

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**DÉBORA MORO SOELA**

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE CARBONATO DE  
CÁLCIO EM MUDAS DE CAFÉ CONILON  
ASSOCIADO ÀS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS**

**São Mateus – ES**

**Fevereiro/2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE CARBONATO DE  
CÁLCIO EM MUDAS DE CAFÉ CONILON  
ASSOCIADO ÀS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS**

**DÉBORA MORO SOELA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória

**São Mateus – ES**

**Fevereiro/2021**

**DÉBORA MORO SOELA**

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO  
EM MUDAS DE CAFÉ CONILON ASSOCIADO ÀS RESPOSTAS  
FISIOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 26 de Fevereiro de 2021

**COMISSÃO EXAMINADORA**



---

**Prof. Dr. EDNEY LEANDRO DA  
VITORIA**

Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador(a)

---

**Prof(a). Dr(a). PRISCILA CONCEIÇÃO  
SOUZA BRAGA**

Instituto Federal do Espírito Santo

---

**Prof. Dr. ISMAEL LOURENÇO DE  
JESUS FREITAS**

Universidade Federal do Espírito Santo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S681t Soela, Débora Moro, 1995-  
Tecnologia de aplicação de carbonato de cálcio em mudas de  
café conilon associado às respostas fisiológicas / Débora Moro  
Soela. - 2021.  
40 f. : il.

Orientador: Edney Leandro Da Vitória.  
Coorientador: Antelmo Ralph Falqueto.  
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário  
Norte do Espírito Santo.

1. Carbonato de cálcio. I. Da Vitória, Edney Leandro. II.  
Falqueto, Antelmo Ralph. III. Universidade Federal do Espírito  
Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

---

*“E os que confiam no Senhor recebem sempre novas forças. Voam nas alturas como águias, correm e não perdem as forças, andam e não se cansam.”*

*Isaias 40:31*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida que me concedeste. A Ele toda honra e toda glória, por mais uma etapa que estou vencendo em minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória, por todo apoio, ensinamentos e confiança.

Ao Prof. Dr. Antelmo Falqueto, pela co-orientação e principalmente pela calma que transmite, me mostrando sempre que tudo ia dar certo, e que sou capaz.

À FAPES, pelo financiamento do projeto de pesquisa;

Agradeço a UFES (Ceunes), PPGAT, e a Lithoplant pela parceria para a execução do projeto.

Ao amigo Breno de Angeli Vieira que contribuiu com as mudas para execução do projeto.

À minha fiel escudeira Millena Monteiro, por estar comigo em todos os momentos do mestrado, compartilhando desesperos, alegrias, dias cansativos e aprendizados. Obrigada pela amizade e companheirismo.

Ao meu companheiro de vida Henrique Venturini, por me entender, apoiar e incentivar, você foi a força que eu precisava em muitos momentos.

Às novas amigadas que o mestrado me trouxe, e que levarei para a vida: Wini Galacho, Thayanne Rangel e Vinícius Fonseca. Obrigada por toda ajuda, apoio e amizade.

À minha família (mãe, vó e irmão) que sempre foram a minha base e fortaleza.

À todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para que esse sonho se realizasse, pois, sozinho nós não vamos a lugar algum. Meus mais sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 OBEJTIVO GERAL .....	3
3 OBEJTIVOS ESPECÍFICOS .....	3
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
<b>CAPÍTULO 1 – Efeito de diferentes pontas e pressões de pulverização na aplicação de carbonato de cálcio em mudas de café conilon .....</b>	<b>6</b>
RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
4. CONCLUSÕES .....	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	17
<b>CAPÍTULO 2 – Fluorescência da clorofila a de mudas de café conilon com aplicação de carbonato de cálcio .....</b>	<b>20</b>
RESUMO .....	20
ABSTRACT .....	21
1. INTRODUÇÃO .....	22
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3. RESULTADOS .....	27
4. DISCUSSÃO .....	30
5. CONCLUSÕES .....	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

## RESUMO GERAL

SOELA, Débora Moro; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2021; **Tecnologia de aplicação de carbonato de cálcio em mudas de café conilon associado às respostas fisiológicas**; Orientador: Edney Leandro da Vitória, Co-orientador: Antelmo Falqueto.

As mudas de café quando saem do viveiro e são levadas para o plantio no campo passam por estresses abióticos, dentre eles o excesso de luminosidade. A aplicação do carbonato de cálcio é uma técnica utilizada para diminuir os efeitos causados por esses estresses. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a tecnologia de aplicação do carbonato de cálcio em função da deposição e a sua eficiência através do comportamento fisiológico das plantas. O experimento foi dividido em dois capítulos, ambos com os mesmos tratamentos, diferenciando apenas as avaliações. Capítulo 1 – foi avaliado o conjunto de pontas de pulverização (BD 01, MGA 60° 1,0, MCP 1,5) e pressão de trabalho (206, 275, 344 e 413 kPa) que promovem a melhor cobertura foliar do carbonato de cálcio em mudas de café conilon através das variáveis diâmetro da mediana volumétrica (DMV), densidade de gotas (DEN) e cobertura (COB). A variável cobertura foi influenciada pela pressão em todas as pontas, conforme aumenta a pressão, melhor a porcentagem de cobertura foliar. A ponta cone vazio MGA 60° na pressão de 413 kPa promoveu a melhor porcentagem de cobertura do produto avaliado, portanto, melhor opção para aplicação. Capítulo 2 – avaliou-se as respostas fisiológicas das mudas com e sem aplicação do carbonato de cálcio através da análise de fluorescência da clorofila *a* das pontas BD 01 e MGA 60° e das pressões de 344 e 413 kPa. A interação dos fatores ponta e pressão de pulverização não foi significativa para as variáveis analisadas. O teste de média foi realizado diferenciando apenas entre plantas que tiveram aplicação de carbonato de cálcio (sem aclimatação), e plantas sem aplicação, porém com aclimatação. Plantas sem aplicação de carbonato de cálcio apresentaram valores elevados de fluxo de dissipação de energia (Dio/RC). A aplicação do carbonato de cálcio promoveu nas plantas melhor funcionamento do aparato fotossintético, comprovado pelos melhores resultados de Índice de desempenho do FSII ( $PI_{ABS}$ ) e Eficiência fotoquímica máxima do FSII (Fv/Fm). O produto promoveu uma fotoproteção ao estresse luminoso nas plantas.

**Palavras-chave:** fluorescência da clorofila, cobertura foliar, aclimatação.

## ABSTRAT

SOELA, Débora Moro; Federal University of Espirito Santo; February 2021; **Calcium carbonate application technology in conilon coffee seedlings associated with physiological responses**; Advisor: Edney Leandro da Vitória, Co-advisor: Antelmo Falqueto.

The coffee seedlings when they leave the nursery and are taken for planting in the field go through abiotic stresses, among them the excess of light. The application of calcium carbonate is a technique used to reduce the effects caused by these stresses. The objective of this work was to evaluate the application technology of calcium carbonate as a function of deposition and its efficiency through the physiological behavior of plants. The experiment was divided into two chapters, both with the same treatments, differentiating only the evaluations. Chapter 1 - the set of spray tips (BD 01, MGA 60° 1.0, MCP 1.5) and working pressure (206, 275, 344 and 413 kPa) that promote the best leaf coverage of calcium carbonate was evaluated in conilon coffee seedlings using the variables volumetric median diameter (DMV), droplet density (DEN) and cover (COB). The pressure at all ends influenced the coverage variable, as the pressure increases, the better the percentage of leaf coverage. The empty cone tip MGA 60° at a pressure of 413 kPa promoted the best percentage of coverage of the evaluated product, therefore, the best option for application. Chapter 2 - the physiological responses of the seedlings were evaluated with and without application of calcium carbonate through the chlorophyll a fluorescence analysis of the BD 01 and MGA 60° tips and the pressure of 344 and 413 kPa. The interaction of the tip and spray pressure factors was not significant for the analyzed variables. The average test was performed differentiating only between plants that had calcium carbonate application (without acclimatization), and plants without application, but with acclimatization. Plants without application of calcium carbonate showed high values of energy dissipation flow (Dio / RC). The application of calcium carbonate promoted a better functioning of the photosynthetic apparatus in plants, confirmed by the best results of the FSII performance index (PIABS) and maximum photochemical efficiency of the FSII (Fv / Fm). The product promoted a photoprotection to light stress on plants.

**Keywords:** chlorophyll fluorescence, leaf coverage, acclimation.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O café conilon, é uma cultura de grande importância no desenvolvimento do Brasil, pelo fato do mesmo ser o maior produtor e exportador de café no mundo, tendo elevado destaque no cenário econômico e social das regiões produtoras. Na colheita de 2018, foram produzidas 14 milhões de sacas beneficiadas de café conilon (*Coffea canephora* Pierre), com uma área plantada de 367 mil hectares. A estimativa para até o final de 2019, é que haja um crescimento mínimo de 2,9% na área cultivada (CONAB, 2019).

O crescimento de produção e área plantada, veem exigindo dos viveiristas de café a tecnificação na produção de mudas. Pois, sob condição de cultivo comercial do cafeeiro, existe uma busca para conferir ao plantio das mudas, condições adequadas para o seu desenvolvimento inicial de forma que minimize a ação dos fatores que promovem estresse abióticos. Uma técnica utilizada é a aclimação das mudas, onde as mudas que estão no viveiro de forma sombreada, é retirado o sombreamento gradativamente para que segundo Taiz et al., (2013) e Lambers et al., (2008) promova o ajuste morfológico e fisiológico do aparato fotossintético, aumentando a tolerância da planta ao estresse, uma vez que se expõe a muda previamente em condições de estresses abióticos sendo eles luminoso, térmico ou hídrico.

A radiação solar, está entre os fatores ambientais que têm a maior importância no crescimento da planta, por ser responsável pelo fornecimento de energia para o processo da fotossíntese. Porém, apesar da grande importância para o processo fisiológico das plantas, se o fornecimento de energia for maior que a capacidade da planta de receber, começa a ocorrer problemas fotossintéticos como a fotoinibição, devido a diminuição na eficiência do uso da radiação (JIANG et al., 2004; TAIZ et al., 2017).

A energia luminosa é coletada pelos complexos coletores de luz, conhecidos como sistema de antenas, onde são absorvidas comprimentos de ondas de 650 e 700 nm de luz e transferida para o FSI e FSII em série pela cadeia transportadora de elétrons, gerando no final produção de ATP e NADPH. A energia de excitação que não é utilizada na etapa fotoquímica pode ser também dissipada na forma de calor (processos não fotoquímicos) ou de fluorescência (STIRBET et al., 2014; ROCHAIX, 2007; MULLER et al., 2001).

Uma técnica muito utilizada para a identificação de estresses em plantas, na maioria das vezes abióticos, é a fluorescência da clorofila *a*, que identifica danos ocasionados no aparato fotossintético das plantas. É um método que não é destrutivo, rápido e sensível as alterações nos fotossistemas, tornando-o amplamente utilizado (STRASSER et al., 2004; EULLAFFROY et al., 2009).

Como a ocorrência de estresses abióticos provocam danos no desenvolvimento das plantas, a utilização de alternativas que reduzem os danos do estresses luminoso e térmico e promovam um melhor crescimento das plantas vem sendo utilizadas, como a aplicação de fotoprotetores foliares através da pulverização que formam uma película sobre a superfície foliar, com produtos à base de carbonato de cálcio (AHMED; SHAABAN; AHMED, 2011). O carbonato de cálcio segundo Ahmed et al., (2013) é um mineral que pode atuar barreira reflexiva à radiação, por ser altamente reflexível. Essa proteção gerada pelo carbonato de cálcio contribui para a redução dos danos causados pelos climas adversos, sem impedir a realização da fotossíntese, portanto aumentando o desempenho fotoquímico das plantas (BADRAN, 2015).

A utilização do carbonato de cálcio vem sendo relatada por diversos autores na proteção contra queimadura solar em frutos de macieira (MARTIN et al., 2017), efeitos fotoprotetores em videiras (BERNARDO et al., 2017), e efeito fotoprotetor e proteção contra escaldadura em mudas de café arábica (COBRA et al., 2020).

