O  $\Delta$  \u00e9 a subtra\~cao de CFP por SFP. Valores de *P-value* menores que 0,0500 indicam diferen\~cas significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A raz\~ao CFP/SFP mostra a intensidade de aumento (%) do  $g_s$  causada pela aplica\~cao do FPCP em rela\~cao ao tratamento SFP.

08:00h	Vari\~aveis clim\~aticas					Coffea arabica					Coffea canephora							
	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$g_s$ (CFP)	$g_s$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	$g_s$ (CFP)	$g_s$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	$g_s$ (CFP)	$g_s$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
	54	17,5	97	0,079	0,104	-0,025	0,3983	-24%	0,127	0,150	-0,023	0,2487	0,127	0,150	-0,023	0,2487	-15%	
1	243	19,4	99	0,133	0,101	0,032	0,3200	32%	0,164	0,124	0,040	0,2732	0,164	0,124	0,040	0,2732	32%	
2	594	22,2	79	0,094	0,014	0,081	<b>&lt;0,0001</b>	583%	0,041	0,060	-0,019	0,3236	0,041	0,060	-0,019	0,3236	-32%	
7	531	20,7	96	0,100	0,072	0,028	0,1975	39%	0,157	0,116	0,041	0,1366	0,157	0,116	0,041	0,1366	35%	
22	517	22,0	91	0,124	0,112	0,012	0,5145	11%	0,131	0,083	0,048	0,1106	0,131	0,083	0,048	0,1106	57%	
0	385	24,1	85	0,116	0,091	0,025	0,1016	27%	0,100	0,174	-0,074	<b>&lt;0,0001</b>	0,100	0,174	-0,074	<b>&lt;0,0001</b>	-43%	
1	806	29,4	67	0,022	0,019	0,003	0,3960	13%	0,049	0,032	0,017	0,0795	0,049	0,032	0,017	0,0795	53%	
2	994	30,4	69	0,374	0,015	0,359	<b>0,0095</b>	2444%	0,049	0,037	0,011	0,2499	0,049	0,037	0,011	0,2499	30%	
7	793	29,5	89	0,057	0,006	0,051	<b>&lt;0,0001</b>	826%	0,040	0,039	0,001	0,9377	0,040	0,039	0,001	0,9377	2%	
14	908	29,8	71	0,045	0,020	0,024	<b>0,0150</b>	119%	0,105	0,094	0,011	0,3915	0,105	0,094	0,011	0,3915	12%	
14:00h	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$g_s$ (CFP)	$g_s$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	$g_s$ (CFP)	$g_s$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	$g_s$ (CFP)	$g_s$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
	291	28,3	39	0,131	0,069	0,063	<b>0,0412</b>	91%	0,141	0,121	0,020	0,2979	0,141	0,121	0,020	0,2979	17%	
1	1341	29,0	48	0,096	0,019	0,077	0,0570	397%	0,064	0,063	0,002	0,9614	0,064	0,063	0,002	0,9614	3%	
2	866	26,2	56	0,088	0,009	0,079	<b>&lt;0,0001</b>	885%	0,055	0,050	0,005	0,7951	0,055	0,050	0,005	0,7951	10%	
7	1050	26,5	49	0,075	0,020	0,055	<b>0,0210</b>	281%	0,098	0,055	0,044	0,1214	0,098	0,055	0,044	0,1214	80%	
22	1160	26,5	66	0,092	0,032	0,060	<b>0,0043</b>	186%	0,086	0,077	0,009	0,7403	0,086	0,077	0,009	0,7403	11%	
0	453	25,3	83	0,001	0,000	0,001	0,9632	310%	0,011	0,009	0,003	0,3650	0,011	0,009	0,003	0,3650	30%	
1	917	27,5	91	0,050	0,012	0,038	<b>&lt;0,0001</b>	308%	0,053	0,048	0,005	0,5524	0,053	0,048	0,005	0,5524	10%	
2	1209	34,2	52	0,074	0,019	0,054	<b>&lt;0,0001</b>	281%	0,065	0,065	0,000	0,9677	0,065	0,065	0,000	0,9677	1%	
7	1276	37,0	46	0,105	0,011	0,094	<b>&lt;0,0001</b>	848%	0,086	0,073	0,014	0,2464	0,086	0,073	0,014	0,2464	19%	
14	618	28,1	83	0,075	0,020	0,055	<b>&lt;0,0001</b>	273%	0,102	0,058	0,044	<b>0,0018</b>	0,102	0,058	0,044	<b>0,0018</b>	76%	

#### 4.4.3. Transpiração ( $E$ )

O processo transpiratório é responsável por regular a temperatura do vegetal e, dependendo dos valores do  $DPV_{\text{folha-ar}}$ , pode ser diretamente afetado por  $g_s$ . Em condições de elevada radiação solar e altas temperaturas, como observado neste experimento, os estômatos podem se fechar total ou parcialmente, e o CWSI pode seguir a mesma resposta, incrementando o valor (ver item 4.2.2. e item 4.3.2). Durante o outono de 2018, as mudas de *C. arabica* protegida com o FPCP tiveram transpiração maior em até 683% com relação ao tratamento SFP, no horário das 14:00h (Figura 11).

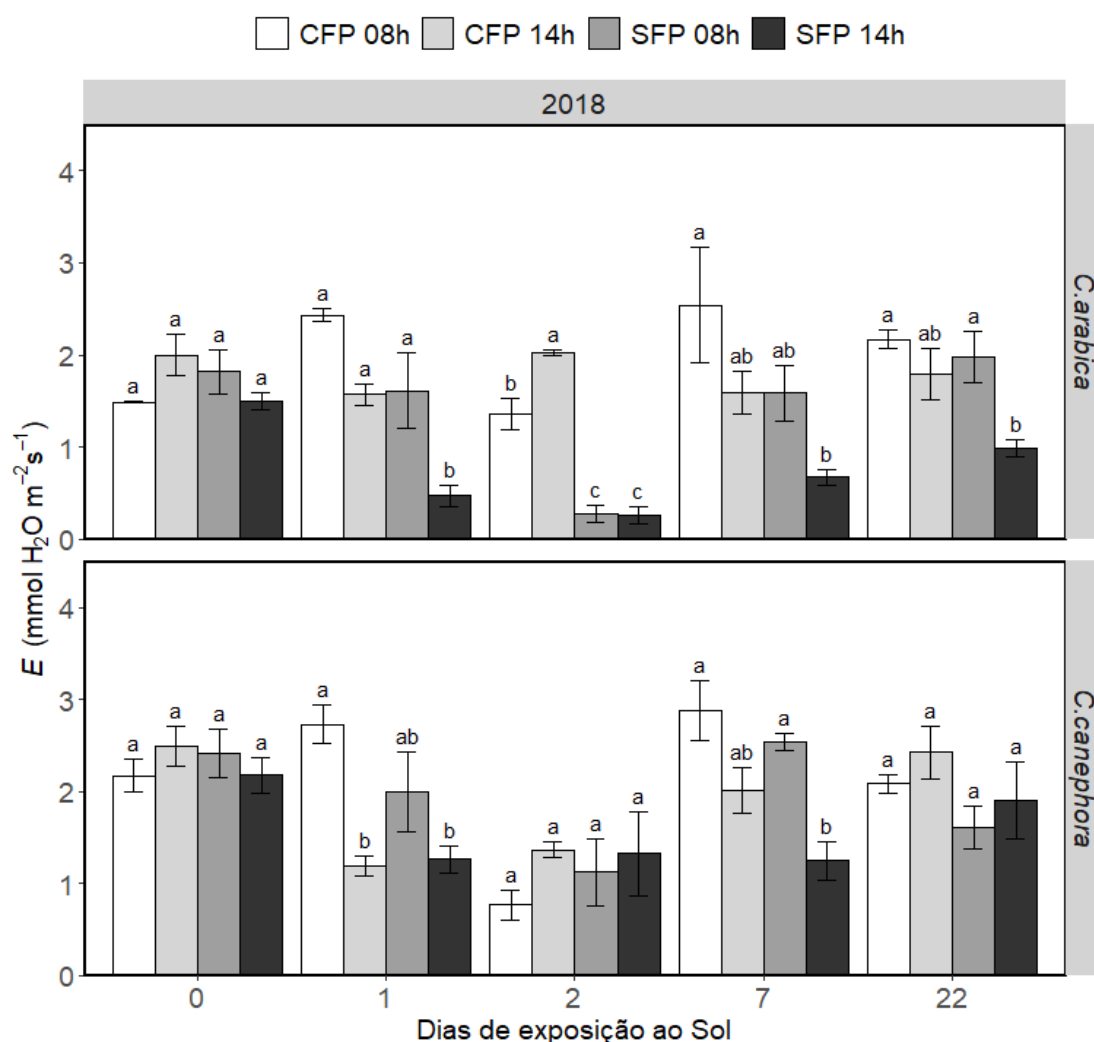


Figura 11 – Transpiração ( $E$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol e dois horários diurnos (8:00 e 14:00 horas).



No verão de 2019, às 14:00h, no primeiro dia de exposição ao pleno sol, as mudas de *C. arabica* cultivadas CFP, tiveram valores de  $E$  maior em até 3768%, com relação ao tratamento SFP (Figura 12, Tabela 15). Já as mudas de *C. canephora* cultivadas CFP tiveram valores de  $E$  44% maior em relação ao tratamento SFP, aos 14 dias de exposição ao pleno sol, no horário das 14:00h (Figura 12). Os maiores valores de  $E$  nas mudas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com FPCP causaram uma redução na temperatura foliar (Ver item 4.2.1)

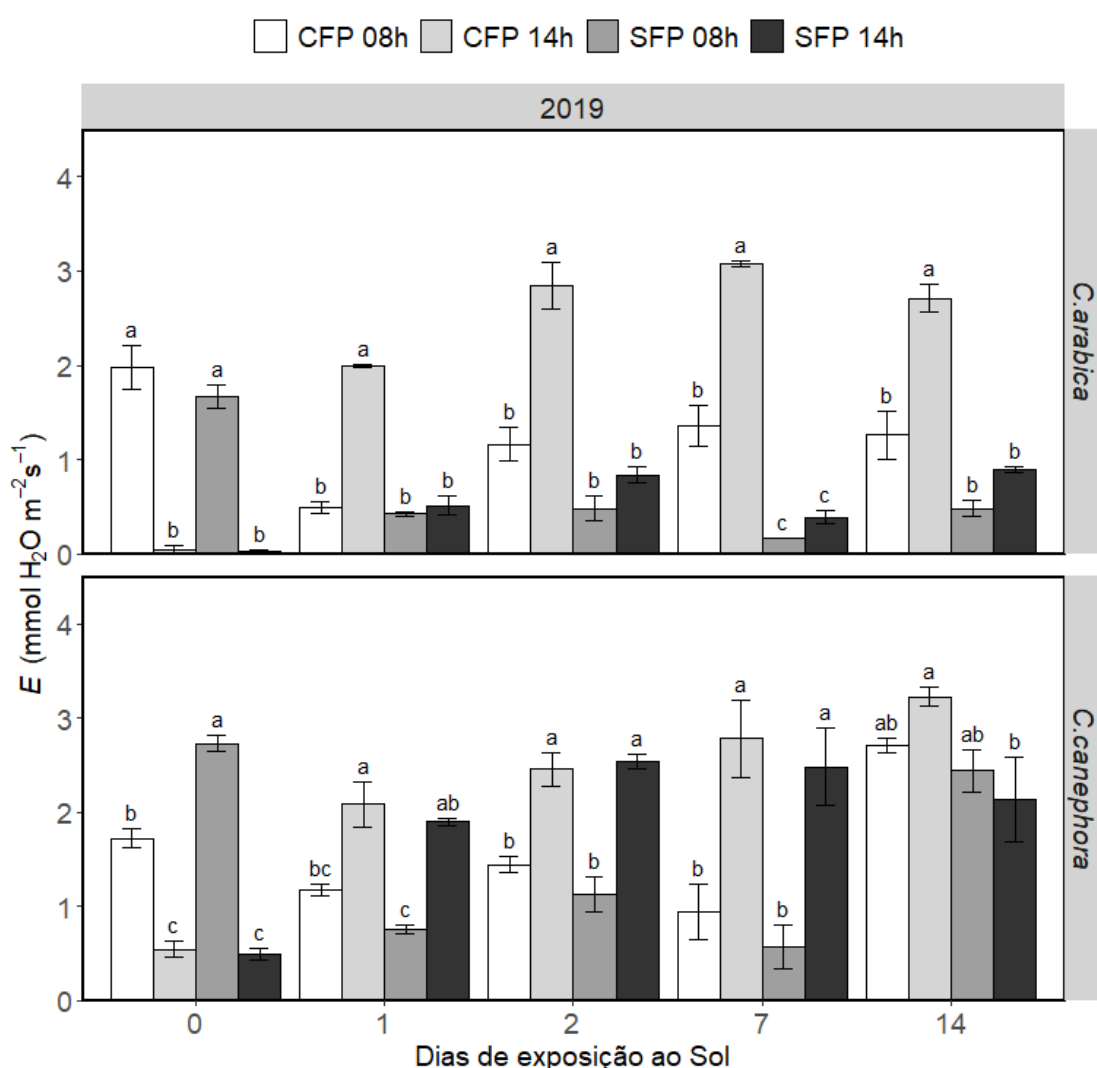


Figura 12 - Transpiração ( $E$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol e dois horários diurnos (8:00 e 14:00 horas).

No outono de 2018, no horário das 08:00h e sob RFA de até 594  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram valores de  $E$  de 2,34, 1,36, 2,54 e 2,08  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos dias 1, 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Contudo, quando comparadas as mudas SFP, só houve diferenças estatísticas a 5% no segundo dia de exposição ao pleno sol (Tabela 15). No horário das 14:00h e sob RFA de até 1341  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* cultivadas com o FPCP na superfície de suas folhas, tiveram valores de  $E$  maior em 264%, 683% e 76%, em relação ao tratamento SFP, nos dias 1, 2, e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Nas mudas de *C. canephora*, horário das 08:00h, não houve diferenças estatísticas a 5% entre os tratamentos. No horário das 14:00h, as mudas de *C. canephora* cultivadas com o FPCP tiveram valores de  $E$  de 1,37, 2,01 e 2,42  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos dias 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Nesta mesma estação, horário das 14:00h, as mudas de *C. canephora* cultivadas sem o FPCP tiveram valores de  $E$  de 1,32, 1,25 e 1,91  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Houve diferenças estatísticas a 5% no sétimo dia de exposição ao sol, com o tratamento CFP tendo valores de  $E$  maior em 61% quando comparadas as mudas do tratamento SFP.

No verão de 2019, no horário das 08:00h e sob RFA de até 994  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , quando comparadas as mudas do tratamento SFP, as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram valores de  $E$  de 1,16, 1,36 e 1,26  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente nos dias 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, estes valores foram maiores em 139%, 1039% e 160%, e tiveram os valores de  $E$  de 0,49, 0,12 e 0,49  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente nos dias 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol. Este fato mostra que o FPCP aumentou os valores de  $E$  em 0,68, 1,24 e 0,78  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabela 15). No horário das 14:00h e sob RFA de até 1276  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. arabica* do tratamento CFP tiveram valores de  $E$  de 1,99, 2,85, 3,06 e 2,71  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Quando comparada as mudas SFP, às mudas com o FPCP na superfície foliar tiveram  $E$  maior em 3768%, 239%, 622% e 203%. As plantas SFP tiveram  $E$  de 0,05, 0,84, 0,42 e 0,89  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , ou seja, o FPCP contribuiu para um valor de  $E$  maior em 1,94, 2,01, 2,64 e 1,81  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Já no horário das 14:00h e sob RFA de até 1276  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de  $E$  em 44% maior que o tratamento SFP somente no 14<sup>o</sup> dia de exposição ao pleno sol.