Para que a aplicação de filmes de partículas como o carbonato de cálcio e o caulim nas plantas sejam eficaz, é necessário que o produto tenha como características segundo Glenn e Puterka (2005) o diâmetro da partícula tem que ser  $<2 \mu\text{m}$ ; a cobertura sobre a planta tem que ser uniforme e o produto não pode impedir as trocas gasosas das folhas. Portanto, a eficácia do carbonato de cálcio, tem relação com a forma de aplicação do produto.

Na tecnologia de aplicação, a qualidade da aplicação segundo Derksen et al., (2012), está relacionada com a cobertura, deposição e eficácia no controle do alvo. A utilização do fotoprotetor a base de carbonato de cálcio, precisa promover uma cobertura foliar alta, pelo fato de formar uma película de proteção. A porcentagem de cobertura foliar está relacionada com o tipo de ponta e pressão de pulverização que definem o tamanho das gotas. De acordo com Yasin (2012) e Cunha e Ruas (2006), a principal característica para garantir a eficiência da aplicação, destaca-se a seleção correta de pontas e pressão de pulverização para a geração de classes de tamanho de gotas adequadas para o alvo.

A pressão de pulverização está diretamente relacionada com o tamanho das gotas, quanto maior a pressão menor o tamanho das gotas. Além disso, também interfere no ângulo de pulverização e na cobertura, por isto recomenda-se utilizar a pressão recomendada de cada tipo de ponta de pulverização, segundo os catálogos (CAMARA et al., 2008).

A tecnologia de aplicação vem sendo muito utilizada para garantir pulverizações, principalmente de defensivos agrícolas, de forma correta, sem deriva e que tenha eficácia no controle do alvo. Porém, estudos de tecnologia de aplicação para produtos que não estão na classe dos defensivos, como o carbonato de cálcio, ainda são escassos na literatura. Além disso, também são poucos encontrados trabalhos que associem a tecnologia de aplicação com a fisiologia das plantas.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a tecnologia de aplicação do carbonato de cálcio em mudas de café conilon e a sua eficiência ao estresse luminoso através do comportamento fisiológico das plantas.

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar qual conjunto de ponta e pressão de pulverização promovem melhor cobertura foliar na aplicação do carbonato de cálcio;
- Avaliar a relação da tecnologia de aplicação do produto com as respostas fisiológicas das mudas.
- Avaliar as alterações fisiológicas (fluorescência da clorofila *a*) em plantas com e sem aplicação de carbonato de cálcio;
- Avaliar a eficiência do produto nas mudas que não passaram pelo processo de aclimatação;

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, F. F. et al. Protecting Red Roomy Grapevines Growing Under Mini a Region Conditions from Sunburn Damage. **Stem Cell**, v. 4, n.2, p. 15-20, 2013.

AHMED, F. F.; SHAABAN, M.M.; AHMED, M.K. Protecting Crimson Seedless Grapevines Growing in Hot Climates from Sunburn. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 7, n.1, p. 135-141, 2011.

BADRAN, M.A. Benefits of calcium carbonate sprays on yield and fruit quality of samany and zaghoul date palm under new reclaimed soils. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 46, n.5, p.48-57, 2015.

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

CAMARA, F.T.; SANTOS, J.L.; SILVA, E.A.; FERREIRA, M.C. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR 11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 740-749, 2008.

COBRA, M.M.; FRANCO JUNIOR, K.S.; SANTOS, R.T.; Fotoprotetor em mudas de café arábica. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 2, p. 1-6, 2020.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2020). Acompanhamento da Safra Brasileira. Café, Segundo Levantamento, Safra 2019. Brasília, Brasil.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 61-66, 2006.

DERKSEN R. C., et al. Implications for pesticide delivery and insecticide selection using chemical analysis of plant tissue and efficacy. *International Advances in Pesticide Application - Aspects of Applied Biology*, v. 114, p. 279-286, 2012.

EULLAFFROY, P; FRANKART, C; AZIZ, A; COUDERCHET, M; BLAISE, B. Energy fluxes and driving forces for photosynthesis in *Lemna minor* exposed to herbicides. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 90, p. 172-178, 2009.

GLENN, D.M., PUTERKA, G.J. Particle films: a new technology for agriculture. **Horticultural Reviews**, v.31, p.1-44, 2005.

JIANG, A.C.D.; GAOB, H.Y.; ZOUB, Q.; JIANGA, G.M.; LIA, L.H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect Young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, p.1-10, 2004.

LAMBERS H. CHAPIN III F.S., PONS T.L.: **Plant Physiological Ecology**. 2nd Edition. Pp. 604. Springer-Verlag, New York 2008.

MARTIN, M.S.; PETRI, J.L.; SEZERINO, A.A.; GABARDO, G.C.; FENILI, C.L. Incidência de queimadura de sólidos em macieiras submetidas a aplicações de

carbonato de cálcio. Revista da 14ª Jornada da Pós graduação e Pesquisa- Congrega, Santa Catarina, p. 1-11, 2017.

MULLER, P.; LI, X.; NIYOGI, K. K. Non-photochemical quenching. A response to excesso light energy. **Plant Physiology**, v. 125, n. 4, p. 1558-1566, 2001.

ROCHAIX, J. Role of thylakoid protein kinases in photosynthetic acclimation. **Federation of European Biochemical Societies Lettres**, v. 581, p. 2768-2775, 2007.

STIRBET, A.; RIZNICHENO, Y.; RUBIN, A. B.; GOVINDJEE. Modeling Chlorophyll a fluorescence transient: Relations to photosynthesis. **Biochemistry (Moscow)**. v. 79, n. 4, p. 291-323, 2014.

STRASSER, R.J.; MICHAEL, M.T.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient. In: GOVINDJE G.P. (Ed.); *Advances in Photosynthesis and Respiration Chlorophyll Fluorescence a Signature of Photosynthesis*. **Kluwer Academic Publishers**. p. 321-362, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGE R, E. **Fisiologia vegetal**, Artmed, 954p, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Piracicaba: Ed. Artmed, 5. ed., 2013.

YASIN, M. Air assisted sleeve boom sprayer. **Ama-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America**, n. 43, p. 61-66. 2012.

## CAPÍTULO 1

### EFEITO DE DIFERENTES PONTAS E PRESSÕES DE PULVERIZAÇÃO NA APLICAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO EM MUDAS DE CAFÉ CONILON

#### RESUMO

A aplicação eficiente de produtos agrícolas, depende de uma série de fatores, dentre eles a escolha correta da ponta de pulverização e pressão de trabalho. Objetivou-se com esse estudo, determinar qual o conjunto de pontas de pulverização e pressão de trabalho promovem a melhor cobertura em mudas de café conilon. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial  $3 \times 4 + 1$ , três pontas de pulverização (BD 01, MGA 60° 1,0, MCP 1,5), quatro pressões de pulverização (206, 275, 344 e 413 kPa), e um tratamento controle adicional com aclimação, quatro repetições e quatro plantas em cada parcela. A taxa de aplicação foi a mesma em todos os tratamentos,  $100 \text{ L ha}^{-1}$  e dose de  $2 \text{ L ha}^{-1}$  do produto utilizado. A primeira aplicação do produto foi realizada dentro do viveiro, e as posteriores, em campo após o plantio das mudas, com intervalo de sete dias entre elas. Foram realizadas análises de espectro de gotas, onde foi avaliado os parâmetros de diâmetro da mediana volumétrica (DMV), densidade de gotas (DEN) e cobertura (COB). A variável cobertura foi influenciada pela pressão em todas as pontas, conforme aumenta a pressão, melhor a porcentagem de cobertura. A ponta cone vazio MGA 60° na pressão de 413 kPa promoveu a melhor porcentagem de cobertura do produto avaliado, portanto, melhor opção para aplicação.

**Palavras chave:** Cobertura foliar, gotas, espectro de gotas.

## EFFECT OF DIFFERENT SPRAY TIPS AND PRESSURES ON THE APPLICATION OF CALCIUM CARBONATE IN CONILON COFFEE SEEDLINGS

### ABSTRACT

The efficient application of agricultural products depends on a number of factors, including the correct choice of spray tip and working pressure. The objective of this study was to determine which set of spray tips and working pressure provide the best coverage in conilon coffee seedlings. The experiment was conducted in a randomized block design in a factorial scheme  $3 \times 4 + 1$ , three spray tips (BD 01, MGA 60° 1.0, MCP 1.5), four spray pressures (206, 275, 344 and 413 kPa), and an additional control treatment with acclimatization, four replications and four plants in each plot. The application rate was the same in all treatments, 100 L ha<sup>-1</sup> and a dose of 2 L ha<sup>-1</sup> of the product used. The first application of the product was carried out inside the nursery, and the subsequent ones, in the field after planting the seedlings, with an interval of seven days between them. Droplet spectrum analyzes were performed, in which the parameters of diameter of the volumetric median (DMV), droplet density (DEN) and cover (COB) were evaluated. The pressure at all ends influenced the coverage variable, as the pressure increases, the better the percentage of coverage. The empty cone tip MGA 60<sup>a</sup> at a pressure of 413 kPa promoted the best percentage of coverage of the evaluated product, therefore, the best option for application.

**Keywords:** Leaf coverage, drops, drops spectrum.

## 1. INTRODUÇÃO

O café conilon, é uma cultura de grande importância econômica no estado do Espírito Santo, tendo um crescimento expressivo anual em quantidade de área plantada, porém, é uma cultura sensível ao estresse térmico/luminoso principalmente no seu desenvolvimento inicial, após o plantio das mudas em campo. Para minimizar os efeitos negativos do estresse nas plantas, estão sendo utilizado compostos à base de carbonato de cálcio. De acordo com Lal; Sahu (2017), o carbonato de cálcio é um mineral altamente reflexível, e em formulação líquida, forma uma fina camada, que reflete parte da luz, protegendo de altas intensidades de radiação solar, sem impedir a ocorrência de fotossíntese (AHMED et al., 2011). Da Silva et al. (2019), concluíram que a aplicação de carbonato de cálcio em mudas de café conilon obteve níveis similares ou até superiores na manutenção da transpiração e do resfriamento, comparados ao sombreamento natural.

A aplicação de um filme de partícula de carbonato de cálcio eficaz em tecidos vegetais devem ter características como: ser uma partícula quimicamente inerte; seu diâmetro de partícula deve ser menor que  $2\mu\text{m}$ ; facilidade para criar um filme sobre a superfície de modo que proteja mas não interfira nas trocas gasosas (GLENN; PUTERKA, 2005). A eficiência do produto está diretamente relacionada com a tecnologia de sua aplicação, pelo fato de precisar gerar uma cobertura total sobre a superfície da folha e ainda são encontrados poucos dados sobre a tecnologia de aplicação desses compostos, sendo incipiente os estudos sobre a sua tecnologia de aplicação em mudas de café conilon, para que se tenha uma boa eficácia do produto.

Na tecnologia de aplicação, a qualidade de cobertura do alvo está relacionada principalmente com o diâmetro de gotas, o volume de calda, a pressão de pulverização, a arquitetura das plantas e aos fatores climáticos. As pontas de pulverização são responsáveis pela formação das gotas e por isso determinantes no processo de pulverização, pois, gotas menores proporcionam melhor cobertura e capacidade de penetração, e gotas maiores, garantem uma aplicação com menor risco de deriva, porém, menor cobertura e penetração. Desse modo, a escolha correta do tipo de ponta de pulverização é um fator determinante na eficiência da aplicação. (FERREIRA et al., 2011; CHECHETTO et al., 2013; VITÓRIA; CAMPANHARO, 2016).

Atualmente, a uma grande diversidade no mercado de tipos e modelos de pontas de pulverização, com especificações técnicas para cada tipo de aplicação. Entre

essas opções de pontas, as mais utilizadas para as pulverizações são as de jato plano e jato cônico, na qual se diferenciam principalmente pelo ângulo e pressão de abertura do jato. As pontas de jato plano são conhecidas como do tipo leque, devido a sua capacidade de abertura angular do jato quase por completo. Os modelos de jato cônico possuem dois tipos: cone vazio e cone cheio (MARANGONI JÚNIOR, 2018). Desta forma, para a escolha correta da ponta de pulverização deve levar em consideração alguns fatores como: o tipo de produto a ser aplicado, modo de ação dos produtos, qual o seu alvo, e condições meteorológicas (GRIESANG et al., 2017).

A pressão de trabalho de uma pulverização têm relação direta com a sua eficácia, pois, ela em conjunto com a ponta e condições ambientais, determinam o tamanho da gota, e conseqüentemente, a densidade e cobertura de gotas no alvo (CAMARA, et al., 2008). De acordo com Nuyttens et al. (2007), uma combinação adequada de ponta de pulverização e pressão de trabalho pode maximizar a cobertura do alvo.