Tabela 15 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA,  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T_{\text{ar}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (UR, %), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. Os valores de  $E$  são apresentados nas colunas CFP (com filme de partículas) e SFP (sem filme de partículas) no horário das 08:00h e 14:00h. O  $\Delta$  é a subtração de CFP por SFP. Valores de  $P$ -value menores que 0,0500 indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A razão CFP/SFP mostra a intensidade de aumento (%) do  $E$  causada pela aplicação do FPCP em relação ao tratamento SFP

		Variáveis climáticas						Coffea arabica						Coffea canephora					
08:00h	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$E$ (CFP)	$E$ (SFP)	$\Delta$	$P$ -Value	CFP/SFP	$E$ (CFP)	$E$ (SFP)	$\Delta$	$P$ -Value	CFP/SFP	$E$ (CFP)	$E$ (SFP)	$\Delta$	$P$ -Value	CFP/SFP	
	0	54	17,5	97	1,49	1,82	-0,33	0,2661	-18%	2,17	2,41	-0,24	0,3010	2,17	2,41	-0,24	0,3010	-10%	
	1	243	19,4	99	2,34	1,61	0,73	0,0818	45%	2,73	2,00	0,73	0,0705	2,73	2,00	0,73	0,0705	37%	
Outono 2018	2	594	22,2	79	1,36	0,28	1,07	<b>&lt;0,0001</b>	381%	0,77	1,12	-0,35	0,3836	0,77	1,12	-0,35	0,3836	-31%	
	7	531	20,7	96	2,54	1,59	0,95	0,0679	60%	2,88	2,54	0,34	0,3531	2,88	2,54	0,34	0,3531	13%	
	22	517	22,0	91	2,08	1,97	0,11	0,6642	6%	2,08	1,60	0,48	0,2444	2,08	1,60	0,48	0,2444	30%	
	0	385	24,1	85	1,98	1,66	0,32	0,1157	19%	1,72	2,73	-1,01	<b>&lt;0,0001</b>	1,72	2,73	-1,01	<b>&lt;0,0001</b>	-37%	
	1	806	29,4	67	0,49	0,41	0,08	0,4208	20%	1,18	0,76	0,42	0,1472	1,18	0,76	0,42	0,1472	55%	
Verão 2019	2	994	30,4	69	1,16	0,49	0,68	<b>0,0149</b>	139%	1,41	1,12	0,29	0,1708	1,41	1,12	0,29	0,1708	26%	
	7	793	29,5	89	1,36	0,12	1,24	<b>0,0004</b>	1039%	0,95	0,83	0,12	0,7109	0,95	0,83	0,12	0,7109	14%	
	14	908	29,8	71	1,26	0,49	0,78	<b>0,0127</b>	160%	2,71	2,44	0,27	0,3504	2,71	2,44	0,27	0,3504	11%	
14:00h	RFA	$T_{\text{ar}}$	UR	$E$ (CFP)	$E$ (SFP)	$\Delta$	$P$ -Value	CFP/SFP	$E$ (CFP)	$E$ (SFP)	$\Delta$	$P$ -Value	CFP/SFP	$E$ (CFP)	$E$ (SFP)	$\Delta$	$P$ -Value	CFP/SFP	
	0	291	28,3	39	2,00	1,50	0,50	0,0833	33%	2,50	2,17	0,33	0,1737	2,50	2,17	0,33	0,1737	15%	
	1	1341	29,0	48	1,62	0,44	1,17	<b>0,0105</b>	264%	1,19	1,26	-0,07	0,8356	1,19	1,26	-0,07	0,8356	-6%	
Outono 2018	2	866	26,2	56	2,08	0,27	1,81	<b>&lt;0,0001</b>	683%	1,37	1,32	0,05	0,8356	1,37	1,32	0,05	0,8356	4%	
	7	1050	26,5	49	1,59	0,67	0,92	0,0756	137%	2,01	1,25	0,76	<b>0,0428</b>	2,01	1,25	0,76	<b>0,0428</b>	61%	
	22	1160	26,5	66	1,85	1,05	0,80	<b>0,0138</b>	76%	2,42	1,91	0,51	0,2401	2,42	1,91	0,51	0,2401	27%	
	0	453	25,3	83	0,05	0,03	0,02	0,9064	78%	0,55	0,49	0,06	0,6579	0,55	0,49	0,06	0,6579	11%	
	1	917	27,5	91	1,99	0,05	1,94	<b>&lt;0,0001</b>	3768%	2,08	1,90	0,18	0,4782	2,08	1,90	0,18	0,4782	9%	
Verão 2019	2	1209	34,2	52	2,85	0,84	2,01	<b>&lt;0,0001</b>	239%	2,43	2,53	-0,10	0,6860	2,43	2,53	-0,10	0,6860	-4%	
	7	1276	37,0	46	3,06	0,42	2,64	<b>&lt;0,0001</b>	622%	2,78	2,48	0,30	0,3135	2,78	2,48	0,30	0,3135	12%	
	14	618	28,1	83	2,71	0,89	1,81	<b>&lt;0,0001</b>	203%	3,08	2,14	0,94	<b>0,0087</b>	3,08	2,14	0,94	<b>0,0087</b>	44%	

#### 4.4.4. Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA)

No outono de 2018, e no horário das 08:00h, as mudas de *C. arabica* do tratamento SFP tiveram valores da EIUA maior em 6,29% e 32,82% no horário das 14:00h, quando comparadas as plantas que receberam a aplicação do FPCP (Figura 13). Já no verão de 2019, quando comparadas as mudas cultivadas CFP, as mudas de *C. arabica* cultivadas no tratamento SFP, tiveram EIUA maior em 11,30% no horário das 08:00h e 36,71% no horário das 14:00h.

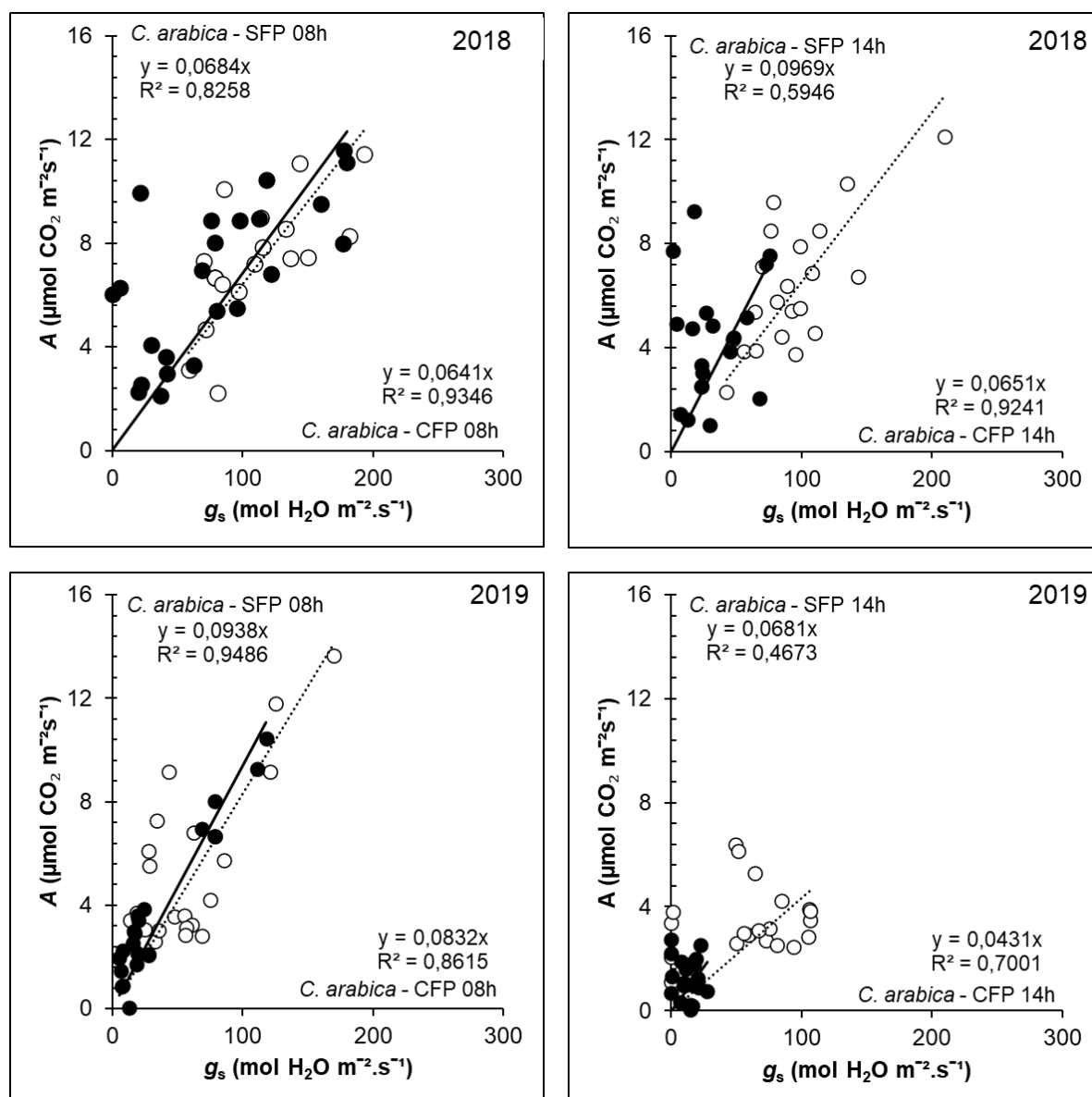


Figura 13 – Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) apresentada a partir da dispersão da fotossíntese ( $A$ ) versus a condutância estomática ( $g_s$ ) em mudas de *C. arabica*, às 08:00h (gráficos a esquerda) e às 14:00h (gráficos a direita) nos anos de 2018 e 2019, diferenciando tratamentos com filme de partículas (CFP, círculos com preenchimento branco) e sem filme de partículas (SFP, círculos pretos).

No outono de 2018, no horário das 08:00h, quando comparadas as plantas que receberam a aplicação do FPCP as mudas de *C. canephora* SFP tiveram uma EIUA maior em 6,29%, e 6,43% menor no horário das 14:00h (Figura 14). Já no verão de 2019, no horário das 08:00h, e em relação as mudas do tratamento SFP, as mudas de *C. canephora* CFP tiveram EIUA maior em 58,09%, e 88,78% no horário das 14:00h.

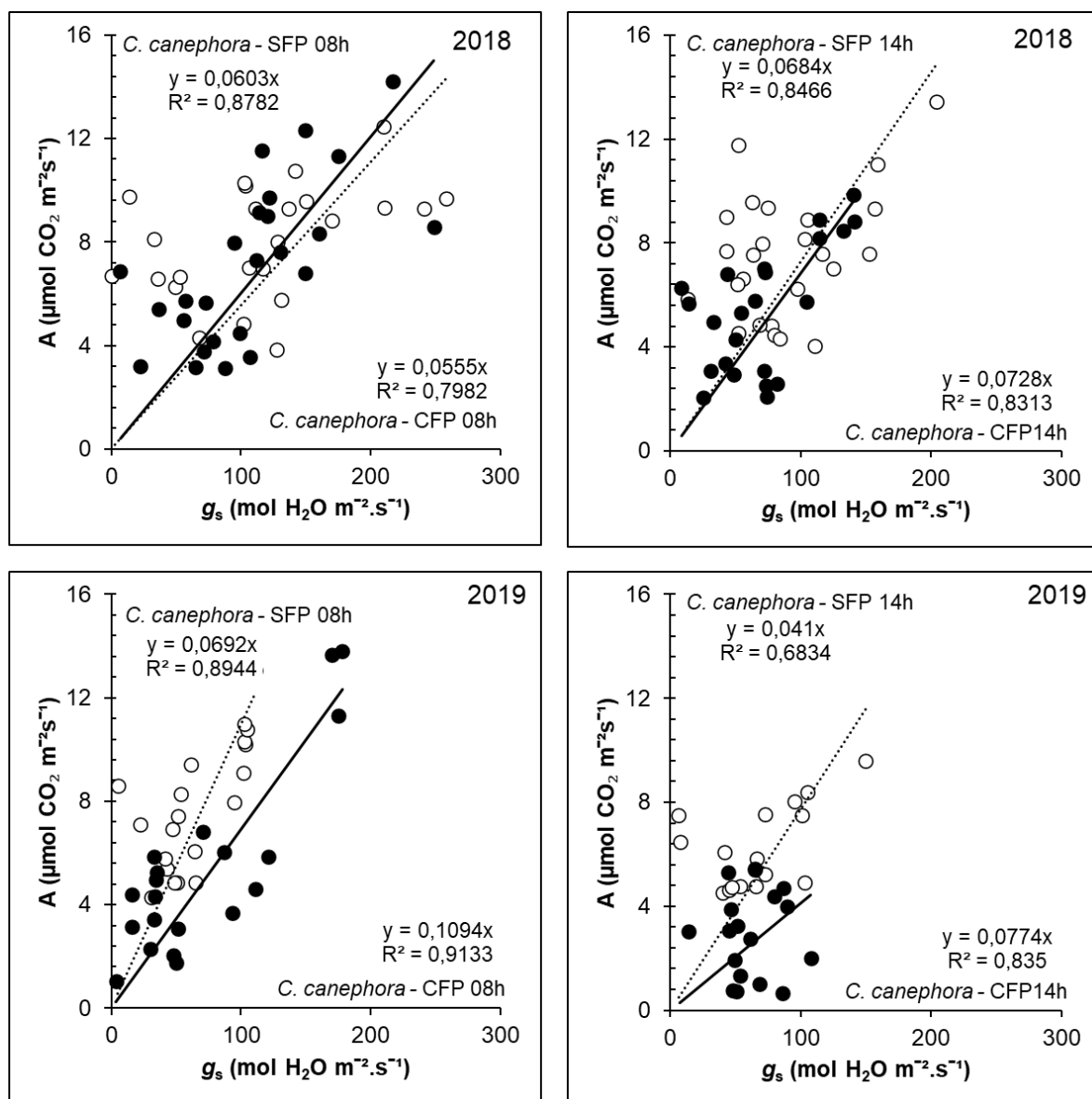


Figura 14 – Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) apresentada a partir da dispersão da fotossíntese ( $A$ ) versus a condutância estomática ( $g_s$ ) em mudas de *C. canephora*, às 08:00h (gráficos a esquerda) e às 14:00h (gráficos a direita) nos anos de 2018 e 2019, diferenciando tratamentos com filme de partículas (CFP, círculos com preenchimento branco) e sem filme de partículas (SFP, círculos pretos).

#### 4.4.5. Eficiência do uso da água (EUA)

No outono de 2018, no horário das 08:00h, e quando comparadas as plantas do tratamento FPCP, as mudas de *C. arabica* SFP tiveram maiores valores da EUA em 12,63%, e, no horário das 14:00h, foi 24,86% maior (Figura 15). Já no verão de 2019, no horário das 08:00h, e quando comparadas as plantas que receberam a aplicação do FPCP, as mudas de *C. arabica* SFP tiveram valores da EUA maiores em 21,60%, e maiores em 16,89% no horário das 14:00h.