Os parâmetros mais utilizados para caracterizar o espectro de gotas das pulverizações, são diâmetro mediano volumétrico (DMV), que divide o volume pulverizado em duas metades: 50% do volume têm gotas menores do que o DMV e 50% do volume pulverizado têm gotas maiores do que o DMV (ANDEF, 2010); Densidade de gotas (quantidade de gotas por  $\text{cm}^2$ ); e Porcentagem de cobertura do alvo.

Foi visto em diversos estudos, que a utilização do carbonato de cálcio é uma alternativa eficaz como protetor solar, porém, ainda são escassos trabalhos que associem a utilização desse composto, com a tecnologia de aplicação. Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho determinar qual combinação de ponta de pulverização e pressão de trabalho promovem a melhor distribuição das gotas do carbonato de cálcio em mudas de café conilon.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido em dois locais distintos. Inicialmente no viveiro comercial Aliança, localizado no município de Aracruz-ES, distrito de Jacupemba, e posteriormente no município de São Mateus na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, latitude 18° 40' 25" S, longitude 40° 51' 23"W.

O clima de ambas as regiões é caracterizado como quente e úmido, tipo Aw, com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O experimento foi realizado nos meses de janeiro à maio de 2020, e os parâmetros climáticos podem ser visualizados na Figura 1 (A e B) os dados de precipitação, temperatura, e radiação que foram obtidos pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada em São Mateus.

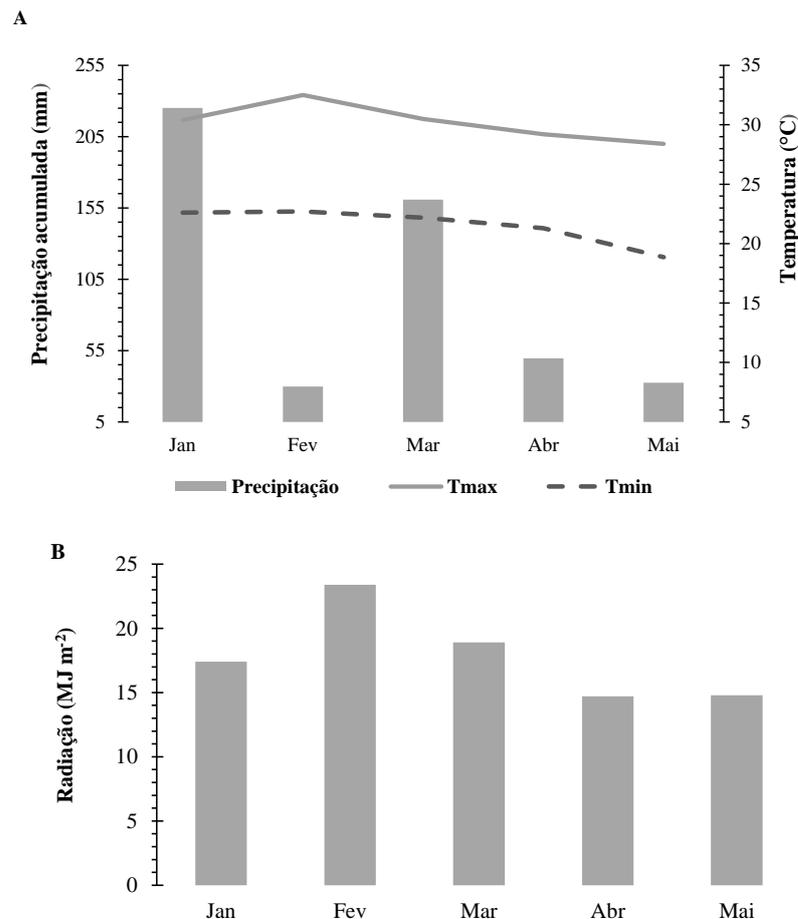


Figura 1 – (A) Dados de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período de execução do experimento; (B) Dados de média mensal da

radiação ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) durante o período de execução do experimento no município de São Mateus.

O produto comercial utilizado foi um fertilizante mineral composto por carbonato de cálcio e óxido de zinco, tendo em suas garantias cálcio total (Ca): 18,5% e zinco total (Zn): 0,5% com nome comercial de Sombryt® da empresa Lithoplant, e trabalhou-se com a dose de dois litros por hectare.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em um esquema fatorial  $3 \times 4 + 1$ , com quatro repetições. As fontes de variação foram as três pontas de pulverização (BD 01, MGA 60° 1,0, MCP 1,5) e quatro valores de pressão de pulverização (206, 275, 344 e 413 kPa), conforme descrito na Tabela 1 e 2. A taxa de aplicação foi a mesma em todos os tratamentos,  $100 \text{ L ha}^{-1}$ . O pulverizador utilizado foi o costal do tipo pressurizado por  $\text{CO}_2$ , do fabricante Herbicat®. Trabalhou-se com altura de aplicação de 0,50 m da superfície foliar.

Tabela 1 – Especificação das pontas avaliadas.

Ponta	Tipo de jato	Fabricante	Classe de gotas
BD 01 1,0	Jato plano	MagnoJet	Média
MGA 60° 1,0	Jato cônico vazio	MagnoJet	Fina
MCP 1,5	Jato cônico vazio	MagnoJet	Fina

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 2 – Caracterização dos tratamentos utilizados.

Tratamento	Ponta	Pressão de trabalho (kPa)
1	BD 01	206
2	BD 01	275
3	BD 01	344
4	BD 01	413
5	MGA 60° 01	206
6	MGA 60° 01	275
7	MGA 60° 01	344
8	MGA 60° 01	413
9	MCP 1,5	206
10	MCP 1,5	275
11	MCP 1,5	344
12	MCP 1,5	413

kPa: Kilopascal;

Fonte: Produção da própria autora.

As mudas de café foram adquiridas em um viveiro comercial certificado, assim garantiu-se mudas padronizadas em função tratamentos nutricionais e fitossanitários necessários e comumente utilizados no viveiro. O material genético utilizado foi o clone 153 do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), classificado como sensível ao estresse térmico/luminoso.

As mudas padrões que são comercializadas pelos viveiristas passam pelo processo de aclimação. As mudas do experimento não passaram por esse processo (apenas a testemunha). A primeira parte do experimento foi conduzida dentro do viveiro, no qual sete dias antes da aclimação que o viveirista iria proceder nas suas mudas padrão, foi realizada a primeira aplicação do carbonato de cálcio nas mudas dos tratamentos. Após a aplicação, as mudas permaneceram no viveiro, e no momento de “aclimação” do viveirista, as mudas foram retiradas do viveiro e levadas para a Fazenda Experimental da UFES onde foi realizada a segunda parte do experimento. As mudas do tratamento testemunha permaneceram no viveiro até terminar a aclimação.

Em campo foi feito o plantio das mudas em vasos plásticos com volume de 5 L, no qual já estavam devidamente corrigidos com calcário e adubados com o adubo super simples (formulação 00 15 00) conforme a recomendação de plantio. Após o plantio das mudas, foram realizadas outras três aplicações com intervalos de sete dias entre elas na área experimental em campo.

As mudas do tratamento controle permaneceram no processo de aclimação no viveiro por trinta dias, e em seguida foram plantadas na mesma área experimental, seguindo os mesmos procedimentos e tratamentos culturais.

Para a realização das aplicações, seguiu-se a metodologia descrita na Norma ISO 22866 (International Organization for Standardization - ISO, 2005). Esta norma preconiza que durante as aplicações a temperatura deve estar entre 5 e 35°C, para a velocidade do vento, a norma permite que no máximo 10% das medidas estejam abaixo de 1,0 m s<sup>-1</sup> e a direção do vento dentro de um limite de 90° ± 30° em relação à linha de pulverização. Assim, o sentido ideal do vento para que as aplicações fossem feitas, deveria ser leste-sudeste (112,5°), e podendo estar entre leste e sudeste (90° e 135). As condições climáticas do local no momento da pulverização foram monitoradas pela estação meteorológica automática da UFES – Campus São Mateus.

Para a avaliação do espectro de gotas da calda, foram colocadas uma etiqueta

de papel hidrossensível (76 x 26 mm) em uma planta de cada tratamento. Após a aplicação as etiquetas foram recolhidas e digitalizadas por meio de um scanner de 300 dpi de resolução na impressora multifuncional “HP Photosmart D110 Series” e submetidas às análises de cobertura, DMV e densidade de gotas pelo software computacional "Image Tool" versão 3.0.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro Wilk. Em seguida, a análise de variância pelo teste F, sendo constatada diferença significativa, as médias das características avaliadas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Software R CORE TEAM versão 3.0.2 (2013).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O espectro de distribuição de gotas usando as pontas BD 01, MGA 60° 1,0, e MCP 1,5 com diferentes pressões de pulverização são mostrados nas Tabelas 3,4 e 5. Com relação as variáveis Cobertura (Tabela 3) e Densidade de gotas (Tabela 4) não houve interação significativa entre os fatores, o que caracteriza a independência dos mesmos. Diferente da variável DMV (Tabela 5), na qual a interação entre os fatores pontas e pressões de pulverizações, foram significativas, o que indica dependência dos mesmos.

Na variável cobertura, em ambas as pontas, foi observado que conforme aumentou a pressão, houve um crescimento na porcentagem de cobertura, como descrito na Tabela 3. Na pressão mínima de 206 kPa obteve-se uma cobertura de 51,62%, já a pressão máxima de 413kPa obteve-se uma cobertura de 70,06%. Esse resultado é devido ao fato de que quando se aumenta a pressão de trabalho, o tamanho de gotas diminui, promovendo uma maior porcentagem de cobertura.

Vitória et al., (2014) observaram esse mesmo comportamento em pontas de pulverização hidráulicas do tipo jato cônico vazio. Viana et al., (2010) trabalharam com pressões de 200, 300 e 400 kPa, e observaram que o incremento na pressão proporcionou maior cobertura do alvo. Segundo Camara et al., (2008) a pressão de pulverização influencia no tamanho das gotas, quanto maior a pressão, menor o tamanho das gotas, promovendo melhores resultados de cobertura. Segundo Silva et al., (2013), as pontas tipo cone vazio são muito utilizadas na cafeicultura para aplicações foliares em função da boa densidade e cobertura proporcionadas,

corroborando com os resultados obtidos.

Portanto, a ponta MGA 60° comprovou sua superioridade em relação as pontas BD e MCP respectivamente na variável cobertura. Embora a ponta MGA 60° na pressão de 413kPa tenha mostrado uma superioridade em relação a cobertura, é importante salientar que coberturas muito altas, em condições inadequadas para pulverização podem promover o escorrimento do produto para o solo.

Tabela 3. Médias da característica de Cobertura (%), de pontas de pulverização em função de diferentes pressões.

<b>COBERTURA (%)</b>	
<b>Ponta</b>	
BD 01	47,78 <b>b</b>
MGA 60°	80,36 <b>a</b>
MCP 1,5	50,23 <b>b</b>
<b>Pressão (kPa)</b>	
206	51,62 <b>b</b>
275	56,86 <b>b</b>
344	59,29 <b>b</b>
413	70,06 <b>a</b>
<b>CV= 15,61%</b>	<b>W: 0,736</b>

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A ausência de letras indica que não houve significância no teste F.

Fonte: Produção da própria autora.

A variável densidade de gotas (Tabela 4), apresentou um comportamento inversamente proporcional à variável cobertura. As pontas que apresentaram melhores porcentagem de cobertura, possuem os menores valores de densidade de gotas. A pressão não teve influência na variável, porém, a pressão de 413kpa apresentou menores valores de densidade de gotas. As pontas BD, MGA e MCP obtiveram a densidade de 87,92; 30,71 e 67,98 (gotas/cm<sup>2</sup>), respectivamente. Esse comportamento não é comum, como citado por Matthews et al., (2016) quanto menor o diâmetro de gotas, maior será a densidade de gotas, consequentemente aumenta a quantidade de calda no alvo, aumentando a cobertura.

A ponta BD que é classificada pelo catálogo como gotas médias, foi a que proporcionou o maior valor de densidade de gotas e menor cobertura, inversamente

proporcional as pontas MCP e MGA respectivamente, na qual são classificadas como gotas finas. As pontas MCP e MGA formaram gotas finas que ao processar as etiquetas, as mesmas se sobrepuseram, resultando na leitura de aglomerações de gotas, ao invés de cada gota individualmente, desse modo, resultando em densidades menores, coberturas maiores e DMV maiores (Tabela 5) proporcionalmente para as pontas MGA e MCP, e o inverso para a ponta BD.

Cunha et al., (2013) afirmam que a maior densidade de gotas está relacionado com à sensibilidade do programa em realizar a separação das gotas sobrepostas. Esta relação inversa entre densidade de gotas e DMV também pôde ser observada quando foi comparado diferentes pontas de jato plano (SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2012, VIEIRA et al., 2019).

Tabela 4. Médias da característica Densidade de gotas (gotas/cm<sup>2</sup>), de pontas de pulverização em função de diferentes pressões.

<b>DENSIDADE (gotas/cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>Ponta</b>	
BD 01	87,92 <b>a</b>
MGA 60°	30,71 <b>c</b>
MCP 1,5	67,98 <b>b</b>
<b>CV= 35,87%</b>	<b>W: 0,065</b>

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A ausência de letras indica que não houve significância no teste F.

Fonte: Produção da própria autora.

O DMV (Tabela 5), é o diâmetro mediano volumétrico, onde divide o volume pulverizado em duas metades iguais, no qual, o volume de calda pulverizado de 100L/há, 50 litros obtiveram gotas com diâmetro menor que o valor de DMV, e 50 litros obtiveram gotas com diâmetro maior que o valor de DMV de cada ponta e pressão.

As pontas MGA e MCP são especificadas pelo fabricante como gotas finas e a ponta BD classificada como gotas médias segundo a classificação da British Crop Protection Council (Doble et al., 1985). Essa classificação tem como parâmetro o valor de DMV, onde pontas que se enquadram em gotas finas, produzem um DMV máximo de 177 µm, gotas médias máximo de 218 µm e gotas ultra grossas acima de 622 µm.

O DMV proporcionado pelas três pontas avaliadas nas pressões de 206,275 e 344kPa obtiveram diferença estatística entre si. Porém, em ambas pressões e pontas,

o DMV proporcionado, foram todos acima de 622  $\mu\text{m}$ , o que as classificam como gotas ultra grossas, segundo a classificação BCPC (Doble et al., 1985). As pontas BD, MCP e MGA apresentaram os menores valores da variável respectivamente. A pressão de 413 não apresentou diferença significativa entre as pontas.

Esse resultado pode ser explicado devido ao método de leitura das gotas realizado por software, através das leituras das etiquetas de papel hidrossensível. As pontas proporcionaram gotas finas, porém, no momento da leitura das etiquetas, o programa reconheceu a aglomeração de gotas pequenas como uma única gota, conseqüentemente, resultando em valores altos de DMV, e menor densidade de gotas por  $\text{cm}^2$ .

Zhu et al., (2011), mencionaram que os resultados de tamanho de gota e deposição obtidos através de software, podem ser imprecisos quando a porcentagem de cobertura é grande (acima de 20%) devido à sobreposição de gotas. Hoffman e Hewitt (2005), citam que ocorrem problemas para a mensurações de gotas quando são menores do que 50  $\mu\text{m}$ , pois estes volumes são insuficientes para fazer alteração no pH do papel. Com isso, podemos supor que a leitura por software podem gerar erros de leituras quando obtemos pulverizações com gotas muito finas.

Tabela 5. Médias da característica Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV), de pontas de pulverização em função de diferentes pressões.

Pressão (kpa)	DMV		
	BD 01	MGA 60°	MCP 1,5
206	758,25 <b>b</b>	1520,81 <b>aAB</b>	850,27 <b>ab</b>
275	887,14 <b>b</b>	1619,50 <b>aA</b>	1044,22 <b>ab</b>
344	876,05 <b>b</b>	1812,09 <b>aA</b>	1039,74 <b>b</b>
413	1387,91	800,36 <b>B</b>	1353,24
<b>CV= 34,95%</b>		<b>W: 0,365</b>	

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A ausência de letras indica que não houve significância no teste F.

Fonte: Produção da própria autora.

#### 4. CONCLUSÃO

A ponta cone vazio MGA 60<sup>a</sup> na pressão de 413 kPa promoveu a melhor porcentagem de cobertura do produto avaliado, portanto, melhor opção para o produto avaliado.

A variável cobertura foi influenciada pela pressão em todas as pontas, conforme aumenta a pressão, melhor a porcentagem de cobertura.

Os resultados das variáveis densidade de gotas e DMV podem ter sido influenciados pela capacidade de leitura do software nas etiquetas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, F.F.; SHAABAN, M.M.; ABD EL-AAL, A.M.K. Protecting Crimson Seedless Grapevines Growing in Hot Climates from Sunburn. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v.7, n.1, p.135-141, 2011.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711– 728, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL - ANDEF. Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários. São Paulo, 50p, 2010.

CAMARA, F.T.; SANTOS, J.L.; SILVA, E.A.; FERREIRA, M.C. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR 11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 740-749, 2008.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A.; VILELA, C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2013.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2020). Acompanhamento da Safra Brasileira. Café, Segundo Levantamento, Safra 2019. Brasília, Brasil.

CUNHA, J.P.A.R; FARNESE, A.C.; OLIVET, J.J. Programas de computador para análise de gotas pulverizadas em papéis sensíveis à água. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.31, n. 3, p. 715 – 720, 2013.

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

DOBLE, S. J. et al. A system for classifying hydraulic nozzles and other atomizers into categories of spray quality. **Brit. Crop Protec. Coun.** v. 9, n. 1 p. 112-122, 1985.

FERREIRA, M. C.; LOHMANN, T. R.; CAMPOS, A. P.; VIEL, S. R.; FIGUEIREDO, A.

Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.

FERREIRA, M. et al. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.

GLENN, D.M., PUTERKA, G.J. Particle films: a new technology for agriculture. **Horticultural Reviews**, v.31, p.1–44, 2005.

GRIESANG, F.; DECARO, R. A.; SANTOS, C. A. M.; SANTOS, E. S.; ROQUE, N. H. D. L.; FERREIRA, M. C. How much do adjuvant and nozzles models reduce the spraying drift? Drift in agricultural spraying. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 8, n. 11, p. 2785–2794, 2017.

HOFFMAN, W.C.; HEWITT, A.J. Comparison of three imaging systems for water sensitive papers. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 21, n.6, p.961-964, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/FDIS 22866: Equipment for crop protection – methods for field measurement of spray drift. Geneva: ISO, 22 p, 2005.

LAL, N.; SAHU, N. Management Strategies of Sun Burn in Fruit Crops-A **Review**. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.6, n.6, p.1126-1138, 2017.

MARANGONI JUNIOR, A. Influência da pressão e da ponta de pulverização na distribuição de caldas em pulverizadores costais manuais. 2018. (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2018.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Métodos de aplicação de defensivos agrícolas**. 4. ed. São Paulo: Andrei, 2016.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**. v.97, p.333-345, 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2013. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

SILVA, J. E. R. Deposição de calda aplicada em folhas de cafeeiro com diferentes volumes e pontas de pulverização. 2013. 41f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Fitotecnia). – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M.C.; TEIXEIRA, M.M.; ROSELL, J. R.; MACHADO, A.F.L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Revista Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.

VITÓRIA, E. L. da; ROCHA NETO, F. de C.; CHAGAS, K. TEIXEIRA, M. M. QUIRINO, A. L. da S.; SANTIAGO, H. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio DDC2 novas e usadas. **Revista Agro@Mambiente On-Line** v. 8, n.3, p. 368–376, 2014.

VITÓRIA, E.L.; CAMPANHARO, A. Amostra de etiquetas hidrossensíveis para determinação de espectro de gotas em pulverização no cafeeiro canephora. **Coffee Science**, v.11, n.3, p.367-373, 2016.

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R.D. Um sistema de digitalização portátil para avaliação da distribuição de depósito de spray. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.76, p. 38 – 43, 2011.

## CAPÍTULO 2

### FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a* DE MUDAS DE CAFÉ CONILON COM APLICAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO

#### RESUMO

Para evitar danos ao aparato fotossintético no desenvolvimento inicial e, conseqüentemente, melhorar o desempenho das plantas submetidas à variação de fatores externos como o estresse térmico e luminoso, compostos químicos vem sendo utilizados como alternativa para proteção contra esses fatores. Objetivou-se com esse estudo, avaliar as respostas no desempenho fotossintético das plantas de café conilon com aplicação de carbonato de cálcio nos primeiros meses após o transplante através da análise de fluorescência da clorofila *a*. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 2 + 1, duas pontas de pulverização (BD 01 e MGA 60°), duas pressões de pulverização (344 e 413 kPa), e um tratamento controle adicional com aclimação, quatro repetições e quatro plantas em cada parcela. A taxa de aplicação foi a mesma em todos os tratamentos, 100 L ha<sup>-1</sup> e dose de 2,0 L ha<sup>-1</sup> do produto utilizado. A primeira aplicação do produto foi realizada dentro do viveiro, e as posteriores, em campo após o plantio das mudas, com intervalo de sete dias entre elas. A interação dos fatores ponta e pressão de pulverização não foi significativa para as variáveis analisadas de fluorescência de clorofila, o teste de média foi realizado diferenciando apenas entre plantas que tiveram aplicação de carbonato de cálcio (sem aclimação), e plantas sem aplicação, porém com aclimação. Plantas sem aplicação de carbonato de cálcio apresentaram valores elevados de fluxo de dissipação de energia (Dio/RC). A aplicação do carbonato de cálcio promoveu nas plantas melhor funcionamento do aparato fotossintético, comprovado pelos melhores resultados de Índice de desempenho do FSII (PI<sub>ABS</sub>) e Eficiência fotoquímica máxima do FSII (Fv/Fm). O produto promoveu uma fotoproteção ao estresse luminoso nas plantas.

**Palavras chave:** Fotoproteção, Teste JIP, Estresse abiótico.

## **FLUORESCENCE OF CHLOROPHYL *a* OF CONILON COFFEE PLANTS WITH CALCIUM CARBONATE APPLICATION**

### **ABSTRACT**

In order to avoid damage to the photosynthetic apparatus in the initial development and, consequently, to improve the performance of plants subjected to the

variation of external factors such as thermal and luminous stress, chemical compounds have been used as an alternative to protect against these factors. The objective of this study was to evaluate the responses in the photosynthetic performance of conilon coffee plants with application of calcium carbonate in the first months after transplanting through the chlorophyll a fluorescence analysis. The experiment was conducted in a randomized block design in a 2 x 2 + 1 factorial scheme, two spray tips (BD 01 and MGA 60°), two spray pressures (344 and 413 kPa), and an additional control treatment with acclimatization, four repetitions and four plants in each plot. The application rate was the same in all treatments, 100 L ha<sup>-1</sup> and 2.0 L ha<sup>-1</sup> of the product used. The first application of the product was carried out inside the nursery, and the subsequent ones, in the field after planting the seedlings, with an interval of seven days between them. The interaction of the tip and spray pressure factors was not significant for the analyzed chlorophyll fluorescence variables, the average test was performed differentiating only between plants that had applied calcium carbonate (without acclimatization), and plants without application, but with acclimatization. Plants without application of calcium carbonate showed high values of energy dissipation flow (Dio/RC). The application of calcium carbonate promoted a better functioning of the photosynthetic apparatus in plants, confirmed by the best results of the FSII performance index (PIABS) and maximum photochemical efficiency of the FSII (Fv/Fm). The product promoted a photoprotection to light stress on plants.

**Keywords:** Photoprotection, JIP test, Abiotic stress.

## 1. INTRODUÇÃO

O café é uma importante *commoditie* agrícola brasileira, e o país destaca-se por ser o maior produtor e exportador de café do mundo. Em 2019, a produção do café Conilon (*Coffea canephora*) no Espírito Santo foi de, aproximadamente, 10,5 milhões de sacas, o que corresponde a cerca de 78% da produção nacional (CONAB, 2020), o que faz deste estado o maior produtor dessa espécie no Brasil. Dessa forma, ressalta-se a importância da cafeicultura como uma atividade geradora de empregos, tributos, e conseqüentemente, formação de receita nacional.