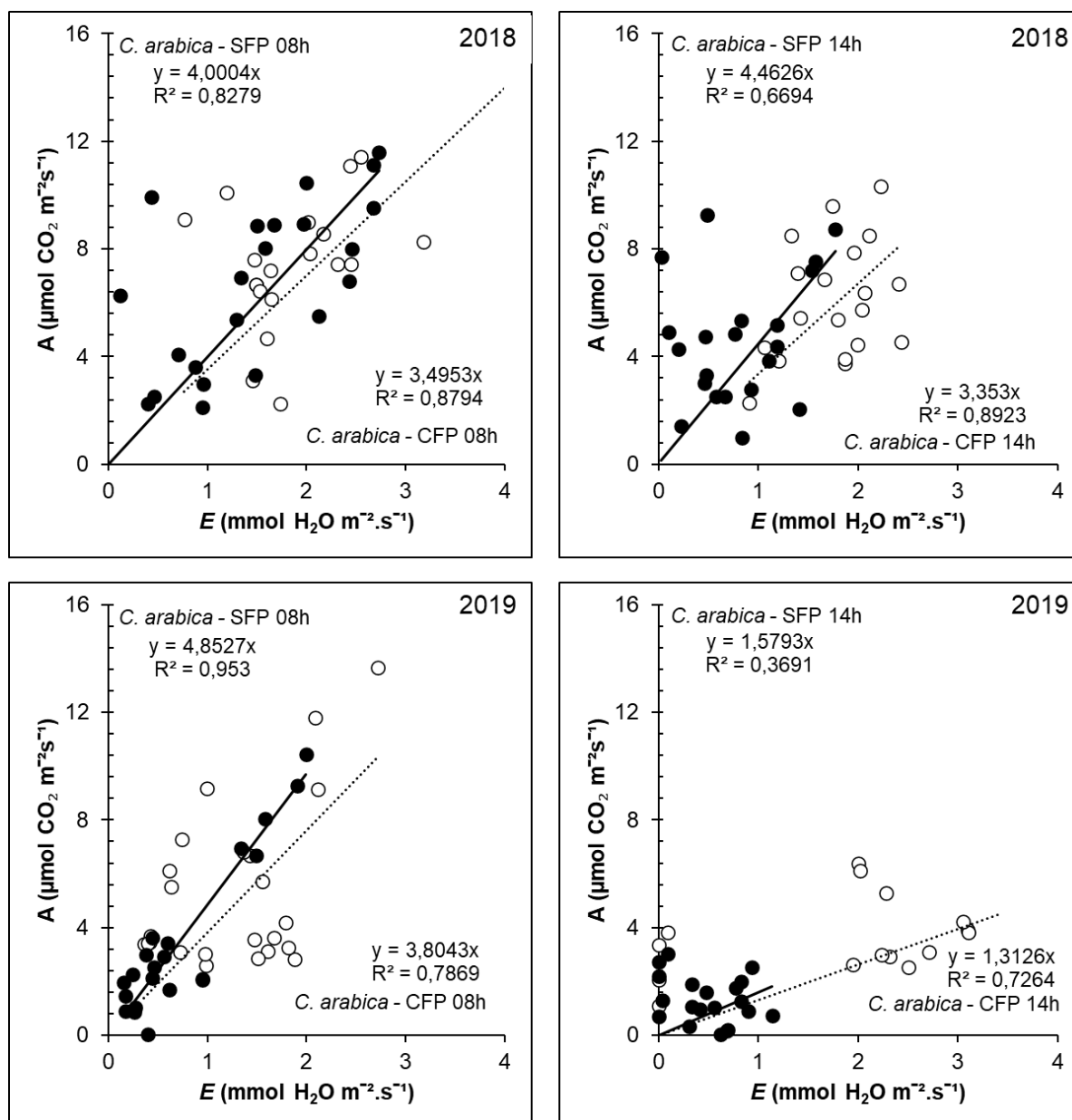


Figura 15 – Eficiência do uso da água (EUA) apresentada a partir da dispersão da fotossíntese (A) versus a condutância estomática (E) em mudas de *C. arabica*, às 08:00h (gráficos a esquerda) e às 14:00h (gráficos a direita) nos anos de 2018 e 2019, diferenciando tratamentos com filme de partículas (CFP, círculos com preenchimento branco) e sem filme de partículas (SFP, círculos pretos).

No outono de 2018, no horário das 08:00h, quando comparadas as plantas que receberam a aplicação do FPCP, as mudas de *C. canephora* SFP tiveram EUA aparentemente maior em 2,70% e no horário das 14:00h foi menor em 17,31% (Figura 16). Já no verão de 2019, no horário das 08:00h, quando comparadas as plantas que não receberam a aplicação do FPCP, as mudas de *C. canephora* CFP tiveram EUA maior em 31,64% e maior em 79,64% no horário das 14:00h.

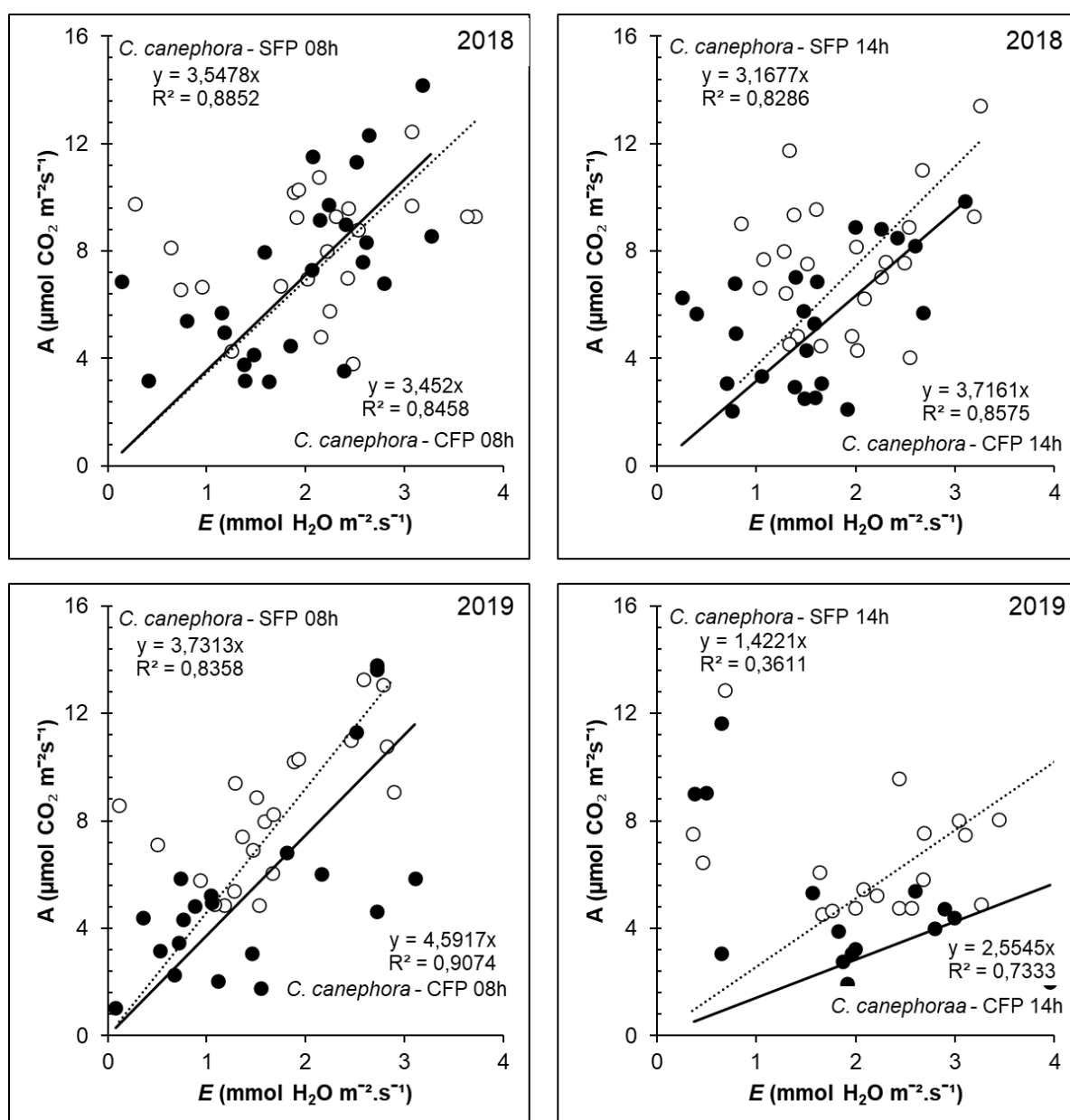


Figura 16 - Eficiência do uso da água (EUA) apresentada a partir da dispersão da fotossíntese ( $A$ ) versus a condutância estomática ( $E$ ) em mudas de *C. canephora*, às 08:00h (gráficos a esquerda) e às 14:00h (gráficos a direita) nos anos de 2018 e 2019, diferenciando tratamentos com filme de partículas (CFP, círculos com preenchimento branco) e sem filme de partículas (SFP, círculos pretos).

#### 4.5. Emissão da fluorescência da clorofila

##### 4.5.1. Rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ )

As mudas do tratamento FPCP tiveram valores de  $F_v/F_m$  maior em até 952% em *C. arabica* e 810% em *C. canephora*, quando comparadas com as mudas do tratamento SFP (Figura 17 e Tabela 16). A relação  $F_v/F_m$  está relacionada com a capacidade com que o fóton absorvido pelas moléculas de clorofilas reduz a molécula de quinona A.

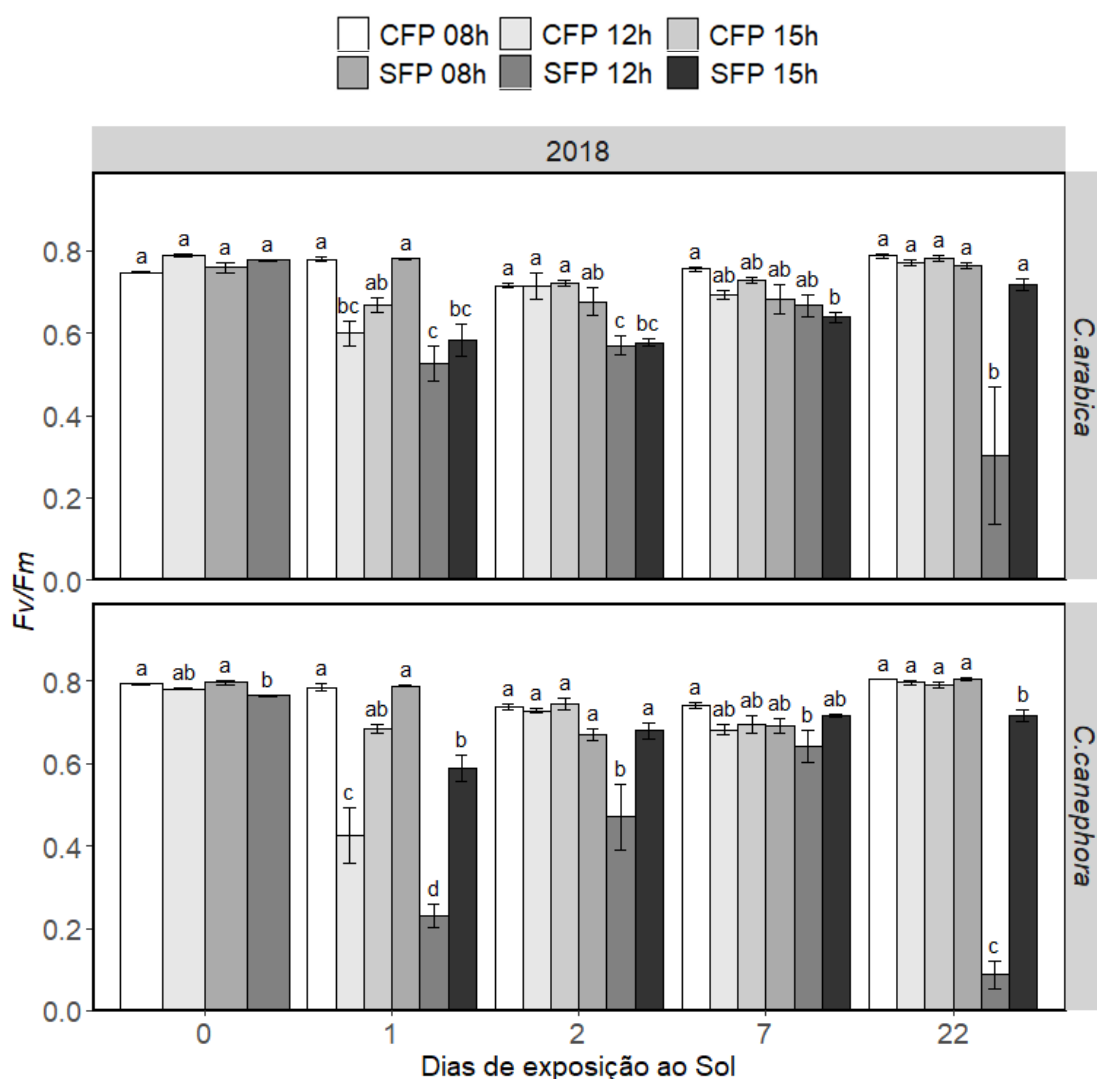


Figura 17 – Rendimento Quântico Máximo do PS II ( $F_v/F_m$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol em três horários diurnos (8:00h, 12:00h e 15:00h).



No outono de 2018, e ao meio-dia, as mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, foram transferidas de um ambiente sob cobertura sombrite com RFA de 372  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para 1752  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sob RFA em radiação solar plena. Os efeitos fotoinibitório do aparato fotossintético associados ao PSII foram registrados nas avaliações dos dias seguintes. Durante o segundo dia de exposição ao pleno sol, as plantas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP, tiveram

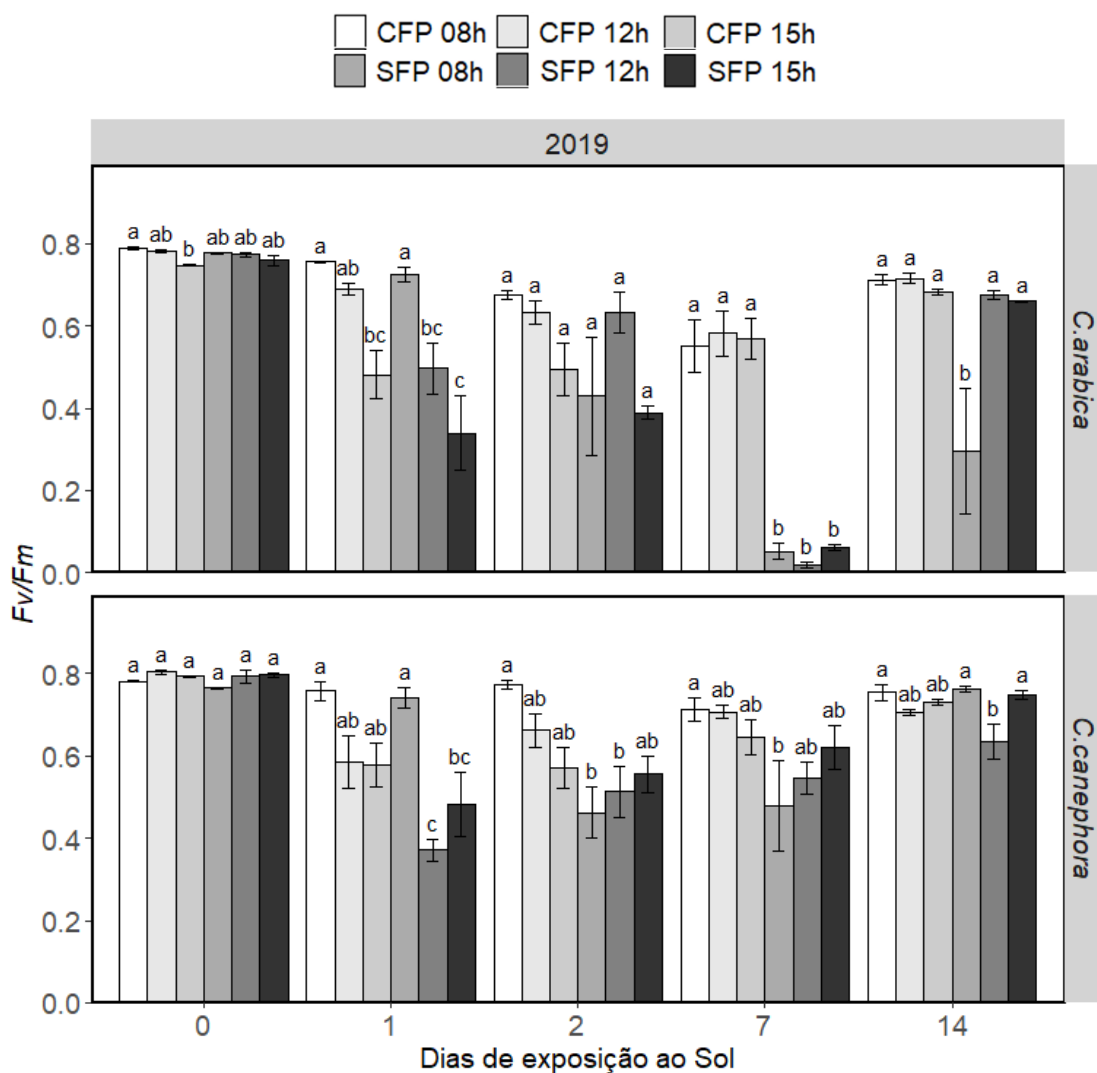


Figura 18 – Rendimento Quântico Máximo do PS II ( $F_v/F_m$ ) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol em três horários diurnos (8:00h, 12:00h e 15:00h).

valores  $F_v/F_m$  de 0,57 ao meio-dia e 0,58 às 15:00h, menor em 25% quando comparado ao tratamento CFP, que teve  $F_v/F_m$  de 0,71 e 0,72, nos respectivos horários. Durante o sétimo dia de exposição a pleno sol, as plantas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP, tiveram valores de  $F_v/F_m$  de 0,68 às 08:00h e 0,64 às 15:00h, respectivamente menor em 11% e 14% quando comparado ao tratamento CFP, que teve  $F_v/F_m$  de 0,76 e 0,73. No vigésimo segundo dia de exposição a pleno sol, o tratamento CFP teve  $F_v/F_m$  de 0,78, maior em 159% ao tratamento controle, que teve  $F_v/F_m$  de 0,30. As mudas de *C. canephora* SFP não tiveram diferenças significativas nas avaliações realizadas às 08:00h. Porém, as plantas desta espécie tiveram  $F_v/F_m$  menor em 85%, 55% e 810% em relação as plantas protegidas com o FPCP, respectivamente nos dias 1, 2 e 22 de avaliação. No horário das 15:00h, houve diferença estatística no vigésimo segundo dia de avaliação, quando as mudas de *C. canephora* SFP tiveram  $F_v/F_m$  10% menor em relação ao tratamento com FPCP.

No verão de 2019, e ao meio-dia, as mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, foram transferidas de um ambiente sob cobertura sombrite com RFA de  $574 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para  $1661 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sob RFA em radiação solar plena. No primeiro dia de exposição ao pleno sol, as plantas de *C. arabica* que não receberam a proteção do FPCP, tiveram  $F_v/F_m$  de 0,50 ao meio-dia e 0,34 às 15:00h. Quando comparado ao tratamento CFP, estes valores foram menores em 38% e 41%. No segundo dia de exposição ao pleno sol, quando comparadas as plantas que foram protegidas com o FPCP, as plantas do tratamento SFP tiveram a relação  $F_v/F_m$  menor em 59%. No sétimo dia de exposição ao pleno sol e sob RFA que alcançou  $2000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ao meio-dia, as plantas SFP tiveram  $F_v/F_m$  de 0,05, 0,02 e 0,06, respectivamente, às 08:00h, 12:00h e 15:00h. Estes valores são menores em 952%, 2835% e 824% em relação as mudas que foram protegidas com o FPCP. No primeiro dia de exposição à radiação solar plena, e as 12:00h, em comparação as plantas protegidas com o FPCP, as plantas de *C. canephora* SFP tiveram  $F_v/F_m$  58% menor. No sétimo dia, as 08:00h e 12:00h, e em comparação ao tratamento CFP, as plantas de *C. canephora* SFP tiveram  $F_v/F_m$  49% e 30% menor, respectivamente.

Tabela 16 - Rendimento quântico máximo do PSII adaptado ao escuro ( $F_v/F_m$ ) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. Os valores de  $F_v/F_m$  são apresentados nas colunas CFP (com filme de partículas) e SFP (sem filme de partículas) no horário das 08:00h, 12:00h e 15:00h. O  $\Delta$  é a subtração de CFP por SFP. Valores de *P-value* menores que 0,0500 indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A razão CFP/SFP mostra a intensidade de aumento (%) da relação  $F_v/F_m$  causada pela aplicação do FPCP em relação ao tratamento SFP.

C. arabica	08:00h					12:00h					15:00h				
	$F_v/F_m$ (CFP)	$F_v/F_m$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	$F_v/F_m$ (CFP)	$F_v/F_m$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	$F_v/F_m$ (CFP)	$F_v/F_m$ (SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
0	0,75	0,76	-0,01	0,4374	-1%	0,79	0,78	0,01	0,3880	1%	-	-	-	-	-
1	0,78	0,78	0,00	0,9944	0%	0,60	0,53	0,07	0,0814	14%	0,67	0,58	0,08	0,0503	14%
2	0,72	0,68	0,04	0,2304	6%	0,71	0,57	0,15	<b>0,0002</b>	25%	0,72	0,58	0,15	<b>0,0008</b>	25%
7	0,76	0,68	0,07	<b>0,0188</b>	11%	0,69	0,67	0,03	0,3740	4%	0,73	0,64	0,09	<b>0,0085</b>	14%
22	0,79	0,76	0,02	0,8218	3%	0,78	0,30	0,48	<b>0,0002</b>	159%	0,78	0,72	0,07	0,5542	9%
0	0,79	0,78	0,01	0,3276	1%	0,78	0,77	0,01	0,4232	1%	0,75	0,76	-0,01	0,3446	-1%
1	0,76	0,73	0,03	0,6666	4%	0,69	0,50	0,19	<b>0,0143</b>	38%	0,48	0,34	0,14	<b>0,0458</b>	41%
2	0,69	0,43	0,26	<b>0,0167</b>	59%	0,61	0,61	0,00	0,9806	0%	0,49	0,37	0,12	0,2711	32%
7	0,55	0,05	0,50	<b>&lt;0,0001</b>	952%	0,58	0,02	0,56	<b>&lt;0,0001</b>	2835%	0,57	0,06	0,51	<b>&lt;0,0001</b>	824%
14	0,71	0,30	0,42	<b>0,0008</b>	141%	0,72	0,67	0,04	0,7205	6%	0,68	0,66	0,02	0,8516	3%
<b>C. canephora</b>															
0	0,79	0,80	0,00	0,5804	-1%	0,78	0,77	0,02	<b>0,0183</b>	2%	-	-	-	-	-
1	0,78	0,79	0,00	0,9412	-1%	0,43	0,23	0,20	<b>0,0004</b>	85%	0,68	0,59	0,10	0,0659	16%
2	0,74	0,67	0,07	0,2328	10%	0,73	0,47	0,26	<b>0,0002</b>	55%	0,74	0,68	0,06	0,2511	10%
7	0,74	0,69	0,05	0,1035	8%	0,68	0,64	0,04	0,1835	6%	0,69	0,72	-0,02	0,4462	-3%
22	0,81	0,81	0,00	0,9722	0%	0,80	0,09	0,71	<b>0,0010</b>	810%	0,79	0,72	0,08	<b>0,0018</b>	10%
0	0,78	0,77	0,02	0,1934	2%	0,80	0,79	0,01	0,3935	1%	0,79	0,80	0,00	0,7625	-1%
1	0,76	0,74	0,01	0,8376	2%	0,59	0,37	0,22	<b>0,0029</b>	58%	0,58	0,48	0,10	0,1446	20%
2	0,77	0,46	0,31	<b>0,0004</b>	67%	0,66	0,51	0,15	<b>0,0416</b>	29%	0,57	0,56	0,02	0,8070	3%
7	0,71	0,48	0,24	<b>0,0050</b>	49%	0,71	0,55	0,16	<b>0,0426</b>	30%	0,64	0,62	0,02	0,7447	4%
14	0,75	0,76	-0,01	0,7666	-1%	0,71	0,63	0,07	<b>0,0427</b>	11%	0,73	0,75	-0,02	0,5861	-2%

#### 4.5.2. Índice Fotossintético (PI)

No outono de 2018, no horário das 08:00h, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP, as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram valores de PI maior em 48%, 70% e 32%, respectivamente nos dias 2, 7 e 22 de exposição ao pleno sol. No verão de 2019, no horário das 15:00h, os valores de PI maior em 50%, 137% e 57%, respectivamente nos dias 1, 2 e 14. Contudo não houve diferenças estatísticas significativas (Figura 19 e Tabela 17).

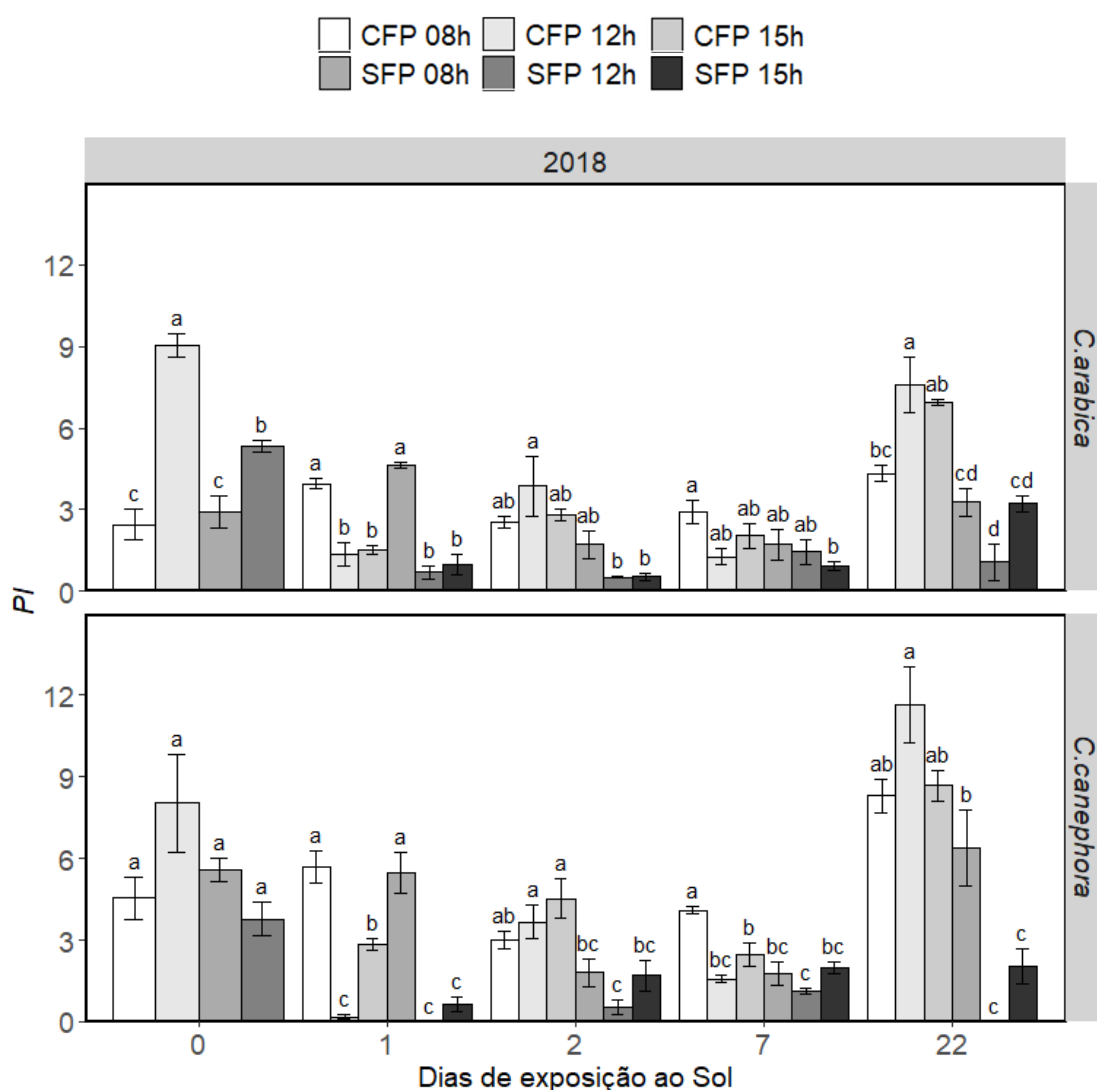


Figura 19 – Índice fotossintético (PI) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol em três horários diurnos (8:00h, 12:00h e 15:00h).

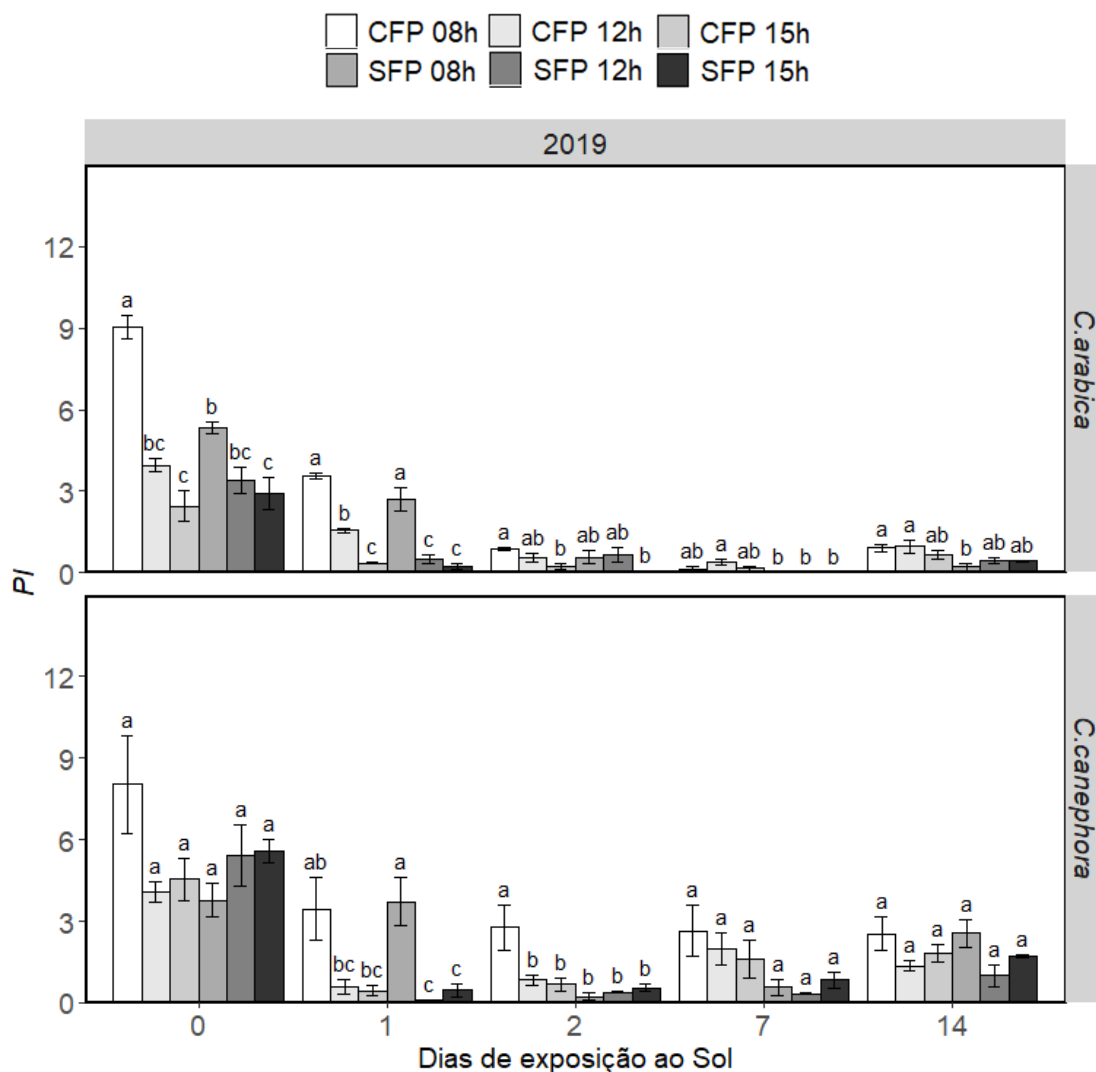


Figura 19 – Índice fotossintético (PI) em mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no verão de 2019. As colunas são os valores médios e a barra de erro é dada pelo erro estatístico da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas na base de teste de Tukey a 5% de probabilidade entre tratamentos com filme de partículas (CFP) e sem filme de partículas (SFP) em um mesmo dia de exposição ao pleno sol em três horários diurnos (8:00h, 12:00h e 15:00h).

No horário das 15:00h, as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram PI de 2,86 e 6,96, nos dias 2 e 22 de exposição ao pleno sol, sendo maior em 436% e 117%, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP, as quais tiveram PI 0,53 e 3,21, respectivamente. As 08:00h dos dias 2 e 7 de exposição ao pleno sol, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP, as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de PI

de 3,01 e 4,15. Em relação ao tratamento SFP, estes valores foram maiores em 67% e 136%. As plantas do tratamento SFP tiveram valores de PI de 1,80 e 1,76. Ao meio-dia, as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de PI de 3,67 e 11,65 nos dias 2 e 22 de exposição ao pleno sol, respectivamente. Quando comparadas com as plantas que não receberam o FPCP, estes valores foram maiores em 555% e 549%. As plantas do tratamento SFP tiveram PI de 11,65 e 0,21. No horário das 15:00h, as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram PI de 2,85, 4,53, 8,82, nos dias 1, 2 e 22 de exposição ao pleno sol, sendo maior em 349%, 166% e 332%, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP. As plantas do tratamento CFP tiveram PI de 0,64, 1,70 e 2,04, respectivamente nos dias 1, 2 e 22 de exposição a pleno sol.