Um dos primeiros passos que levam à formação de cafeeiros produtivos é o plantio de mudas saudáveis e vigorosas. Um dos primeiros passos que levam à formação de cafeeiros produtivos é o plantio de mudas saudáveis e vigorosas. No café conilon, a propagação assexuada é responsável por aproximadamente 90% de suas mudas produzidas por apresentarem características semelhantes às plantas matrizes, promovendo a formação de lavouras mais homogêneas, com características que são desejáveis quanto à arquitetura de sua copa, formação de ramos produtivos mais vigorosos, plantas com boa produtividade, colheita uniforme e resistência a doenças (FILHO et al, 2019; FILHO et al., 2021).

No viveiro, a produção de mudas normalmente é feita em ambiente sombreado, passando por um processo de aclimação gradual antes de saírem para o campo, facilitando a sua ambientação e pegamento. Essa aclimação ocorre após a formação do segundo ou terceiro par de folhas e é constituído da retirada, pouco a pouco, do sombrite presente sobre a área do viveiro até a completa exposição das plantas ao sol (FILHO et al., 2017; POLLO et al., 2020), objetivando promover uma adaptação do aparato fotossintético às condições ambientais estressantes.

Entre esses estresses, destaca-se a luminosidade, que afeta diretamente nos processos fisiológicos, bioquímicos e de anatomia vegetal. Sendo assim, a habilidade de adaptação das mudas à variação da condição luminosa pode afetar a eficiência de crescimento dos indivíduos (TATAGIBA et al., 2009). O excesso de radiação pode levar a danos ao aparato fotossintético e comprometer a capacidade fisiológica das mudas (SILVA et al., 2013), acarretando redução na taxa de transporte de elétrons através do fotossistema II, e conseqüentemente, perda de eficiência fotossintética (SOUZA, 2016); um processo chamado de fotoinibição.

Para evitar danos ao aparato fotossintético e, conseqüentemente, melhorar o desempenho das plantas submetidas à essa variação de luminosidade, compostos químicos podem ser formulados para proteção contra o estresse térmico e luminoso. Esses compostos a base de carbonato de cálcio têm sido relatados como uma tecnologia eficiente no aumento da adaptação das plantas ao clima adverso controlando o estresse fotooxidativo (DA SILVA et al., 2019), e foram associados a efeitos fotoprotetores em videiras (BERNARDO et al., 2017), redução de temperatura foliar em macieiras (GLENN, 2016) e fotoproteção e aumento na taxa de fotossíntese líquida de café (DA SILVA et al., 2019).

A técnica de fluorescência da clorofila *a* têm sido usada como um método rápido, simples e não destrutivo para avaliar a extensão de danos ao aparato fotossintético sob diversos tipos de estresses ambientais, entre eles, fotoinibição e estresse térmico. Contudo, a fluorescência Chl *a* comporta-se de maneira inversamente proporcional às mudanças na emissão de calor dissipativo, ou seja, ocorre um efeito de rendimento (o aumento no rendimento da emissão de calor causa uma diminuição no rendimento da emissão de fluorescência) (KALAJI et al., 2017). Dessa forma, a fluorescência pode ser usada como um avaliador dos processos regulatórios que afetam a antena PSII e seu estado energético, através de parâmetros comumente utilizados, como razão  $F_v/F_m$ , por exemplo (BOHÓRQUEZ, 2019). Portanto, objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar as respostas no desempenho fotossintético das plantas de café conilon com aplicação de carbonato de cálcio nos primeiros meses após o transplantio.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento de campo foi conduzido em dois locais distintos. Inicialmente no viveiro comercial Aliança, localizado no município de Aracruz-ES, distrito de Jacupemba, e posteriormente no município de São Mateus na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, latitude 18° 40' 25" S, longitude 40° 51' 23"W.

O clima de ambas as regiões é caracterizado como quente e úmido, tipo Aw, com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O experimento foi realizado nos meses de janeiro à maio de 2020, e os parâmetros climáticos podem ser visualizados na Figura 1 (A e B) os dados de precipitação, temperatura, e radiação que foram obtidos pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada em São Mateus.

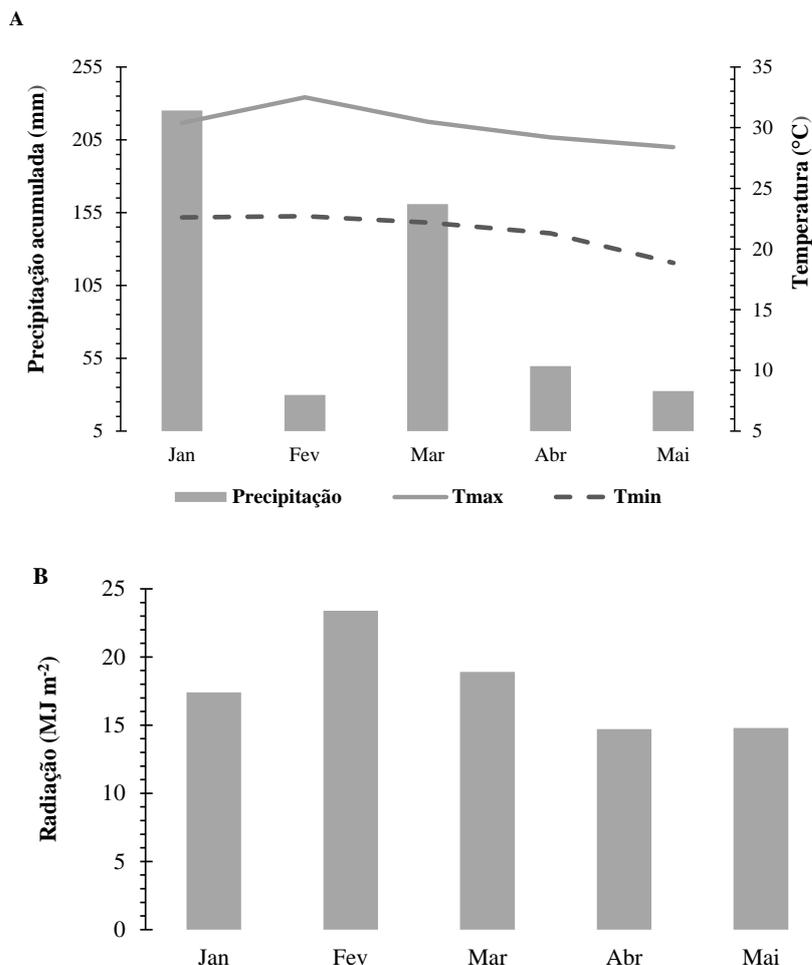


Figura 1 – (A) Dados de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período de execução do experimento; (B) Dados de média mensal da radiação (MJ m<sup>-2</sup>) durante o período de execução do experimento no município de São Mateus.

O produto comercial utilizado foi um fertilizante mineral composto por carbonato de cálcio e óxido de zinco, tendo em suas garantias cálcio total (Ca): 18,5% e zinco total (Zn): 0,5% com nome comercial de Sombryt® da empresa Lithoplant, e trabalhou-se com a dose de dois litros por hectare.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em um esquema fatorial 2 x 2 + 1, com quatro repetições. As fontes de variação foram as duas pontas de pulverização (BD 01 e MGA 60°) e dois valores de pressão de pulverização (344 e 413 kPa), conforme descrito na Tabela 1. A taxa de aplicação foi a mesma em todos os tratamentos, 100 L ha<sup>-1</sup>. O pulverizador utilizado foi o costal do tipo pressurizado por CO<sub>2</sub>, do fabricante Herbicat®. Trabalhou-se com altura de aplicação de 0,50 m da superfície foliar.

Tabela 1 – Caracterização dos tratamentos utilizados.

<b>Tratamento</b>	<b>Ponta</b>	<b>Pressão de trabalho (kPa)</b>
1	BD 01	344
2	BD 01	413
3	MGA 60° 01	344
4	MGA 60° 01	413
Tratamento controle (com aclimação)		

kPa: Kilopascal;

Fonte: Produção da própria autora.

As mudas de café foram adquiridas em um viveiro comercial certificado, assim garantiu-se mudas padronizadas em função tratamentos nutricionais e fitossanitários necessários e comumente utilizados no viveiro. O material genético utilizado foi o clone 153 do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), classificado como sensível ao estresse térmico/luminoso.

As mudas padrões que são comercializadas pelos viveiristas passam pelo processo de aclimação. As mudas do experimento não passaram por esse processo (apenas a testemunha). A primeira parte do experimento foi conduzida dentro do viveiro, no qual sete dias antes da aclimação que o viveirista iria proceder nas suas mudas padrão, foi realizada a primeira aplicação do carbonato de cálcio nas mudas dos tratamentos. Após a aplicação, as mudas permaneceram no viveiro, e no momento de “aclimação” do viveirista, as mudas foram retiradas do viveiro e levadas para a Fazenda Experimental da UFES onde foi realizada a segunda parte do experimento. As mudas do tratamento testemunha permaneceram no viveiro até terminar a aclimação.

Em campo foi feito o plantio das mudas em vasos plásticos com volume de 5 L, no qual já estavam devidamente corrigidos com calcário e adubados com o adubo super simples (formulação 00 15 00) conforme a recomendação de plantio. Após o plantio das mudas, foram realizadas outras três aplicações com intervalos de sete dias entre elas na área experimental em campo.

As mudas do tratamento controle não receberam nenhuma aplicação do produto e permaneceram no processo de aclimação no viveiro por trinta dias, em seguida foram plantadas na mesma área experimental, seguindo os mesmos procedimentos e tratamentos culturais.

Para a realização das aplicações, seguiu-se a metodologia descrita na Norma ISO 22866 (International Organization for Standardization - ISO, 2005). Esta norma

preconiza que durante as aplicações a temperatura deve estar entre 5 e 35°C, para a velocidade do vento, a norma permite que no máximo 10% das medidas estejam abaixo de 1,0 m s<sup>-1</sup> e a direção do vento dentro de um limite de 90° ± 30° em relação à linha de pulverização. Assim, o sentido ideal do vento para que as aplicações fossem feitas, deveria ser leste-sudeste (112,5°), e podendo estar entre leste e sudeste (90° e 135). As condições climáticas do local no momento da pulverização foram monitoradas pela estação meteorológica automática da UFES – Campus São Mateus.

A fluorescência da clorofila *a* foi medida no após a primeira e última aplicação do produto, totalizando duas medições, realizadas com um fluorômetro portátil Handy-PEA (Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK) no período da manhã (7 às 10 horas) em folhas jovens totalmente expandidas (3ª ou 4ª folha a partir do ápice), onde foram colocados oito cliques por tratamento, previamente adaptadas ao escuro por um período de 30 minutos, tempo suficiente para a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. Após esse período, as folhas foram expostas a um pico de luz vermelha de 3.000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, e registrada as intensidades de fluorescência. As normalizações dos dados de fluorescência transiente OJIP foram feitas de acordo com Yusuf et al., (2010) e conforme o teste JIP com base na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (STRASSER et al., 2004) utilizando-se o software Biolyzer (Laboratório de Bioenergética, Universidade de Genebra, Suíça). Todos os parâmetros avaliados neste estudo estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos parâmetros, abreviaturas e fórmulas dos dados derivados da fluorescência transiente da clorofila *a* com base em Chen et al., (2016), Goltstev et al., (2016), Strasser et al., (2004) e Zivack et al., (2014).

<b>Parâmetros da fluorescência</b>	<b>Descrição</b>
<b>Parâmetros extraídos da fluorescência</b>	
$F_{20\mu s}$	Intensidade de fluorescência em 20 μs
$F_K = F_{0,3ms}$	Intensidade de fluorescência em 0,3 ms
$F_J = F_{2ms}$	Intensidade de fluorescência em 2 ms
$F_I = F_{30ms}$	Intensidade de fluorescência em 30 ms
$F_P = F_{300ms}$	Intensidade de fluorescência em 300 ms
<b>Parâmetros técnicos</b>	
$F_0 = F_{20\mu s}$	Fluorescência inicial
$F_M$	Fluorescência máxima
$V_J = (F_{2ms} - F_0)/(F_M - F_0)$	Fluorescência variável relativa a 2ms (ponto J)
$V_I = (F_{30ms} - F_0)/(F_M - F_0)$	Fluorescência variável relativa a 30ms

(ponto I)	
<b>Fluxos de energia específicos</b>	
ABS/RC	Fluxo de energia absorvida por RC ativo
TR <sub>0</sub> /RC	Fluxo de captura de energia (levando à redução de QA) por RC em t=0
ET <sub>0</sub> /RC	Fluxo de transporte de elétrons por RC em t=0
DI <sub>0</sub> /RC	Fluxo de energia dissipada por RC ativo em t=0
RC/C <sub>so</sub>	Centro de reações ativos por seção transversal
PI <sub>ABS</sub> = (RC/ABS) x (φP <sub>0</sub> /(1-φP <sub>0</sub> )) x (ψE <sub>0</sub> /(1-ψE <sub>0</sub> ))	Índice de desempenho do FSII
F <sub>V</sub> /F <sub>M</sub>	Eficiência fotoquímica máxima do FSII

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro Wilk. Em seguida, a análise de variância pelo teste F, sendo constatada diferença significativa, as médias das características avaliadas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Software R CORE TEAM versão 3.0.2 (2013).

### 3. RESULTADOS

A interação dos fatores ponta e pressão de pulverização não foi significativa para as variáveis analisadas de fluorescência de clorofila, dessa forma, foi realizado o teste de média entre todos os tratamentos independentemente do tipo de ponta ou pressão, comparando com a testemunha adicional, diferenciando apenas entre plantas que tiveram aplicação de carbonato de cálcio (sem aclimatação), e plantas sem aplicação, porém com aclimatação.

As análises obtidas da fluorescência transiente da clorofila *a*, apresentaram em ambas as medições, aos 7 e 42 dias de avaliação, curvas OJIP com comportamento polifásico típico, o que indica que as plantas mantiveram-se fotossinteticamente ativas (Figura 2). Na avaliação inicial, maior homogeneidade nos transientes OJIP foi observada. Porém, na segunda avaliação, realizada aos 42 dias de exposição ao estresse luminoso, o tratamento controle mostrou supressão de algumas fases na curva OJIP, o que evidencia a ocorrência de bloqueios parciais ou totais do fluxo de energia na cadeia transportadora de elétrons (MEHTA et al., 2010).

Apesar de não terem sido apresentados, os pontos F<sub>I</sub> (30 ms) e F<sub>P</sub> (300 ms)

dentro da curva OJIP, na avaliação aos 42 dias, apresentaram diferença significativa no teste Tukey entre plantas que tiveram aplicação do produto e plantas sem aplicação (controle). Não houve diferença significativa entre os tratamentos.

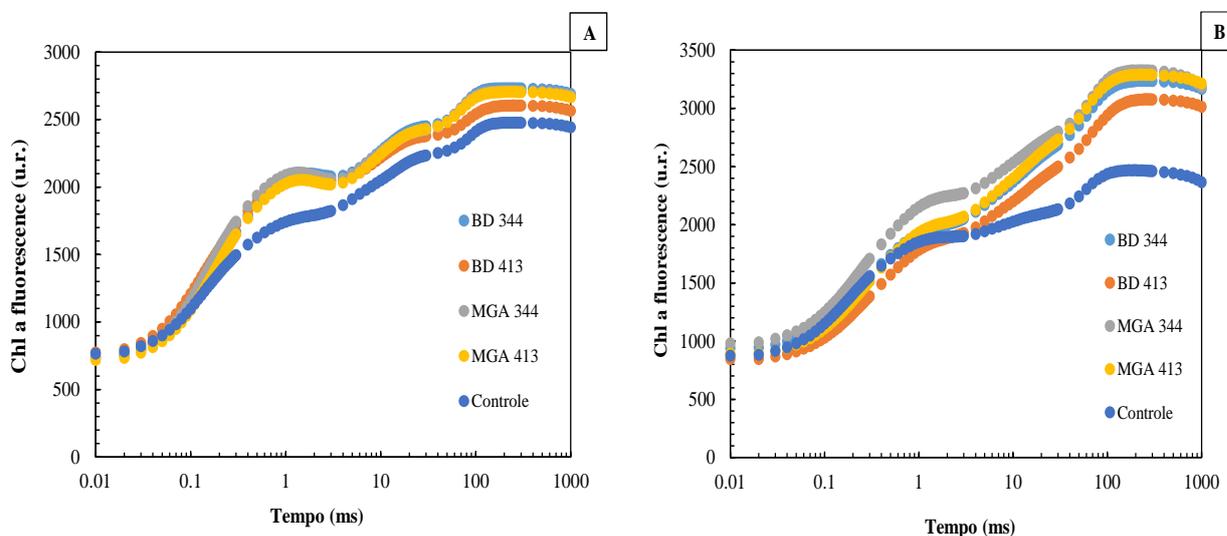


Figura 2. Curva da fluorescência transiente OJIP da clorofila a em folhas de cafeeiro após 7 dias (A) e 42 dias (B) de exposição ao estresse luminoso.

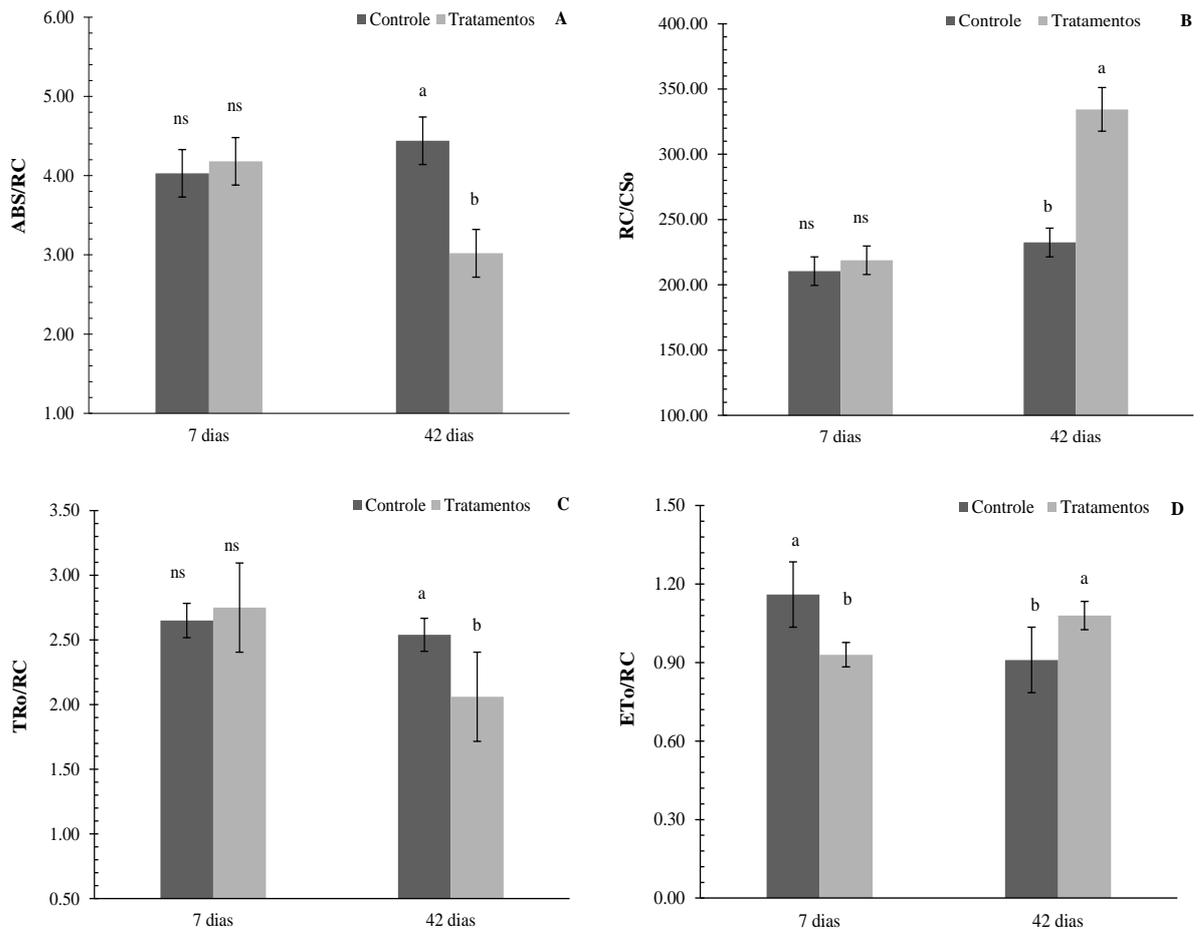
Os parâmetros do teste JIP, derivados da curva OJIP podem ser usados para caracterizar o comportamento do fotossistema II, intersistema e fotossistema I (TSIMILLI-MICHAEL e STRASSER, 2013). As variáveis que descrevem o fluxo de energia para absorção e captura de elétrons ( $ABS/RC$  e  $TR_0/RC$ ), não diferiram significativamente entre o controle e os tratamentos aos 7 dias. Porém, aos 42 dias, constatou-se diferença estatística nestes parâmetros, onde as plantas do controle promoveram maior fluxo de energia para absorção e captura de elétrons comparadas com os tratamentos, como pode ser observado nas Figuras 3A e 3C.

A variável  $RC/CS_0$  representa a quantidade de CRs ativos e, como pode ser observado na Figura 3 B, aos 7 dias não diferiu significativamente entre os tratamentos. Porém, aos 42 dias, as plantas do tratamento que obtiveram aplicação do carbonato de cálcio apresentaram grande quantidade de CRs ativos comparados com o controle, e houve diferença significativa entre o tratamento e o controle.

O fluxo de energia para o transporte de elétrons indicado pela variável ( $ET_0/RC$ ) apresentado na Figura 3D, apresentou diferença significativa entre o controle e os tratamentos em ambas as avaliações. Porém, na primeira avaliação, as plantas do controle que não tiveram à aplicação do carbonato de cálcio apresentaram um maior fluxo no transporte de elétrons, já na segunda avaliação, os tratamentos realizaram

maior fluxo no transporte de elétrons em relação ao controle.

Na variável que mede o fluxo de energia para dissipação  $Dl_0/RC$ , não foi encontrada diferença significativa aos 7 dias para os tratamentos e o controle. Entretanto, aos 42 dias de exposição das mudas aos fatores abióticos de altas luminosidade e temperatura, as plantas do controle apresentaram maior fluxo de  $Dl_0/RC$  quando comparado com o tratamento (Figura 3E).



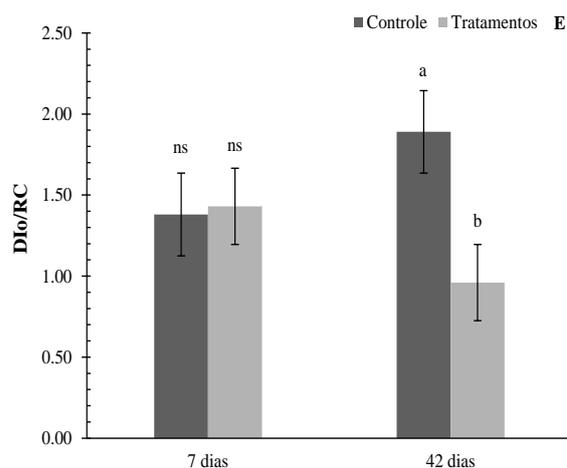


Figura 3 - Parâmetros do Teste JIP de plantas com aplicação de carbonato de cálcio (tratamentos) e sem aplicação (controle) aos 7 e 42 dias de avaliação. A: ABS/RC (fluxo de energia de absorção de elétrons por centro de reação); B: RC/C<sub>so</sub> (centro de reações ativos por seção transversal); C: TR<sub>0</sub>/RC (Fluxo de captura de energia); D: ET<sub>0</sub>/RC (fluxo de transporte de elétrons por centro de reação) e E: DI<sub>0</sub>/RC (fluxo de energia dissipada por centro de reação).

Para o índice de desempenho do FSII (PI<sub>ABS</sub>), houve diferença significativa entre o tratamento e o controle em ambas as avaliações. Na primeira avaliação as plantas do controle apresentaram melhor índice de desempenho do fotossistema II em relação as mudas do tratamento. Na última avaliação, aos 42 dias de experimento os tratamentos apresentaram maiores valores de PI<sub>ABS</sub> quando comparados ao controle (Figura 4B).

O parâmetro que representa a eficiência fotoquímica máxima do FSII ( $F_v/F_M$ ), é muito utilizado para a identificação de estresse. Este parâmetro não diferiu significativamente entre o tratamento e o controle na primeira avaliação (7 dias). Entretanto na última avaliação (42 dias), houve diferença significativa, onde as plantas do tratamento apresentaram valores maiores da variável acima de 0,75 e as plantas do controle apresentaram valores abaixo de 0,75 (Figura 4B).