No verão de 2019, às 08:00h, e nos dias 1 e 14 de exposição ao pleno sol, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP, as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram PI de 3,48 e 0,91. Estes valores foram maiores em 27% e 318%, quando comparado ao tratamento SFP, as plantas deste tratamento SFP tiveram PI de 2,73 e 0,22 (Tabela 17). Ao meio-dia, as mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram PI de 1,57 e 0,97, nos dias 1 e 22 de exposição ao pleno sol, sendo maior em 208% e 121%, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP. Estas plantas do tratamento SFP tiveram PI de 0,51 e 0,44. As 08:00h, dos dias 2 e 7 de exposição ao pleno sol, as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram PI de 2,78 e 2,65, e, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP, estes valores foram maiores em 1088% e 367%. As plantas do tratamento SFP tiveram PI de 0,23 e 0,57. Ao meio-dia, quando comparadas as plantas que não receberam o FPCP, as mudas de *C. canephora* do tratamento FPCP tiveram PI aparentemente maior em 6958%, 112%, 490% e 35%, respectivamente nos dias 1, 2, 7 e 14 de exposição ao pleno sol. Contudo, não houve diferenças estatísticas significativas. De maneira semelhante, no horário das 15:00h, as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram valores de PI maior, mas não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 17 – Índice fotossintético (PI) de mudas de *C. arabica* e *C. canephora*, no outono de 2018 e verão de 2019. Os valores de PI são apresentados nas colunas CFP (com filme de partículas) e SFP (sem filme de partículas) no horário das 08:00h, 12:00h e 15:00h. O  $\Delta$  é a subtração de CFP por SFP. Valores de *P-value* menores que 0,0500 indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A razão CFP/SFP mostra a intensidade de aumento (%) da relação PI causada pela aplicação do FPCP em relação ao tratamento SFP.

C. arabica	08:00h					12:00h					15:00h				
	PI(CFP)	PI(SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	PI(CFP)	PI(SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP	PI(CFP)	PI(SFP)	$\Delta$	<i>P-Value</i>	CFP/SFP
0	2,46	2,93	-0,47	0,4956	-16%	9,04	5,33	3,71	0,0005	70%	-	-	-	-	-
1	3,96	4,66	-0,70	0,1362	-15%	1,35	0,69	0,66	0,1152	96%	1,53	0,99	0,54	0,2214	54%
2	2,55	1,72	0,83	0,3019	48%	3,87	0,51	3,36	0,0015	659%	2,86	0,53	2,32	0,0124	436%
7	2,92	1,72	1,20	0,0644	70%	1,28	1,46	-0,18	0,7553	-12%	2,04	0,92	1,12	0,0649	122%
22	4,33	3,28	1,05	0,2298	32%	7,58	1,08	6,50	<0,0001	602%	6,96	3,21	3,75	0,0020	117%
0	9,03	5,38	3,65	<0,0001	68%	3,98	3,41	0,57	0,3793	17%	2,46	2,93	-0,47	0,4456	-16%
1	3,48	2,73	0,75	0,0134	27%	1,57	0,51	1,06	0,0011	208%	0,35	0,23	0,12	0,7029	50%
2	0,94	0,56	0,38	0,0547	67%	0,57	0,07	0,50	0,5563	747%	0,30	0,13	0,17	0,3907	137%
7	0,15	0,00	0,15	0,0005	-	0,39	0,00	0,39	0,0005	-	0,16	0,00	0,16	0,1097	-
14	0,91	0,22	0,69	0,0014	318%	0,97	0,44	0,53	0,0105	121%	0,68	0,43	0,25	0,1979	57%
<b>C. canephora</b>															
0	4,55	5,60	-1,05	0,5020	-19%	8,03	3,78	4,25	0,0226	112%	-	-	-	-	-
1	5,67	5,47	0,20	0,7544	4%	0,18	0,01	0,17	0,8078	1417%	2,85	0,64	2,22	0,0021	349%
2	3,01	1,80	1,21	0,0376	67%	3,67	0,56	3,11	<0,0001	555%	4,53	1,70	2,83	<0,0001	166%
7	4,15	1,76	2,39	<0,0001	136%	1,57	1,10	0,47	0,2541	43%	2,47	2,01	0,46	0,1887	23%
22	8,31	6,37	1,94	0,1209	30%	11,65	0,21	11,44	<0,0001	5499%	8,82	2,04	6,78	<0,0001	332%
0	8,03	3,75	4,28	0,0092	114%	4,17	5,43	-1,26	0,4048	-23%	4,55	5,60	-1,05	0,4570	-19%
1	3,44	3,72	-0,28	0,7557	-8%	0,61	0,01	0,60	0,5865	6958%	0,48	0,46	0,02	0,9848	4%
2	2,78	0,23	2,55	0,0003	1088%	0,84	0,40	0,44	0,5177	112%	0,68	0,56	0,12	0,8367	21%
7	2,65	0,57	2,08	0,0238	367%	2,00	0,34	1,66	0,1059	490%	1,62	0,83	0,79	0,3637	94%
14	2,55	2,55	0,00	0,9965	0%	1,35	1,00	0,35	0,5825	35%	1,83	1,70	0,13	0,8571	8%

## 5. DISCUSSÃO

A hipótese deste trabalho foi de que a aplicação do FPCP em mudas de cafeeiros *C. arabica* e *C. canephora* pode mitigar os danos do excesso de radiação solar, reduzir a temperatura foliar, o que pode manter a fotossíntese em valores adequados, bem como o FPCP pode aumentar a EUA e a EIUA. Ainda, uma outra hipótese é que, em relação as mudas de *C. canephora*, as mudas de *C. arabica* poderiam ser mais responsivas à proteção física do FPCP sobre as folhas. Para testar essas hipóteses, foram avaliadas a temperatura foliar, a eficiência fotoquímica e as trocas gasosas foliares.

Quando protegidas com o FPCP, e com o uso da termografia da folha por infravermelho, foi possível verificar uma redução na temperatura foliar em até 7,5 °C nas folhas de *C. arabica* e 6,2 °C em *C. canephora*. Em outras culturas, o FPCP auxiliou na redução na temperatura foliar, como exemplo nos Estados Unidos. Neste país, o FPCP reduziu em 3°C a temperatura foliar de *Citrus paradisi* (Jifon e Syvertsen, 2003), na Colômbia, o FPCP reduziu em 2,5 °C a temperatura foliar de *Rose* spp (Sotelo-Cuitiva et al., 2011), na Nova Zelândia reduziu em 17% a temperatura foliar de *Malus domestica* (Wünsche et al., 2004), na África do Sul, mitigou danos de escaldadura em *Malus domestica* (Gindaba e Wand, 2007), na Índia reduziu em 47% a queimadura nos frutos de *Punica granatum* (Sharma et al., 2018), na Itália reduziu a temperatura foliar em 1,1 °C em *Solanum lycopersicum* (Boari et al., 2014) e foi considerado o melhor método contra escaldadura de *Punica granatum* L na Turquia (Yazici e Kaynak, 2009).



Após a aplicação do FPCP, a redução na temperatura dos órgãos dos vegetais acontece devido ao aumento da coloração branca das superfícies das folhas, ramos e frutos, e como consequência, ocorre um aumento na capacidade de refletir a luz. Além disso, sob condição de excesso da radiação solar, o FPCP reduz a transmitância, e aumenta reflexão da radiação solar, o que diminui a temperatura da folha e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (Jifon e Syvertsen, 2003; Steiman et al., 2007).

Nas mudas de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP, a menor temperatura foliar, no outono de 2018, foi seguida de  $l_g$  maior em até 1371% às 12:00h do primeiro dia de exposição ao pleno sol. Ainda,  $g_s$  foi maior em até 855% às 14:00h do segundo dia de exposição ao pleno sol. No verão de 2019, quando comparadas as plantas do tratamento SFP, e no horário das 08:00h, os valores de  $g_s$  nas mudas cultivadas com o FPCP na superfície das folhas foi maior em até 2444%. O maior valor de  $l_g$  e o maior valor de  $g_s$  observados nas plantas protegidas com o FPCP acentuaram o resfriamento foliar e reduziram os efeitos da temperatura supra-ótima do ar, as quais se aproximaram de 40 °C no verão de 2019. No caso das plantas cultivadas sem o FPCP, o fluxo de água e o dióxido de carbono através dos estômatos, para dentro e para fora da célula, foi menor devido ao fechamento dos estômatos ( $< g_s$ ). Neste caso, o efeito negativo da temperatura sobre o metabolismo foliar foi maior, mesmo com o solo na capacidade de campo. De fato, em condições de maior temperatura foliar, pode haver síntese de ácido abscísico e este fitohormônio causa o fechamento estomático (Taiz et al., 2017).

A maior temperatura foliar nas plantas sem a proteção do FPCP foi associada ao esfriamento evaporativo mínimo. No outono de 2018, às 14:00h, as mudas de *C. arabica* tiveram valor de  $E$  menor em até 683% no segundo dia de exposição ao sol pleno. Esta mesma espécie, no verão de 2019, às 14:00h, teve valor de  $E$  menor em até 3768% no primeiro dia de exposição ao pleno sol. O CWSI foi maior nas mudas do tratamento SFP. Em plantas adultas de *C. canephora* cultivadas a pleno sol e sob elevada radiação solar, após aplicação do FPCP, houve redução de 2 °C na temperatura média foliar e uma redução em 39,25% do CWSI (Abreu et al., 2016a). Em macieiras, as respostas positivas ao tratamento com o FPCP foram maiores em valores elevados na temperatura do ar, sendo essa tecnologia, uma estratégia de manejo que pode ser considerada mitigadora das mudanças climáticas (Glenn, 2012).

A EFC foi a técnica usada para efetuar o diagnóstico da atividade dos fotossistemas, e assim tentar identificar possíveis danos no aparato fotossintético, antes do aparecimento de sintomas visuais. Com essa técnica, é possível obter informações detalhadas sobre a estrutura, a distribuição de energia e atividade do aparato fotoquímico, em especial do PSII (Strasser et al., 2000). De um modo geral, as mudas das espécies de *C. arabica* e *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram maior probabilidade de reduzir a Quinona A, quando estas plantas foram submetidas a RFA da radiação solar plena sobre as folhas. Contudo, em ambos os tratamentos, CFP e SFP, houve valores de  $F_v/F_m$  menores que 0,75, principalmente ao meio-dia, indicando um efeito fotoinibitório do aparato fotossintético associado ao PSII. Nas duas estações avaliadas, outono de 2018 e verão de 2019, o rendimento quântico máximo do PSII foi maior no tratamento CFP (Tabela 16), com uma predominância da regulação fotoprotetora reversível nos tratamentos CFP e uma predominância da regulação ou inativação irreversível dos fotossistemas nos tratamentos SFP. A vitalidade das mudas que foi caracterizada pelos valores da variável PI, foi ainda mais afetada que  $F_v/F_m$ , o que pode mostrar que a atividade dos PS I e PS II foi comprometida durante a transição das mudas do ambiente sombreado para exposição plena ao sol. Sob essas condições, os resultados podem especular que houve uma desestabilização de membranas e proteínas, produção de espécies reativas de oxigênio e morte celular, externalizada na forma de escaldadura (Gindaba e Wand, 2007; Yazici e Kaynak, 2009; DaMatta et al., 2019) (Apêndice 14).

Em relação ao verão de 2019, a taxa fotossintética líquida avaliada em *C. arabica* foi 75,95% maior no outono de 2018. Para as mudas de *C. canephora*, A foi 124,5% maior no outono de 2018, quando comparada as taxas do verão de 2019. As mudas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram valores de A em cerca de 26,96% e 89,59% a mais, em relação ao tratamento controle, respectivamente no outono e no verão. Já para as mudas de *C. canephora* protegidas com o FPCP, o ganho fotossintético em relação ao tratamento controle foi de 23,05% e 51,58%, respectivamente, outono e verão. Em experimento de campo, as plantas de *C. arabica* 'Typica' que receberam a aplicação do filme de partículas, tiveram um aumento de 71% de fotossíntese (Steiman et al., 2007). Torna-se importante relatar que o aumento da assimilação fotossintética do

carbono das folhas de café no tratamento com o uso do filme de partículas é um dos maiores observados com o uso de caulim (Steiman et al., 2007).

Em relação as plantas controle, as plantas de *C. canephora* protegidas com o FPCP tiveram um aumento de até 88,78% e 79,64%, respectivamente para EIUA e EUA. Já as plantas de *C. arabica* protegidas com o FPCP tiveram uma redução de até 36,71% e 24,86% em relação as plantas controle, respectivamente para EIUA e EUA. No Egito, em relação ao *Solanum lycopersicum*, o uso do FPCP aumentou em 26,24% a eficiência do uso da água (AbdAllah, 2017). A maior reflexão da radiação no comprimento de ondas no infravermelho pode reduzir a temperatura do dossel em até 5 °C. Esta redução na temperatura do dossel pode reduzir a transpiração potencial, por meio da redução do  $DPV_{\text{folha-ar}}$ , mesmo em folhas com estômatos mais abertos (Glenn et al., 2003; Jifon e Syvertsen, 2003; Glenn, 2009). Assim, nesta condição, se pode ter uma maior assimilação fotossintética, com menor saída de água pela folha, o que se pode ter maior eficiência no uso da água (A/E). Contudo, em algumas situações, a redução da temperatura do dossel pode reduzir o estresse térmico e aumentar o consumo de água, por meio de uma maior abertura estomática, o que pode resultar na redução da eficiência intrínseca do uso da água (EIUA). Em ambas as condições, se pode ter um aumento da produtividade (Glenn, 2010).

No outono de 2018, o decréscimo da  $g_s$  das 08:00h para as 14:00h, em *C. arabica* foi de 9,70% no tratamento CFP e de 170,6% no tratamento SFP. Em *C. canephora*, no tratamento CFP, o decréscimo da  $g_s$  das 08:00h para as 14:00h foi de 39,54% e de 46,08% no tratamento SFP. Já no verão de 2019, o decréscimo de  $g_s$  das 08:00h para as 14:00h em *C. arabica* foi de 101,59% no tratamento CFP e de 141,34% no tratamento SFP, e em *C. canephora*, foi de 7,59% no tratamento CFP e de 49,00% no tratamento SFP. Com isso, foi possível observar que o uso do FPCP, elevou a condutância estomática, principalmente nas plantas de *C. arabica*. Pela manhã, esta espécie possui valores de  $g_s$  elevado e menores valores ao meio-dia. Após este horário, ocorre um declínio na medida que a RFA e o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  aumentam (Gutiérrez e Meinzer, 1994). Outros relatos indicam que  $g_s$  diminui fortemente à medida que o ar se torna mais seco (DaMatta, 2004; DaMatta e Ramalho, 2006). Durante os períodos mais quentes do dia, a elevação artificial da UR parece estimular a abertura dos estômatos, principalmente quando a disponibilidade de água no solo não é limitante, independentemente do status da

água das folhas (Tesda e Kumar, 1978; Kanechi et al., 1995; Barros et al., 1997; Tausend et al., 2000; DaMatta, 2004; DaMatta e Ramalho, 2006; DaMatta et al., 2007; Rodrigues et al., 2016; Rodrigues et al., 2018).

## 6. CONCLUSÃO

Em mudas de duas espécies de cafeeiros, a aplicação do FPCP no outono reduziu a temperatura foliar ao meio-dia em até 7,5 °C e 6,2 °C, em *C. arabica* e *C. canephora*, respectivamente. No verão, a aplicação do FPCP na superfície das folhas reduziu a temperatura foliar às 12:00h, em até 6,0 °C e 5,3 °C, em *C. arabica* e *C. canephora*, respectivamente. A menor temperatura foliar reduziu o estresse supra-ótimo de temperatura, mitigou os danos do excesso de radiação solar e evitou danos no aparato fotossintético exteriorizados na forma de ausência de escaldadura no tratamento SFP.

Em *C. canephora*, a aplicação do FPCP aumentou a EUA e a EIUA. Nas mudas de *C. arabica* e no tratamento FPCP, a maior transpiração e a maior condutância estomática causaram maior taxa fotossintética. Para as demais variáveis analisadas, as plantas de *C. arabica* foram mais responsivas a aplicação do FPCP. Para a espécie *C. arabica*, ao que tudo indica, o outono pode ser considerado a melhor estação do ano para o plantio, sendo necessário a aplicação do FPCP. Com o uso do FPCP, a espécie *C. canephora* demonstrou ter maior plasticidade relacionada à época de plantio.

O uso do filme de partículas de caulinita processada (FPCP), de nome comercial Surround® WP, pode ser adotado como estratégia de manejo na transição de mudas do viveiro para a condição de plantio no campo, de modo a proteger as folhas das plantas das duas espécies em estudo contra o excesso de radiação solar.