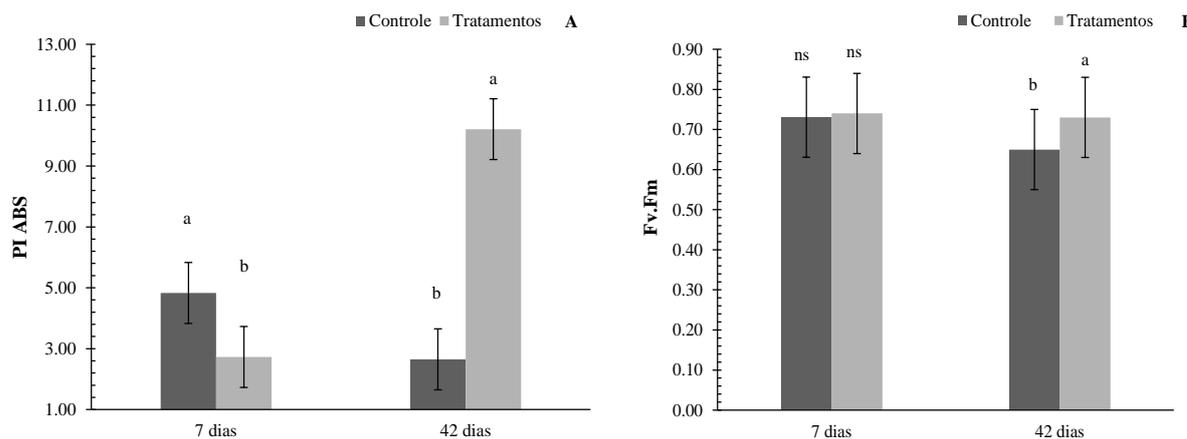


Figura 4 - Parâmetros do Teste JIP de plantas com aplicação de carbonato de cálcio (tratamentos) e sem aplicação (controle) aos 7 e 42 dias de avaliação. A:  $PI_{ABS}$  (Índice de desempenho do FSII) e B:  $F_v/F_m$  (Eficiência fotoquímica máxima do FSII).

#### 4. DISCUSSÃO

44% da radiação que atinge a terra estão situadas na região do visível e são utilizadas no processo fotossintético pelos pigmentos fotossintetizantes, localizados nos cloroplastos das folhas. No cloroplasto, a energia luminosa é captada por duas diferentes unidades funcionais chamadas fotossistemas (FSI e FSII) e absorvida pelos pigmentos. Essa energia é transferida para sítios bem definidos, localizados sobre as membranas do tilacóide, chamados de centros de reação, que quando estão ativos, liberam os elétrons para iniciar o processo fotoquímico (HALLIK et al., 2012; KLUGE et al., 2015; STREIT et al., 2005).

A cinética da fluorescência da clorofila *a* pode nos mostrar danos no aparato fotossintético, através dos pontos da curva OJIP, sendo descritos por pontos: O (20  $\mu$ s), J (2 ms), I (30 ms) e P ( $F_M$ )= (300ms) (CHEN et al., 2016), sendo medida do valor inicial ( $F_o$ ), momento em que todos os centro de reações estão oxidados, até o valor máximo, no ponto P ( $F_M$ ), onde todos os centro de reações estão reduzidos (fechados) (ROUSSEAU et al., 2013).

A fase I-P indica a estimativa da taxa de redução dos pools de aceptores finais do fotossistema I e também a transferência de elétrons no FSI (DE SOUZA et al., 2019; Redillas et al., 2011). Os resultados obtidos neste estudo, evidenciaram um aumento expressivo na magnitude da fluorescência na fase I - P para os tratamentos na avaliação de 42 dias. Esta fase foi a que mostrou maior influencia na atividade fotossintética das plantas, permitindo assumir que a aplicação de carbonato de cálcio

promoveu um incremento no tamanho do pool dos aceitadores finais de elétrons no FSI.

As plantas que não tiveram aplicação de carbonato de cálcio (controle), por outro lado, demonstraram uma supressão da fase I-P, o que indica uma redução dos receptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI, ou seja, ferredoxina, outros intermediários e NADP<sup>+</sup> (YUSUF et al., 2010). A redução de intensidade da fluorescência no ponto P como também foi observado no controle, está relacionado com a presença de Qa não reduzida, que em seu estado oxidável, funciona como supressor de fluorescência (KALAJI et al., 2016). Outros autores também observaram redução do ponto P na curva de fluorescência de plantas de *Plectranthus scutellarioides* (MENG et al., 2016) e cana de açúcar (SOUZA et al., 2020) submetidas ao estresse hídrico.

A relação desses resultados com os parâmetros do teste JIP, onde as plantas do controle apresentaram menor fluxo de energia no transporte de elétrons (Eto/RC), maior fluxo de dissipação de energia (Dio/RC) e menor PIABS, possibilita dizer que as plantas do controle, tiveram redução na transferência de elétrons de Qa-Qb. De acordo com Campostrini (2001), uma possível elevação na fluorescência próxima ao ponto intermediário I revela um declínio do processo fotoquímico (*Ph*), ocasionado pela redução do acceptor Qa. No ponto I (fase J-I), os elétrons iniciam a saída de Qa para o pool de plastoquinona via Qb. Um aumento nesse ponto da curva de fluorescência é devido ao aumento na concentração de Qa<sup>-</sup> e Qb<sup>-</sup> reduzidas. Em seguida, após o ponto P (fase I-P), Qa está parcialmente oxidada e a transferência de elétrons para o PSI, via complexo citocromo b6/f e plastocianina, ocorre. Este ponto também corresponde à liberação da fluorescência. O aumento do ponto P está relacionado com as concentrações máximas de Qa<sup>-</sup>, Qb<sup>-</sup> e o transporte de elétrons de Qb para plastoquinona (STIRBET E GOVINDJEE, 2011; MOTA, 2013). Sendo assim, a aplicação do carbonato de cálcio promoveu nas plantas o funcionamento da passagem dos elétrons da plastoquinona reduzida (PQH<sub>2</sub>) para os receptores finais de elétrons do FSI de forma eficiente, promovendo o melhor funcionamento do aparato fotossintético (LIN et al., 2009).

O fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação, ABS/RC, é uma medida do tamanho efetivo da antena, definida pela razão de CRs ativos e inativos, onde o número de fótons absorvidos pela molécula de clorofila é dividido pelos CRs ativos (LUNA et al., 2019; MEHTA et al., 2010). Desse modo, o aumento da razão

ABS/RC para o controle pode estar relacionada a algumas hipóteses, como: (1) crescimento no tamanho da antena a qual fornece energia de excitação para os CR ativos e (2) parte dos CRs estão inativos (YUSUF et al., 2010; REDILLAS et al., 2011).

Esse resultado confirma a hipótese de que os valores mais baixos na variável ABS/RC para o tratamento aos 42 dias, foi devido ao aumento dos CRs ativos de transferência de  $Q_a$ , que a aplicação do carbonato de cálcio proporcionou. Por se tratar de uma razão, onde a quantidade de fótons absorvida é dividida pelos CRs ativos, o aumento dos CRs ativos, proporciona valores mais baixos de ABS/RC, e inversamente proporcional (MEHTA et al., 2010).

Contudo, quando os CRs estão inativos, os mesmos pode indicar uma suscetibilidade a fotoinibição reduzindo a taxa fotossintética, além de apresentarem uma relação direta com o aumento no fluxo de dissipação de energia por centro de reação ( $DI_0/RC$ ), pois, quando os CRs estão inativados estes não conseguem capturar e direcionar a energia para o fluxo de transporte de elétrons ( $ET_0/RC$ ), sendo assim, essa energia é dissipada na forma de calor, emissão de fluorescência ou ainda, transferência de energia para outros sistemas (MARTINAZZO et al., 2013; STRASSER et al., 2004). Os resultados obtidos corroboram com esses autores, pois, as plantas do controle apesar de apresentarem valores maiores do fluxo de absorção (ABS/RC) e do fluxo de captura de energia ( $TR_0/RC$ ) na avaliação de 42 dias, obtiveram menor fluxo de energia para o transporte ( $ET_0/RC$ ), e conseqüentemente, maior dissipação na forma de calor como mecanismo de defesa da planta.

A razão  $F_v/F_m$  corresponde a eficiência fotoquímica máxima do FSII, é um parâmetro sensível para a identificação de estresse e conservação do aparato fotossintético em plantas. (HAN et al., 2009; OHADA et al., 2011; ESSEMINE et al., 2012; SCHANSKER et al., 2014). Os valores adequados para plantas que estão com bom funcionamento do aparato fotossintético é de 0,75 a 0,85 elétrons quantum<sup>-1</sup> (REIS et al., 2008; SILVA et al., 2015; SUASSUNA et al., 2011).

Os resultados mostraram que as plantas do tratamento apresentaram valores superiores a 0,75 e o controle valores abaixo de 0,7. Isso indica que as plantas que obtiveram aplicação do carbonato de cálcio promoveram uma proteção do aparato fotossintético ao estresse. Já as plantas do controle, que obtiveram valores menores que 0,7, indica que houve uma inativação dos RC do FSII, pois, está ligado à diminuição da capacidade de evolução do oxigênio, e redução do potencial fotossintético sendo causado pela fotoinibição ou estresse (SCHANSKER et al.,

2014).

Os elevados valores de  $Dl_0/RC$  no controle indicam que houve uma alta incidência luminosa e grande parte da energia absorvida está sendo dissipada na forma de calor ou de fluorescência, sendo um mecanismo de defesa da planta com a finalidade de proteger a estrutura foliar (STIRBET et al., 2018). Esses mecanismos promovem um déficit de centros de reação por seção transversal ( $RC/CS$ ) ativos e redução no transporte de elétrons por seção transversal ( $ET_0/CS$ ) (GONÇALVES et al., 2010). Segundo Ronchi & DaMatta (2016), a saturação fotossintética no cafeeiro ocorrem com cerca de 1/3 da radiação incidente sobre a copa, com valores próximos a 550 a 700  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , fazendo com que todo o excedente de energia incidente seja dissipado na forma de calor.

A redução de  $Dl_0/RC$  para os tratamentos com aplicação de carbonato de cálcio, demonstra que o produto tem ação fotoprotetora na planta, ou seja, promove mecanismos de melhor eficiência de utilização da energia absorvida e funcionamento da cadeia transportadora de elétrons. De acordo com Da Silva et al., (2019) a aplicação de carbonato de cálcio em cafeeiros foi uma alternativa eficaz para promover sombreamento artificial e aliviar o estresse luminoso e térmico nas plantas.

O parâmetro  $PI_{ABS}$  é um parâmetro que permite avaliar a capacidade do uso da energia, através da eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação pelo fotossistema II (FSII), proporcionando uma melhor visão do grau de efeito do ambiente estressante (GONÇALVES e SANTOS Jr., 2005; GONÇALVES et al., 2012). Segundo Martinazzo et al., (2013) tal parâmetro é considerado o mais sensível na identificação de estresses abióticos, pois incorporam vários mecanismos que são avaliados a partir de transientes da fluorescência OJIP.

Valores baixos de  $PI_{ABS}$  para o controle podem ser justificados pela insuficiência no aproveitamento da energia absorvida no aparato fotossintético (OUKARROUM, 2009). Segundo Gonçalves et al., (2010) significantes diminuições nos valores de  $PI_{ABS}$  indicam que pode estar ocorrendo uma fotoinibição, o que significa uma diminuição na capacidade de conservação de energia do aparato fotossintético, e conseqüentemente, redução no desenvolvimento das mesmas. Freire et al., (2008) em seus estudos com limoeiros, relatam que o elevado valor de  $Dl_0/RC$  apresenta relação com uma energia de excitação ( $ABS/RC$ ) maior do que a taxa de transporte de elétrons ( $ET_0/RC$ ), podendo levar a uma diminuição no PI. Além do  $PI_{ABS}$ , os parâmetros como o rendimento quântico máximo fotoquímico potencial do FSII

( $F_v/F_M$ ), o fluxo de energia dissipada por RC ativo ( $Dl_0/RC$ ), a fluorescência inicial ( $F_0$ ), a fluorescência máxima ( $F_M$ ), são muito utilizados na identificação de fotoinibição, por serem parâmetros muito sensíveis as alterações nos fotossistemas (HAN et al., 2009; OHADA et al., 2011; ESSEMINE et al, 2012; SCHANSKER et al, 2014).