## BIBLIOGRAFIA

- AbdAllah, A. (2019). Impacts of Kaolin and Pinoline foliar application on growth, yield and water use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water deficit: A comparative study. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 256-268.
- Abou-Khaled, A., Hagan, R. M., & Davenport, D. C. (1970). Effects of kaolinite as a reflective antitranspirant on leaf temperature, transpiration, photosynthesis, and water-use efficiency. *Water Resources Research*, 6(1), 280-289.
- Abreu, D. P. (2018). Aplicação de filme de partículas de caulinita processada (FPCP) sobre o dossel de *Coffea* sp.:Efeitos no metabolismo fotoquímico, produtividade e qualidade do fruto. Monografia apresentada para obtenção de título de engenheiro agrônomo. Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro” – UENF, 165p.
- Abreu, D. P., Abreu, G. P., Krohling, C. A., M Filho, J. A., da Silva, J. R., Rodrigues, W. P., ... & Campostrini, E. (2016). Aplicação de Surround® WP, um filme de partículas inorgânicas a base de caulim, e seu efeito no tamanho dos grãos de *Coffea canephora*. *Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, 42, Serra Negra, SP, Embrapa Café, p. 414.

- Abreu, D. P., Abreu, G. P., Krohling, C. A., & Campostrini, E. (2017). Uso de Surround® WP na cafeicultura como redutor do estresse térmico foliar e otimizador da condutância estomática. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, MG, Embrapa café, p.159.
- Abreu, D. P., Abreu, G. P., Krohling, C. A., M Filho, J. A., da Silva, J. R., Rodrigues, W. P., & Campostrini, E. (2016). Termografia na compreensão do efeito da aplicação de Surround® WP, um filme de partículas inorgânicas a base de caulim, em *Coffea canephora*. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Serra Negra, SP, Embrapa café, p.247
- Abreu, D. P., Rakocevic, M., de Matos Roda, N., de Abreu, G. P., Bernado, W., & Campostrini, E. (2020). Aplicação do filme de partículas de caulinita processada em *Coffea* sp.: efeitos na temperatura foliar. In: Congresso Fluminense de Pós-Graduação, V, Rio de Janeiro: UENF, p.1
- Akunda, E. M. W., Imbamba, S. K., & Kumar, D. (1979). High Density Plantings of Coffee (II) Adaptive Changes in Some Plant Characteristics. *East African Agricultural and Forestry Journal*, 45(2), 133-136.
- Allen, R. K., M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Dubash, N. K. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. p. 151.
- Alves, J.D., Cordeiro, A.T., Rena, A.B., 1985. Saturação lumínica da fotossíntese de diversos germoplasmas de *Coffea arabica* L. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Caxambu (MG). Instituto Brasileiro do Café, Rio de Janeiro, p. 133–134.
- Araujo, W. L., Dias, P. C., Moraes, G. A., Celin, E. F., Cunha, R. L., Barros, R. S., & DaMatta, F. M. (2008). Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(10), 884-890.
- Araus, J. L., and Hogan, K. P. (1994). Leaf structure and patterns of photoinhibition in two neotropical palms in clearings and forest understory during the dry season. *American Journal of Botany*, 81(6), 726-738.
- Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G., & Ovalle, O. (2014). An integrated framework for assessing vulnerability to climate change and developing

- adaptation strategies for coffee growing families in Mesoamerica. *PloS One*, 9(2), e88463.
- Ballester, C., Castel, J., Jiménez-Bello, M. A., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2014). Are sap flow and canopy temperature measurements useful alternatives to stem water potential for detecting plant water stress in citrus trees. *Acta Horticult*, 51-57.
- Barbato, R., Frizzo, A., Friso, G., Rigoni, F., & Giacometti, G. M. (1995). Degradation of the D1 protein of photosystem-II reaction centre by ultraviolet-B radiation requires the presence of functional manganese on the donor side. *European Journal of Biochemistry*, 227(3), 723-729.
- Barros, R. S., da Se Mota, J. W., DaMatta, F. M., & Maestri, M. (1997). Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. *Field Crops Research*, 54(1), 65-72.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1997). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139-164.
- Björkman, O. (1981). Responses to different quantum flux densities. In *Physiological plant ecology I: Responses to the physical environment* (p. 57-107). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Boari, F., Cucci, G., Donadio, A., Schiattone, M. I., & Cantore, V. (2014). Kaolin influences tomato response to salinity: physiological aspects. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 64(7), 559-571.
- Bolhar-Nordenkamp, H. R., Long, S. P., & Lechner, E. G. (1989). Bestimmung der Photosynthesekapazität über die Chlorophyllfluoreszenz als Maß für die Stressbelastung von Bäumen. In *Phyton: Annales Rei Botanicae*, 29(1), 119-135.
- Bolhar-Nordenkamp, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Oquist, G., Schreiber, U. L. E. G., & Lechner, E. G. (1989). Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 497-514.
- Bornman, J. F. (1989). New trends in photobiology: Target sites of UV-B radiation in photosynthesis of higher plants. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 4(2), 145-158.



- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1), 89-101.
- Bussotti, F., Strasser, R. J., & Schaub, M. (2007). Photosynthetic behavior of woody species under high ozone exposure probed with the JIP-test: a review. *Environmental Pollution*, 147(3), 430-437.
- Cannell, M. G. R. (1985). Physiology of the coffee crop. In: Clifford, M. N. and Willson, K. C. (ed.) *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Boston, MA.: Springer, p. 108-134.
- Carelli, M. L. C., Fahl, J. I., Trivelin, P. C. O., & Queiroz-Voltan, R. B. (1999). Carbon isotope discrimination and gas exchange in *coffea* species grown under different irradiance regimes. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 11: 63-68
- Carelli, M.L.C., Fahl, J.I., 2000. Crescimento y assimilación del carbono y nitrógeno en plantas jóvenes de Coffea en condiciones de sol y de sombra. In: Memoria del XIX Simposio Latinoamericano de Cafeicultura. Instituto del Café de Costa Rica, San José, pp101–108.
- CONAB (2013). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- Primeira estimativa, janeiro de 2013. <https://www.conab.gov.br>.
- CONAB (2014). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- V.1, N.1, Primeiro levantamento, janeiro de 2014. <https://www.conab.gov.br>.
- CONAB (2015). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- Primeiro levantamento, janeiro de 2015. <https://www.conab.gov.br>.
- CONAB (2016). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- V.2, Safra 2016, N.1, Primeiro levantamento, janeiro de 2016. <https://www.conab.gov.br>.
- CONAB (2017). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- V.4, Safra 2017, N.1, Primeiro levantamento, janeiro de 2017. <https://www.conab.gov.br>.
- CONAB (2018). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- V.5, Safra 2018, N.1, Primeiro levantamento, janeiro de 2018. <https://www.conab.gov.br>.

- CONAB (2019). Café Brasil: Acompanhamento da Safra Brasileira Café- V.6, Safra 2019, N.1, Primeiro levantamento, janeiro de 2019. <https://www.conab.gov.br>.
- CONAB (2020). Café Brasil: Acompanhamento da safra brasileira, V.6 Safra 2020 - N.1 - Primeiro levantamento, Janeiro de 2020. [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/30380\\_d1e1f36c2356b81e8a385cd24f05993b](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/30380_d1e1f36c2356b81e8a385cd24f05993b).
- CONAB (2020). Grãos Brasil: Acompanhamento da safra brasileira, V.7 Safra 2019/2020 - N.11 – Décimo primeiro levantamento, agosto de 2020. [https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos/item/download/32838\\_87577d7fa2076bdc97bf6b96e7498a2f](https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos/item/download/32838_87577d7fa2076bdc97bf6b96e7498a2f).
- Coste, R., Cambrony, H., Wolf, J. N., & Tindall, H. D. (1992). Coffee: the plant and the product. *Caféiers et cafés*, 12, 65-81
- Craparo, A. C. W., Steppe, K., Van Asten, P. J., Läderach, P., Jassogne, L. T., & Grab, S. W. (2017). Application of thermography for monitoring stomatal conductance of *Coffea arabica* under different shading systems. *Science of the Total Environment*, 609, 755-763.
- Creamer, R., Sanogo, S., El-Sebai, O. A., Carpenter, J., & Sanderson, R. (2005). Kaolin-based foliar reflectant affects physiology and incidence of beet curly top virus but not yield of Chile pepper. *HortScience*, 40(3), 574-576.
- DaMatta FM, Rena AB (2001) Tolerância do café à seca. In: Zambolin L (ed), *Tecnologias de Produção de Café com Qualidade*, p.65-100.
- DaMatta, F. M. (2003). Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. *Advances in Plant Physiology*, 5, 227-265.
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86(2-3), 99-114.
- DaMatta, F. M. (2004). Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. *Arborização de cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista, Ed. UESB, 87-122.
- DaMatta, F. M., & Maestri, M. (1998). Photoinhibition and recovery of photosynthesis in *Coffea arabica* and *C. canephora*. *Photosynthetica*, 34, 439-446.

- DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 55-81.
- DaMatta, F. M., Loos, R. A., Silva, E. A., & Loureiro, M. E. (2002). Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a result of nitrogen and water availability. *Journal of Plant Physiology*, 159(9), 975-981.
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 485-510.
- Davis, A. P., Gole, T. W., Baena, S., & Moat, J. (2012). The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. *PloS one*, 7(11), e47981.
- Davis, A. P., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167(4), 357-377.
- Debat, V., & David, P. (2001). Mapping phenotypes: canalization, plasticity and developmental stability. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(10), 555-561.
- Dufrene, E., & Saugier, B. (1993). Gas exchange of oil palm in relation to light, vapour pressure deficit, temperature and leaf age. *Functional Ecology*, 97-104.
- Durigon, A., & van Lier, Q. D. J. (2013). Canopy temperature versus soil water pressure head for the prediction of crop water stress. *Agricultural Water Management*, 127, 1-6.
- Embrapa (2018a). Pesquisa Agropecuária e o Futuro do Brasil: Propostas para o sistema brasileiro de ciência, tecnologia e inovação. Brasília, DF, Embrapa, 15 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/a-pesquisa-agropecuaria-e-o-futuro-do-brasil>. Acesso em 22 de fevereiro de 2020
- Embrapa (2018b). Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF. Embrapa. 21 de maio de 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a8cbfaf8e89d62829>. Acesso em 14 de janeiro de 2020.

- Emerson, R., & Arnold, W. (1932). The photochemical reaction in photosynthesis. *The Journal of General Physiology*, 16(2), 191-205.
- Eveling, D. W. (1972). Similar effects of suspensions of copper oxychloride and kaolin on sprayed leaves. *Annals of Applied Biology*, 70(3), 245-249.
- Eveling, D. W., & Eisa, M. Z. (1976). The effects of a cuticle-damaging kaolin on herbicidal phytotoxicity. *Weed Research*, 16, 15-18.
- 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*. *Experimental Agriculture*, 37(2), 241-252.
- Fahl, J. I., Carelli, M. L. C., Vega, J., & Magalhães, A. C. (1994). Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants. *Journal of Horticultural Science*, 69(1), 161-169.
- Fanjul, L., Arreola-Rodriguez, R., & Mendez-Castrejon, M. P. (1985). Stomatal responses to environmental variables in shade and sun grown coffee plants in Mexico. *Experimental Agriculture*, 21(3), 249-258.
- FAO (2019). "FAO helps countries measure climate's impacts on agriculture". 28 May 2019, Kyiv, Ukraine. <http://www.fao.org/europe/news/detail-news/en/c/1195805/>
- Farmer, A. M. (1993). The effects of dust on vegetation—a review. *Environmental Pollution*, 79(1), 63-75.
- Ferrão, R. G., Fonseca, A. F. A., Ferrão, M. A.G, De Muner. L. H., Verdin Filho, A. C., Volpi, P. S., Marques, E. M. G., & Zucatelli, F. (2007) *Café conilon: Técnicas de produção com variedades melhoradas*. 3 ed. Vitória, ES. (circular técnica 03 -1) 60 p.
- Fonseca, A. F. A., Verdin Filho, A. C., Ronchi, C. P., Volpi, P. S., Lani, J. A., Martins, A. G. Ferrão, M. A. G., & Ferrão, R. G., (2017). *Café conilon*. Vitória, ES: Incaper, 276-279.
- Fournier, L. A. (1988). El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol oa la sombra: un enfoque agronomico y ecofisiologico (No. REV). Ministerio de Agricultura y Ganadera. San Jose, Costa Rica, 248: 708-717.
- Franco, C. M., & Inforzato, R. (1951). Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sombreado e pelo ingazeiro. *Bragantia*, 11, 121-125.

- Frischknecht, P. M., Eller, B. M., & Baumann, T. W. (1982). Purine alkaloid formation and CO<sub>2</sub> gas exchange in dependence of development and of environmental factors in leaves of *Coffea arabica* L. *Planta*, 156(4), 295-301.
- Gale, J., & Hagan, R. M. (1966). Plant antitranspirants. *Annual Review of Plant Physiology*, 17(1), 269-282.
- García-Tejero, I. F., Costa, J. M., Egipto, R., Durán-Zuazo, V. H., Lima, R. S. N., Lopes, C. M., & Chaves, M. M. (2016). Thermal data to monitor crop-water status in irrigated Mediterranean viticulture. *Agricultural Water Management*, 176, 80-90.
- García-Tejero, I. F., Hernández, A., Padilla-Díaz, C. M., Diaz-Espejo, A., & Fernández, J. E. (2017). Assessing plant water status in a hedgerow olive orchard from thermography at plant level. *Agricultural Water Management*, 188, 50-60.
- García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V. H., Arriaga, J., Hernández, A., Vélez, L. M., & Muriel-Fernández, J. L. (2012). Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits*, 67(6), 463-474.
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., & Villers, L. (2006). Potential impacts of climate change on agriculture: a case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change*, 79(3-4), 259-288.
- Gindaba, J., & Wand, S. J. (2007). Do fruit sunburn control measures affect leaf photosynthetic rate and stomatal conductance in 'Royal Gala'apple?. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 160-165.
- Glättli, R., BM, E., & Wanner, H. (1980). Temperaturabhängigkeit der Dunkelatmung und der Nettphotosynthese bei *Coffea arabica* L. *Bern Schweiz*, 90, 189-193.
- Glenn, D. M. (1999). Analysis of trickle and pulse microsprinkler irrigation of processing apples. *Journal of Tree Fruit Production*, 2(2), 11-17.
- Glenn, D. M. (2009). Particle film mechanisms of action that reduce the effect of environmental stress in 'Empire'apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(3), 314-321.
- Glenn, D. M. (2010). Canopy gas exchange and water use efficiency of 'Empire'apple in response to particle film, irrigation, and microclimatic factors. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(1), 25-32.

- Glenn, D. M. (2012). The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience*, 47(6), 710-711.
- Glenn, D. M., & Puterka, G. J. (2010). Particle films: a new technology for agriculture. *Horticultural Reviews*, 31, 1-44.
- Glenn, D. M., Erez, A., Puterka, G. J., & Gundrum, P. (2003). Particle films affect carbon assimilation and yield in Empire'apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3), 356-362.
- 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. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(2), 188-193.
- Glenn, D. M., Puterka, G. J., Drake, S. R., Unruh, T. R., Knight, A. L., Baherle, P., ... & Baugher, T. A. (2001). Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(2), 175-181.
- Glenn, D. M., Puterka, G. J., Vanderzwet, T., Byers, R. E., & Feldhake, C. (1999). Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests and plant diseases. *Journal of Economic Entomology*, 92(4), 759-771.
- Glenn, D. M., Wünsche, J., McIVOR, I. A. N., Nissen, R., & George, A. (2008). Ultraviolet radiation effects on fruit surface respiration and chlorophyll fluorescence. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(1), 43-50.
- González-Villagra, J., Marjorie, R. D., Alberdi, M., Acevedo, P., Loyola, R., Tighe-Neira, R., ... & Inostroza-Blancheteau, C. (2020). Solar UV irradiation effects on photosynthetic performance, biochemical markers, and gene expression in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 259, 108816.
- Guilioni, L., Jones, H. G., Leinonen, I., & Lhomme, J. P. (2008). On the relationships between stomatal resistance and leaf temperatures in thermography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(11), 1908-1912.
- Gutierrez, M. V., & Meinzer, F. C. (1994). Carbon isotope discrimination and photosynthetic gas exchange in coffee hedgerows during canopy development. *Functional Plant Biology*, 21(2), 207-219.

- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., ... & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907-6912.
- Harben, P. W. (1995). *The industrial minerals handybook: a guide to markets, specifications, & prices*. Industrial Minerals Division, 296 P.
- Hassan, I. A., Basahi, J. M., Haiba, N. S., & Kadi, M. W. (2013). Investigation of climate changes on metabolic response of plants; interactive effects of drought stress and excess UV-B. *Jornal Earth Science Climate Change*, 4(129), 2.
- Hernandez, A. D. P., Cock, J. H., & El-Sharkawy, M. A. (1989). The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, p.155–161.
- Hirano, T., Kiyota, M., & Aiga, I. (1995). Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. *Environmental Pollution*, 89(3), 255-261.
- Horton, P., & Ruban, A. (2005). Molecular design of the photosystem II light-harvesting antenna: photosynthesis and photoprotection. *Journal of Experimental Botany*, 56(411), 365-373.
- Ibram (2012) *Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira*. The Brazilian Mining Association, p. 17-19.
- IBRAM (2019). *Comercio externo da mineração, janeiro de 2019.*: <https://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2018/09/comex-jan2019.pdf>.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter Jr, P. J., Reginato, R. J., & Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, 45-55.
- Infrared Training Center. (2010). *Thermography Level 1 Course Manual*.
- Jackson, R. D., Reginato, R. J., & Idso, S. (1977). Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research*, 13(3), 651-656.
- Jain, K., Kataria, S., & Guruprasad, K. N. (2003). Changes in antioxidant defenses of cucumber cotyledons in response to UV-B and to the free radical generating compound AAPH. *Plant Science*, 165(3), 551-557.

- Jansen, M. A., Hectors, K., O'Brien, N. M., Guisez, Y., & Potters, G. (2008). Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? *Plant Science*, 175(4), 449-458.
- Jifon, J. L., & Syvertsen, J. P. (2003). Kaolin Particle Film Applications Can Increase Photosynthesis and Water Use Efficiency of Ruby Red Grapefruit Leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(1), 107-112.
- Johnson, G. N., Young, A. J., Scholes, J. D., & Horton, P. (1993). The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant, Cell & Environment*, 16(6), 673-679.
- Jones, H. G. (1992). *Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge University Press.
- Jones, H. G. (1999). Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell & Environment*, 22(9), 1043-1055.
- Jones, H. G., Serraj, R., Loveys, B. R., Xiong, L., Wheaton, A., & Price, A. H. (2009). Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*, 36(11), 978-989.
- Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., Sousa, C. D., Chaves, M. M., & Grant, O. M. (2002). Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2249-2260.
- Joubert, P. H., Grové, T., De Beer, M. S., & Steyn, W. P. (2002, September). Evaluation of Kaolin (Surround® WP) in an IPM program on mangoes in South Africa. In VII International Mango Symposium 645 (p. 493-499).
- Júnior, S. D. O. M., de Andrade, J. R., dos Santos, C. M., Silva, J. A. C., d Santos, K. P., Silva, J. V., & Endres, L. (2019). Leaf thickness and gas exchange are indicators of drought stress tolerance of sugarcane. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31, 29-38.
- Kakani, V. G., Reddy, K. R., Zhao, D., & Sailaja, K. (2003). Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120(1-4), 191-218.
- Kanechi M, Uchida NU, Yasuda T, Yamaguchi T (1995a) Water stress effects on leaf transpiration and photosynthesis of *Coffea arabica* L. under different



- irradiance conditions. In: Proceedings of the 16th International Scientific Colloquium on Coffee, Kyoto. 1995. Association Scientifique Internationale du Café, Paris, p.520-527.
- Kanechi, M., Uchida, N., Yasuda, T., & Yamaguchi, T. (1996). Non-stomatal inhibition associated with inactivation of Rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. *Plant and Cell Physiology*, 37(4), 455-460.
- Kataria, S., Jajoo, A., & Guruprasad, K. N. (2014). Impact of increasing Ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137, 55-66.
- Kliebenstein, D. J., Lim, J. E., Landry, L. G., & Last, R. L. (2002). Arabidopsis UVR8 regulates ultraviolet-B signal transduction and tolerance and contains sequence similarity to human regulator of chromatin condensation 1. *Plant Physiology*, 130(1), 234-243.
- Kumar, D., & Tieszen, L. L. (1980). Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture*, 16(1), 13-19.
- Kumari, R., Singh, S., & Agrawal, S. B. (2009). Effects of supplemental ultraviolet-B radiation on growth and physiology of *Acorus calamus* L. (sweet flag). *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 51, 19-27.
- Lerch, G., Müntz, K., Bergmann, H., & Cuevas, J. R. (1970). Über die physiologische Wirkung von Licht und Schatten auf *Coffea arabica* L., 'Caturra' unter Freilandbedingungen in Kuba. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 18(1), 109-132.
- Leskey, T. C., Wright, S. E., Michael Glenn, D., & Puterka, G. J. (2010). Effect of surround WP on behavior and mortality of apple maggot (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(2), 394-401.
- Lidon, F. J., Reboredo, F. H., Silva, M. M. A., Duarte, M. P., & Ramalho, J. C. (2012). Impact of UV-B radiation on photosynthesis-an overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 546-556.
- Lima, R. S. N., García-Tejero, I., Lopes, T. S., Costa, J. M., Vaz, M., Durán-Zuazo, V. H., ... & Campostrini, E. (2016). Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. *Agricultural Water Management*, 164, 148-157.

- Luz, A. B. D., Campos, A. R. D., Carvalho, E. A. D., Bertolino, L. C., & Scorzelli, R. B. (2008). Argilacaulim. In Luz, A.B., Lins, F.A.F (ed.) Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 255-294.
- Luz, A. B., & Damasceno, E. C. (1994). Caulim: um mineral industrial importante. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- Maes, W. H., Baert, A., Huete, A. R., Minchin, P. E., Snelgar, W. P., & Steppe, K. (2016). A new wet reference target method for continuous infrared thermography of vegetations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 226, 119-131.
- Malhi, Y., & Wright, J. (2004). Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1443), 311-329.
- MAPA (2016). MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. Consulta sobre enquadramento de produto à base de caulim calcinado. [http://sistemas.agricultura.gov.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0,infor\\_mando\\_o\\_código\\_verificador\\_0846977\\_e\\_o\\_código\\_CRC\\_3CB03941](http://sistemas.agricultura.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0,infor_mando_o_código_verificador_0846977_e_o_código_CRC_3CB03941).
- Marco, S. (1986). Incidence of aphid-transmitted virus infections reduced by whitewash sprays on plants. *Phytopathology*, 76(12), 1344-1348.
- Martins, L. D., Tomaz, M. A., Lidon, F. C., DaMatta, F. M., & Ramalho, J. C. (2014). Combined effects of elevated [CO<sub>2</sub>] and high temperature on leaf mineral balance in *Coffea* sp. plants. *Climatic Change*, 126, 365-379.
- Martins, M. Q., Rodrigues, W. P., Fortunato, A. S., Leitao, A. E., Rodrigues, A. P., Pais, I. P., ... & Ramalho, J. C. (2016). Protective response mechanisms to heat stress in interaction with high [CO<sub>2</sub>] conditions in *Coffea* sp. *Frontiers in Plant Science*, 7, 947.
- Martins, S. C., Galmes, J., Cavatte, P. C., Pereira, L. F., Ventrella, M. C., & DaMatta, F. M. (2014). Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. *PLoS One*, 9(4), e95571.
- Matiello, J.B., Santinato, R., Almeida, S.R., Garcia, A.W.R. (2016). *Cultura do café no Brasil: Manual de recomendações*, ed. 2015, 163-169.

- Mazor, M., & Erez, A. (2004). Processed kaolin protects fruits from Mediterranean fruit fly infestations. *Crop Protection*, 23(1), 47-51.
- Meijkamp, B. B., Doodeman, G., & Rozema, J. (2001). The response of *Vicia faba* to enhanced UV-B radiation under low and near ambient PAR levels. *Responses of Plants to UV-B Radiation*, 135-146.
- Moreshet, S., Cohen, Y., & Fuchs, M. (1979). Effect of Increasing Foliage Reflectance on Yield, Growth, and Physiological Behavior of a Dryland Cotton Crop 1. *Crop Science*, 19(6), 863-868.
- Mphande, W., Kettlewell, P. S., Grove, I. G., & Farrell, A. D. (2020). The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: A review. *Agricultural Water Management*, 236, 106143.
- Netto, A. T., Campostrini, E., de Oliveira, J. G., & Bressan-Smith, R. E. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104(2), 199-209.
- Nunes, M. A. (1988). Environmental effects on the stomatal and mesophyll regulation of photosynthesis in coffee leaves. *Photosynthetica*, 22:547-553.
- Nunes, M. A., Bierhuizen, J. F., & Ploegman, C. (1968). Studies on productivity of coffee: I. Effect of light, temperature and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica*, 17(2), 93-102.
- Nunes, M. A., Ramalho, J. C., & DIAS, M. A. (1993). Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. *Journal of Experimental Botany*, 44(5), 893-899.
- Nutman, F. J. (1937). Studies of the physiology of *Coffea arabica*: I. photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Annals of Botany*, 1(3), 353-367.
- Nutman, F. J. (1937). Studies of the physiology of *Coffea Arabica*: II. Stomatal movements in relation to photosynthesis under natural conditions. *Annals of Botany*, 1(4), 681-693.
- OIC (2019). "Growing for Prosperity: Economic viability as the catalyst for a sustainable coffee sector". OIC document, International Coffee Organization. <http://www.ico.org/documents/cy2018-19/ed-2318e-overview-flagship-report.pdf>.
- Pathak, J.; Ahmed, H.; Singh, D.K.; Singh, P.R.; Kumar, D.; Kannaujiya, V.K.; Singh, S.P.; Sinha, R.P. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense in plants exposed to ultraviolet radiation. In *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur*

- Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms; Hasanuzzaman, M., Fotopoulos, V., Nahar, K., Fujita, M., Eds.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, p. 371–420.
- Pearcy, R. W., & Ehleringer, J. (1984). Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. *Plant, Cell & Environment*, 7(1), 1-13.
- Poirier-Pocovi, M., Volder, A., & Bailey, B. N. (2020). Modeling of reference temperatures for calculating crop water stress indices from infrared thermography. *Agricultural Water Management*, 233, 106070.
- Puterka, G. J., Glenn, D. M., Sekutowski, D. G., Unruh, T. R., & Jones, S. K. (2000). Progress toward liquid formulations of particle films for insect and disease control in pear. *Environmental Entomology*, 29(2), 329-339.
- Puterka, G. J., Reinke, M., Luvisi, D., Ciomperik, M. A., Bartels, D., & Glenn, D. M. (2003). Particle film, Surround WP, effects on glassy-winged sharpshooter behavior and its utility as a barrier to sharpshooter infestations in grape. *Plant Health Progress*, 4(1), 7.
- Puterka, G. J., Sekutowski, D. G., & Glenn, D. M. (2000). U.S. Patent No. 6,027,740. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 740.
- Racsko, J., & Schrader, L. E. (2012). Sunburn of apple fruit: Historical background, recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31(6), 455-504.
- Rajan, M. S. S., Reddy, K. R., Venkateswarlu, M. S., & Reddi, G. H. S. (1981). Effect of zero tillage on weed control and yield of rainfed groundnut. *Pesticides*, 25 (3): 17-18.
- Rakocevic, M., Ribeiro, R. V., Ribeiro Marchiori, P. E., Filizola, H. F., & Batista, E. R. (2018). Structural and functional changes in coffee trees after 4 years under free air CO<sub>2</sub> enrichment. *Annals of Botany*, 121(5), 1065-1078.
- Rakocevic, M., Scholz, M. B. S., & Charmetant, P. (2015). Leaf photosynthesis in four coffee genotypes as response to the irrigation during the biennial period. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 89, 1-6.
- Ramalho, J. C., Campos, P. S., Quartin, V. L., Silva, M. J., & Nunes, M. A. (1999). High irradiance impairments on photosynthetic electron transport, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and N assimilation as a function of N availability in *Coffea arabica* L. plants. *Journal of Plant Physiology*, 154(3), 319-326.

- Ramalho, J. C., Pons, T. L., Groeneveld, H. W., Azinheira, H. G., & Nunes, M. A. (2000). Photosynthetic acclimation to high light conditions in mature leaves of *Coffea arabica* L.: role of xanthophylls, quenching mechanisms and nitrogen nutrition. *Functional Plant Biology*, 27(1), 43-51.
- Reddy, K. R., Singh, S. K., Koti, S., Kakani, V. G., Zhao, D., Gao, W., & Reddy, V. R. (2013). Quantifying corn growth and physiological responses to ultraviolet-B radiation for modeling. *Agronomy Journal*, 105(5), 1367-1377.
- Rena AB, Barros RS, Maestri M, Söndahl MR (1994) Coffee. In: Schaffer B, Andersen PC (eds), *Handbook of Environmental Physiology of Tropical Fruit Crops: Sub-Tropical and Tropical Crops*, Vol. II, p.101-122.
- Rippa, M., Ambrosone, A., Leone, A., & Mormile, P. (2020). Active thermography for real time monitoring of UV-B plant interactions. *Journal of Photochemistry and Photobiology by Biology*, 208, 111900.
- Robbrecht, E., & Manen, J. F. (2006). The major evolutionary lineages of the coffee family (Rubiaceae, angiosperms). Combined analysis (nDNA and cpDNA) to infer the position of *Coptosapelta* and *Luculia*, and supertree construction based on *rbcL*, *rps16*, *trnL-trnF* and *atpB-rbcL* data. A new classification in two subfamilies, *Cinchonoideae* and *Rubioideae*. *Systematics and Geography of Plants*, 85-145.
- Rocnhi, C., DaMatta, F., Araújo, J., & Sales, E. (2019). Conilon coffee in agroforestry systems. *Conilon Coffee 3rd edition*, p. 593-609.
- Rodrigues, W. P., Martins, M. Q., Fortunato, A. S., Rodrigues, A. P., Semedo, J. N., Simões-Costa, M. C., ... & Ramalho, J. C. (2016). Long-term elevated air [CO<sub>2</sub>] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology*, 22(1), 415-431.
- Rodrigues, W. P., Silva, J. R., Ferreira, L. S., Machado Filho, J. A., Figueiredo, F. A., Ferraz, T. M., ... & Campostrini, E. (2018). Stomatal and photochemical limitations of photosynthesis in coffee (*Coffea* sp.) plants subjected to elevated temperatures. *Crop and Pasture Science*, 69(3), 317-325.
- Rodriguez, J., Anoruo, A., Jifon, J., & Simpson, C. (2019). Physiological effects of exogenously applied reflectants and anti-transpirants on leaf temperature and fruit sunburn in citrus. *Plants*, 8(12), 549.

- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E., & Lampinen, B. D. (2007). Effects of kaolin application on light absorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. *Annals of Botany*, 99(2), 255-263.
- Salerno, G., Reborá, M., Kovalev, A., Gorb, E., & Gorb, S. (2020). Kaolin nanopowder effect on insect attachment ability. *Journal of Pest Science*, 93(1), 315-327.
- Santinato, R., Eckhardt, C. F., Gonçalves, V. A., & Pain, A. (2017). Surround atuando como redutor do índice de abortamento de flores de cafeeiro em função do estresse por elevadas temperaturas. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, MG. Novas tecnologias difundir, para o bom café produzir. Embrapa Café, p. 86.
- Semedo, J. N., Rodrigues, W. P., Dubberstein, D., Martins, M. Q., Martins, L. D., Pais, I. P., Leitão, A. E., Partelli, F. L., Campostrini, E., Reboredo, F., Scotti-Campos, P., Lindon, F. C., Ribeiro-Barros, A. I., DaMatta, F. M., Ramalho, J. C. (2018). Mitigation of the Negative Impact of Warming on the Coffee Crop: The Role of Increased Air [CO<sub>2</sub>] and Management Strategies. In: Shanker, A. (Ed.). *Climate Resilient Agriculture, Strategies and Perspectives*. Londres: IntechOpen, Cap.4, p. 57-85
- Sharma, R. R., Datta, S. C., & Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of 'Kandhari' pomegranates. *Crop Protection*, 114, 18-22.
- Sharma, R. R., Reddy, S. V. R., & Datta, S. C. (2015). Particle films and their applications in horticultural crops. *Applied Clay Science*, 116, 54-68.
- Silva, E.A.; DaMatta, F.M.; Barros, R. S.; Regazzi, A.J. (2000) Periodicidade do crescimento vegetativo em *Coffea arabica* L.: relações com a fotossíntese em condições de campo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, I, 2000, Poços de Caldas, MG. Resumos Expandidos. Brasília: Embrapa Café e MINASPLAN. p. 65-68.
- Smith, B. G. (1989). The effects of soil water and atmospheric vapour pressure deficit on stomatal behaviour and photosynthesis in the oil palm. *Journal of Experimental Botany*, 40(6), 647-651.
- Solos, E. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, Brasil, volume 3.

- Sotelo-Cuitiva, Y. M., Restrepo-Díaz, H., García-Castro, A., Ramírez-Godoy, A., & Flórez-Roncancio, V. J. (2011). Effect of kaolin film particle applications (Surround WP®) and water deficit on physiological characteristics in rose cut plants (*Rose* spp L.). *American Journal of Plant Sciences*, 2, 354-358.
- Souza, A. P., Grandis, A., Arenque-Musa, B. C., & Buckeridge, M. S. (2018). Diurnal variation in gas exchange and nonstructural carbohydrates throughout sugarcane development. *Functional Plant Biology*, 45(8), 865-876.
- Srinivasa Rao, N. K. (1985). The effects of antitranspirants on leaf water status, stomatal resistance and yield in tomato. *Journal of Horticultural Science*, 60(1), 89-92.
- Stanhill, G., Moreshet, S., & Fuchs, M. (1976). Effect of Increasing Foliage and Soil Reflectivity on the Yield and Water Use Efficiency of Grain Sorghum 1. *Agronomy Journal*, 68(2), 329-332.
- Steiman, S. R., Bittenbender, H. C., & Idol, T. W. (2007). Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. *HortScience*, 42(7), 1605-1608.
- Strasser, B. J., & Strasser, R. J. (1995). Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In *Photosynthesis: from Light to Biosphere*, Mathis, P., ed. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p. 977-980.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (1999). Screening the vitality and photosynthetic activity of plants by fluorescence transient. *Crop Improvement for Food Security*, 79, 126.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*, 25, 445-483.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis* (p. 321-362). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Struthers, R., Ivanova, A., Tits, L., Swennen, R., & Coppin, P. (2015). Thermal infrared imaging of the temporal variability in stomatal conductance for fruit trees. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 9-17.

- Sylvain, P. G. (1955). Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. Turrialba, v. 5, n. 1-2.
- Sylvain, P. G. (1958). El ciclo de crecimiento de *Coffea arabica*. In Curso Internacional sobre Técnicas de la Producción del Café 1958 Turrialba (Costa Rica). IICA, Turrialba (Costa Rica).
- Taiz, L., and Zeiger, E. (2017). *Fisiología e Desenvolvimento Vegetal*, 6th Edn. Porto Alegre: Artmed, 888p.
- Tausend, P. C., Meinzer, F. C., & Goldstein, G. (2000). Control of transpiration in three coffee cultivars: the role of hydraulic and crown architecture. *Trees*, 14, 181-190.
- Tesha, A. J., & Kumar, D. (1978). Some aspects of stomatal behaviour in *Coffea arabica* L. Effects of soil moisture, soil nitrogen and potassium, and air humidity. *Kenya Coffee*, 43, 339 - 343.
- Testi, L., Goldhamer, D. A., Iniesta, F., & Salinas, M. (2008). Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*, 26, 395-405.
- Tió, M.A., (1962). Effect of light intensity on the rate of apparent photosynthesis in coffee leaves. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 46, 159–166.
- Vass, I., Sass, L., Spetea, C., Bakou, A., Ghanotakis, D. F., & Petrouleas, V. (1996). UV-B-induced inhibition of photosystem II electron transport studied by EPR and chlorophyll fluorescence. Impairment of donor and acceptor side components. *Biochemistry*, 35(27), 8964-8973.
- Vass, I., Styring, S., Hundal, T., Koivuniemi, A., Aro, E., & Andersson, B. (1992). Reversible and irreversible intermediates during photoinhibition of photosystem II: stable reduced QA species promote chlorophyll triplet formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(4), 1408-1412.
- VOLTAN, R. B. Q., Fahl, J. I., & Carelli, M. L. C. (1992). Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 4(2), 99-105.
- Williams, R. L. (1988). Gerard and Jaume: Two Neglected Figures in the History of Jussiean Classification (Parts One and Two). *Taxon*, 37(1), 2-34.



- Wünsche, J. N., Lombardini, L., & Greer, D. H. (2002, August). 'Surround'Particle Film Applications-Effects on Whole Canopy Physiology of Apple. In XXVI International Horticultural Congress: Key Processes in the Growth and Cropping of Deciduous Fruit and Nut Trees 636 (p. 565-571).
- Yazici, K., & Kaynak, L. (2006, October). Effects of kaolin and shading treatments on sunburn on fruit of Hicaznar cultivar of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). In I International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits 818 (p. 167-174).
- Yu, G. H., Li, W., Yuan, Z. Y., Cui, H. Y., Lv, C. G., Gao, Z. P., ... & Chen, G. X. (2013). The effects of enhanced UV-B radiation on photosynthetic and biochemical activities in super-high-yield hybrid rice Liangyoupeijiu at the reproductive stage. *Photosynthetica*, 51(1), 33-44.
- Yuri, J. A., Lepe, V., Moggia, C., Bastias, R. & Bertschinger, L. (2004). Sunburn on apple. *Schweiz. Zeitschr. Obst- und Weinbau* 8: 7–10. (In German).
- Zissis, G. J. (1976). Infrared technology fundamentals. *Optical Engineering*, 15(6), 156484.

## **APÊNDICE**

Nesse apêndice eu compartilho algumas figuras, imagens e fotos que marcaram positivamente a minha formação acadêmica bem como presto uma homenagem aos familiares e amigos que me ajudaram nessa caminhada.

## Apêndice do Material e Métodos

### Local e data das avaliações



Disposição das plantas usadas no experimento de outono de 2018 sob telado sombreado de 50%. Irrigação automática e por gotejamento auto compensado.



Disposição das plantas usadas no experimento de outono de 2018 sob pleno sol. Irrigação automática e por gotejamento auto compensado.

## Material Vegetal e condições experimentais



Viveiro Aurora, onde produzi as mudas utilizadas no experimento para o outono de 2018. Viveirista responsável: Eng. Agro. Deivisson Pelegrino de Abreu. Foto registrada em dezembro de 2017.



Viveiro Aurora, onde produzi as mudas utilizadas no experimento para o verão de 2019. Viveirista responsável: Eng. Agro. Deivisson Pelegrino de Abreu. Foto registrada em janeiro de 2019.



Vasos de 25L usados para receber o substrato e posteriormente receber o plantio das mudas de café.

## Preparo e aplicação do FPCP



Pulverizador Guarany. Uso facilitado devido a possuir a pressão prévia, capacidade 1,2L. Material: Polipropileno; Cor: Branco e Verde; Bomba Tipo Pistão; Capacidade: 1,2L.

## Aplicação dos tratamentos e análises estatísticas



Dia 1 de exposição a pleno sol. Outono de 2018.

## Avaliação das variáveis meteorológicas



Mini-estação automática agrometeorológica de crescimento de plantas (modelo 2475, WatchDog Spectrum Technologies).



Mini-estação automática agrometeorológica de crescimento de plantas em uso no experimento (modelo 2475, WatchDog Spectrum Technologies).

## Equipamento utilizado para analisar as trocas gasosas



Analizador portátil de gás a infravermelho de sistema aberto (IRGA) modelo LI-6400 (Li-COR XT, Lincoln, Nebraska, USA)



### Emissão da Fluorescência da Clorofila (EFC)



Fluorímetro portátil de luz não modulada, modelo PEA (Plant Efficiency Analiser, Hansatech Ltd., King's Lynn, Norfolk, UK) e suas pinças.

### Termografia por infravermelho.



Câmera termográfica utilizada nas avaliações, modelo Flir i50.

### Imagem das análises de trocas gasosas

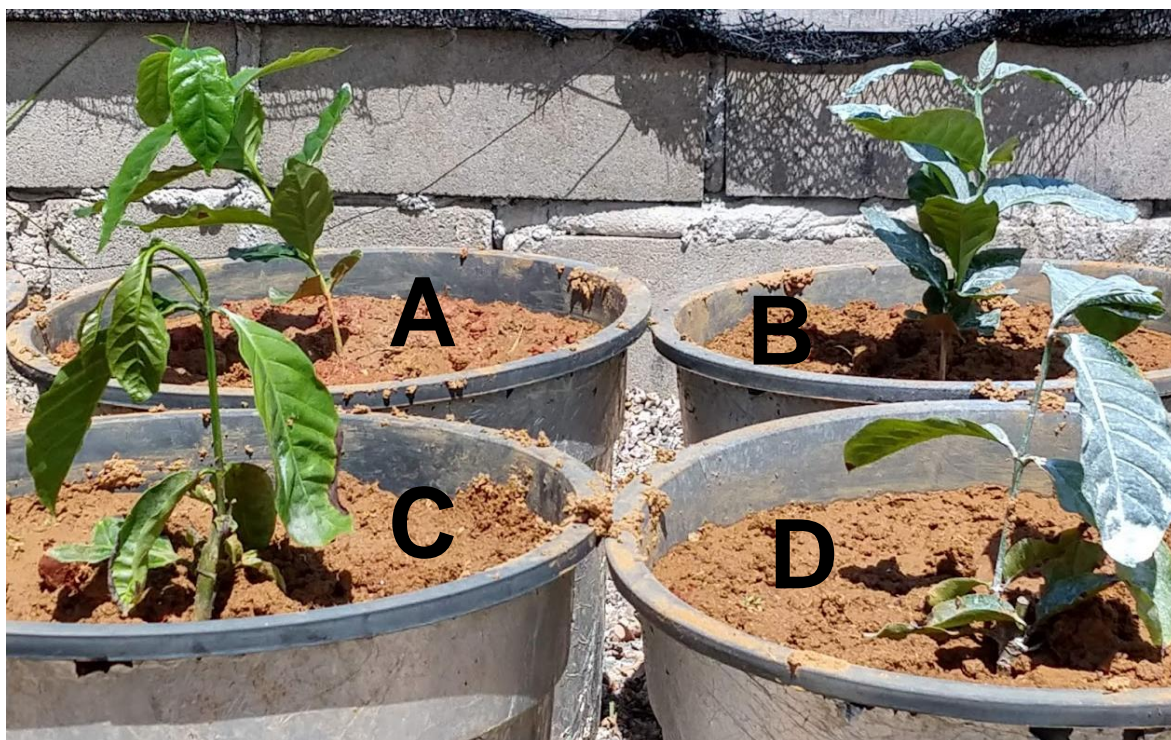


Gratidão ao amigo Wallace de Paula Bernardo, mestrando em Produção Vegetal pela UENF, e responsável pela realização das análises de trocas gasosas.

### Danos pelo excesso de radiação solar



Danos de escaldadura em *Coffea arabica* no décimo quarto dia de exposição a pleno sol em 26 de março de 2019 (Foto: Deivisson Pelegrino de Abreu).



Na foto superior, mudas *C. arabica* (A) e *C. canephora* (C) sob estresse e mudas *C. arabica* (B) e *C. canephora* (D) sob menor estresse em ambiente de exposição a pleno sol, no dia 26 de março de 2019 (Foto: Deivisson Pelegrino de Abreu).

## Motivação pela pesquisa em cafeicultura



A principal fonte de renda de minha família era obtida com o cultivo do cafeeiro. Desde os cinco 5 anos de idade eu auxiliava o meu pai no pomar de café. E as dúvidas de como solucionar os problemas no cultivo dessa fruta, me impulsionaram a fazer uma graduação em agronomia e ampliar meus conhecimentos em uma pós-graduação em Produção Vegetal, com ênfase em Ecofisiologia.

## Homenagem e agradecimento a familiares e amigos



Ao meu pai Adelson Abreu, que participou na montagem e instalação de todos os experimentos. Cair eu aprendi sozinho, mas a levantar eu aprendi com meu pai.



Gratidão aos amigos(as). Na primeira foto, da esquerda para direita, Katherine Fraga, Weverton Rodrigues e Danilo Baroni. Na segunda foto, da esquerda para direita, Thiago Amistá, Rosana Miranda, Wallace de Paula Bernardo, Henrique Oliveira e João Victor, sem o auxílio dessas pessoas maravilhosas esse trabalho não teria acontecido.



Gratidão aos amigos(a). Na primeira foto, da esquerda para direita, o meu pai Adelson Abreu, Weverton Rodrigues, meu orientador Eliemar Campostrini e Henrique Oliveira. Na segunda foto, da esquerda para direita, Jefferson Rangel, Katherine Fraga, Weverton Rodrigues, Wallace de Paula Bernardo e meu pai Adelson Abreu. sem o auxílio dessas pessoas maravilhosas esse trabalho não teria acontecido.





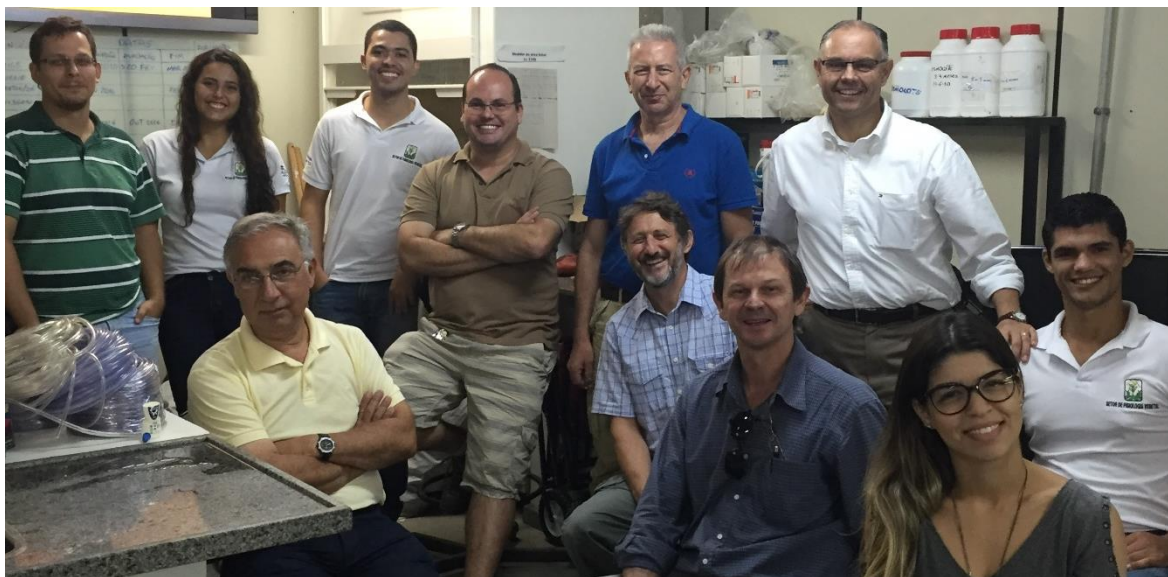
Agradecimento ao amigo Roger Chiabai (Viveiro Bioclone) por fornecer as mudas da espécie *Coffea canephora*, estudadas no outono de 2018. Na segunda foto, agradecimento ao amigo Ricardo Gava (Viveiro Ouro verde) por fornecer as mudas da espécie *Coffea canephora*, estudadas no verão de 2019.



Gratidão aos amigos(as) do grupo de pesquisas em Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais. Na segunda foto, da esquerda para direita, Cesar Krohling, Eliemar Campostrini, Miroslava Rakocevic e Rogério Daher, que foram fundamentais na correção e refinamento desta dissertação.



Gratidão ao professor Dr. Almy Junior Cordeiro de Carvalho, coordenador da Pós-Graduação em Produção Vegetal – UENF, pela especial atenção na solução de dúvidas e compreensão com os prazos de entrega. Na segunda foto, um agradecimento ao amigo Benjamim Valentin na realização das avaliações experimentais deste trabalho.



Na primeira foto, reunião realizada em 17 de dezembro de 2015, com parte do grupo de pesquisas em Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais e o Dr. Newton Roda, formalizando o início dos estudos com a tecnologia Surround® WP no Brasil. Agradeço imensamente ao grupo Tessenderlo Kerly (TKI) por financiarem parte desta pesquisa. Na segunda foto, da esquerda para a direita, agradecimento especial a Newton Roda (Diretor TKI no Brasil), Jonathan Akins (Presidente da TKI) e Peter Barrows (Diretor de negócios internacionais da TKI).



Agradecimento a minha mãe Dalva Abreu, ao meu pai Adelson Abreu e ao meu irmão Gideão Abreu, pelo apoio incondicional.