Em contrapartida, os tratamentos que tiveram a aplicação do carbonato de cálcio apresentaram valores altos de  $PI_{ABS}$ , o que indica que o produto está promovendo nas plantas uma fotoproteção, sendo corroborado com os resultados de aumento do  $F_v/F_M$ , e menor valor de  $Dl_0/RC$ . A fotoproteção promovida nas plantas permite um bom funcionamento e aproveitamento de energia em todo processo fotoquímico.

Com base nos resultados apresentados, onde as plantas que tiveram aplicação de carbonato de cálcio evidenciaram melhor desempenho fisiológico nas reações fotoquímicas ( $>PI_{ABS}$ ,  $>F_v/F_M$ ,  $>RC/CS_0$  e  $<Dl_0/RC$ ) do que as plantas que passaram pelo processo de aclimatação mas não receberam a aplicação do produto, fica evidente que a utilização do carbonato de cálcio desempenha um papel de manutenção fisiológico, induzindo a fotoproteção das plantas, reduzindo os danos causados por estresses abióticos. Esses resultados agregam mais uma alternativa para lidar com fatores abióticos em campo, e conseqüentemente melhorar o desenvolvimento inicial das mudas.

## 5. CONCLUSÃO

A aplicação do carbonato de cálcio promoveu nas plantas melhor funcionamento do aparato fotossintético, comprovado pelos melhores resultados de Índice de desempenho do FSII ( $PI_{ABS}$ ) e Eficiência fotoquímica máxima do FSII ( $F_v/F_M$ ).

O produto promoveu uma fotoproteção ao estresse luminoso nas plantas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as pontas e pressões de pulverização testadas, a ponta cone vazio MGA 60° na pressão de 413 kPa, proporcionou a maior cobertura de área foliar, com a aplicação do carbonato de cálcio. Os fatores ponta e pressão de pulverização não apresentaram interferência direta nas respostas fisiológicas das plantas, pois, ainda não se sabe se a atuação do produto é devido a formação de um filme de partícula

que reflete parte da radiação, ou se a planta absorve esse produto, precisando de mais estudos nesse âmbito. Portanto, no parâmetro fisiológico, a escolha de qual ponta e pressão a ser utilizada pode ser a que for melhor custo benefício das apresentadas no estudo.

Nas variáveis fisiológicas, foi observado que a ação do produto a base de carbonato de cálcio, agregou significativamente no processo fotoquímico das plantas. As plantas que tiveram aplicação do produto não passaram pelo processo de aclimação, diferente do controle que passou por esse processo. Porém, plantas com aplicação de carbonato de cálcio apresentaram valores significativos das variáveis que mostram o desempenho das reações fotoquímicas como  $PI_{ABS}$  e  $F_v/F_m$ . Esses parâmetros também mostram quando as plantas estão sob algum tipo de estresse, como foi evidenciado nas plantas do controle.

Portanto, pode-se concluir que o produto a base de carbonato de cálcio influencia positivamente nos processos fotoquímico das plantas e atua como um mecanismo fotoprotetor contra estresses abióticos como o estresse luminoso.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711– 728, 2013.

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

BOHÓRQUEZ, C.A.A. Absorção e eficiência de uso de nitrogênio por cultivares de café submetidas a déficit hídrico. 2019. 102f. Tese de Doutorado (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. UFNF, Rio de Janeiro, 2001.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; JÖRG, R.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 126–140, 2016.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2020). Acompanhamento da Safra Brasileira. Café, Segundo Levantamento, Safra 2019. Brasília, Brasil.

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

DE SOUZA, G. A. R. et al. Caracterização fotoquímica de clones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivados em condições de pleno sol. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2019.

ESSEMINE, J.; GOVINDACHARY, S.; JOLY, D.; AMMAR, S.; BOUZID, S.; CARPENTIER, R. Effect of moderate and high light on photosystem II function in *Arabidopsis thaliana* depleted in digalactosyl-diacylglycerol. **Biochimica et Biophysica Acta**. v.1817, n.8, p.1367-1373, 2012.

FILHO, A.C.V.; BORGHI, E.J.A; FORNACIARI, G.; COLODETTI, T.V.; RODRIGUES, W.N.; COMÉRIO, M.; POSSE, S.C.P. Limitações causadas pelas dimensões de tubetes sobre o crescimento e qualidade de mudas clonais de cafeeiro Conilon. **Pensar Acadêmico**, v. 19, n. 2, p. 281-296, 2021.

FILHO, A.C.V.; RODRIGUES, W.N.; COLODETTI, T.V.; VOLPI, P.S.; COMÉRIO, M.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.A.G.; POSSE, S.C.P.; VIEIRA, L.J.D.; MARTINS, L.D.; BRINATE, S.V.B.; TOMAZ, M.A. Desenvolvimento foliar de mudas de café Conilon produzidas em diferentes tipos de tubetes. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2019.

FILHO, P.F.M.C.; FREITAS, S.J.; SILVA, W.S.; BAITELLE, D.C.; SOARES, L.P.S.; LEITE, I.O.; SANTOS, P.C.; RODRIGUES, W.P.; BERILLI, S.S. Silicato de potássio na rustificação de mudas de café arábica sombreadas e a pleno sol. **43º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 2017.

FREIRE, S.C.V.; BISPO, W.M.S.; DA COSTA, A.F.S.; LIMA, I.M.L.; ALVES, F.L.; SILVA, D.M. Estudo comparativo da eficiência fotoquímica em duas cultivares de limão verdadeiro. **Congresso Brasileiro De Fruticultura**, Vitória, 2008.

GLENN, D.M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple productivity and quality. **Scientia Horticulturae**. v.201, p.101-108, 2016.

GOLTSEV, V.N.; KALAJI, H. M.; PAUNOV, M.; BAĞA, W.; HORACZEK, T.; MOJSKI, J.; KOCIEL, H.; ALLAKHVERDIEV, S.I. Variable Chlorophyll Fluorescence and its use for Assessing Physiological Condition of Plant Photosynthetic Apparatus. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.63, n.6, p.881-907, 2016.

GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 3, p. 307-313, 2005.

GONÇALVES, J. F. de C.; SILVA, C. E.; GUIMARÃES D. G.; BERNARDES, R. S., Análise dos Transientes da Fluorescência da Clorofila a de Plantas Jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* Submetidas a Dois Ambientes de Luz. **Acta Amazônica**, v.40 p. 89-98, 2010.

GONÇALVES, J. F.C.; MELO, E. G. F.; SILVA, C. E. M.; FERREIRA, M. J.; JUSTINO, G. C. Estratégias no uso da energia luminosa por plantas jovens de *Genipa spruceana* Steyererm submetidas ao alagamento. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p.391-398, 2012.

HALLIK, L.; NIINEMETS, U.; KULL, O. Photosynthetic acclimation to light in woody and herbaceous species: a comparison of leaf structure, pigment content and chlorophyll fluorescence characteristics measured in the field. **Plant Biology**. v.14, n.1, p.88-99, 2012.

HAN, S.; TANG, N.; JIANG, H.X.; YANG, L.T.; LI, Y.; CHEN, L. CO<sub>2</sub> assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. **Plant Science**, v. 176, p. 143-153, 2009.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M.D.; LUKASIK, I., GOLTSEV, V.; LADLE, R. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiol Plant**. v. 38, p. 102, 2016.

KALAJI, H.M. et al. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. **Photosynthesis Research**, v. 132, n. 1, p. 13-66, 2017.

KLUGE, R.A.; TEZOTTO-ULIANA, J.V.; DA SILVA, P.P.M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

LIN, Z. H.; CHEN, L. S.; CHEN, R. B.; ZHANG, F. Z.; JIANG, H. X. & TANG, N. CO<sub>2</sub> assimilation, ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of tea leaves in response to phosphorus supply. **BMC Plant Biology**, v. 9, n.43, p. 1-12, 2009.

LUNA, M.M.A.; BERNINI, E.; LAGE-PINTO, F. Photochemical responses by seedlings of two mangrove species grown under different light levels. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 14, n. 2, p. 86-99, 2019.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRA, P. V.; BIANCHI, V. J.; BARCARIN, M. A.; Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento, **Ciência Rural**, v.43, n.1, jan, 2013.

MATIELLO, J.; GARCÍA, R.; ALMEIDA, A.; SR FERNANDES, D.; MATIELLI, A.; RCC MATIELLO, J.; MATIELLO, J.; SR SILVA, M.; MATIELLO, J.; ANDRADE, H. Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro, RJ: **Ciência e Prática**, 434p. 2005.

MEHTA P., JAJOO A., MATHUR S., BHARTI S. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. – **Plant Physiol. Bioch.** v.48, p.16-20, 2010.

MENG, L. L.; SONG, J. -F; WEN, J.; ZHANG, J.; WEI, J. -H. Effects of drought stress on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Plectranthus scutellarioides*. **Photosynthetica**, v. 54, p. 414–421, 2016.

MOTA, L.H.S. CAPÍTULO II–TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA a E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO. **CRESCIMENTO E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO**, p. 52, 2013. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.

OHADA, I., BERG, A., BERKOWICZ, S. M., KAPLAN, A., KEREN, N. Photoinactivation of photosystem II: is there more than one way to skin a cat. **Physiologia Plantarum**, v.142, n.1, p.79-86, 2011.

ÖQUIST, G.; CHOW, W.S.; ANDERSON, J.M. Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosystem II. **Planta**, v. 186, p. 450–60, 1992.

OUKARROUM A., SCHANSKER G., STRASSER R.J. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. – **Physiol. Plantarum**. v.137, p.188-199, 2009.

POLLO, G.Z.; MEIRELLES, F.C.; CAVALCANTE, A.G.; LEMOS, L.B. Desenvolvimento inicial de cultivares de café arábica sob formas de aplicação de biorregulador vegetal. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, v. 6, n. 1, p. 29-34, 2020.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2013. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

REDILLAS, M.C.F.R.; STRASSER, R.J.; JEONG, J.S.; KIM, Y.S.; JU, K. The use of JIP test to evaluate drought-tolerance of transgenic rice overexpressing OsNAC10. **Plant Biotechnol Reports**, v.5, p. 169–75, 2011.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do café conilon. **Café Conilon**, v. 2, p. 103-129, 2016.

ROUSSEAU, C. et al. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, Melbourne, v. 9, p. 1-

13, 2013.

SCHANSKER, G.; THÓT, S.Z.; HOLZWARTH, A.R.; GARAB, G. Chlorophyll a fluorescence: beyond the limits of the QA model. **Photosynthesis Research**, v.120, p.43-58, 2014.

SILVA, A.C. et al. Coffee-leaf extract and phosphites on the curative control of powdery mildew in eucalyptus mini-stumps. **Forest Pathology**, Oregon, v. 43, p. 118-126, 2013.

SOUZA, J. L.; dos SANTOS, R. B.; NUNES, V. V.; TORRES, M. F. O.; CALAZANS, C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; MANN, R. S. Déficit hídrico no desenvolvimento de cultivares de cana-de açúcar. **Global Science and Technology**. Rio Verde, v.13, n.01, p.196-210, 2020.

STIRBET A; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**. v. 104, p. 236-257, 2011.

STIRBET, A.; LAZÁR, D.; KROMDIJK, J.; GOVINDJEE, A. Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses. **Photosynthetica**, v. 56, p. 86104, 2018.

STRASSER, R.J.; MICHAEL, M.T.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient. In: GOVINDJE G.P. (Ed.); *Advances in Photosynthesis and Respiration Chlorophyll Fluorescence a Signature of Photosynthesis*. **Kluwer Academic Publishers**. p. 321-362, 2004.

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; DO CANTO, M.W.; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SUASSUNA, J.F.; MELO, A.S.; COSTA, F. S.; FERNANDES, P.D.; FERREIRA, R.S.; SOUSA, M.S.S. Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1251-1262, 2011.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R.J. The energy flux theory 35 years later: formulations and applications. **Photosynthesis Research**, v.117, p.289-320, 2013.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R. et al. Overexpression of  $\gamma$ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic Brassica juncea plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1797, p. 1428–38, 2010.

ZIVCAK, M.; BRESTIC, M.; KALAJI, H.M.; GOVINDJEE. Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light. **Photosynthesis Research**, v.119, n.3, p.339-354, 2014.